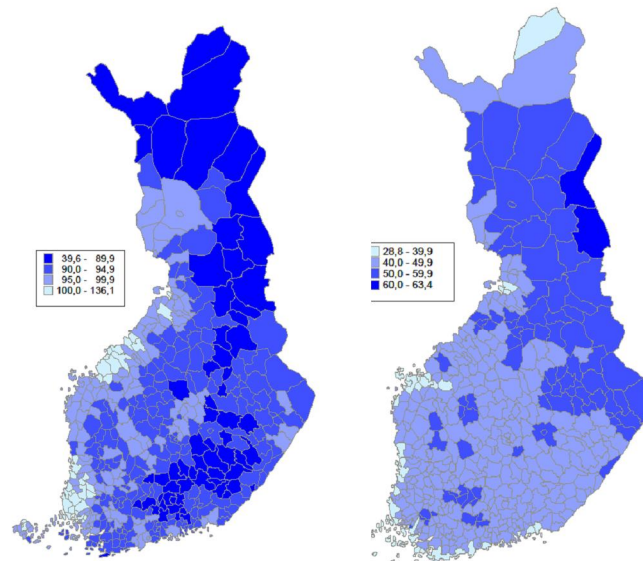


Peltoviljelyn vesitalouden hallinnan käytännön toimet energian ja ravinteiden käytön tehostamiseksi ilmaston muuttuessa

VEHMAS

2011–2014



**Haihdunta > sadanta
satoikkuna**



UNIVERSITY OF HELSINKI



1. Tutkimuksen tavoitteet

Hankkeen alkuperäisenä, hankkeen keston aikana muuttumattomana säilyneenä tavoitteena oli löytää ne käytännön ratkaisut, joilla voitetaan ilmastonmuutoksen myötä yhä voimistuvat peltokasvien kasvukauden aikaiseen vesitalouden hallintaan liittyvät riskit ja parannetaan kestävästi maataloustuotantomme energian ja ravinteiden käytön tehokkuutta, tuottavuutta ja kilpailukykyä sekä vahvistetaan asemaamme Euroopassa. Tämä tapahtuu:

- hallitsemalla kasvukauden aikaisen kuivuuden aiheuttama tuotannon epävarmuus suurine sato- ja laatuvaihteluineen, energian ja ravinteiden käytön hyötysuhteen heilahteluineen sekä tulonmenetyksiineen sekä
- hallitsemalla talvisateiden lisääntyessä kasvavat aikaisen kevään ja myöhäisen syksyn peltotöiden tekoa merkittävästi vaikeuttavat ja kasvukautta lyhentävät maan kantavuusongelmat sekä ennaltaehkäisemällä märän maan haitallinen tiivistyminen.

2. Hankkeen eri osapuolet ja yhteistyö

Hanke toteutettiin Helsingin yliopiston Maataloustieteen laitoksen sekä MTT:n Kasvintuotannon tutkimuksen yhteistutkimuksena. Hankkeen vastuullisena johtaja toimi professori Laura Alakukku Helsingin yliopiston Maataloustieteiden laitokselta. Hankkeen toteutukseen osallistui myös professori Markku Yli-Halla Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitokselta (maannostutkimus). Lisäksi yliopistolla hankkeessa työskentelevät tutkimustehtävissä MMT Johannes Tiusanen, MMM Markus Gustafsson, MMM Mikko Hakojärvi ja MMM Juuso Tuure, sekä tutkimusavustajina opiskelijat Neda Farzam (opinnäytetyöntekijä) ja Mohammad Safiqul Islam.

MTT Kasvintuotannon tutkimuksessa hanketiimiä veti professori Pirjo Peltonen-Sainio. Hänen lisäksi hankkeen päätutkijoina toimivat erikoistutkija Ari Rajala ja biometriikko Lauri Jauhiainen.

Olemassa olevien verkostojen lisäksi, VEHMAS-hankkeen käynnistyttyä Pirjo Peltonen-Sainio ja Laura Alakukku liittyivät varajäsenineen (Ari Rajala ja Mikko Hakojärvi) vuonna 2012 eurooppalaiseen maatalouden vesitalouskysymyksiin keskittyvään COST-toimeen (COST Action ES1106 *Assessment of European Agriculture Water Use and Trade under Climate Change*, EURO-AGRIWAT). He ovat niin varsinaisen Management Committee'n kuin työryhmien WG1 (water footprint), WG2 (water trade) ja WG3 (sustainability) jäseniä. Lisäksi Pirjo Peltonen-Sainio liittyi vuonna 2014 toiseen, kasvien tuotantovarmuuden parantamiseen tähtäävään COST-toimeen (COST Action FA1306 *The Quest for Tolerant Varieties - Phenotyping at Plant and Cellular Level*) MC- ja WG1 (phenotyping at the plant level) -jäsenenä.

Hankkeen ohjausryhmään kuuluivat varsinaisina jäseninä Ville Keskiarja (pj.), Anna Schulman (vara pj.) ja Hannu Porkola Maa- ja metsätalousministeriöstä, Sari Peltonen ProAgria Keskusten Liitosta, Liisa Pietola ja Airi Kulmala Maataloustuottajain Keskusliitto MTK:sta, Teemu Kokkonen Aalto-yliopistosta, Juha-Pekka Triipponen Varsinais-Suomen ELY-keskuksesta ja Mika Mikkola Maveplan Oy:sta.

3. Hankkeen tulokset

3.1. Menetelmät ja aineisto

Hankkeen tutkimustoiminnot hyödynsivät suunnitelmien mukaisesti useiden päätyneiden hankkeiden tietovarantoja täydentäen niitä erilaisilla muilla tilasto- ja pitkäaikaisaineistoilla. Käytetty toteutustapa, ole-massa olevien aineistojen, tilastojen ja myös kirjallisuudessa julkaistujen tulosten kattava hyödyntäminen osoittautui toimivaksi eikä asettanut merkittäviä rajoitteita hankkeelle asetettujen tavoitteiden ja aikataulujen toteuttamiseksi. Yksityiskohtaiset kuvaukset aineistoista ja menetelmistä löytyvät kattavina jo laadi-tuista tieteellisistä kirjoituksista. Siksi menetelmiä kuvaillaan tässä yhteydessä tarkemmin vain niiltä osin, kun julkaisutoiminta on vielä vaiheessaan, tarkempi esittely on muuten aiheellista tai toiminnasta syntyy muita tuotoksia kuin tieteellinen julkaisu.

Maannos- ja maaperäfyysikaalinen tietokanta: Maan ominaisuudet vaikuttavat oleellisesti maan vesitalou-teen sekä kasvintuotannon että ympäristön kannalta. Maannosnimet pystyvät ilmaisemaan maan ominai-suuksia monipuolisesti. Märkyys on yksi Suomen peltujen pysyvistä viljelyrajoitteista. Sitä ei ole kuitenkaan aiemmin ilmaistu viljelymaillemme World Reference Base for Soil Resources (WRB) -järjestelmän mukaan annetuissa maannosnimissä. Tähän asti käytetyt maannosnimet antavat maistamme todellista kuivemman vaikutelman. Markku Yli-Hallan johdolla toteutettiin VEHMAS-hankkeen ja Salaojituksen tukisäätiön myön-tämällä rahoituksella Suomen maannosnimien päivitys. Markku Yli-Halla ja norjalainen maaperäkartoituk-sen asiantuntija Åke Nyborg tutkivat maastossa kahdeksan kivennäismaata (2 Helsingissä, 5 Jokiosissa ja 1 Juupajoella). Maat luokiteltiin maaprofiilien morfologisten ominaisuuksien ja aikaisemmin tehtyjen maa-analyysien perusteella WRB-järjestelmän mukaisesti. Kartoituksen perustella muodostettiin uudet maan-nosnimet, joissa maan märkyys on otettu huomioon. Luokittelun tärkein muutos oli *Cambisols* tyyppisten maannosten luokittelu monesti *Stagnosols*-luokkaan.

MTT:ssa julkaistiin vuonna 2001 Maaperäfyysikaalinen tietokanta, johon oli koottu viljellyistä kivennäis-maista vuosina 1982–2000 tehtyjen mittausten tuloksia. Yhteistyössä MMM:n rahoittaman PredICTor-hankkeen kanssa tietokanta päivitettiin. Siihen koottiin mittaustuloksia 16 hankkeesta, joista oli julkaistu maaperäfyysikaalisia mittaustuloksia. Kaikista aiemmin tallennetuista tiedoista ei ollut paikkatietoa, mikä tuotettiin ja lisättiin niihin päivityksen yhteydessä. Päivityksessä tietokannassa mittaustieto on paikannettu vähintään kenttäkokeen sijainnin tarkkuudella. Osassa mittauksista on käytettävissä näytteenottokohtainen paikkatieto. Uuden aineiston tallentamisen ohella päivitettiin tietokannan käyttöliittymä, joka tehtiin MS Access 2010 -ohjelmalla, sekä kuvaus ja käyttöohje. Lisätyt tiedot laajensivat tietokannan kattavuutta maa-lajien suhteen ja alueellisesti. Siihen tallennettiin myös tietoa maan ilmanläpäisevyydestä ja leikkauslujuu-desta, jota siellä ei aiemmin ollut.

