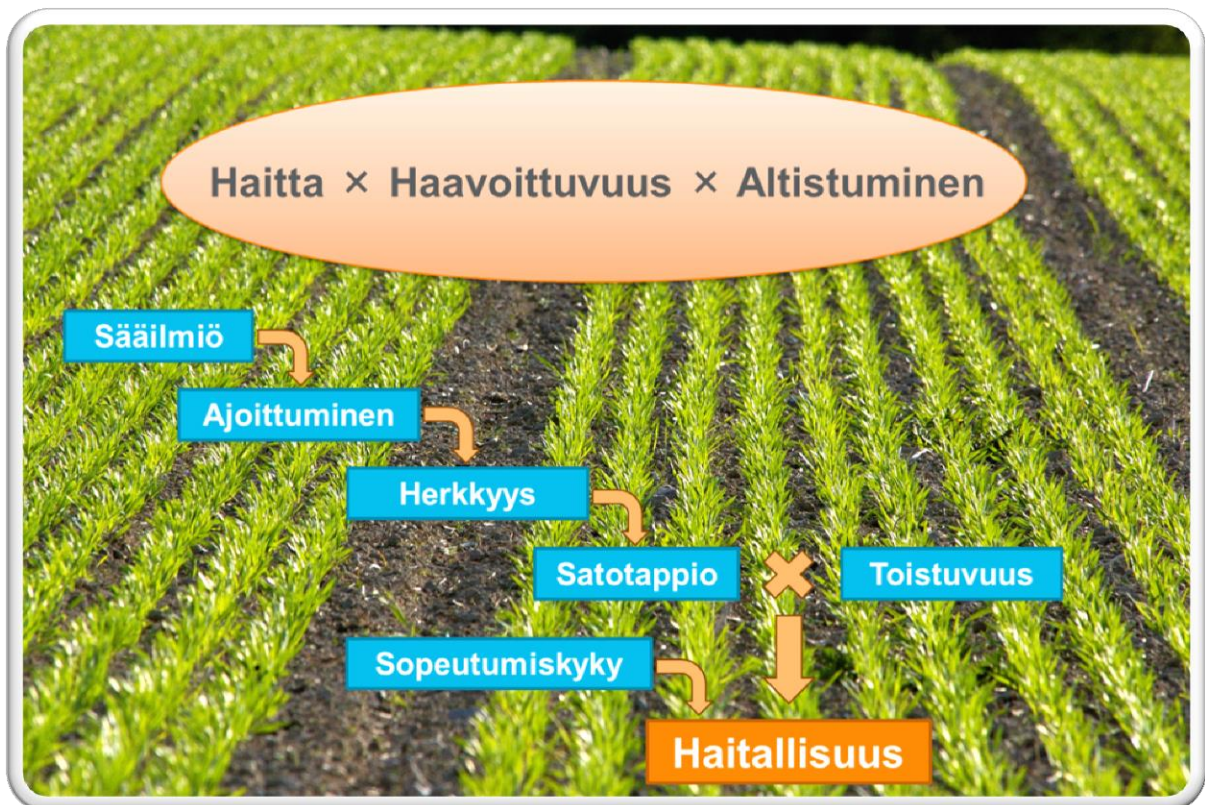


Säävaihtelun ja ääri-ilmiöiden aiheuttamien riskien hallinta haavoittuvuuden vähentämiseksi ja puskurointi- ja palautumiskyvyn parantamiseksi

ILMAPUSKURI



LOPPURAPORTTI

Säävaihtelun ja ääri-ilmiöiden aiheuttamien riskien hallinta haavoittuvuuden vähentämiseksi ja puskurointi- ja palautumiskyvyn parantamiseksi

ILMAPUSKURI

1. Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

ILMAPUSKURI-hankkeessa tutkittiin kuinka sopeutumistoimilla voidaan parantaa maatalouden tuotantojärjestelmiä ja -menetelmiä, vähentää haavoittuvuutta ja parantaa ilmastonkestävyyttä, kun ilmastonmuutos etenee ja säävaihtelut sekä sään ääri-ilmiöt yleistyvät ja ilmiöiden voimakkuus muuttuu. Onnistunut varautuminen edellyttää, että meidän tulee kehittää ja integroida hyvinkin erilaisia sopeuttamistoimia eri alueilla ja aikajäniteillä. Toisaalta aiempienkin tutkimusten valossa sopeutumistarpeiden kirjo on laaja. Siksi ILMAPUSKURI-hankkeen eräs avaintavoite oli priorisoida tärkeimmät maataloustuotannon säähaitat tuotantoalueesta riippuen. Näin sopeuttamistoimet voidaan ensisijaisesti kohdentaa kriittisimpien säähaittojen vaikutusten vähentämiseen. Siten hankkeen tavoitteena oli löytää keinot maatalouden haavoittuvuuden vähentämiseksi ja ilmastonkestävyyden parantamiseksi. Tutkimusten pääpaino oli kasvintuotannossa, mutta tutkimuksissa tarkasteltiin myös kasvinviljelyn ja kotieläintuotannon vahvemman synergian merkitystä säävaihtelun aiheuttamien riskien hallintaan – nurmirehutuotantoon ja maankäytön monipuolistamiseen liittyen. Tästä on saatu aiemmin kannustavia tuloksia muualta Euroopasta¹.

Yksi keskeisistä tavoitteista oli tuottaa konkreettinen arvio siitä, mitä maailman laajuinen 2 ja 4 °C ilmaston lämpeneminen, sekä tällaiseen muutokseen liittyvät säävaihtelut ja sään ääri-ilmiöt merkitsevät Suomen maataloudelle. Tuotettu tutkimustieto palvelee maatalousyrittäjien ennakoitua, sopeutumistoimien kohdentamista ja aikatauluttamista sekä maatalouspolitiikan suunnittelua. Kaiken kaikkiaan hankkeen tavoitteena oli löytää sopeutumiskeinot hallittuun ja kokonaisvaltaiseen ilmastonmuutokseen. Ilmaston muutoksen sopeutumistutkimusohjelman (ISTO) synteesiraportin mukaan tällaista tietoa ei ole tuotettu aiemmissä hankkeissa.

Tarvittaviin sopeutumistoimiin vaikuttaa oleellisesti se, millaiseen ilmastonmuutokseen sekä millaisiin ilmastonmuutoksen aiheuttamiin riskeihin pyrimme varautumaan. Tätä varten hankkeessa kehitettiin kasvituotannon riskien arviointiin soveltuvaa systeemitason mallia. Hankkeen tuottamaa tietoa tarvitaan varauduttaessa ja sopeuduttaessa mahdolliseen säävaihteluiden kasvuun ja ääri-ilmiöiden yleistymiseen. Tätä tietoa voidaan hyödyntää tilatason riskienhallintaratkaisuihin sekä kansallisen maatalous-, energia- ja ilmastopolitiikan päätöksenteon tukena.

Johtuen merkittävästä rahoituksen leikkaamisesta ja myöntökirjeessä ilmaistusta rahoituksen kohdentamiseen liittyvästä rajauksesta hankkeen alkuperäinen, satovahinkojen korvauksiin painottunut taluspainotteinen tutkimusosio jätettiin pois tutkimuksista ohjausryhmän puoltamana.

¹ Reidsma P, Ewert F, Lansink AO (2007). Analysis of farm performances in Europe under different climate and management conditions to improve understanding of adaptive capacity. *Clim Change* 84:403-422.

2. Tutkimusosapuolet ja yhteistyö

Hanke toteutettiin yhteistyössä Luonnonvarakeskuksen (Luke) ja Ilmatieteen laitoksen (IL) kanssa. Hankkeen vastuullisena johtajana toimi professori Pirjo Peltonen-Sainio Lukesta. Hanke koostui alun perin neljästä työpaketista, joista vain kolme toteutettiin rahoitusleikkauksen vuoksi. Seuraavassa esitetään kunkin työpaketin päätoteuttajat sekä alityöpaketit

TP1. Ilmaston ja sään ääri-ilmiöiden esiintymisen ja voimakkuuden muutos

- IL: Ari Venäläinen, Pentti Pirinen, Hanna Mäkelä, Kimmo Ruosteenoja, Otto Hyvärinen, Mikko Laapas, Seppo Saku, Kirsti Jylhä ja Hilppa Gregow
- TP1.1 Ilmastonmuutosennusteet sekä niihin liittyvät suurten lumenkertymien, sademäärien, kuivuusriskin sekä kasvukauden pituuden ja lämpösumman muutokset
- TP1.2 Kasvuolosuhteiden kannalta oleellisten säätekijöiden toistuvuusaikojen alueellinen tarkastelu
- TP1.3 Tapaustutkimukset vaikuttavimmista sääjaksoista

TP2. Ilmastonmuutoksen, säänvaihtelun ja ääri-ilmiöiden aiheuttaminen haittojen hallinta maataloudessa

- Luke: Pirjo Peltonen-Sainio, Lauri Jauhiainen, Taru Palosuo, Erja Huusela-Veistola, Panu Korhonen, Janne Kaseva, Perttu Virkajärvi, Hannu Ojanen, Kaija Hakala, Timo Kaukoranta, Reimund Rötter, Fulu Tao, Marja Jalli
- TP2.1. Poikkeavat olot ja niiden vaikutukset kasvintuotantoon ja tuotantoepävarmuuteen
- TP2.2. Tulevaisuuden pellon käyttö ja tuotantojärjestelmät, niiden haavoittuvuus ja herkkyys säävaihteluille ja ääri-ilmiöille, ml. puskurointi- ja palautumiskyky
- TP2.3. Mallinnustyökalujen kehittäminen systeemitaso tarkasteluun

TP3. Synteesi ja tiedottaminen

- Luke: Pirjo Peltonen-Sainio ja koko tutkimusryhmä
- Tulosten yhteenveto, niistä viestiminen niin kotimaassa kuin kansainvälisesti sekä tutkimusverkostojen ja yhteistyön laajentaminen

Hankkeen ohjausryhmän jäseniä olivat: Birgitta Vainio-Mattila (MMM, puheenjohtaja), Ilmo Aronen (Raisio-Agro), Juha Mantila (Huoltovarmuuskeskus), Liisa Pietola (MTK), Jouni Räisänen (HY), Juha Salopelto (Hankkija-Maatalous) ja Anne Vainio (MMM).

3. Tutkimuksen tulokset

Hankkeen tutkimukset tuottivat kattavan, eri aineistoja ja aiempien tutkimusten tuottamia tuloksia integroivan yhteenvedon eri tuotantokasvir ryhmien alttiudesta lukuisille eri säähaitoille ja vahvistivat tutkimushypoteesin mukaista käsitystä monipuolisen viljelyn myönteisistä vaikutuksista ilmastokestävyyteen. Sääaineistot räätälöitiin hankkeen tarpeiden mukaisesti hyödyntäen kuitenkin suuruuden edun periaatetta: samanaikaisesti, ilman merkittäviä lisäkustannuksia tuotetut eri sääilmiöiden toistuvuutta kuvaavat aineistot eivät kattaneet vain haitallisuustutkimuksissamme kriittisiksi osoitettuja

lyhyehköjä ajanjaksoja vaan huomattavasti tätä laajemmin aikajänteen kuten esimerkiksi termisen kasvukauden. Tällöin tuotetut ja julkaistut, avoimeen käyttöön viedyt aineistot^{2,3,4} ovat myös sellaisenaan tulevien tutkimusprojektien hyödynnettävissä. Myös viljelykiertomallien kehittäminen tukee laajasti alan nykyisiä ja tulevia tutkimustarpeita.