Maannostietokanta julkaistaan v. 2014 Inspire-direktiivin vaatimusten mukaisesti WMS (suorakatselu) ja WFS (suoralataus) -palveluina MTT:n palvelimella. Maaperäfyysikaalinen tietokanta tallennettiin samalle karttapalvelimelle ja se lisätään vuoden 2014 aikana MTT:n tarjoamiin OGC-palveluihin (suorakatselu- ja latauspalvelu).

Vesitalouden hallintajärjestelmien SWOT-analyysi: Vesitalouden hallintajärjestelmien kanssa eteneminen, niin kehittäminen kuin käyttöönotto, edellyttää moniulotteisia arvioita ja laajaa, monitieteellistä ymmärrys-tä. Siksi järjestimme Jokiosissa 16.12.2011 14 asiantuntijan kokopäiväisen työpajan, jossa koostimme, poh-dimme ja priorisoimme tärkeimpiä vesitalouden hallintajärjestelmiin liittyviä vahvuuksia (6), heikkouksia (7), mahdollisuuksia (11) ja uhkia (6) niin nyt kuin tulevaisuudessa. Tältä pohjalta päätutkimusryhmä teki SWOT-analyysin, jonka tulokset on kirjattu tieteellisen julkaisun muotoon.

AquaCrop-kasvumallin soveltaminen Suomen kasvuoloihin ei kuulunut alkuperäiseen suunnitelmaan, mutta sen saaman hyvän kansainvälisen palautteen myötä päätimme testata sen toimivuutta myös Suomen oloissa. Mallinnus tarjosi myös mahdollisuuden korvata alkuperäinen suunnitelma tarkentaa kasvien satovasteet¹ ajallisille ja määrällisille vaihteluille sadannassa huomioimalla mm. maalaji ja sen poudanarkuus (aineistot olisivat myös supistuneet maalajirajauksen myötä liiaksi tilastoanalyysijä ajatellen). FAO:n tuottama ja ilmaiseksi hyödynnettävissä oleva geneerinen kasvumalli painottaa kasvin käytettävissä olevan veden (sadanta, maan vedenpidätyskyky, vesivarastot ja veden kulkeutuminen ja käyttökelpoisuus kasveille, sekä kastelu) vaikutuksia kasvuun ja satoon. *AquaCrop*-mallin myötä tarkastelu maaperän ominaisuuksien osalta jopa laajeni merkittävästi siitä, mitä muilla tilastoihin perustuvilla menetelmillä olisi ollut katettavissa. Mallia testattiin pitkäaikaisella (1970–2011) sää- ja satodatalla (viralliset lajikekokeet) mallikasvina ohra. Itsenäisen perehtymisjakson jälkeen työtä tehtiin maaliskuussa 2014 yhdessä erään parhaan *AquaCrop*-asiantuntijan, belgialaisen Vito-tutkimuslaitoksen tohtorin, Anne Gobinin kanssa. Hän on mm. soveltanut mallia ilmastonmuutokseen sekä veden käytön tehokkuuteen liittyvissä tutkimuksissa. Yhteistyö jatkuu VEHMAS-hankkeen päätyttyäkin, kun Anne Gobin vieraillee MTT:n tutkimusryhmässä mm. julkaisuun tähtäävien töiden merkeissä marraskuussa 2014 (COST ES 1106 -rahoittama Short Term Scientific Mission).

Muokkaus- ja maanhoidokeinojen tarkastelussa hyödynnettiin MTT:n pitkäaikaisten muokkaukokeiden aineistoja. Alkukasvukauden sademäärän vaikutusta viljan satoon, kun siirrytään kevennettyyn muokkaukseen, selvitettiin 28 vuoden sää- ja satoaineistojen perusteella Jokioisten savimaan kokeessa. Muokkausmenetelmien vaikutusta maan kosteuteen tutkittiin kahdessa Jokioisten savimaan kenttäkokeessa, kuuden kasvukauden ajan. Maan kosteustulokset yhdistettiin sato- ja ravinnetasetuloksiin. Aineistoista tehtiin opinnäytetöitä, joiden perusteella tehdään tieteelliset artikkelit muokkauksen vaikutuksesta maan kosteuteen, viljan satoon ja ravinnetaseisiin sääoloilta erilaisina vuosina yhteistyössä TALMA-hankkeen kanssa.

Kylvöaikaisen maan kosteuden vaikutusta viljojen ja rypsin itämiseen savi- ja hietamaissa tarkasteltiin muokkaukokeiden yhteydessä tehdyn laboratoriokokeen tulosten perusteella. Aineiston tilastollinen käsittely tehtiin MTT:ssa ja tulosten tieteellinen julkaisu on tekeillä.

Maanhoidokeinoilla pyritään vaikuttamaan maan rakenteeseen ja sen myötä fysikaalisiin ominaisuuksiin. Maan vesitalouden kannalta tärkeiden fysikaalisten ominaisuuksien vaikutusta viljojen satovasteeseen ja sadon vaihteluun tarkasteltiin MaSa1- ja MaSa2-hankkeissa kootun aineiston pohjalta. Aineistossa oli kolme savimaan lohkoa, joita oli mitattu paikkakohtaisesti mm. kyllästetyn maan vedenjohtavuus, kasveille käyttökelpoisen veden määrä sekä maan kosteus kenttäkapasiteetissa ja lakastumisrajalla. Samoilta paikoilta oli käytettävissä kolmen vuoden satoaineisto. Tavoitteena oli selvittää, miten savimaan vesitalousominaisuudet ja erityisesti veden riittävyys selittävät sadon paikallista ja ajallista vaihtelua. Tuloksista on kirjoitettu tieteellinen artikkeli.

Valmisteilla olevassa EU:n maaperäsuojelun puitedirektiivissä maan tiivistyminen määritellään maan tuottavuutta uhkaavaksi tekijäksi. Samaan aikaan VEHMAS-hankkeen kanssa POSEIDON-hankkeessa (www.poseidon-nordic.dk) tutkittiin pohjamaan tiivistymisen pitkäaikaisvaikutusta maan veden- ja ilman johtavuuteen. Tulosten perusteella suomalaisessa savimaassa tiivistymä säilyi mitattavana muokkauskerroksen alapuolella 29 vuotta ja ruotsalaisessa karkeassa maassa 14 vuotta tiivistämisen jälkeen. Tiivistymä hidasti veden ja ilman liikumista märässä maassa. Pohjamaan tiivistymä on selkeä pitkäaikainen uhka maan toimivuudelle etenkin märissä olosuhteissa. Sen ennaltaehkäiseminen on tärkeää, jotta maan rakenne ja sitä kautta vesitalous säilyy hyvänä. Maan tiivistymisriskin ennakointiin tehtiin kansainvälisenä yh-

¹ Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L. & Hakala, K. 2011. Crop responses to temperature and precipitation according to long-term multi-location trials at high-latitude conditions. *Journal of Agricultural Science* 149: 49–62

teistyönä PredICTor-hankkeessa vuonna 2013 julkaistu Terranimo®-työkalu (www.soilcompaction.fi). Sen suomalaisissa maaprofiilikuvauksissa hyödynnettiin VEHMAS-hankkeen kanssa koottuja tietovarantoja.

Ravinnetasetarkasteluissa kosteusoloiltaan erilaisten vuosien vaikutusta ohran viljelyn ravinnetaseisiin selvitettiin laskemalla kahden pitkäaikaisen savimaan muokkauskokeen tulosten perusteella typen ja fosforin peltotase sekä ravinteidenkäytön hyötysuhde vuosittain. Taseiden osalta VEHMAS-hankkeessa aloitettua työtä jatketaan yhteistyönä KESTE-hankkeen kanssa. Siinä on koottu 11 tilalta lohkokohtainen aineisto, jonka perusteella lasketaan ravinne-, energia- ja kasvihuonekaasutaseet. VEHMAS-hankkeen pitkäaikaisten kenttäkokeiden aineistoja käytetään tietopohjana pohdittaessa syitä tilan lohkojen ja tilojen väliseen taseiden vaihteluun ja niiden eroihin. Tulokset valmistuvat vuoden 2015 aikana.

Hyvärakenteisella savimaan kentällä keskimääräinen ohranviljelyn typpitase oli muokkausmenetelmästä riippuen 30–40 kg/ha (vaihteluväli 8–58 kg/ha, koejakso 10 vuotta). Kun jäykän savimaan rakenne oli kohtalainen, keskimääräinen typpitase oli 32–48 kg/ha (23–79 kg/ha, 11 vuotta). MYTVAS3-tutkimuksen mukaan vuonna 2009 keskimääräinen typpitase oli 36 kg/ha. Suurimmat typpitaseet (alhainen typenkäytön hyötysuhde) kirjattiin, kun maan märkyys haittasi kasvuston kasvua ja sato jäi pieneksi.

3.2. Tulokset

VEHMAS-hanke tuotti uusia tutkimustuloksia, joiden perusteella laadittiin sekä kokonaisvaltaisia että kohdennettuja johtopäätöksiä ja toimenpidesuosituksia. Tuloksia monipuolisesti valottavat tieteelliset artikkelit ovat osittain vielä kansainvälisissä julkaisusarjoissa arvioitavana, ja osa on vielä kirjoitusprosessissa. Tuloksia on myös esitelty popularisoituina artikkeleina sekä esitelminä (katso kohta 3.4. alakohtineen). Seuraavassa esitellään keskeisimmät tutkimustulokset tutkimuskohteittain.

Sadannan muutokset ja veden riittävyys ilmaston muuttuessa:

Ilmastonmuutoksen myötä siemensatokasvien satopotentialit voivat kasvaa merkittävästi. Potentiaalinen toteutuminen korkeampina hehtaarisatoina edellyttää kuitenkin monia sopeutumistoimia. Tutkimme niin pitkäaikaisaineistoja kuin mallinnusta hyödyntäen, miten satoisuus voisi kehittyä tulevaisuudessa, ilmaston muuttuessa, riippuen vedensaataavuudesta. Muiden tekijöiden, erityisesti tuotantopanosten käytön oletettiin olevan muuttuneet tarpeet huomioivia. Tulostemme perusteella viljelykasvien tuotantokyvyn kasvu voisi olla huimaa: menetelmästä riippuen potentiaaliset sadot nousisivat esimerkiksi ohralla vuosisadan loppuun mennessä 7,3–10,0 tonniin hehtaarilta ja kokonaisbiomassat olisivat vastaavasti tuplasti tätä suuremmat². Sadannassa tapahtuvat muutokset eivät kuitenkaan mahdollista nykyennusteiden valossa riittävä ja oikea-aikaista kasvuston veden saantia, mikä tulee merkittävästi laskemaan satoennusteita. Mallinnusten perusteella esimerkiksi ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden ennakoitu nousu ei kompensoi kuin osittain kuivuuden aiheuttamaa satomenetystä. Toisaalta sadannassa tapahtuvien muutosten luotettava ennustaminen on vaikeaa, mikä lisää satotappiovaikutusten epävarmuutta.

Vesitalouden hallintajärjestelmien vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhat:

Asiantuntijapaneeli totesi, että kastelujärjestelmien nykyinen tarve poikkeaa merkittävästi siitä, miten tarpeelliseksi ne koetaan tulevaisuudessa, erityisesti ilmaston muuttuessa. Tällöin piilee vaara, että nykyrealiteetit ja politiikkatoimet eivät huomioi riittävän aikaisin ja riittävällä vakavuudella (toimenpiteillä) kastelumenetelmien kehittämisen tarvetta ilmastonmuutokseen sopeutumiseksi.

² Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Palosuo, T., Hakala, K. & Ruosteenoja, K. 2014. Rainfed crop production challenges under European high latitude conditions. Manuscript submitted to *Regional Environmental Change*.

Asiantuntijapaneelin työn tuloksena tehty SWOT-analyysi osoitti, että mahdollisuudet priorisoituivat ryhmänä vahvuuksien, heikkouksien ja uhkien yli, joskin myös uhkatekijät priorisoituivat korkealle. Yksittäisistä arvioiduista tekijöistä odotettavissa oleva hyvä satovaste oli merkittävin vahvuus, samoin vahvuutena pidettiin kastelun tuomaa "satovakuutusvaikutusta" sekä runsaita kansallisia vesivarantoja³. Maan vuokraukseen liittyvä viljelijöiden haluttomuus perusparannuksiin ja investointeihin koettiin merkittävimäksi heikkoudeksi. Kasvava kysyntä ruoasta koettiin mahdollisuudeksi, samoin ruoan kysynnän kasvun mahdolliset vaikutukset maataloustuotannon kannattavuuteen. Tilojen välinen yhteiskäyttö ja yhteistyö koettiin myös merkittäväksi mahdollisuudeksi kastelujärjestelmien käyttöönoton kannalta. Uhkiksi puolestaan koettiin mahdolliset muutokset veden omistajuudessa ja oikeudessa käyttää vettä esimerkiksi kasteluun, liian myöhäistä kastelumenetelmien kehittämistä suhteessa tarpeeseen sekä viljelijöiden haluttomuutta investoida kastelujärjestelmiin (osittain tottumattomuuttaan varautua kastelutarpeeseen).

SWOT-analyysiin liittyen Johannes Tiusanen kartoitti maailmalla käytettäviä kastelujärjestelmiä, joista hän kirjoitti koosteen, johon perustuu myös viimeistelyvaiheessa oleva ammattilehtiartikkeli kastelukeskustelun avaamiseksi. Koosteessa esitellään lyhyesti nykyisin käytettävät kasvelumenetelmät. Siinä todetaan, että tasaisilla, kuivilla alueilla valutuskastelu voi olla yksinkertainen ja taloudellisesti kohtalaisen edullinen menetelmä. Koneellinen sadetus liikkuvalla kalustolla, jolle vesi pumpataan konevoimalla, on puolestaan kallista. Arideilla alueilla sadetuslaitteisto mahdollistaa lehtilannoituksen ja jopa osan kasvinsuojelusta ilman traktorityötä, mikä vähentää kastelun kustannuksia. Suomessa tilanne on toinen, sillä meillä pelkkä kastelujärjestelmä ei riitä vaan tarvitaan myös kuivatusjärjestelmä. Tehdyn koosteen loppupäätelmä oli, että mikäli suomalaisia viljapeltoja aiotaan kastella, ratkaisut ja keinot on kehitettävä tilatasolla. Uusia innovatiivisia ratkaisuja tarvitaan, jotta satoisuusikkuna (noin 10 päivää) ehditään hyödyntää tehokkaasti. Toinen tekijä on veden saatavuus lyhyen kastelutarpeen aikana: veden tarve hehtaarin sadetuksessa on 300–500 m³. Suurten alueiden sadetus kasvin kannalta oikeaan aikaan vaatii paitsi tehokasta kalustoa myös paljon vettä. Koosteessa esitettiin idea epätäydellisestä kastelusta (osa lohkoista jää vajaalle kastelulle), jolla voitaisiin alentaa kastelukustannuksia. Kuivilla alueilla hyödynnetään myös erittäin tarkasti ajallisesti rajattua kastelua vesitarpeen ja kustannusten vähentämiseksi.

Suomalaisten peltojen läheisyys vesistöihin ja siinä ilmenevät alueelliset erot:

Suomessa asutus on hakeutunut jo historiallisista ajoista lähtien vesistöjen läheisyyteen, kuten muuallakin Euroopassa. Siten metsästäjä-keräilijä yhteisöjämme seuranneet agraari-yhteiskunnat ovat rakentuneet vesistöjen varsille monien vesistön tarjoamien ekosysteemipalvelujen äärelle. Näistä kastelumahdollisuutta on hyödynnetty tähän mennessä vain vähän.

Suomen yli miljoonasta peruslohkosta jopa kolmasosa (vajaa 750 000 ha) on suorassa kosketuksessa vesistöön (järvi, joki tai valtaoja) ja puolet on vähintään 100 metrin (reilu 1,1 milj. ha) ja kolme neljännestä 300 metrin (reilu 1,7 milj. ha) päässä vesistöstä⁴. Lisäksi tutkimuksemme osoittivat, että peruslohkot ovat suurempia vesistöjen välittömässä läheisyydessä. Tutkimus tuotti huomattavan määrän muitakin pellonkäyttöä koskevia yksityiskohtaisia tietoja, kuten viljeltävien kasvilajien yleisyyden vaihtelusta vesistöjen läheisillä pelloilla verrattuna niistä etäällä oleviin lohkoihin, peltojen maalajeista, peruslohkojen kasvulohkomääristä yms., jotka löytyvät julkaisusta.

Kaikkiaan tutkimukset valottivat kuinka poikkeuksellinen kastelupotentiaali suomalaisilla pelloilla on ja miten suuri merkitys tällä saattaa olla ilmastonmuutokseen sopeuduttaessa. Toisaalta tutkimukset paljastivat

³ Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L. & Alakukku, L. 2014. Stakeholder perspectives for switching from rainfed to irrigated cropping systems at high latitudes. *Land Use Policy*, revised.