3.1. Tutkimusmenetelmät ja aineisto

3.1.1. Haitalliset säätekijät ja kyky puskuroida niitä maataloudessa

Hallitustenvälisen ilmastomuutospaneelin IPCC viides arviointiraportti määritteli riskin koostuvan kolmesta osatekijästä, joita ovat haitta (*hazard*), haavoittuvuus (*vulnerability*) ja altistuminen (*exposure*). Hyödynsimme ILMAPUSKURI-tutkimuksissa samankaltaista lähestymistapaa, jossa 1) haitallinen sääilmiö 2) ajoittuu tiettyyn kasvun vaiheeseen ja 3) ajankohdasta riippuen kasvusto eroaa herkkyydessään säähaitalle, josta riippuu 4) syntyvän satotappion suuruus joka kerrotaan 5) säähaitan toistuvuudella kyseisenä ajankohtana ja saadaan käsitys 6) ilmiön haitallisuudesta, jota 7) hyvä sopeutumiskyky voi merkittävästi lieventää. Sääilmiöiden haitallisuusarvio tehtiin erikseen kolmelle eri alueelle Suomessa: 1) eteläinen ja lounainen rannikkoseutu, 2) läntiseltä rannikolta Etelä-Savoon sekä 3) Pohjanmaalta Pohjois-Savoon ja Pohjois-Karjalaan ulottuva alue. Lisäksi arvio tehtiin keskimääräisessä ja pahimmassa tilanteessa, joista jälkimmäisessä dokumentoitu suurin satotappio kerrottiin alueella esiintyneellä suurimmalla sääilmiön todennäköisyydellä. Käytetty lähestymistapa, joka on esitetty tämän raportin kansikuvana, soveltui hyvin sopeutumisen avainkohteiden tunnistukseen tavoiteltaessa ilmastokestävyyttä.

Kirjallisuuteen perustuva kartoitus säähaittojen satotappiovaikutuksista. Teimme julkaistuihin artikkeleihin nojaavan, kattavan kartoituksen sääilmiöiden aiheuttamista satotappioista Suomessa. Aineistona hyödynsimme tieteellisiä julkaisuja ja niiden puuttuessa asiantuntijoiden laatimia raportteja. Muun dokumentoidun tiedon puuttuessa hyödynsimme vähissä määrin myös teoreettiselta pohjalta vakuuttavaa perimätietoa. Työ tehtiin neljällä eri pääkasviryhmällä: viljat, syysviljat, öljykasvit sekä nurmet. Tavoitteena oli sisällyttää analyysiin myös herne ja härkäpapu edustamaan palkoviljoja, mutta julkaistu tulosaineisto oli näiden lajien satotappiovaikutusten osalta liian aukkoinen ja epävarma eikä tietoaukkoja onnistuttu täyttämään riittävässä määrin Virallisin lajikekoeaineistoin, koska nekin osoittautuivat liian rajallisiksi. Siksi valkuaiskasveja edusti tutkimuksissamme rypsi ja rapsi. Koostettu tietomäärä on muilta osin laaja. Säähaittojen aiheuttamat satotappiot arvioitiin tärkeimpien kasvutapahtumien kautta. Kevätviljoilla ja öljykasveilla näitä olivat kylvöjen viivästyminen, epätasainen kasvuun lähtö, suora satotappio satopotentiaalain määräytymisen aikaan, laadun heikkeneminen, lakoontuminen, myöhästynyt tai epäonnistunut korjuu sekä eräiden sääyhteyksiltään hyvin dokumentoitujen, tapaustutkimuksina hyödynnettyjen tautien ja tuholaisien runsas esiintyminen. Laadussa tapahtuneet muutokset tehtiin vertailukelpoisiksi muiden

² Peltonen-Sainio P, Pirinen P, Mäkelä HM, ym. (2016). Spatial and temporal variation in weather events critical for boreal agriculture: I Elevated temperatures. *Agric Food Sci* 25:44-56.

³ Peltonen-Sainio P, Pirinen P, Mäkelä HM, ym. (2016). Spatial and temporal variation in weather events critical for boreal agriculture: II Precipitation. *Agric Food Sci* 25:57-70.

⁴ Peltonen-Sainio P, Pirinen P, Laapas M, ym. (2016). Spatial and temporal variation in weather events critical for boreal agriculture: III Frost and winter time fluctuation. *Agric Food Sci* 25:71-80.

satotappioiden kanssa erilaisia laskennallisia menetelmiä hyödyntäen. Syysviljoilla tarkasteltavia kasvutapahtumia olivat: kylvöjen viivästyminen, suora satotappio, laadun heikkeneminen, lakoontuminen, talvihuhot sekä kahukärpästuhot syksyllä. Nurmilla satotappiot kytkeytyivät heikkoon kasvuun lähtöön keväällä, laadun heikkenemiseen, suojaviljojen lakoontumiseen, korjuun myöhästymiseen tai epäonnistumiseen sekä talvihuhoihin.

Tietoaukkojen tunnistaminen ja täyttäminen. Kun yllämainitun kirjallisuuteen perustuneen haitallisuusarvioinnin myötä, esimerkiksi verrattaessa eri kasvilajeista saatua tulostietoutta, havaittiin epäjohdonmukaisuutta tai kirjallisuudessa löytyneistä, merkittävistä säähaitoista ei ollut täsmällistä satotappiotietoa, teimme lisäanalyysjä Virallisia lajikekoeaineistoja hyödyntäen ja täydensimme ilmenneet tietoaukot ja siten yhtenäistimme säähaittoja kuvaavat tulosaineistot. Eräs esimerkki on lakoontuminen, jonka tiedostetaan aiheuttavan satotappioita kaikilla tutkituilla kasviryhmillä. Lakoontumisen aiheuttamista satotappioista ei kuitenkaan löytynyt lajivertailun mahdollistavia riittävän edustavia ja tarkkoja tietoja. Siksi analysoimme käytännössä kaikki lakaisuuden eri kasvilajeille aiheuttamat satomenetykset lisäanalyyssein.

Maataloudessa tunnistettujen säähaittojen toistuvuus. Yllä kuvattuun liittyen IL analysoi säähavaintopohjalta haitallisten säämuuttujien esiintymistodennäköisyydet. Tarkastelu tehtiin Suomen alueelle 10 km hilaruudukkoon interpoloitujen sääasemilla mitattujen säätietojen pohjalta. Hilamuotoisen aineiston käyttö varmisti analyysien hyvän alueellisen kattavuuden. Aineistot olivat vuosilta 1961–2014. Keskimääräisiä oloja kuvaava vertailujakso oli 1981–2010. Tuhohyönteisten leviämisen otollisten olosuhteiden tarkastelu pohjautui Euroopan keskipitkien ennusteiden keskuksen (ECMWF) laatimiin säätilannetta kuvaaviin uusanalyysiaineistoihin, jotka tunnetaan lyhenteellä ERA-Interim. Tarkastelu jaksona olivat vuodet 1979–2009. Roudan osalta tarkastelu tehtiin yhdeksällä IL:n havaintoasemalla tehtyjen mittausten pohjalta.

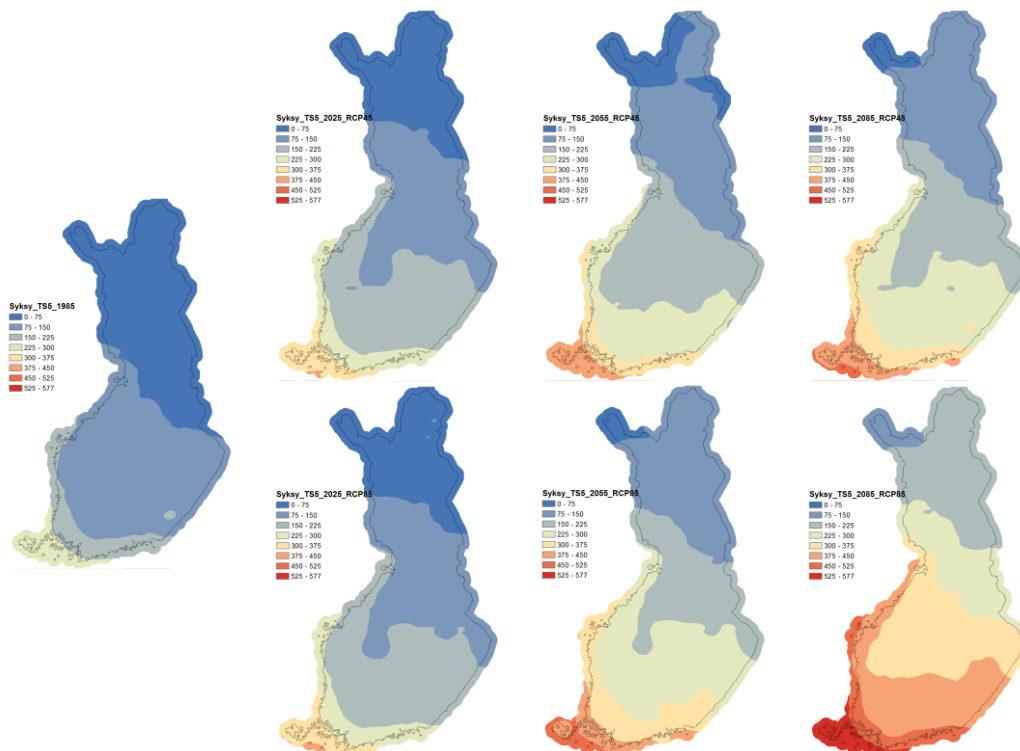
3.1.2. Ilmastonmuutokseen varautuminen ja ilmastokestävyyden parantaminen

Ilmastokestävyyden parantaminen. Eräs päähypoteeseistamme oli, että maatalouden monimuotoistaminen on keino, jolla voidaan monien muiden tuotanto- ja ympäristöhyötyjen ohella vähentää maatalouden haavoittuvuutta nyt ja tulevaisuudessa ilmaston muuttuessa. Hypoteesia testattiin edellä (3.1.1.) kuvatuin tutkimuksin, joissa tunnistettiin eri säänriskit ja tunnistettiin eri pääkasviryhmiä herkkyys-, altistumis- ja haavoittuvuuserot. Lisätäksemme tarkkuutta pääkasviryhmiä yksittäisiin kasvilajeihin hyödynsimme faktorianalyysiä ja Virallisia lajikekoeaineistoja.

Ilmastonmuutosennusteet. Tulevien vuosikymmenien ilmasto voidaan arvioida maailmanlaajuisilla ilmastomalleilla tehtävien laskelmien avulla. Tällaisia mallilaskelmia tekevät tutkimuskeskukset jakavat tuottamansa aineistot niitä tarvitsevien käyttöön. IL on koonnut noin 30 eri tutkimuslaitoksen tekemät ilmastoskenaariot. Tässä hankkeessa esitetyt tulevaisuusarviot pohjautuivat näihin skenaarioihin. Ilmastonmuutoksen suuruus riippuu kasvihuonekaasujen päästöjen kehittymisestä, jota ei voida tietää etukäteen. Onkin luotu useita vaihtoehtoisia kasvihuonekaasuskenaarioita, joissa maapallon väestömäärä, elintaso, energian kulutus ja tuotanto kehittyvät eri tavoin. Nykyisin ilmastomalleja ajettaessa käytetään neljää RCP (Representative Concentration Pathways) -pitoisuuksien kehityskulun skenaariota. Näistä pahimman vaihtoehdon (RCP8.5-skenaario) mukaan hiilidioksidin päästöt kasvaisivat tämän vuosisadan kuluessa

kolminkertaisiksi. Muut skenaariot olettavat maailmanlaajuisten päästöjen kääntyvän laskuun jossakin vaiheessa tämän vuosisadan aikana ja esimerkiksi RCP4.5-skenaariion mukaan vuoden 2040 tienoilla. Vuoden 2015 lopulla tehdyn Pariisin ilmastopöytäkirjan mukaan pyritään päästöjen vähentämisessä vielä nopeampaan aikatauluun. Tarkastelut tehtiin kolmelle 30-vuoden mittaiselle jaksolle 2010–2039, 2040–2069 ja 2070–2099.

Tapaustutkimus I: Lämpenevien syksyjen hyödyntäminen. Perustuen yllä kuvattuihin ilmastomuutosennusteisiin syksyjen voi ennakoita lämpenevän merkittävästi (Kuva 1) mutta muuttuvan myös keskimäärin sateisemmiksi nykyhetkeen verrattuna. Arvioimme kasvinviljelyn mahdollisuuksia hyötyä lämpenevistä syksyistä aikaistuvien kevätkylvöjen rinnalla, punnitsemalla saatavia hyötyjä potentiaalsiin riskeihin. Työssä hyödynnettiin ilmastomuutosennusteita, mallinnusta sekä erilaisia tulosaineistoja. Pitkäaikaisaineistoista saimme tarkentuneen käsityksen pitkittyneiden kasvukausien sato- ja laatuvaikutuksista sekä lakoontumisen riskistä, mitkä poikkesivat riippuen kasvudynamiikasta kasvukaudella. Aikaisempien hankkeiden tuottamaa tietoutta hyödyntäen päivitimme ja tarkensimme käsitystä viivästyviin puinteihin liittyvistä riskeistä sekä kuivaustarpeen mahdollisen kasvun aiheuttamista kustannuksista ja ilmastovaikutuksista. Mallinnuksella arvioitiin teoreettista lisäsaton tuottokykyä yllä mainituissa ilmastoskenaariossa olettaen, että voisimme hyödyntää tulevaisuudessa lajikkeita, jotka kylvetään nykyistä aikaisemmin mutta korjataan myös vastaavasti nykyistä korjuuajankohdan riskirajaa (15.9.) myöhemmin. Oletuksena oli kylvöjen aikaistuminen noin kahdella viikolla jaksoon 2025, noin kolmella jakssoon 2055 ja neljällä viikolla jakssoon 2085 mennessä sekä kasvustojen tuleentumisen viivästyminen vastaavasti kullakin aikajänteellä.