⁴ Peltonen-Sainio, P., Laurila, H., Jauhiainen, L. & Alakukku, L. 2014. Proximity of waterways to Finnish farm-lands and associated characteristics of regional land use. Manuscript submitted *Agricultural and Food Science*.

myös huolen vesivarantojen riittävydestä tilanteessa, jossa ankara, kasvien kasvun kannalta kriittisimpiin ajankohtiin osunut kuivuus tarkoittaisi hetkellistä, suurta kastelu- ja siten vedentarvetta. Tätä vahvistaa pitkän päivän mukanaan tuoma nopea viljelykasvien kehitysrytmi, jolloin myös kuivuushaittojen vähentäminen kastelulla on mahdollista vain hyvin lyhyen ajanjakson aikana.

AquaCrop-kasvumallin hyödyntäminen vesitalouden vaikutusarvioinneissa:

Sääparametrien lisäksi malli huomioi mm. kylvöpäivän, tähkälle tuloon ja tuleentumiseen vaadittava lämpötilasumman ja satoindeksin. Myös kasvin herkkyyttä alhaisille ja korkeille lämpötiloille, sekä vedenpuutteelle pystytään mallissa huomioimaan ja säätämään. Mallin antamat simulaatiot maanpäällisestä biomassasta vastasivat melko hyvin toteutuneita biomassoja. Parhaimmillaan lasketun ja simuloidun biomassan selitystasaste oli 0,83, jota voidaan pitää varsin hyvänä. Sadon osalta vastaavuus jäi alhaisemmaksi, selitystasasteen ollessa 0,71. Sadon osalta hieman heikompi ennustettavuus johtuu todennäköisesti mallin rajallisuuksista huomioida satoindeksi, mihin kiinnitämme jatkotutkimuksissa huomioita. Hyvin poikkeavien (erityisen runsassateisten) kasvukausien suhteen mallin simuloima sato erosi eniten toteutuneesta sadosta. Tällainen oli esimerkiksi vuosi 1987, joka on tosin monille kasvumalleille poikkeuksellisen haasteellinen äärioloistaan johtuen. Malli oletti nimittäin viileän, runsassateisen kasvukauden johtavan korkeaan satoon.

Huolimatta tietyistä rajoitteista ja edelleen kehittämisen kohteista, malli simuloi biomassan ja sadon muodostusta melko luotettavasti, myös näissä pohjoisissa pitkän päivän viljelyoloissa, joihin mallia ei ole varsinaisesti kehitetty (vaan arideihin oloihin). Mallia pystyy hyödyntämään myös esimerkiksi arvioitaessa kastelun satovaikutuksia yleisellä tasolla ja mahdollisesti mallia voidaan hyödyntää arvioitaessa tulevaisuuden ilmasto-olojen vaikutuksia kasvintuotantoon suhteessa veden saatavuuteen.

Viljasadon vaihtelun ja vesitalouden kannalta tärkeiden maan ominaisuuksien riippuvuus:

Maalajista ja maan rakenteesta riippuen ruokamultakerros voi varastoida vettä 70–130 mm (hieta-turve). Pohjamaassa voi olla varastoituneena saman verran tai jopa enemmän vettä. Haihdunta maan pinnasta ja kasvien juurten kyky hyödyntää maahan varastoinut vesi vaikuttavat kasvin hyödynnettävissä olevaan veden määrään. Veden varastoinnin ohella on muistettava, että Suomessa pellon vesitalouden hallinta on poikkeuksellinen, koska se edellyttää tehokasta kuivatusta, vaikka etenkin tulevaisuudessa tarvittaneen myös kattavia kastelujärjestelmiä. Molemmissa tapauksissa hyvä maan rakenne on oleellinen vesitalouden kannalta: märissä oloissa maan on läpäistävä riittävän nopeasti vettä ja kuivissa oloissa sen pitäisi pystyä varastoimaan vettä kasvin käyttöön. Maan pintarakenteen tulee olla myös sellainen, että alkukesän runsaatkin sateet imeytyvät maahan kartuttaen maan vesivarastoja. Multavuus parantaa maan vedenpidätyskykyä ja multavuuden ylläpito onkin tärkeää maan vesitalouden kannalta.

Maan fysikaalisten ominaisuuksien vaikutusta viljasadon paikkakohtaiseen ja ajalliseen vaihteluun selvitetiin kolmella savimaan loholla⁵. Viljan sato ja mm. maahan pidättyneen kasveille käyttökelpoisen veden määrä korreloivat vain muutamassa tapauksessa. Tulosten mukaan paikkakohtaista satoa ei voida ennustaa pelkästään savimaan vesitalousominaisuuksien perusteella. Sadon vaihteluun vaikuttavat maan ominaisuuksien ohella merkittävästi sääolot (sateiden määrä ja ajoittuminen, alkukasvukauden halla) suhteessa kasvin kehitykseen sekä myös muut ulkoiset tekijät kuten kasvuston lakoontuminen. Tästä syystä maan ominaisuuksien paikkakohtaisen vaihtelun vaikutus viljojen satoon voi vaihdella vuosien välillä. Koeaineistossa lohkokohtaisesti maan fysikaaliset ominaisuudet vaikuttivat vuosien väliseen satovaihteluun. Kun

⁵ Hakojärvi, M., Hautala, M., Ristolainen, A. & Alakukku, L. 2013. Yield variation of spring cereals in relation to selected soil physical properties on three clay soil fields. *European Journal of Agronomy* 49: 1–11

savimaan rakenne oli hyvä, lohko säilytti satotasonsa sekä kuivana että sateisena kasvukautena, kun taas rakenteeltaan huonommalla ja maalajiltaan samanlaisella loholla satotaso laski sateisina vuosina.

Muokkausmenetelmien vaikutus maan kosteuteen:

Veden haihtumista maasta voidaan vähentää pellon pinnassa olevalla kasvustotähteellä tai muilla katteilla. Viljan viljelyssä edellisen kasvun kasvustotähte on muokkausta kevennettäessä vähentänyt haihduntaa maan pinnasta. Riviviljelyssä katteena käytetään muovia, jonka korvaajaksi kehitetään parhaillaan erilaisia paperikatteita.

Kahdessa savimaan pitkäaikaisessa muokkauksokokeessa suorakylvetty maa oli 0–30 cm syvyydessä kasvu-kauden aikana kynnettyä ja sänkimuokattua maata kosteampi. Alkukesältään kuivina kasvukausina ohran keskimääräinen sato oli sänkimuokatussa ja suorakylvetyssä koetekijässä kyntöä suurempi. Sateisina kasvukausina sato oli usein suurin kynnettäessä, ja savimaan rakenne vaikututti satotuloksiin. Jäykän savimaan rakenne oli huonompi kuin hiuesaven. Jäykällä savimaalla sato oli merkittävästi pienempi suorakylvettäessä kuin kynnettäessä, kun kasvukauden sademäärä oli keskimääräistä suurempi.

Pitkäaikaisen kevennetyn muokkauksen kokeen tulokset tukivat edellä mainittujen kokeiden tuloksia. Kevätviljojen sato oli syyskyntöön verrattuna keskimäärin 2–5 % suurempi syys- ja kevätkultivoitaessa. Myös tässä kokeessa kevennetty muokkaus vähensi maan poudanarkuutta alkukesältään kuivina kasvukausina. Sateisina kasvukausina kynnetty maa tuotti usein sänkimuokattua paremman sadon myös viiden vuoden siirtymäkauden jälkeen. Kevennetyn muokkauksen osalta keskimääräiset satotulokset ovat hyvin samanlaisia kuin ruotsalaisissa ja norjalaisissa tutkimuksissa. Ruotsalaisten tulosten mukaan kevätiljojen orastuminen oli suorakylvössä muokattua kylvöalustaa huonompi, mikä pienensi myös siemensatoa. Vastaava on havaittu myös muissa kuin tässä raportoiduissa suomalaisissa kenttäkokeissa koejakson alkuvuosina.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että muokkauksen keventäminen tai suorakylvöön siirtyminen vähentävät alkukesän kuivuuden vaikutusta viljan satoon. Maan pintaan jäävä kasvustotähte vähentää veden haihduntaa pintamaasta, mikä säästää maan kosteutta ja pidentää myös kylvöaikaa. Aiemmissä kokeissa on myös todettu, että sänkimuokatussa maassa jatkuva makrohuokosten verkosto nopeutti juurten kasvua pohjamaanhan, mikä varmisti kasvin vedenottoa. Sateisina kasvukausina satotappiot voivat olla kuitenkin etenkin suorakylvössä huomattavat kyntöön verrattuna. Syitä satotappioihin ovat muokkaamattoman maan kyntöä huonompi hetkellinen vedenvarastointikyky ja märän maan vedenjohtavuus, sekä sateen ajoitus suhteessa kasvinkehitysvaiheeseen. Lisäksi sateisena keväänä muokkaamaton maa, etenkin jos sen pinnalla on paksu kerros kasvustotähdettä, kuivuu muokattua hitaammin, mikä voi viivästyttää kylvöä ja lisätä satotappion riskiä merkittävästi. Muokkausmenetelmävalinnalla voidaan vaikuttaa savimaan vesitalouteen ja korvata todennäköisesti osa kastelutarpeesta kuivana alkukasvukautena, mutta päätökset on tehtävä lohko-kohtaisesti. Muokkauksen keventäminen edellyttää, että maan rakenne on hyvä ja lohkon kuivatus kunnossa, jotta maa toimii myös sateisina kasvukausina.

Tässä hankkeessa keskityttiin kevätiljoihin. Kasvilajivalinnalla voi vaikuttaa juurten kasvuun ja ulottuvuuteen maaprofiilissa. Mittausten mukaan syysviljojen juuristo ulottui jo huhtikuussa puolen metrin syvyyteen, mikä varmistaa maan kevätkosteuden hyödyntämisen ja kasvin vedenoton pohjamaasta. Kasvilajivalinnan ja kasvinvuorotuksen merkitys maan vesitalouden hallinnassa eri muokkaussysteemeissä on ilmeisen suuri, mutta edellyttää jatkotutkimuksia.

Viljan ja rypsin itäminen eri maavedenpotentiaaleissa:

Kuivuus voi haitata merkittävästi keväällä kylvettävien kasvien itämistä ja taimettumista. Kylvöalustan ominaisuudet (mm. haihtumissuoja siementen päällä, maan kosteus kylvösyvyydessä) vaikuttavat siemenen ja maan väliseen kontaktiin ja siemenen veden ottoon maasta. Tuttu asia on edelleen ajankohtainen, sillä

suorakylvössä karkea kylvöalusta on haitannut siementen itämistä selvästi. Laboratoriokokeessa selvitettiin savi- ja hietamaan vesipotentiaalin vaikutusta viljan ja rypsin siementen itämiseen. Kun hietamaa oli märkää (vesipotentiaali -0,25 – -1 kPa), viljojen ja rypsin itävyys oli alle 20 % (idätysaika 10 päivää). Edellä mainitussa vesipotentiaaleissa siementen itävyys savimaassa oli selvästi hietamaata parempi (pienin itävyys: ohra 28 %, -0,25 kPa; 70–90 %, -1 kPa). Ero johtui todennäköisesti siitä, että märässä savimaassa oli murujen välisiä suuria huokosia, joissa oli ilmaa. Lakastumisrajakosteudessa (-1500 kPa) siementen itävyys oli hietamaassa vähintään 90 %, mutta savimaassa rypsin itävyys oli enää 45 %. Kuivassa ja muruisessa savimaassa siemenen ja maan välinen kontakti oli todennäköisesti huonompi kuin hietamaassa. Vastaavanlaisia tuloksia hietamaan märkyden haitoista on raportoitu sokerijuurikkaan idätyskokeessa.

3.3. Toteutusvaiheen arviointi

VEHMAS-hanke on tuottanut hyvin moniulotteisena ja haasteellisena tutkimusavauksena originaalituloksia ja uutta ymmärrystä, mitä voidaan laajasti hyödyntää esimerkiksi tutkija-, päätöksentekijä- ja viljelijäyhteisössä ja -yhteistyössä. Yhteistyö COST ES1106 -verkoston kanssa on ollut arvokas lisä VEHMAS-hankkeen toteutukselle. Se on tuonut tutkimuksiin vahvan kansainvälisen lisäyhteyden, mikä on edelleen edistänyt tutkijoiden verkostoitumista. COST-toimessa on mm. ollut mahdollista tutustua nykyaikaiseen veden kierrätykseen ja esimerkiksi suolaisen veden käyttöön perustuvaan kasteluun Israelissa. Yhteistyön pohjalta on myös jätetty hankehakemus EU:n Marie Curie -rahastoon (Innovative Training Networks, Call H2020-MSCA-ITN-2014) otsakkeella *Integrated Water Resource Management Initial Training Network*, jonka tarkoituksena on kouluttaa vesiasioiden erityisosaajia eräänä painopistealueenaan maatalous. Kesällä 2014 COST-toimi järjesti vesijalanjälkeä ja virtuaaliveden kauppaa käsittelevään *COST Action ES1106 1st training school - Water footprint application for water resources management in agriculture* -kurssille Firenzessä, Italiassa, johon Suomesta osallistuivat tohtoriopiskelijat Kirsi Usva ja Mikko Hakojarvi hyväksytyin hakemuksen perusteella. Verkostotoimintaan liittyen Helsingin yliopisto palkkasi VEHMAS-rahoituksella opinnäytetyöntekijän (Neda Farzam) tekemään kirjallisuusselvitystä eri kasvien vedenkäytön tehokkuudesta vesijalanjäljen sekä virtuaaliveden kaupan laskentaperusteita varten. Hän suoritti myös kansainvälisen nettikurssin vesijalanjäljen laskemisesta. Opinnäytetyö valmistuu syksyn 2014 aikana.

Hankkeessa tehtiin yhteistyötä myös useiden muiden hankkeiden kanssa, mikä oli hedelmällistä puolin ja toisin. Se mahdollisti tutkimusaineistojen yhteiskäytön ja tulosten monipuolisen tarkastelun. Yhteistyö Markku Yli-Hallan ryhmän kanssa tuotti uutta tietoa suomalaisista maannoksista, mitä voidaan hyödyntää paitsi tutkimuksessa myös hallinnon päätöksenteossa. AquaCrop mallin käyttöönotto oli uusi tutkimuksellinen avaus, jonka yhteydessä aloitettiin hankkeen jälkeenkin jatkuva kansainvälinen yhteistyö. Monipuolinen verkottuminen hankkeen aikana olikin aiheen jatkotutkimusten kannalta arvokasta. Tutkimuksen monialaisuus ja sen edellyttämä laaja yhteistyö asetti kuitenkin aikataulujen hallinnalle haasteita. Tämä viivästytti mm. muokkaus- ja maanhoito -osion tulosten tieteellistä julkaisemista. Osaltaan aikataulupainetta vahvisti hankkeen myöhäinen käynnistyminen myöntövuonna, koska päätösten teko vei useita tehokkaita työkuukausia heti hankkeen alkumetreillä, jota kuitenkin kompensoitiin muutaman kuukauden jatkoajalla ennen hankkeen päättötoimia.

3.4. Julkaisut

3.4.1. Tieteelliset kirjoitukset

Hakojarvi, M., Hautala, M., Ristolainen, A. & Alakukku, L. 2013. Yield variation of spring cereals in relation to selected soil physical properties on three clay soil fields. *European Journal of Agronomy* 49: 1–11

- Peltonen-Sainio, P. 2012. Crop Production in a Northern Climate. In: *Working papers of FAO/OECD Workshop Building resilience for adaptation to climate change in the agriculture sector*, Chapter 4, Supporting thematic studies. 34 p. Available online at: <http://www.oecd.org/dataoecd/43/47/50062683.pdf>
- Peltonen-Sainio, P., Rajala, A., Känkänen, H. & Hakala, K. 2014. Improving farming systems in northern European conditions. In: Edited by Victor O. Sadras and Daniel Calderini. *Crop Physiology: Applications for Genetic Improvement and Agronomy*. Updated Edition. pp: 65–91.
- Peltonen-Sainio, P. & Jauhiainen, L. 2014. Lessons from the past in weather variability: sowing to ripening dynamics and yield penalties for northern agriculture in 1970–2012. *Regional Environmental Change 14: 1505–1516*.
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L. & Alakukku, L. 2014. Stakeholder perspectives for switching from rainfed to irrigated cropping systems at high latitudes. *Land Use Policy, revised*.
- Peltonen-Sainio, P., Regina, K. & Palosuo, T. 2014. Does adapting high latitude cropping systems to climate change facilitate or hamper mitigation? *Manuscript submitted to Boreal Environment Research*.
- Peltonen-Sainio, P., Laurila, H., Jauhiainen, L. & Alakukku, L. 2014. Proximity of waterways to Finnish farmlands and associated characteristics of regional land use. *Manuscript submitted Agricultural and Food Science*.
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Palosuo, T., Hakala, K. & Ruosteenoja, K. 2014. Rainfed crop production challenges under European high latitude conditions. *Manuscript submitted to Regional Environmental Change*.

3.4.2. Muut julkaisut (pääkirjoittajittain ja osittain yhteistyössä muiden hankkeiden kanssa)

Alakukku, L.

2012. Tulevaisuuden ympäristöteknologia maataloudessa. MTK-viesti 7/2012: 25

2014. Vårda din åker – markpackning. NSL kalenteri 2015. Painossa.

Koivula, V. & Palojärvi, A. 2012. Clay soil moisture in spring cereal cultivation as related to tillage management. *Agrociencia Uruguay. Special Issue Striving for Sustainable High Productivity through Improvement Soil and Crop Management – Setiembre 2012*. 56-61.