Kuva 1. Lämpösunnakkertymä (> +5 °C) elo- ja syyskuun aikana ennen (1985, vasen kartta) ja tulevaisuudessa (2025, 2055, 2085; ±15 vuotta) vähä- (RCP4.5 yllä) ja runsaspääteisessä ilmastoskenaariossa (RCP8.5 alla).

Tapaustutkimus II: Kuivuuteen varautuminen. Alkukasvukauden kuivuuteen liittyvät haasteet nousivat vahvasti esiin historia-aineistoihin perustuvassa säätekijöiden haavoittuvuusarvioinnissa^{3,5}. Teimme erityistarkastelun kuivuusriskin merkityksen muutoksista tulevaisuudessa hyödyntäen Virallisia lajikekoeaineistoja, mallinnusta sekä yllä mainittuja ilmastonmuutosennusteita.

Mallinnustyökalujen kehittäminen systeemitason tarkasteluun. Hankkeessa kehitettiin, testattiin ja sovellettiin viljelykasvien kasvun simulointimallityökaluja, joita käytetään ilmastonmuutoksen vaikutusten arvioimiseen kasvintuotannossa. Nämä mallit yhdistävät prosessikuvauksissaan tieteellistä tietoa kasvien, niiden ympäristön ja viljelytoimenpiteiden yhdysvaikutuksista. Hankkeessa muokattiin alueellisen tason MCWLA-mallia ja parametrisoitiin se Suomessa käytetyille kevät- ja syysvehnäajikkeille⁶. Mallissa kuvattua kukinnan herkkyyttä lämpöstressille kehitettiin edelleen. Jo aikaisemmin Suomen oloissa käytetyn WOFOST-mallin parametrisointia suomalaisille viljelykasveille jatkettiin⁷. Hankkeessa otettiin myös käyttöön alun perin Kanadassa kehitetty, timotein kasvua kuvaava CATIMO-malli, josta kehitettiin Suomen oloihin sopiva versio ja se kalibroitiin käyttäen suomalaisia ja muita pohjoismaisia aineistoja. Tämän mallin vahvuutena on, että siinä on biomassan määrän lisäksi myös rehun laatua kuvaavia muuttujia mukana, mikä on oleellinen ominaisuus yhdistettäessä mallituloksia taloudellisiin tarkasteluihin. Yhteistyössä norjalaisten, ruotsalaisten ja kanadalaisten tutkijoiden kanssa tehtiin timotein kasvua simuloivien mallien vertailututkimus⁸.

Mallien testauksessa ja kehitystyössä hyödynnettiin laajasti kansainvälisiä tutkimusverkostoja. Eurooppalainen FACCE-yhteisohjelma-aloitteen rahoittama MACSUR-Knowledge Hub -verkosto, Modelling European Agriculture with Climate Change for Food Security (www.macsur.eu) sekä kansainvälinen AgMIP-verkosto, the Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (www.agmip.org) mahdollistivat osallistumisen laajoihin mallien vertailu-, testaus- ja kehitystutkimuksiin, joissa hyödynnettiin kansainvälisesti ainutlaatuisia koeaineistoja.

Malleja ajettiin eri ilmastoskenaarioilla tulevaisuuden satotasojen ja ilmaston aiheuttaman tuotantoepävarmuuden arvioimiseksi Suomessa⁶ sekä maailmanlaajuisestikin⁹. Sopeutumistoimien vaikutusten mallintamista testattiin ohralla⁷. Hankkeessa kehitettiin myös menetelmiä simulointimallien käyttämiseksi kasvinjalostuksen tukena^{10,11}. Tällöin malleja käytetään tuottamaan tietoa muuttuvista ilmasto-olosuhteista ja muuttuvissa olosuhteissa suotuisista ja epäsuotuisista lajikeominaisuuksista.

⁵ Peltonen-Sainio P, Venäläinen A, Mäkelä HM, ym. (2016). Harmfulness of weather events and the adaptive capacity of farmers at high latitudes of Europe. *Clim Res* 67:221-240.

⁶ Tao F, Rötter RP, Palosuo T, ym. (2015). Assessing climate effects on wheat yield and water use in Finland using a super-ensemble-based probabilistic approach. *Clim Res* 65:23-37.

⁷ Palosuo T, Rötter RP, Salo T, ym. (2015). Effects of climate and historical adaptation measures on barley yield trends in Finland. *Clim Res* 65:221-236.

⁸ Korhonen P, Palosuo T, Persson T, ym. (2016). Intercomparison of models for simulating timothy yield in Northern countries. *Grassland Sci Eur* (hyväksytty)

⁹ Asseng S, Ewert F, Rosenzweig C, ym. (2013). Uncertainty in simulating wheat yields under climate change. *Nature Clim Change* 3:827-832.

¹⁰ Rötter RP, Tao F, Höhn J, Palosuo T (2015). Use of crop simulation modelling to aid ideotype design of future cereal cultivars *J Exp Bot* 66:3463-3476.

¹¹ Tao F, Rötter RP, Palosuo T, ym. (2016). Designing future barley ideotypes using a crop model ensemble. Käsikirjoitus lähetetty sarjaan.

3.2. Tutkimustulokset

3.2.1. Säätekijöiden haitallisuusvertailu historia-aineistojen perusteella

Suomessa sääolot vaihtelevat merkittävästi niin kasvukauden kuin talven aikana, mikä aiheuttaa merkittäviä riskejä maataloudelle. Ilmaston muuttuessa säävaihtelun ja ääri-ilmiöiden on ennakoitu lisääntyvän, mikä edellyttää maatalouden varautumista ilmastonmuutokseen sekä ilmastokestävyyden parantamista. Koska ilmastonmuutos etenee askeleittain, on todennäköistä, että nykyiset kasvintuotannon harjoittamisen kannalta merkittävimmät ilmatoriskit eivät sinällään merkittävästi muutu, vaikka niiden ankaruudessa, vaihtelussa ja ajoittumisessa tapahtuisikin muutoksia. Siksi kartoitimme laajan tutkimusaineiston myötä suuren joukon satotappioita aiheuttavia säähaittoja sekä priorisoimme ne. Näin sopeuttamistoimenpiteet osataan kohdentaa haitallisimpiin sääriskeihin. Haitallisuus arvioitiin kertomalla satotappiovaikutus sen aiheuttaneen säähaitan esiintymisen todennäköisyydellä. Näin tunnistimme kaikille pääkasviryhmillä haitallisimmat sääilmiöt Suomessa⁵.

Kevätviljoilla haitallisimpia sääilmiöitä ovat:

- kuivuus kasvustojen ja sadon rakentumisen aikaan sekä laatutappioiden myötä jyvien täytyessä
- kasvua viivästyttävä yöhalla alkukasvukaudella
- kohonneet lämpötilat sadon rakentuessa sekä jyvien täytyessä ja
- toistuvat sateet puintikaudella.

Öljykasveilla tärkeimpiä haittoja ovat:

- kirppatuhoja suosivat säät
- alkukesän yöhalla
- kohonneet lämpötilat ennen kukintaa ja sen aikana tai sen jälkeen
- kukinnan aikainen yöhalla sekä
- toistuvat sateet puintikaudella.

Syysviljoilla näitä ovat:

- talviturhoriskejä aiheuttavat lämpimät talviaikaiset jaksot, joita seuraa merkittävästi kylmempi jakso
- myöhäiseksi venynyt esikasvin puinti sekä
- kylvöjen viivästyminen jatkuvista syysateista johtuen.

Nurmilla tärkeimpiä säähaittoja ovat:

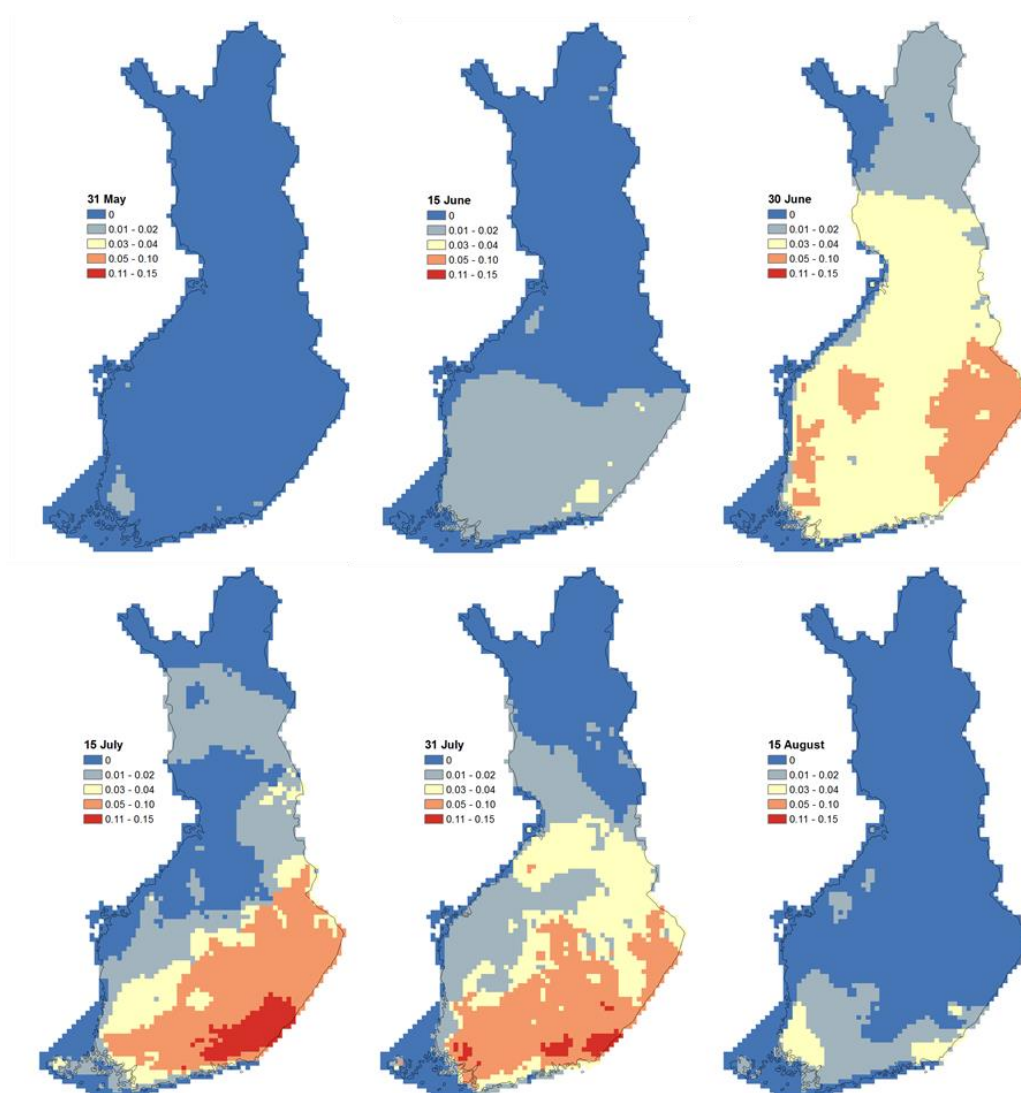
- vaihtelevat talviolot syysviljojen tapaan
- suojaviljan aikainen lakoontuminen runsaista sateista johtuen sekä
- nurmien jälleen kasvua rajoittavat kohonneet lämpötilat.