& Peltonen-Sainio, P. 2013. Pakottaako ilmastonmuutos kastelujärjestelmien kehittämiseen Suomessa? *Vesitalous 54 5/2013: 20–22*

Peltonen-Sainio, P.

2012. Coping with the Special Features of the Extreme Northern Corner of Crop Production. Toim. F.L. Stoddard, P. Mäkelä. 12th Congress of the European Society for Agronomy, Helsinki, Finland. *Maataloustieteiden laitoksen julkaisuja 14: 100*

2012. Kestävä tehostaminen ratkaisuna ruuantuotannon moniin haasteisiin. *Maaseudun tulevaisuus 96 149 (19.12.): p. 2*

2013. Maatalous hyödyntää hanakasti suotuisat säät. *Ilmastokatsaus 18 9/2013: 4–5*

& Jauhiainen, L. 2013. Viljelijöillä hyvä valmius sopeutua ilmastonmuutokseen. *Maaseudun Tiede 70 1(22.3.): 2*

& Jauhiainen, L. 2013. Viime kasvukausi oli poikkeus poikkeusten joukossa. *Maaseudun Tiede 70 1, 1(22.3.): 3*.

2014. Kasvintuotannon kestävä tehostaminen: tie tulevaisuuteen? In: *Maataloustieteen Päivät 2014, 8.–9.1.2014 Viikki, Helsinki : esitelmä- ja posteritiivistelmät / Toim. Risto Kuisma, Nina Schulman, Hanna-Riitta Kymäläinen ja Laura Alakukku. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 31: p. 47*

& Hakala, K. 2014. Viljely muuttuvassa ilmastossa: miten peltoviljely sopeutetaan onnistuneesti. *TEHO Plus -hankkeen raportti 4/2014: 12 p*

& Hakala, K. 2014. Att odla i förändrat klimat : hur åkerbruket kan anpassas framgångsrikt. *TEHO Plus -projektets rapport 6/2014: 12 p*

2014. Ilmasto lämpenee: muuttuuko viljely? Leipä leveämmäksi 62 2/2014: 36–37

Hakojärvi, M.

& Hautala, M., Ristolainen, A., Alakukku, L. 2013. Spatial and temporal yield variation in three different clay soil fields. In: IFAC-Papers Online: Agricontrol, 4th IFAC Conference on Modelling and Control in Agriculture, Horticulture and Post Harvest Industry, 2013. Agricontrol 4 Part 1: p. 196–201

& Hautala, M., Ristolainen, A., Alakukku, L. 2014. Maan vesipitoisuuteen vaikuttavien ominaisuuksien ja sateen vaikutus maksimaaliseen biomassan kertymiseen sekä paikkakohtaiseen vaihteluun. In: Maataloustieteen Päivät 2014, 8.-9.1.2014 Viikki, Helsinki : esitelmät ja posterit / Toim. Mikko Hakojärvi ja Nina Schulman. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 30: p. 8 p.

Peltonen-Sainio, P. & Alakukku, L. 2013. Virtual water trade research in Finland. COST ES1106 Country Report

Virtanen, E., Usva, K., Alakukku, L. & Peltonen-Sainio, P. 2013. Water footprint research in Finland. COST ES1106 Country Report

Rajala, A.

& Peltonen-Sainio, P., Jalli, M., Tenhola-Roininen, T., Manninen, O. 2014. Improvements in nitrogen use efficiency of barley to meet the climate change induced challenges. In: Book of abstracts : genetic resources for food and agriculture in a changing climate, 27-29 January 2014, Lillehammer, Norway / eds. Linn Fenna Groeneveld and Anne Kettunen Praebel. NordGen-The Nordic Genetic Resource Center. p. 49

& Peltonen-Sainio, P., Jalli, M., Tenhola-Roininen, T., Manninen, O. 2014. Typen käytön tehokkuuden parantaminen tuotannon kestäväksi tehostamiseksi. In: Maataloustieteen Päivät 2014, 8.-9.1.2014 Viikki, Helsinki : esitelmä- ja posteritivistelmät / Toim. Risto Kuisma, Nina Schulman, Hanna-Riitta Kymäläinen ja Laura Alakukku. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 31: p. 49

Tiusanen, J.

2013. Soil Scouts: Wireless Underground Soil Sensor Nodes. USCID Conf. Using 21st Century Technology to Better Manage Irrigation Water Supplies, Phonex, USA 15.-19.4.2013.

2014. Lisää vettä viljoille. Lähetetty: Käytännön maamies.

Yli-Halla, M.

& Nyborg, Å. 2013. Suomen kivennäismaapeltojen maannokset WRB-järjestelmän mukaan. Teoksessa: Leppälammil-Kujansuu, J., Soenne, H., Merilä, P., Rankinen, K., Salo, T. & Hänninen, P. (eds.) Maankäytön kestävyys. VII Maaperätieteiden päivien abstraktit. Pro Terra No. 61/2013: 25-26.

& Nyborg, Å. 2014. Update of the WRB soil classes in the 250K Soil Database of Finland: expression of soil moisture regime in mineral soils. Poster session WG2: WRB-Lessons learned from the development of the third edition 2014. Proceedings of the 20th World Congress of Soil Sciences (www.20wcss.org), Abstract Online Access System, June 8-13. 2014, Jeju, South Korea.

Aiheeseen liittyvät TALMA hankkeessa tehdyt opinnäytteet, joiden aineistoa VEHMAS hyödynsi

Koivula, V. 2012. Kasvukauden sään vaikutus satotasoon muokkausta kevennettäessä. Kandidaatin tutkielma, Helsingin yliopisto, maataloustieteiden laitos. 32 p.

Koivula, V. 2014. Perusmuokkausmenetelmän vaikutus savimaan kosteuteen kasvukauden aikana. Maisterintutkielma, Helsingin yliopisto, maataloustieteiden laitos, 74 p.

Rantanen, V-P. 2014. Muokkaus- ja kylvömenetelmien vaikutus kevätiljan viljelyn ravinnetaseisiin savimailla. Maisterintutkielma, Helsingin yliopisto, maataloustieteiden laitos, 62 p.

3.4.3. Esitelmät (osittain yhteistyössä muiden hankkeiden kanssa)

Alakukku, L.

Maan rakenteen ja vesitalouden hoito perunatilalla. Perunantuotannon ajankohtaisseminaari. Pori, 30.6.2011.

Veden liikkeet maassa. Tekniikan Päivät. Sessio Maan makeat hedelmät. Espoo, 13.1.2012

Maan rakenteen ja vesitalouden vaikutus ravinteiden hyödyntämiseen, Satakunnassa varjellen viljelty – hankkeen koulutuspäivä. Säkylä, 14.3.2012.

Clay soil moisture in spring cereal cultivation as related to tillage management. ISTRO Conference, Uruguay, 24.-28.9.2012

Miten eri muokkausmenetelmät vaikuttavat maan vesitalouteen ja kasvien ravinteiden käyttöön. Hyvä sato vähentää maatalouden ravinnekuormitusta seminaari. Salo, 16.10.2012.

Maan rakenteen merkitys pellon kasvukykyyn. Viljavuuspalvelun 60-vuotisjuhlaseminaari. Jyväskylä, 25.10.2012.

Miten viljely muokkaa maan ominaisuuksia? VII Maaperätieteiden päivät, kutsuttu esitelmä. Helsinki, 7.1.2013.

Maan rakenne > vesitalous > ravinteet – vaikutukset satoon ja ympäristöön. Maatilan ympäristöhoito ja luonnon-suojelu –koulutus. Mikkeli, 21.2.2013.

Maan rakenne – tärkeä osa viljelystä ja ympäristön hoitoa. Kohtaavatko maatalouden taloudellisuus ja ympäristöystävällisyys? -seminaari (järjestäjät: Baltic Deal, Ravi- ja Peltonen –hankkeet, WWF Suomi). Kouvola, 11.3.2013.

Maan rakenne, vesitalous ja syväkuohkeutus. Salon kaupungin viljelijöille ja muille kiinnostuneille järjestämä laiva-seminaari 25.3.2013

Maa kasvukunnon osatekijät. TehoPlus –hankkeen maatalouden ympäristöneuvojien koulutuspäivä. Tampere, 3.6.2013.

Maan rakenteen ylläpito. Nylands Svenska Lantbrukssällskaps årsmöte. Espoo, 19.11.2013.

Maan rakenteen hoito – osa viljelyn suunnittelua. Energiaa sokerin tuottamiseen –hankkeen tilaisuus. Piikkiö, 12.2.2014

Maan rakenteen hoito – osa viljelyn suunnittelua. Energiaa sokerin tuottamiseen –hankkeen tilaisuus. Säkylä, 13.2.2014

Maan rakenteen hoito – osa viljelyn suunnittelua, Viljelymaan hyvän hoidon seminaari. Humuspehtoori 30 v. Petäys Resort. Tyrvääntö, 27.2.2014.

Maan rakenne ja tekniset ratkaisut. Peltovesi –päivä – Haasteena maan rakenne ja kuivatus. Ikaalinen, 26.3.2014. (korvasi VEHMAS-loppuseminaarin)

Maan kasvukunnon osatekijät ja vesi- ja ilmatalouden toimintaperiaatteet. ProAgraria Länsi-Suomen ja Tilusjärjestely-, maisemanhoito- ja vesiensuojeluhanke Satakunnassa. Huittinen, 8.4.2014.

Peltokuivatuksen tarve. Peltokuivatuksen tarve ja vesistövaikutukset –seminaari. Siuntio, 2.6.2014.

Maan rakenteen vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen. Demonstraatio. RAHA-hankkeen loppuseminaari. Hyvinkää, 17.6.2014.

Peltonen-Sainio, P.

Ilmastonmuutos, viime kesän kasvuolosuhteet ja vaikutukset viljelykasvien sadonmuodostukseen. Pro Agraria Satakunta. Viljanviljelyn tulevaisuuden haasteet, Kokemäki, 28.11.2011

Viljojen kasvu ja kehitys – tärkeät ajanjaksot. Broilerivehnan -viljelypäivä: Laadukasta vehnää broilereille, Huittinen, 2.2.2012

Peltoraaka-aineiden tuotantonäkymät ilmaston muuttuessa. Neste Oil Oy ja Raisio Oyj. Sivuvirroilla valtaväylille -asiantuntijaseminaari, Helsinki, 9.2.2012

Coping with the Special Features of the Extreme Northern Corner of Crop Production. 12th Congress of the European Society for Agronomy, Helsinki, 20.–24.8.2012

Kuivuuden vaikutus maatalouteen. Ilmastonmuutos ja ääriarvot -seminaari, Helsinki, 13.9.2012

Oikea määrä vettä ja lämpöä oikeaan aikaan varmistaa hyvän sadon. Voiko laji- ja lajikevalinnalla vähentää maatalouden ravinnekuormitusta? Hyvä sato kotiuttaa ravinteita ja vähentää maatalouden ravinnekuormitusta –seminaari, Salo, 16.10.2012

Miten ilmaston muutos vaikuttaa maatalouteen Suomessa? Kasvatetaanko maissia? Vai jääkö pellot kesannolle?. Maataloustuottajain Helsingin yhdistys r.y.:n seminaari, Helsinki, 21.3.2013

Mitä haasteita ilmastonmuutos tuo viljelijän arkeen Suomessa? TEHO Plus, Maatalous ja ympäristö -talousseminaari, Turku, 9.4.2013

Environmentally Sustainable Growth and Intensification of Agriculture. JPI FACCE (Agriculture, Food Security and Climate Change) Mapping Meeting, Berlin, 10.4.2013

Future of Crop Production in Europe: Climate Change Induced Challenges and Opportunities. EFT Meeting 2013. Turku, 30.5.2013

Sustainable Intensification of Agriculture. Take it to Space –seminar, Tallinn, 15.11.2013

Ilmastonmuutoksen vaikutukset Eurooppaan ja Suomeen, sekä tuotantoedellytyksiimme. Puutarhaelinkeinoon Tu-
levaisuus –seminaari, Messukeskus, Helsinki, 14.11.2013

Ilmasto muuttuu, vesitalouden haasteet kasvavat. Peltovesi-päivä – haasteena maan rakenne ja kuivatus, Ikaali-
nen, 26.3.2014 (korvasi VEHMAS-loppuseminaarin)

What the future with climate change and variability holds for northern European agriculture? Ecology seminar,
Uppsala, 27.5.2014

Hakojärvi, M.

Spatial and temporal yield variation in three different clay soil fields. 4th IFAC Conference on Modelling and Con-
trol in Agriculture, Horticulture and Post Harvest Industry, August 2013.

Tiusanen, J.

Soil Scouts: Wireless Underground Soil Sensor Nodes. USCID Conf. Phonex, USA 15.-19.4.2013.

Yli-Halla, M.

Suomen kivennäismaapeltojen maannokset WRB-järjestelmän mukaan. VII Maaperätieteiden päivät, Helsinki, 7.-
8.1.2013.

4. Tulosten arviointi

4.1. Tulosten käytännön sovellutuskelpoisuus

Hankkeessa tehtyjen monipuolisten, toisiinsa kytkeytyneiden tutkimusten ja -kartoitusten tulosten perusteella VEHMAS-hankkeesta on tuotettu seuraavat tuotokset ja saatu johtopäätöksiä ja toimintasuosituksia:

- Ilmastonmuutoksen myötä viljelykasvien satopotentiaali kasvaa merkittävästi Suomen kasvuoloissa, mutta potentiaalinen realisoiminen korkeampina hehtaarisatoina edellyttää riittävää kasvuston veden-
saantia. Tämän turvaaminen onkin eräs keskeinen ilmastonmuutokseen sopeutumisen toimenpide.
Varautuminen edellyttää riittävän aikaisia toimenpiteitä peltoviljelykasveille soveltuvien vesitalouden
hallintajärjestelmien kehittämiseksi, yhteiskunnan tukea ja poliittisia kannustimia.
- Suomella on runsaat vesivarannot ja kolmannes pelloistamme sijaitsee vesistön (järvet, joet, valta-
ojat) välittömässä läheisyydessä, puolet korkeintaan 100 metrin päässä. Tämä tarkoittaa, että pelloil-
lamme on poikkeuksellinen, noin 1 miljoonan hehtaarin kattava kastelupotentiaali. Kastelupotentiaa-
lin hyödynnettävyyteen ja kustannuksiin vaikuttavat markkinat, hinnat, politiikkatoimet sekä niissä
tapahtuvat muutokset.
- Kastelutarve voi olla hetkellinen mutta hyvin suuri johtuen pitkän päivän kasveillemme aiheuttamas-
ta nopeasta kehitysrytmistä ja kuivuusjaksojen ajoittumisesta juuri sadon rakentumisen kannalta
kriittisimpään kasvuvaiheeseen. Tämä voi tarkoittaa, että kasteluun käytettävissä oleva vesimäärä on
riittämätön suhteessa potentiaaliseen kastelualaan. Tulostemme perusteella onkin tarpeen tehdä
jatkotutkimuksia kestävä veden käytön varmistamiseksi ja potentiaalisen kastelualan tarkentami-
seksi käytettävissä olevaan kasteluveden määrään perustuen.
- AquaCrop-mallia soveltuu myös alustavien tutkimustemme valossa Suomen kasvuoloihin ja sillä on
potentiaalia laajaan sovellettavuuteen, mutta mallin laajempi hyödyntäminen vaatii edelleen jatko-
työtä, mitä tehdään yhteistyössä COST ES1106 -verkostossa.
- Suomen maannosnimien tarkentamiseksi tehdyn kartoituksen tulosten perusteella muodostettiin
uudet maannosnimet, joissa maan märkyys on otettu aiempaa paremmin huomioon. Luokittelun tär-
kein muutos oli *Cambisols* tyyppisten maannosten luokittelu monesti *Stagnosols*-luokkaan. Tarken-
nus on merkittävä, sillä maannostietoja käytetään mm. päätöksenteossa.

- Maaperäfyysikaalisen tietokannan päivitys laajensi sen tietojen alueellista kattavuutta. Mittaustietoihin liitettiin paikkatieto, mikä edesauttaa tietojen kytkentää muuhun samalta alueelta tuotettuun tietoon. Maannos- ja maaperäfyysikaalinen tietokanta tulevat yleiseen käyttöön MTT:n palvelimelle. Tietokannan päivittäminen helpottaa merkittävästi maaperäfyysikaalisen tiedon saantia mm. maatalouden kasvintuotantoon ja ympäristökysymyksiin liittyvässä mallinnustyössä.
- Lohkotason tarkastelun perusteella todettiin, että paikkakohtaista satoa ei voida ennustaa pelkästään savimaan vesitalousominaisuuksien perusteella. Tulos painotti sitä, että käytännön viljelyssä on tärkeä tunnistaa maan vesitalousominaisuuksien vaikutus sadon tuottoon, mutta samalla on tiedostettava ominaisuuksien vaikutuksen ajallinen vaihtelu. Tietoa hyödynnetään kehitettäessä mallinnustyökälyä viljelypanosten kohdentamiseen täsmäviljelyssä.
- Muokkausmenetelmän valinnalla voidaan vaikuttaa savimaan kosteusoloihin kasvukauden aikana. Siirtymällä kevennettyyn muokkaukseen tai suorakylvöön voidaan todennäköisesti korvata osa kastelutarpeesta kuivana alkukasvukautena, mutta päätökset on tehtävä lohko-kohtaisesti. Tulosten perusteella maan rakenne ja vesitalousominaisuudet on otettava huomioon valittaessa muokkaustapaa. Muokkauksen keventäminen edellyttää, että maan rakenne on hyvä ja lohkon kuivatus kunnossa, jotta maa toimii myös sateisina kasvukausina.
- Hietamaan pitkittynyt märkyys voi haitata viljojen ja rypsin itämistä merkittävästi enemmän kuin muruisen savimaan märkyys. Suomessa on tutkittu karkeiden maiden rakennetta ja fyysikaalisia ominaisuuksia selvästi vähemmän kuin savimaiden. Hietamaan märkyysongelmien selvittäminen vaatisi-kin lisätutkimusta.