3.2.2. Sääilmiöiden alueellinen ja ajallinen vaihtelu

Haitallisuusvertailu⁵ tuotti suuren määrän hilapohjaisia kartta-aineistoja maataloudessa tunnistettujen haitallisten sääilmiöiden toistuvuuksista. Näistä kattavista aineistoista laadittiin trilogia. Siinä kuvattiin esimerkkien valossa, kuinka eri tutkimukset voivat hyötyä julkaistuista aineistoista. Julkaisuissa esitetään:

- todennäköisyydet kohonneille lämpötiloille (+1 °C, +2 °C, +3 °C) eripituisina jaksoina huhtikuun lopusta syyskuun loppuun, vähintään viisi päivää kestäville helleaalloille (Kuva 2) sekä hyönteismigraatiota suosiville lämpimille alkukesän tuulille²
- todennäköisyydet kahden ja kolmen viikon pituiselle kuivuudelle sekä runsaiden sateiden jaksoille huhtikuun puolivälistä syyskuun loppuun³ sekä
- todennäköisyydet roudan esiintymiselle ja myöhäiselle lumipeitteelle keväällä sekä lievälle, keskimääräiselle ja hyvin ankaralle yöhallalle maaliskuun alusta syyskuun loppuun sekä talviaikaiselle säävaihtelulle lämpimistä kylmiin jaksoihin⁴.

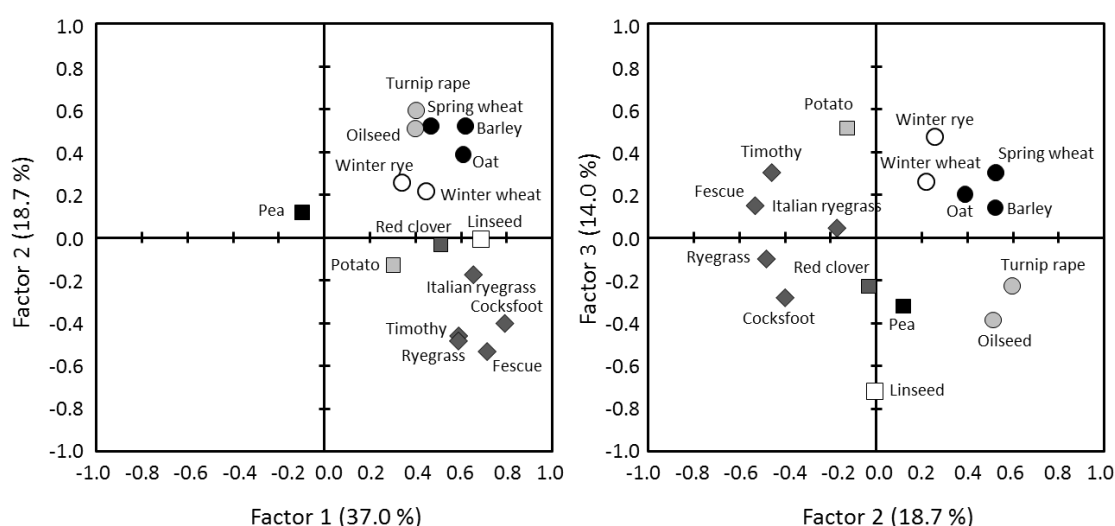
Tuotetut aineistot ovat erittäin monikäyttöisiä niin tutkimuksessa kuin tätä laajemminkin ja siksi ne kaikki päätettiin julkaista helposti kaikkien saataville, *open access* -julkaisuna.



Kuva 2. Erimerkkinä sääilmiöistä helteiden (> +25 °C viiden päivän ajan) ajallinen ja alueellinen todennäköisyyden vaihtelu toukokuun lopusta elokuulle².

3.2.3. Monimuotoisuuden merkitys maatalouden ilmastokestävyydelle

Tutkimuksemme osoittivat, että eri viljelykasviryhmittä poikkesivat tärkeimmiltä säähaitoiltaan (katso 3.2.1.). Tämä vahvisti käsitystä siitä, että viljelyn ja viljelykiertojen monipuolistaminen on merkittävä keino parantaa kasvintuotantomme ilmastokestävyyttä. Erot haitallisuuksissa johtuivat kasvilajien välisistä alttiuseroista, eroista kehitysrytmissä sekä kriittisimpien kehitysvaiheiden ajoittumisesta sekä eroista säähaittojen esiintymisen todennäköisyyksissä (katso kansikuva). Täydentävät, PeltoOptimi-hankkeen kanssa yhteistyössä tehdyt tutkimukset osoittivat lisäksi, että suomalaiset viljelykierrat ovat yksipuolistuneet erityisesti viljamonokulttuurin yleistyessä¹². Teimme jatkoanalyyskejä, joissa käytimme kasvilajikohtaista lähestymistapaa kasvilajiryhmien sijaan. Tarkastelu vahvisti entisestään käsityksiä monimuotoisen viljelyn tuottamista resilienssihyötyjen mahdollisuuksista. Analyysit paljastivat, että saman kasviryhmän lajien (esimerkiksi kevätiljat) satovasteet ovat keskenään varsin samankaltaisia, kun taas esimerkiksi herne poikkeaa vasteiltaan merkittävästi muista lajeista, mitä tukevat myös aikaisemmat tutkimuksemme¹³. Kaikki tutkimustuloksemme antavat viitettä tarpeesta monipuolistaa kiertoja aidosti, hyödyntämällä eri kasvilajeja todellisten ilmastokestävyyshyötyjen aikaan saamiseksi.



Kuva 3. Eri viljelykasvien satovasteiden erot faktorianalyysin perusteella¹². Mitä etäämpänä lajit ovat toisistaan, sitä enemmän ne eroavat satovasteiden dynamiikalta toisistaan.

3.2.4. Mallinnustyökalu systeemitason tarkasteluun

Kuten aikaisemmissakin tutkimuksissa¹⁴, myös mallintaa todettiin, että Suomessa tapahtunut ohran satotasojen nousu on pääosin lajikekehityksen ansiota⁷ ja ohran satokuilu, eli potentiaalisen ja viljelijöiden saavuttamien satotasojen ero, on kasvanut

¹² Peltonen-Sainio P, Jauhiainen L, Lehtonen H (2016). Land use, yield and quality changes of minor field crops: Is there superseded potential to be reinvented in northern Europe? Käsikirjoitus lähetetty sarjaan.

¹³ 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. *J Agric Sci* 149:49-62.

¹⁴ Peltonen-Sainio P, Salo T, Jauhiainen L, ym. (2015). Static yields and quality issues: Is the agri-environment program the primary driver? *AMBIO* 44:544-556.

viime vuosikymmeninä. Tulevaisuuden vehnäsatoja mallintaen⁶ havaittiin, että syys- ja kevätevehnän sadot kasvanevat tulevaisuudessa, kevätevehnän hyötyessä muuttuvasta ilmastosta syysvehnää enemmän. Lämpö- ja kuivuusstressi tulevat kuitenkin lisäämään satovaihteluita tulevaisuudessa. Timoteimallin kehitystyö Suomen olosuhteisiin eteni hyvin ja malli osoittautui timoteimallien testissä ja vertailussa suorituskyvyltään samantasoiseksi muiden mallien kanssa⁸.

Kansainvälisissä mallintajien verkostoissa kehitettiin edelleen menetelmiä, joilla viljelykasvien kasvun simulointimallit yhdistetään talousmalleihin tilatasolta globaalille tasolle¹⁵. Alueellisten satoennusteiden herkkyyttä käytetylle spatiaaliselle laskentayksikölle ja ilmastoaineistoille testattiin ja todettiin tulosten olevan samankaltaisia tutkituilla 1 km – 100 km yksiköillä¹⁶. Mallituloksiin liittyvää epävarmuutta ja mallien yhteiskäyttöä arvioitiin useissa kansainvälisissä tutkimuksissa^{9,17} ja mallien herkkyyttä ilmastomuuttujille arvioitiin myös pohjoisissa olosuhteissa, Jokioisissa¹⁸. Samoin muuttuviin ilmasto-olosuhteisiin sopivia lajikkeita simuloitiin ohralle Jokioisten olosuhteisiin¹¹. Mallien kykyä simuloida viljelykiertoja testattiin¹⁹. Viljelykiertojen simuloimiseksi tärkeäksi osoittautui maaperän ravinne- ja vesitaseiden mallintaminen jatkuva-aikaisesti yli kasvukausien. Maailmanlaajuisissa tutkimuksissa todettiin vehnän satotasojen laskevan noin 6% kutakin maapallon keskilämpötilan nousevaa astetta kohden²⁰.

3.2.5. Lämpenevien syksyjen hyödyntäminen kasvintuotannossa

Syksyjen lämmitessä merkittävästi tulevaisuudessa tarkastelimme ensimmäisessä sopeutumisen tapaustutkimuksessa voidaanko kasvukauden loppua hyödyntää nykyistä pidempään kasvintuotannossa (Kuva 1). Aiempien arviointien perusteella lämpenevät syksyt hyödyttävät erityisesti muita kuin siemensatokasveja. Nämä arviot perustuvat yleiseen käsitykseen syksyn olosuhteista ja niihin liittyvistä säähaitoista, jotka avattiin tässä tapaustutkimuksessa aiempaa perusteellisemmin²¹. Pitkäaikaisaineistojen perusteella aiemmin koetuista pitkistä kasvukausista, jolloin myös loppukesiä hyödynnettiin kasvuun tavallista enemmän, ei saatu systemaattista satohyötyä kevätiljoilla. Tosin useimmissa tilanteissa ohran ja kauran satoisuus oli hivenen, joskaan ei aina merkitsevästi, lyhyttä kasvukautta parempi päinvastoin kuin vehnällä. Lakoontumisen riski kasvoi merkittävästi tuleentumisajankohdan viivästyessä. Vain kylvöjen myöhästyessä merkittävästi, pitkä kasvujakso tuotti lyhyttä jaksoa alhaisemman jyvän valkuaispitoisuuden, kun muulloin jyvän valkuaispitoisuus ei eronnut tai oli korkeampi.

¹⁵ Ewert F, Rötter RP, Bindi M, ym. (2015). Crop modelling for integrated assessment of risk to food production from climate change. *Env Mod Softw* 72:287-303.

¹⁶ Hoffmann H, Zhao G, van Bussel LGJ, ym. (2015). Variability of effects of spatial climate data aggregation on regional yield simulation by crop models. *Clim Res* 65:53-69.

¹⁷ Martre P, Wallach D, Asseng S, ym. (2015). Multimodel ensembles of wheat growth: many models are better than one. *Glob Change Biol* 21:911-925.

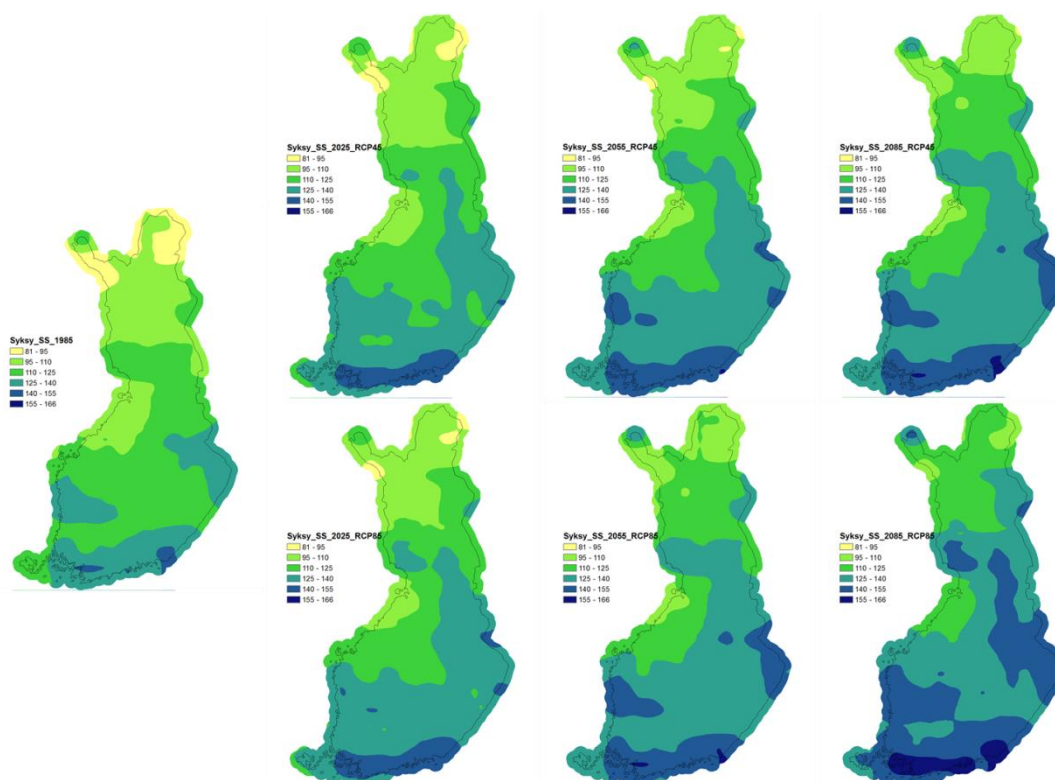
¹⁸ Pirttioja N, Carter TR, Fronzek S, ym. (2015). Temperature and precipitation effects on wheat yield across a European transect: a crop model ensemble analysis using impact response surfaces. *Clim Res* 65:87-105.

¹⁹ Kollas C, Kersebaum KC, Nendel C, ym. (2015). Crop rotation modelling—A European model intercomparison. *Eur J Agr* 70:98-111.

²⁰ Asseng S, Ewert F, Martre P, ym. (2015). Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature Clim Change* 5:143-147.

²¹ Peltonen-Sainio P, Palosuo T, Ruosteenoja K, ym. (2016). Warming autumns at high latitudes of Europe: An opportunity to lose or gain in agriculture. *Käsikirjoitus laadittavana*.

Loppukasvukaudella päiväpituus lyhenee, säteilytehot laskevat merkittävästi ja sateet yleistyvät²¹. Sateisuuden on ennakoitu lisääntyvän tulevaisuudessa ilmaston muuttuessa (Kuva 4). Nämä tekijät lisäävät siemensatokasvien korjuuriskejä, kuivatustarvetta ja aiheuttavat kuivatusenergian tarpeen vuoksi lisäkustannuksia. Toisaalta lämpötilan nousu vaikuttaa haihduntaan ja yhdessä ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden nousun kanssa voi parantaa tuotantokykyä, mitä tutkittiin mallintamalla.



Kuva 4. Sadesumma elo- ja syyskuun aikana ennen (1985, vasen kartta) ja tulevaisuudessa (2025, 2055, 2085; ± 15 vuotta) vähä- (RCP4.5 yllä) ja runsaspäätöisessä ilmastokeskenariossa (RCP8.5 alla).

Alustavat mallinnustulokset näyttävät, että käyttämällä myöhäisempiä lajikkeita, loppukesän ja syksyn satopotentiaalia on hyödynnettävissä jo nykyolosuhteissa. Syksyjen lämmitessä nämä satolisät kasvavat edelleen kuten myös tuotantoriskit säävaihtelun lisääntymisen myötä. Tutkimuksen⁷ johtopäätös oli, että lämpenevien syksyjen satohyödyt jäänevät rajallisiksi suhteessa kasvaviin riskeihin, mutta tuotantoriskejä voitaisiin mahdollisesti vähentää viljelymenetelmiä edelleen kehittämällä osana ilmastonmuutokseen sopeutumista.

3.2.6. Kuivuuteen varautuminen tulevaisuudessa

Kuivuuden merkitys tulevaisuuden potentiaalisena kasvintuotannon haasteena vahvistui sääilmiöiden haitallisuustutkimusten perusteella⁵. Tämän vuoksi toinen tapaustutkimuksemme koski tulevaisuuskuvan tarkentamista peltoviljelyn vesitalouden hallintatarpeesta. Tilastollinen lähestymistapa osoitti kuinka kasvukauden piteneminen ja jalostuksen myötä yhä satoisammaksi kehitetyt lajikkeet tuottavat merkittävän

tuotantokykyharppauksen eri kasviryhmissä²². Tämä saattaa kuitenkin jäädä realisoitumatta, sillä sadannan ei ole ennakoitu kasvavan satoisuuden kehittymisen vaatimalla tavalla, jos lainkaan, ilmaston muuttuessa.

Mallinnuksella tarkennettiin edelleen kuinka ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden nousu voi toisaalta kompensoida jossain määrin kuivuuden haittoja ja parantaa veden käytön tehokkuutta. Itse asiassa veden käytön tehokkuus oli merkittävästi parantunut oloissamme viime vuosikymmenten aikana: esimerkiksi alhaisen sadannan kesinä ohralla 28 kilosta satoa hahtaarilta yhtä sadanta-millimetriä kohti 35 kiloon ja vehnällä jopa 20 kilosta 33 kiloon²². Veden käytön tehostaminen viljelytoimin ja kasvinjalostuksen keinoin ei kuitenkaan ole yksinään riittävä toimenpide vastaamaan tulevaisuuden todennäköisiin kuivuushaasteisiin vuosina, jolloin alkukasvukauden kuivuutta ilmenee varsinkaan, jos säävaihtelu äärevöityy ennakoidusti. Siksi kokonaisvaltaisten vesitalouden ympärivuotisten hallintajärjestelmien kehittämiseen tulee panostaa VEHMAS-hankkeen johtopäätösten mukaisesti^{23,24}.

3.3. Toteutusvaiheen arviointi

Säähaittojen vaikutusten arviointi perustui jo julkaistuihin aineistoihin, tietoaukkojen tunnistukseen ja puuttuvien tietojen tuottamiseen erityisesti Luken Virallisia lajikekoeaineistoja hyödyntäen. Eri lähteistä olevat tulokset integrointiin vertailukelpoisuuden varmistavalla menetelmällä ja sen myötä tehtiin kaikkiin havaintoihin ja tuloksiin perustuva synteesi. Syntyneeseen ymmärrykseen nojaten IL tuotti räätälöidyt säähaittojen toistuvuustiedot. Näin saatiin kunkin säähaitan ilmenemisen ajallinen ja alueellinen todennäköisyys. Monivaiheisuudestaan ja kokonaisvaltaisuudestaan huolimatta tuotantovaste- ja sääaineistojen saatavuus, riittävyys ja kattavuus eivät rajoittaneet tutkimusten toteutettavuutta. Suurimmaksi haasteeksi osoittautui rahoituksen määrä suhteessa tutkimustöiden laajuuteen ja moniulotteisuuteen. Tämän johdosta työpaketti 1.3. liittyen myös työpakettiin 2.2. voitiin toteuttaa vain osittain eikä ILMAPUSKURI-hankkeen puitteissa voitu tuottaa tietoa nyt tehdyissä tutkimuksissa haitallisimmiksi koettujen säätelijöiden toistuvuudesta ja ankaruudesta ilmaston muuttuessa. Luke ja IL ovat kuitenkin käyneet jatkokeskusteluja ja on mahdollista, että nyt tehdyissä tutkimuksissa haitallisimmiksi koettujen säätelijöiden toistuvuudessa ja ankaruudessa ilmastonmuutoksen myötä mahdollisesti tapahtuvat muutokset tullaan ottamaan tapaustutkimuksina esille IL:n johtamassa PLUMES-hankkeessa. ILMAPUSKURI-hankkeen aiheiden tutkimus jatkuu myös esimerkiksi strategisen tutkimuksen neuvoston rahoittamassa Forbio-hankkeessa. IL osallistuu tähän hankkeeseen ja yksi maatalouteen suoraan liittyvä tutkimusaihe on maan pintakerroksen kosteuden muutokset tulevina vuosikymmeninä.

Mallinnustutkimukset osana työpakettia 2.3. tehtiin suurelta osin yhteistyössä muiden kansallisten (esim. Suomen Akatemian rahoittaminen NORFASYS- ja PLUMES-hankkeiden) ja kansainvälisten mallinnushankkeiden (FACCE-MACSUR) kanssa sovittaen niille asetetut tarpeet vastaamaan ILMAPUSKURI-hankkeen tavoitteita. Tässä esitettyjä tuloksia ei siis olisi voitu toteuttaa yksistään ILMAPUSKURI-hankkeen

²² Peltonen-Sainio P, Jauhiainen L, Palosuo T, ym. (2016). Rainfed crop production challenges under European high latitude conditions. *Reg Environ Change* 16:1521-1533.

²³ Peltonen-Sainio P, Jauhiainen L, Alakukku L (2015). Stakeholder perspectives for switching from rainfed to irrigated cropping systems at high latitudes. *Land Use Policy* 42:585-593.

²⁴ Peltonen-Sainio P, Laurila H, Jauhiainen L, Alakukku L (2015). Proximity of waterways to Finnish farmlands and associated characteristics of regional land use. *Agric Food Sci* 24:24-38.

rahoituksella, vaan kansainvälinen olemassa ollut ja uusien hankkeiden myötä käynnistynyt hankkeiden välinen yhteistyö oli välttämätön tuloksellisuuden varmistamiseksi. Mallinnustyökalujen kehittämisessä ja testaamisessa päästiin käyttämään kansainvälisesti ainutlaatuisia tutkimusaineistoja ja viimeisimpiä menetelmiä. Tieto-taidon siirtymistä kansainvälisistä verkostoista kansalliselle tasolle tapahtui monella tasolla.

3.4. Julkaisut

Tutkimustulosten tiedottaminen on edennyt luontevasti tutkimustoimien etenemisen myötä. ILMAPUSKURI-hankkeen loppuseminaari järjestettiin osana Maataloustieteen Päivien 2016 ohjelmaa, kaksiosaisena sessiona: ”Säävaihtelu ja riskien hallinta kasvintuotannossa 1. ja 2.”. Seminaarissa hankkeesta esityksen pitivät:

- Ari Venäläinen: Kasvukauden sään vaihteluiden äärevyys ja ennustettavuus Suomessa
- Pirjo Peltonen-Sainio: Säävaihtelu, kasvintuotannon haavoittuvuus ja sopeutumiskyky
- Erja Huusela-Veistola: Säävaihtelu ja kasvintuhoojarikit peltokasveilla
- Timo Kaukoranta: *Fusarium*-toksiinien riskin ennustaminen Suomessa
- Taru Palosuo: Viljelykasien simulointimallit viljelyjärjestelmätason tarkasteluun ja ennakoitiin

Alla on esitetty listaus hankkeen puitteissa laadituista tieteellisistä avainjulkaisuista (osa tehty yhteistyössä muiden käynnissä olevien tai päättyneiden hankkeiden kanssa). Liitteestä 2 löytyy laajempi lista muista tieteellisistä, hanketta tukeneista julkaisuista, popularisoinneista sekä seminaariesityksistä.

Asseng S, Ewert F, Rosenzweig C, Jones JW, Hatfield JL, Ruane AC, Boote KJ, Thorburn PJ, Rötter RP, Cammarano D, Brisson N, Basso B, Martre P, Aggarwal PK, Angulo C, Bertuzzi P, Biernath C, Challinor AJ, Doltra J, Gayler S, Goldberg R, Grant R, Heng L, Hooker J, Hunt LA, Ingwersen J, Izaurralde RC, Kersebaum KC, Müller C, Naresh Kumar S, Nendel C, O’Leary G, Olesen JE, Osborne TM, Palosuo T, Priesack E, Ripoche D, Semenov MA, Shcherbak I, Steduto P, Stöckle C, Stratonovich P, Streck T, Supit I, Tao F, Travasso M, Waha K, Wallach D, White JW, Williams JR, Wolf J (2013). Uncertainty in simulating wheat yields under climate change. *Nature Clim Change* 3: 827-832.

Asseng S, Ewert F, Martre P, Rötter RP, Lobell DB, Cammarano D, Kimball BA, Ottman MJ, Wall GW, White JW, Reynolds MP, Alderman PD, Prasad PVV, Aggarwal PK, Anothai J, Basso B, Biernath C, Challinor AJ, De Sanctis G, Doltra J, Fereres E, Garcia-Vila M, Gayler S, Hoogenboom G, Hunt LA, Izaurralde RC, Jabloun M, Jones CD, Kersebaum KC, Koehler AK, Müller C, Naresh Kumar S, Nendel C, O’Leary G, Olesen JE, Palosuo T, Priesack E, Eyshi Rezaei E, Ruane AC, Semenov MA, Shcherbak I, Stöckle C, Stratonovitch P, Streck T, Supit I, Tao F, Thorburn P, Waha K, Wang E, Wallach D, Wolf J, Zhao Z, Zhu Y (2015). Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature Clim Change* 5:143–147.