4.2. Tulosten tieteellinen merkitys

Hankkeessa tuotettiin monitieteisyyttä hyödyntäen ensimmäinen laaja käsitys peltokasvien tuotannon vesitalouden hallinnan mahdollisuuksista ja potentiaalisista vaikuttavuuksista. Hankkeen tulokset ovat aiheen tieteellisen keskustelun avaus Suomessa. Vaikka vain osa hankkeesta laadituista artikkeleista on tähän mennessä julkaistu, laadittujen käsikirjoitusten määrä kuvastaa tehtyjen tutkimusten hyvää tieteellistä tasoa. Tiedeyhteisön kannalta on merkittävää, että hankkeessa tietokantoihin koottua tietoa voidaan hyödyntää jatkotutkimuksissa ja mm. maan vesitalouteen liittyvässä mallinnuksessa. Tutkimusryhmän tieteellisen työn kannalta tärkeää on hankkeen aikana luodut verkostot ja aloitettu kansainvälinen tutkimusyhteistyö.

Loppuraportti

PELTOVILJELYN VESITALOUDEN HALLINNAN KÄYTÄNNÖN TOIMET ENERGIAN JA RAVINTEIDEN KÄYTÖN
TEHOSTAMISEKSI ILMASTON MUUTTUESSA
VEHMAS
WATER MANAGEMENT SYSTEMS TO IMPROVE ENERGY AND NUTRIENT USE EFFICIENCY OF FIELD CROP
PRODUCTION IN CHANGING CLIMATE

Vastuuorganisaatio	Helsingin yliopisto, Maataloustieteiden laitos	
	Professori Laura Alakukku	
	PL 28 00014 Helsingin yliopisto	
	+358294158682	
Kesto	2011–2014 (loppuraportti 30.9.2014)	
Rahoitus	Kokonaiskustannukset	315 135 €
	MMM:ltä saatu rahoitus	160 000 €
	Helsingin yliopiston omarahoitus	49 438 €
	MTT:n omarahoitus	105 697 €

Tiivistelmä

Hankkeen tavoitteena oli löytää ne käytännön ratkaisut, joilla voitetaan ilmastonmuutoksen myötä yhä voimistuvat peltokasvien kasvukauden aikaiseen vesitalouden hallintaan liittyvät riskit ja parannetaan kestävästi maataloustuotantomme energian ja ravinteiden käytön tehokkuutta, tuottavuutta ja kilpailukykyä sekä vahvistetaan asemaamme Euroopassa.

Tutkimme niin pitkäaikaisaineistoja kuin mallinnusta hyödyntäen, miten satoisuus voisi kehittyä tulevaisuudessa, ilmaston muuttuessa, riippuen vedensaatavuudesta. Tulostemme perusteella viljelykasvien tuotantokyvyn kasvu voisi olla merkittävä. Sadannassa tapahtuvat muutokset eivät kuitenkaan mahdollista nykyennusteiden valossa riittävää ja oikea-aikaista kasvuston veden saantia, mikä tulee merkittävästi laskemaan satoennusteita. Kasvuston vedensaannin turvaaminen onkin eräs keskeinen ilmastonmuutokseen sopeutumisen toimenpide. Varautuminen edellyttää riittävän aikaisia toimenpiteitä peltoviljelykasveille soveltuvien vesitalouden hallintajärjestelmien kehittämiseksi, yhteiskunnan tukea ja poliittisia kannustimia.

Asiantuntijajaneelin työn tuloksena tehty SWOT-analyysi osoitti, että kastelumenetelmien mahdollisuudet priorisoituivat ryhmänä vahvuuksien, heikkouksien ja uhkien yli, joskin myös uhkatekijät priorisoituivat korkealle. Yksittäisistä arvioituista tekijöistä odotettavissa oleva hyvä satovaste oli merkittävin vahvuus. Maan vuokraukseen liittyvä viljelijöiden haluttomuus perusparannuksiin ja investointeihin koettiin merkittävimmäksi heikkoudeksi. Kasvava kysyntä ruoasta koettiin mahdollisuudeksi, samoin ruoan kysynnän kasvun mahdolliset vaikutukset maataloustuotannon kannattavuuteen. Uhaksi puolestaan koettiin mahdolliset muutokset veden omistajuudessa ja oikeudessa käyttää vettä kasteluun.

Suomen yli miljoonasta peruslohkosta jopa kolmasosa (vajaa 750 000 ha) on suorassa kosketuksessa vesistöön (järvi, joki tai valtaoja) ja puolet on vähintään 100 metrin (reilu 1,1 milj. ha) ja kolme neljännestä 300 metrin (reilu 1,7 milj. ha) päässä vesistöstä. Tulokset valottivat suomalaisten peltojen hyvää kastelupotentiaalia ja miten suuri merkitys tällä saattaa olla ilmastonmuutokseen sopeuduttaessa. Toisaalta ne paljastivat myös huolen vesivarantojen riittävyydestä tilanteessa, jossa ankara, kasvien kasvun kannalta kriittisimpiin ajankohtiin osunut kuivuus tarkoittaisi hetkellistä, suurta kastelu- ja siten vedentarvetta. Kastelupotentiaalin hyödynnettävyyteen ja kustannuksiin vaikuttavat markkinat, hinnat, politiikkatoimet sekä niissä tapahtuvat muutokset.

Lohkotason tarkastelun perusteella todettiin, että paikkakohtaista satoa ei voida ennustaa pelkästään savimaan vesitalousominaisuuksien perusteella. Sadon vaihteluun vaikuttavat maan ominaisuuksien ohella merkittävästi mm. sateiden määrä ja ajoittuminen suhteessa kasvin kehitykseen. Tulos painotti sitä, että käytännön viljelyssä on tärkeä tunnistaa maan vesitalousominaisuuksien vaikutus sadon tuottoon, mutta samalla on tiedostettava ominaisuuksien vaikutuksen ajallinen vaihtelu.

Muokkausmenetelmien vaikutusta savimaan vesitalouteen ja kasvien satoon tarkasteltiin MTT:n pitkäaikaiskokeiden tulosten perusteella. Tarkastelun perusteella voidaan todeta, että muokkauksen keventäminen tai suorakylvöön siirtyminen vähentävät alkukesän kuivuuden vaikutusta viljan satoon. Sateisina kasvukausina satotappiot voivat olla kuitenkin etenkin suorakylvössä huomattavat kyntöön verrattuna. Muokkausmenetelmävalinnalla voidaan vaikuttaa savimaan vesitalouteen ja korvata todennäköisesti osa kastelutarpeesta kuivana alkukasvukautena, mutta päätökset on tehtävä lohkokohtaisesti.

Hankkeessa päivitettiin maannos- ja maaperäfyysikaalinen tietokanta. Maannostietokannan kartoituksen perustella muodostettiin uudet maannosnimet, joissa maan märkyys on otettu huomioon. Tärkein muutos oli *Cambisols* tyyppisten maannosten luokittelu monesti *Stagnosols*-luokkaan. Aiempaan maaperäfyysikaaliseen tietokantaan lisättiin mittaustuloksia maaperästä ja maaperätietoon liitettiin paikkatieto. Tietokantoja hyödynnetään mm. maan vesitalouden mallinnuksessa. Tietokannat tulevat julkiseen käyttöön v. 2014 aikana MTT:n palvelimelle.

Kastelutarve voi olla hetkellisesti hyvin suuri. Tämä voi tarkoittaa, että kasteluun käytettävissä oleva vesimäärä on riittämätön suhteessa potentiaaliseen kastelualaan. Tulostemme perusteella onkin tarpeen tehdä jatkotutkimuksia kestävä veden käytön varmistamiseksi ja potentiaalisen kastelualan tarkentamiseksi käytettävissä olevaan kasteluveden määrään perustuen.

Hankkeessa tuotettiin monitieteisyyttä hyödyntäen ensimmäinen laaja käsitys peltokasvien tuotannon vesitalouden hallinnan mahdollisuuksista ja potentiaalisista vaikuttavuuksista. Hankkeen tulokset ovat aiheen tieteellisen keskustelun avaus Suomessa.