Ewert F, Rötter RP, Bindi M, Webber H, Trnka M, Kersebaum KC, Olesen JO, van Ittersum MK, Janssen S, Rivington M, Semenov MA, Wallach D, Porter JR, Stewart D, Verhagen J, Gaiser T, Palosuo T, Tao F, Nendel C, Roggero PP, Bartošová L, Asseng S (2015). Crop modelling for integrated assessment of risk to food production from climate change. *Env Mod Softw* 72:287-303.

Hoffmann H, Zhao G, van Bussel LGJ, Enders A, Specka X, Sosa C, Yeluripati J, Tao F, Constantin J, Raynal H, Teixeira E, Grosz B, Doró L, Zhao Z, Wang E, Nendel C, Kersebaum KC, Haas E, Kiese R, Klatt S, Eckersten H, Vanuytrecht E, Kuhnert M, Lewan E, Rötter RP, Roggero PP, Wallach D,

- Cammarano D, Asseng S, Krauss G, Siebert S, Gaiser T, Ewert F (2015). Variability of effects of spatial climate data aggregation on regional yield simulation by crop models. *Clim Res* 65: 53-69.
- Kollas C, Kersebaum KC, Nendel C, Manevski K, Müller C, Palosuo T, Armas-Herrera CM, Beaudoin N, Bindi M, Charfeddine M, Conradt T, Constantin J, Eitzinger J, Ewert F, Ferrise R, Gaiser T, Garcia de Contazar-Atauri, Giglio L, Hlavinka P, Hoffman H, Launay M, Manderscheid R, Mary B, Mirchel W, Moriondo M, Olesen JE, Öztürk I, Pacholski A, Ripoche-Wachter D, Roggero PP, Roncossek S, Rötter RP, Ruget F, Sharif B, Trnka M, Ventrella D, Waha K, Wegehenkel M, Weigel HJ, Wu L, (2015). Crop rotation modelling—A European model intercomparison. *Eur J Agron* 70:98-111.
- Korhonen P, Palosuo T, Persson T, Höglind M, Van Oijen M, Jégo G, Virkajärvi P, Bélanger G, Gustavsson A-M (2016). Intercomparison of models for simulating timothy yield in Northern countries. *Grassland Science in Europe*. Accepted.
- Martre P, Wallach D, Asseng S, Ewert F, Jones JW, Rötter RP, Boote KJ, Ruane AC, Thorburn PJ, Cammarano D, Hatfield JL, Rosenzweig C, Aggarwal PK, Angulo C, Basso B, Bertuzzi P, Biernath C, Brisson N, Challinor AJ, Doltra J, Gayler S, Goldberg R, Grant RF, Heng L, Hooker J, Hunt LA, Ingwersen JC, Izaurralde RC, Kersebaum KC, Müller C, Kumar SN, Nendel C, O’Leary, GJ, Olesen JE, Osborne TM, Palosuo T, Priesack E, Ripoche, D, Semenov MA, Shcherbak I, Steduto P, Stöckle CO, Stratonovitch P, Streck T, Supit I, Tao F, Travasso M, Waha K, White JW, Wolf J, (2015). Multimodel ensembles of wheat growth: many models are better than one. *Glob Change Biol* 21: 911–925.
- Palosuo T, Rötter RP, Salo T, Peltonen-Sainio P, Tao F, Lehtonen H (2015). Effects of climate and historical adaptation measures on barley yield trends in Finland. *Clim Res* 65:221–236.
- Peltonen-Sainio P, Venäläinen A, Mäkelä HM, Pirinen P, Laapas M, Jauhiainen L, Kaseva J, Ojanen H, Korhonen P, Huusela-Veistola E, Jalli M, Hakala K, Kaukoranta T, Virkajärvi P (2016). Harmfulness of weather events and the adaptive capacity of farmers at high latitudes of Europe. *Clim Res* 67:221-240.
- Peltonen-Sainio P, Pirinen P, Mäkelä HM, Hyvärinen O, Huusela-Veistola E, Ojanen H, Venäläinen A (2016). Spatial and temporal variation in weather events critical for boreal agriculture: I Elevated temperatures. *Agric Food Sci* 25:44-56.
- Peltonen-Sainio P, Pirinen P, Mäkelä HM, Ojanen H, Venäläinen A (2016). Spatial and temporal variation in weather events critical for boreal agriculture: II Precipitation. *Agric Food Sci* 25:57-70.
- Peltonen-Sainio P, Pirinen P, Laapas M, Mäkelä HM, Ojanen H, Venäläinen A (2016). Spatial and temporal variation in weather events critical for boreal agriculture: III Frost and winter time fluctuation. *Agric Food Sci* 25:71-80.
- Peltonen-Sainio P, Jauhiainen L, Palosuo T, Hakala K, Ruosteenoja K (2016). Rainfed crop production challenges under European high latitude conditions. *Reg Environ Change* 16:1521-1533.
- Peltonen-Sainio P, Jauhiainen L, Lehtonen H (2016). Land use, yield and quality changes of minor field crops: Is there superseded potential to be reinvented in northern Europe? *Käsikirjoitus lähetetty sarjaan*.
- Peltonen-Sainio P, Palosuo T, Ruosteenoja K, Jauhiainen L, Ojanen H, Kaukoranta T, Venäläinen A (2016). Warming autumns at high latitudes of Europe: An opportunity to lose or gain in agriculture. *Käsikirjoitus laadittavana*.
- Pirttioja N, Carter TR, Fronzek S, Bindi M, Hoffmann H, Palosuo T, Ruiz-Ramos M, Tao F, Trnka M, Acutis M, Asseng S, Baranowski P, Basso B, Bodin P, Buis S, Cammarano D, Deligios P, Destain MF, Dumont B, Ewert F, Ferrise R, François L, Gaiser T, Hlavinka P, Jacquemin I, Kersebaum KC, Kollas C, Krzyszczak J, Orite IJ, Minet J, Minguéz MI, Montesino M, Moriondo M, Müller C, Nendel C, Öztürk I, Perego A, odríguez A, Ruane AC, Ruget F, Sanna M, Semenov MA, Slawinski C, Stratonovitch P, Supit I, Waha K, Wang E, Wu L, Zhao Z, Rötter RP (2015). Temperature and precipitation effects on wheat yield across a European transect: a crop model ensemble analysis using impact response surfaces. *Clim Res* 65:87-105.
- Ruosteenoja K, Räisänen J, Venäläinen A, Kämäräinen M (2015). Projections for the duration and degree of the thermal growing season in Europe derived from CMIP5 model output. *Int J Climatol* DOI: 10.1002/joc.4535.

- Ruosteenoja K, Räisänen J, Venäläinen A, Kämäräinen M, Pirinen P (2016). Terminen kasvukausi lämpenevässä ilmastossa. *Terra* 2016:1.
- Rötter RP, Tao F, Höhn J, Palosuo T (2015). Use of crop simulation modelling to aid ideotype design of future cereal cultivars *J Exp Bot* 66:3463-3476.
- Tao F, Rötter RP, Palosuo T, Höhn J, Peltonen-Sainio P, Rajala A, Salo T (2015). Assessing climate effects on wheat yield and water use in Finland using a super-ensemble-based probabilistic approach. *Clim Res* 65:23-37.
- Tao F, Rötter RP, Palosuo T, Hernández CG, Mínguez I, Semenov M, Kersebaum KC, Nendel C, Cammarano D, Hoffmann H, Ewert F, Dambreville A, Martre P, Rodríguez L, Ruiz-Ramos M, Gaiser T, Höhn JG, Salo T, Ferrise R, Bindi M, Schulman A (2016). Designing future barley ideotypes using a crop model ensemble. Käsikirjoitus lähetetty sarjaan.

4. Tulosten arviointi

4.1. Tulosten käytännön sovelluskelpoisuus

ILMAPUSKURI-hankkeen yhteydessä tehdyt uudet analyysit merkittävien sääilmiöiden, kuten helleaallot, kuivuus ja runsaat sateet, myöhäinen lumen sulaminen keväällä, routa, hallan esiintyminen laajentavat ymmärtämystämme Suomen ilmaston vaihteluista ja niistä on hyötyä useilla yhteiskuntamme osa-alueilla. Myös hankkeen yhteydessä tehdyt uudet analyysit kasvukauden lämpösumman ja kasvukauden pituuden muuttumisesta tulevien vuosikymmenien aikana hyödyttävät maatalouden lisäksi etenkin metsäntutkimusta ja Suomen koko biotaloussektoria. ILMAPUSKURI-hanke tuotti poikkeuksellisen kattavan, eri kasvilajien vertailun mahdollistavan, säähaittojen toistuvuuksiin ja niiden aiheuttamiin satotappioihin perustuvan tiedon kasvintuotannon kannalta haitallisimmista sääilmiöistä, joihin myös ilmastomuutokseen sopeuduttaessa tulisi kohdentaa ensisijainen huomio. Tuloksemme tukevat myös vahvasti aikaisempia näkemyksiä monimuotoisen viljelyn hyödyistä maatalouden ilmastokestävyydelle.

Kansainvälisissä tutkijaverkostoissa tällä hetkellä aktiivisesti tehty työ mm. yhteisten standardien luomiseksi systeemitason mallinnukselle sekä mallinnusta tukevalle koeaineistojen kokoamiselle tukee suoraan ilmastomuutoksen vaikutusarvioita kansallisella tasolla sekä mahdollistaa entistä luotettavamman mallien käytön päätöksenteon tukena erilaisissa viljelyjärjestelmiin liittyvissä kysymyksissä. Mallit ovat arvokkaita työkaluja mm. ilmastomuutoksen sopeutumistutkimuksissa. Erityisesti mallien käyttö sopeutumistoimien vaikutusten arvioimiseksi satotasoihin ja -riskeihin sekä kasvinjalostuksen tehostamiseksi¹¹ nopeuttavat maatalouden sopeutumista tuleviin muutoksiin kustannustehokkaasti ja riskejä ennakoiden.

4.2. Tulosten tieteellinen merkitys

ILMAPUSKURI-hankkeen tutkimustulokset ovat niin kansallisesti kuin kansainvälisesti merkittäviä: niitä on julkaisu hyvin monipuolisesti kansainvälisesti arvostetuissa julkaisusarjoissa. Suomen ilmaston vaihtelua kuvaavien uusien ja aiemmin julkaisemattomien tulosten avulla ymmärrämme entistä paremmin sitä kuinka usein maa- ja myös metsätalouden kannalta suuria vaikutuksia aiheuttavia sääilmiöitä esiintyy ilmastossamme. Tulokset tekevät mahdollisiksi entistä paremmat riskianalyysit sekä toimintojen suunnittelun. Hankkeen yhteydessä tuotetut useisiin ilmastomalleihin ja kasvihuonekaasujen pitoisuusskenaarioihin pohjautuvat arviot ilmastomuutoksen

vaikutuksesta kasvukauden olosuhteisiin Suomessa ja laajemmin Euroopassa, antavat entistä kattavamman arvion ilmastonmuutoksen voimakkuudesta kuten myös arvioihin liittyvistä epävarmuuksista.

Viljelykasvien kasvun simulointimallien kehitystyö niin kansallisesti kuin kansainvälisestikin auttaa ymmärtämään oleellisimpia kasvi- ja viljelyjärjestelmätason prosesseja ja näiden herkkyyttä tuleville muutoksille. Mallit toimivat synteesityökaluina, jotka heijastavat kulloinkin viimeisintä tieteellistä ymmärrystä eri prosesseista. Kansainvälisissä verkostoissa luodut käytännöt mallien yhteiskäytöksi ja mallitulosten vertailemiseksi auttavat mallitulosten luotettavuuden arvioimisessa ja parantamisessa. Suomessa tehty mallien kehitystyö tarjoaa työkaluja, jotka mahdollistavat erilaiset mallisovellukset pohjoisten viljelyjärjestelmien erityisominaisuudet huomioiden.

**SÄÄVAIHTELUN JA ÄÄRI-ILMIÖIDEN AIHEUTTAMIEN RISKIEN
HALLINTA HAAVOITTUVUUDEN VÄHENTÄMISEKSI JA PUSKUROINTI-
JA PALAUTUMISKYVYN PARANTAMISEKSI**

ILMAPUSKURI

Improving resilience to climate change and variation induced risks in agriculture

Vastuuorganisaatio	Luonnonvarakeskus (Luke) Professori Pirjo Peltonen-Sainio Luonnonvarat ja biotuotanto 31600 Jokioinen +358405221956	
Kesto	2013–2016 (loppuraportti 14.6.2016)	
Rahoitus	Kokonaiskustannukset	512.844 €
	MMM:ltä saatu rahoitus	250.000 €
	Luken omarahoitus	219.219 €
	Ilmatieteen laitoksen omarahoitus	43.625 €

Tiivistelmä

TAVOITTEET

Hankkeen tavoitteena oli ymmärtää mitä ilmaston lämpeneminen sekä siihen liittyvät säävaihtelut ja sään ääri-ilmiöt merkitsevät Suomen maataloudelle ja kuinka maatalouden ilmastokestävyyttä voidaan parantaa tulevaisuudessa.

TULOKSET

Tutkimukset tuottivat kattavan, eri aineistoja ja aiempien tutkimusten tuottamia tuloksia integroivan ymmärryksen eri tuotantokasviryhmiä (kevätiljat, syysviljat, öljykasvit ja nurmet) alttiudesta lukuisille oloissamme esiintyville säähaitoille. Tulokset osoittivat monipuolisen viljelyn olevan tärkeä keino parantaa maatalouden ilmastokestävyyttä.

Sääaineistot räätälöitiin hankkeen tarpeiden mukaisesti mutta hyödyntäen suuruuden edun periaatetta, joten tuotetut ja julkaistut, avoimeen käyttöön viedyt aineistot ovat sellaisenaan tulevien tutkimusprojektien hyödynnettävissä.

Maatalouden ilmastonmuutokseen varautumista tutkimme kahden tapaustutkimuksen myötä. Mallinnuksin osoitimme tulevien syksyjen hyödyttävän siemensatokasvien sadontuottoa. Toisaalta myös riskit ovat nykypäivän tapaan suuret pyrittäessä parantamaan satoisuutta myöhäisiä lajikkeita viljelemällä. Lämpenevien syksyjen mukanaan tuoman potentiaalinen hyödyntäminen edellyttää

sopeutumistoimien kehittämistä riskien vähentämiseksi. Toinen tapaustutkimus liittyi kasvukauden alun kuivuuteen ja sen ankaruudessa mahdollisesti tapahtuviin muutoksiin. Tulostemme valossa kasvien veden käyttö on jatkuvasti tehostunut, mutta sen edelleen tehostaminen viljelytoimin ja/tai kasvinjalostuksella ei riitä vastaamaan tulevaisuudessa todennäköisesti vahvistuviin kuivuushaasteisiin ja siksi tuloksemme puoltavat vesitalouden hallintajärjestelmien kehittämistä ilmastomuutokseen sopeutumisen toimenpiteenä.

Hankkeessa kehitettiin yhteistyössä kansainvälisten mallintajien verkostojen kanssa mallinnustyökaluja mm. yhdistämällä kasvien kasvun simulointimalleja talousmallien kanssa. Näin voidaan arvioida tilatason varautumista ilmastomuutokseen. Samoin kehitettiin mallinnustyökalua erityisesti viljelykiertojen vaikutusten arviointiin.

TULOSTEN ARVIOINTI

Uudet analyysit merkittävien sääilmiöiden, kuten helleaallot, kuivuus ja runsaat sateet, myöhäinen lumen sulaminen keväällä, routa ja hallan esiintyminen laajentavat ymmärtämystämme Suomen ilmaston vaihteluista ja niistä on hyötyä useilla yhteiskuntamme osa-alueilla. Myös hankkeen yhteydessä tehdyt uudet analyysit kasvukauden lämpösumman ja pituuden muuttumisesta tulevien vuosikymmenien aikana hyödyttävät maatalouden lisäksi etenkin metsätutkimusta ja Suomen koko biotaloussektoria. Hanke tuotti poikkeuksellisen kattavan, eri kasvilajien vertailun mahdollistavan, säähaittojen toistuvuuksiin ja niiden aiheuttamiin satotappioihin perustuvan tiedon kasvintuotannon kannalta haitallisimmista sääilmiöistä, joihin myös ilmastomuutokseen sopeuduttaessa tulisi kohdentaa ensisijainen huomio ilmastokestävyyttä parannettaessa.

Kansainvälisissä tutkijaverkostoissa tällä hetkellä aktiivisesti tehty työ yhteisten standardien luomiseksi systeemitason mallinnukselle sekä mallinnusta tukevalle koeaineistojen kokoamiselle tukevat suoraan ilmastomuutoksen vaikutusarvioita kansallisella tasolla sekä mahdollistavat entistä luotettavamman mallien käytön päätöksenteon tukena esimerkiksi erilaisissa viljelyjärjestelmiin liittyvissä kysymyksissä. Mallit ovat arvokkaita työkaluja ilmastomuutoksen sopeutumistutkimuksiin. Erityisesti mallien käyttö sopeutumistoimien vaikutusten arvioimiseksi satotasoihin ja -riskeihin sekä kasvinjalostuksen tehostamiseksi nopeuttavat maatalouden sopeutumista kustannustehokkaasti ja riskejä ennakkoiden.

Liite 2.

Kooste ILMAPUSKURI-hankkeessa tai yhteistyössä muiden hankkeiden kanssa tuotetuista julkaisuista, lehtiartikkeleista sekä muista tuotoksista, joita ei ole esitetty loppuraportin kohdassa 3.4.

- BÉLANGER, G., VIRKAJÄRVI, PERTTU, DURU, M., TREMBLAY, G. F., SAARIJÄRVI, K. 2013. Herbage nutritive value in less-favoured areas of cool regions. In: The role of grasslands in a green future: threats and perspectives in less favoured areas. Proceedings of the 17th symposium of the European Grassland Federation, Akureyri, Iceland, 23–26 June 2013 / eds. Áslaug Helgadóttir and Alan Hopkins. Agricultural University of Iceland. p. 57–70.
- GREGOW, H., JYLHÄ, K. 2013. Use of reanalysis and other weather and climate data -- questionnaire survey. 13th EMS Annual Meeting & 11th European Conference on Applications of Meteorology (ECAM), 11.09.2013
- HAKALA, K. 2013. How to secure food production in a future warmer world. EFSA Meeting, Helsinki, 17 Oct.
- HAKALA, K. 2013. Pohjola lämpenee. Forssan Lehti 1.12.2013, s. 13–15.
- HOHENTHAL, J., VENÄLÄINEN, A., YLHÄISI, J., JYLHÄ, K. AND KÄYHKÖ, J., 2014. Occurrence of meteorological summer dry spells and dry days in Northern Europe during the 20th century. Ilmatieteen laitos, Raportteja-Rapporter-Reports No. 2014:1, 46 p.
- HUUSELA-VEISTOLA, E. 2013. Long-term insect monitoring with suction traps in Finland. NJF Seminar 468. Suction traps in studying distribution and occurrence of insects and forecasting pests and vector borne viruses. Kristianstad, Sweden, 30 October 2013. NJF Report 9, 7: 12. (esitelmä + abstraktijulkaisu)
- HUUSELA-VEISTOLA, E. 2013. Kaalikoin massavaellukset 2013. Kasvinsuojeluseuran syyspuinti 5.11. Axxell, Tammisaari (esitelmä)
- HUUSELA-VEISTOLA, E. 2013. Lämpö suosi kahukärpäsiä. Kasvinsuojeluseuran syyspuinti 5.11. Axxell, Tammisaari (esitelmä)
- JING, Q., BÉLANGER, G., BARON, V., BONESMO, H., VIRKAJÄRVI, P. 2013. Simulating the nutritive value of timothy summer regrowth. *Agronomy journal* 105 3: 563–572.
- JYLHÄ, K. 2013. Climate change impacts on energy demand for heating and cooling of buildings in Finland based on synthetic weather data sets. 2nd International Conference Energy & Meteorology (ICEM 2013), Toulouse, France, 27.06.2013
- JYLHÄ, K. 2013. Climate change: models and scenarios. Adaptation of forestry to climate change. Helsingin yliopisto, 18.01.2013.
- JYLHÄ, K. 2013. Future projections for precipitation based on CMIP5 climate models. VALUE Concluding Seminar: Ways forward in multidisciplinary water research, Helsinki, 19.11.2013
- JYLHÄ, K. 2013. Global climates - classification, zones and impacts of climate change. Forest ecosystems of the world - their structure, functioning and productivity, Forest Sciences, Helsingin yliopisto, 15.03.2013
- JYLHÄ, K. 2013. Ilmastonmuutoksen vaikutus lähitulevaisuudessa. Suomen JVT ja Kuivausliikkeiden Liitto, Tampere, 16.05.2013
- JYLHÄ, K. 2013. Ilmastonmuutos – tilannekatsaus vuonna 2013. AurinkoATLAS - Sää- ja ilmastotietoisuudella innovaatioita ja uutta liiketoimintaa, Helsinki, 20.11.2013
- JYLHÄ, K. 2013. Rakennusten testivuodet nykyilmastossa ja tulevaisuudessa. Sää- ja ilmastolähtöinen kaupunkisuunnittelu ja -rakentaminen, Helsinki, 06.03.2013
- JYLHÄ, K., LAAPAS, M., RUOSTEENOJA, K., ARVOLA, L., DREBS, A., KERSALO, J., SAKU, S., GREGOW, H., HANNULA, H.-R., PIRINEN, P. 2014. Climate variability and trends in the Valkea-Kotinen region, southern Finland: comparisons between the past, current and projected climates. *Boreal Env. Res.*, *Boreal Env. Res.* 19 (suppl. A): 4–30.
- KERSEBAUM, K.C., KOLLAS, C., BINDI, M. et al. (PALOSUO, T., RÖTTER, R. from MTT) 2014. Model inter-comparison on crop rotation effects - an intermediate report. In: 'Achievements, activities,

- advancement' FACCE MACSUR mid-term scientific conference, April 1-3 (+4), 2014, University of Sassari, Sardinia, Italy: book of abstracts. *Facce Macsur*. p. 17.
- KOLLAS, C., KERSEBAUM, K.C., BINDI, M. et al. (PALOSUO, T., RÖTTER, R. from MTT) 2014. Improving yield predictions by crop rotation modelling? A multi-model comparison. In: *Modelling climate change impacts on crop production for food security, Facce Macsur, CropM international symposium and workshop, 10-12 February 2014, Oslo, Norway* : abstract book. *Facce Macsur*. p. 24-25.
- LAINEN, A., HAKALA, K., PELTONEN-SAINIO, P. 2014. Growing conditions for whole-crop maize cultivation in Finland. In: *NJF seminar 475 : Maize in a cooler climate: from seed to feed, September 24-25, 2014 Kristianstad, Sweden. NJF Report 10 6*: 31-32.
- LEHTONEN, I., VENÄLÄINEN, A., IKONEN, J., PUTTONEN, GREGOW, H., 2013. Some features of winter climate in Northern Fennoscandia. *Finnish Meteorological Institute Reports 2013:3*, 20 p
- LEHTONEN, I., RUOSTEENOJA, K., JYLHÄ K. 2014. Projected changes in European extreme precipitation indices on the basis of global and regional climate model ensembles. *International Journal of Climatology*, 34(4), 1208-1222 DOI: 10.1002/joc.3758.
- LEHTONEN I, HOPPULA P, PIRINEN P, GREGOW H., 2014. Modelling crown snow loads in Finland: a comparison of two methods *Silva Fennica* 48(3): article id 1120
- LUOMARANTA A., HAAPALA J., RUOSTEENOJA K., JYLHÄ K., GREGOW H., LAAKSONEN A. 2013. Multi-model estimates of sea ice cover changes in the Baltic Sea by 2090. In: *Marcus Reckermann and Silke Köppen (eds.): 7th Study Conference on BALTEX 10–14 June 2013. Borgholm, Island of Öland, Sweden, Conference Proceedings*, p. 78–79.
- MAKOWSKI, D., ASSENG, S., EWERT, F., BASSU, S., DURAND, J. L., LI, T., MARTRE, P., ADAM, M., AGGARWAL, P. K., ANGULO, C., BARON, C., BASSO, B., BERTUZZI, P., BIERNATH, C., BOOGAARD, H., BOOTE, K. J., BOUMAN, B., BREGAGLIO, S., BRISSON, N., BUIS, S., CAMMARANO, D., CHALLINOR, A. J., CONFALONIERI, R., CONIJN, J. G., CORBEELS, M., DERYNG, D., DE SANCTIS, G., DOLTRA, J., FUMOTO, T., GAYDON, D., GAYLER, S., GOLDBERG, R., GRANT, R. F., GRASSINI, P., HATFIELD, J. L., HASEGAWA, T., HENG, L., HOEK, S., HOOKER, J., HUNT, L. A., INGWERSEN, J., IZAURRALDE, R. C., JONGSCHAAAP, R. E. E., JONES, J. W., KEMANIAN, R. A., KERSEBAUM, K. C., KIM, S.-H., LIZASO, J., MARCAIDA III, M., MÜLLER, C., NAKAGAWA, H., NARESH KUMAR, S., NENDEL, C., O'LEARY, G. J., OLESEN, J. E., ORIOL, P., OSBORNE, T. M., PALOSUO, T., PRAVIA, M. V., PRIESACK, E., RIPOCHE, D., ROSENZWEIG, C., RUANE, A. C., RUGET, F., SAU, F., SEMENOV, M. A., SHCHERBAK, I., SINGH, B., SINGH, U., SOO, H. K., STEDUTO, P., STÖCKLE, C., STRATONOVITCH, P., STRECK, T., SUPIT, I., TANG, L., TAO, F., TEIXEIRA, E. I., THORBURN, P., TIMLIN, D., TRAVASSO, M., RÖTTER, R. P., WAHA, K., WALLACH, D., WHITE, J. W., WILKENS, P., WILLIAMS, J. R., WOLF, J., YIN, X., YOSHIDA, H., ZHANG, Z., ZHU, Y. 2015. A statistical analysis of three ensembles of crop model responses to temperature and CO2 concentration. *Agricultural and Forest Meteorology* 214-215: 483-493.
- PALOSUO, T. 2014. Ilmastonmuutoksen etenemisen eri skenaariot ja satojen kehitys. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. *ILMASE-työpaja, Pieksämäki 14.1.2014 "Hiilitase, typpitase ja energiatase – Miten hallita niitä maatilalla ilmastoviisaasti ja kustannustehokkaasti"*
- PALOSUO, T., RÖTTER, R.P. 2013. Temperature routines in WOFOST, in: *Alderman, P.D., Quilligan, E., Asseng, S., Ewert, F. and Reynolds, M.P. (Eds.), Proceedings of the workshop modeling wheat response to high temperature, CIMMYT, El Batan, Texcoco, Mexico, June 19-21, 2013. International Maize and Wheat Improvement Center*, pp. 122–125.
- PALOSUO, T., RÖTTER, R.P., LEHTONEN, H.S., VIRKAJÄRVI, P., SALO, T. 2013. How to assess climate change impacts on farmers' crop yields? in: *Impacts world 2013, international conference on climate change effects, Potsdam, Germany, 27–30 May 2013: conference proceedings. Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam*, pp. 327–334.
- PALOSUO, T., RÖTTER, R., TAO, F., SALO, T., PELTONEN-SAINIO, P. 2014. Simulating historical adaptations of barley production across Finland. In: *Modelling climate change impacts on crop production for food security, Facce Macsur, CropM international symposium and workshop, 10-12 February 2014, Oslo, Norway: abstract book. Facce Macsur*. p. 23.
- PALOSUO, T., RÖTTER, R. 2014. Agro-ecosystem simulation models as tools for exploring the future. In: *Maataloustieteen Päivät 2014, 8.-9.1.2014 Viikki, Helsinki*

- PELTONEN-SAINIO, P. 2013. "Future of Crop Production in Europe: Climate Change Induced Challenges and Opportunities". EFT Meeting 2013. Turku, Finland, Radisson Blue Marina Palace Hotel, 30.5.2013
- PELTONEN-SAINIO, P. 2013. "Voiko maatalous sopeutua ilmastonmuutokseen?" Miten ilmaston muutos vaikuttaa maatalouteen Suomessa? Kasvatetaanko maissia? Vai jääkö pellot kesannolle? Maataloustuottajain Helsingin yhdistys r.y. seminaari. Hotelli Presidentti, 21.3.2013
- PELTONEN-SAINIO, P. 2013. Maatalous hyödyntää hanakasti suotuisat sääät. Ilmastokatsaus 18 9/2013: 4–5.
- PELTONEN-SAINIO, P. 2013. Mitä haasteita ilmastonmuutos tuo viljelijän arkeen Suomessa? TEHO Plus, Maatalous ja ympäristö -talousseminaari. ICT-talo, Delta-Sali, Turku, 9.4.2013
- PELTONEN-SAINIO, P. 2013. Ilmastonmuutoksen vaikutukset Eurooppaan ja Suomeen, sekä tuotantoodellytyksiimme. Puutarhaelinkeino Tulevaisuus -seminaari, Puutarhaliitto, Messukeskus, Helsinki, 14.11.2013
- PELTONEN-SAINIO, P., JAUHAINEN, L. 2013. Viljelijöillä hyvä valmius sopeutua ilmastonmuutokseen. Maaseudun Tiede 70 1(22.3.2013): 2.
- PELTONEN-SAINIO, P. 2013. Tutkijoita kiinnostaa miten suomalainen maatalous selviää sään ääri-ilmiöistä. Yle-Häme, radiohaastattelu, 22.3.2013.
- PELTONEN-SAINIO, P., HAKALA, K. 2014. Viljely muuttuvassa ilmastossa: miten peltoviljely sopeutetaan onnistuneesti. TEHO Plus -hankkeen raportti 4/2014: 12 p.
- PELTONEN-SAINIO, P. 2014. What the future with climate change and variability holds for northern European agriculture. Ecology Seminar, Sveriges Lantbruks Universitet SLU, Uppsala, 27.5.2014.
- PELTONEN-SAINIO, P. 2014. Global food production under pressure of changes and challenges. ABS Graduate School seminar on Food Chain and Health, Klaus K Hotel, Rake-Sali, Helsinki 4.11.2014.
- PELTONEN-SAINIO, P. & JAUHAINEN, 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.
- PYÖRÄLÄ P., PELTOLA H., STRANDMAN H., KILPELÄINEN A., ASIKAINEN A., JYLHÄ K., KELLOMÄKI S. 2013. Effects of Management on Economic Profitability of Forest Biomass Production and Carbon Neutrality of Bioenergy Use in Norway Spruce Stands Under the Changing Climate. *Bioenerg. Res.* (in press) DOI 10.1007/s12155-013-9372-x.
- RÖTTER, R.P. 2013. Projections of climate change impacts on crop production: A global and a Nordic perspective. *Acta Agr. Scand. Section A* 62, 166–180.
- RÖTTER, R.P., HÖHN, J., TRNKA, M., FRONZEK, S., CARTER, T.R., KAHILUOTO, H. 2013. Modelling shifts in agroclimate and crop cultivar response under climate change. *Ecology and Evolution* 3, 4197–4214.
- RÖTTER; R.P. 2013. Improving capacity of current crop models for simulating impacts of climatic extremes. *IMPACTS WORLD 2013 ISI-MIP Side Event*, Germany, 27.5.2013.
- RÖTTER, R. 2014. Robust uncertainty. *Nature Climate Change* 4: 251-252.
- RUOSTEENOJA K. 2013. Ilmastomalleihin perustuvia arvioita tuulen keskimääräisen nopeuden muuttumisesta. <http://ilmatieteenlaitos.fi/setuklim>
- RUOSTEENOJA K. 2013. Lämpötilan vuorokautisen vaihtelun tulevat muutokset ilmastomallien perusteella. <http://ilmatieteenlaitos.fi/setuklim>
- RUOSTEENOJA K. 2013. Maailmanlaajuisiin ilmastomalleihin perustuvia lämpötila- ja sademääräskenaarioita. <http://ilmatieteenlaitos.fi/setuklim>
- RUOSTEENOJA K. 2014. Mitä uudet mallit kertovat tulevasta ilmastosta? *Ilmastokatsaus* 10/2013. Ilmatieteen laitos. 3-6. Verkko-osoite: ilmatieteenlaitos.fi/ilmastokatsaus-lehti/
- RUOSTEENOJA K., JYLHÄ K., MÄKELÄ H., HYVÖNEN R., PIRINEN P., LEHTONEN I. 2013. Rakennusfysiikan testivuosiin sääaineistot havaitussa ja arvioidussa tulevaisuuden ilmastossa - REFI-B -hankkeen tuloksia (Weather data for building physics test reference years in the observed and projected future climate - results from the REFI-B project). Finnish Meteorological Institute, Reports 2013:1. 48 p. (In Finnish with abstract in English and Swedish)
- RUOSTEENOJA K., RÄISÄNEN J., JYLHÄ K., MÄKELÄ H., LEHTONEN I., SIMOLA H., LUOMARANTA A., WEIHER S. 2013. Maailmanlaajuisiin CMIP3-malleihin perustuvia arvioita

- Suomen tulevasta ilmastosta (Climate change estimates for Finland on the basis of global CMIP3 climate models). Finnish Meteorological Institute, Reports 2013:4. 83 p. (In Finnish with abstract in English and Swedish)
- RUOSTEENOJA, K. 2013. Ilmastonmuutoksen luonnontieteellinen tausta. Toimittajakoulutus, Helsinki, 19.03.2013
- RUOSTEENOJA, K. 2013. Ilmastonmuutos ihmiskunnan ongelmana. WWF:n nuorisokoulutustilaisuus, 09.04.2013
- RUOSTEENOJA, K. 2013. Ilmastonmuutos uusimpien mallitulosten perusteella. Esitys vierailijaryhmälle Ilmatieteen laitoksella, 01.03.2013.
- RUOSTEENOJA, K. 2013. Pohjoiset alueet lämpiävät - mitä ilmastomallit kertovat tulevaisuudesta? Ilmatieteen laitoksen arktisten toimintojen strategiaa valmisteleva työpaja, 29.04.2013
- RUOSTEENOJA, K. 2013. Suomen tuleva ilmasto uusien mallitulosten valossa. Jokamiehen meteorologiaa -luentosarja, Helsinki, 12.03.2013
- RUOSTEENOJA, K. 2013. Uudet ilmastomallikokeet. Ilmatieteen laitoksen IPCC-seminaari, 16.10.2013
- SAARIJÄRVI, KIRSI. 2013. Miten nurmi selviää ilmastonmuutoksesta? ProAgria Itä-Suomi 19 3: 14.
- VENÄLÄINEN, A., KORHONEN, N., KOUTSIAS, N., XYSTRAKIS, F., URBIETA, I.R., MORENO, J.M. 2014. Temporal variations and change in forest fire danger in Europe for 1960-2012. Nat.Hazards Earth Syst. Sci. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 14, 1477-1490, 2014, www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/14/1477/2014/, doi:10.5194/nhess-14-1477-2014
- VENÄLÄINEN, A., MÄKELÄ, H., PIRINEN, P. AND GREGOW, H. 2016. Kasvukauden sään vaihteluiden äärevyys ja ennustettavuus Suomessa. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote no. 32. Maataloustieteen päivät 2016. Esitelmä- ja posterit tiivistelmä.
- VENÄLÄINEN, A., LEHTONEN, I., MÄKELÄ, A. 2016. Laaja-alaisia metsäpaloja mahdollistavat säätilanteet Suomen ilmastossa. Ilmatieteen laitos Raportteja 2016:3, <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/161478> (pdf).
- VIRKAJÄRVI, P. 2013. Nurmikasvit ilmastonmuutoksessa – nurmikasvien elämää. ProAgrian nurmipäivät, Jyväskylä, 12.3.2013
- VIRKAJÄRVI, P. 2013. Ilmastonmuutos ja nurmituotanto – miten varautua riskeihin. Myrskyt ja muuttuva politiikka -työpaja, Kiuruvesi 29.11.2013
- VIRKAJÄRVI, P., JING, Q., BÉLANGER, G., BARON, V., BONESMO, H., YOUNG, D. 2013. Modeling grassland with CATIMO - focus on the second cut. In: Nordic forage model applications - predicting forage yield and quality in a variable and changing climate: NJF seminar 455, Forssa, Finland, 30–31 January 2013. NJF Report 9 1: p. 9–13.