

LOPPURAPORTTI

**Ikivihreä vallankumous maanpeitekasvein:
hiilensidontaan parhailla viljelykäytännöillä**

IKIVIHREÄ



**Evergreen Revolution with Cover Crops – Best Practices to
Enhance C Sequestration**



1. Hankkeen tavoitteet

Viljelijät ovat osoittaneet suurta kiinnostusta maanpeitekasvien viljelyyn. He tarvitsevat ajankohtaista, tutkimus- ja kokemuseräistä tietoa muuttaessaan viljelykäytäntöjä. Peitekasvien käyttö on laajentunut erityisesti 2020-luvulla Suomessa, mikä on ollut otollinen hetki tuottaa, kerätä ja jakaa tietoa ja kokemuksia peitekasvien viljelystä, vahvistaa vuoropuhelua sekä tukea toisilta oppimista. IKIVIHREÄ-hanke käynnistettiin tavoitteena:

- 1) koota yhteen olemassa oleva tieto, tuottaa uutta tulosaineistoa ja ymmärrystä sekä tehdä synteesi eri maanpeitekasvien ja niiden seosten ominaisuuksista ja soveltuvuudesta Suomen kasvuoloihin,
- 2) jakaa eri menetelmiä, kanavia ja alustoja hyödyntäen parhaat peitekasvien viljelykäytännöt onnistumisten ja menestystarinoiden varmistamiseksi olosuhteet ja tuotantotilanteet huomioiden,
- 3) vaihtaa tietoa ja kokemuksia avoimesti sekä tuottaa ja jakaa räätälöityjä aineistoja, jotta maanpeitekasvien monipuoliset, arvokkaat ekosysteemipalvelut, erityisesti mittava hiilensidonta ja hiilivarantojen kerryttäminen sekä ilmastokestävyysparantaminen tulevat huomioiduiksi,
- 4) tutkia keinoja hyödyntää kaukokartoitusta maanpeitekasvien viljelyn tueksi,
- 5) kehittää menetelmä parhaiten soveltuvien peitekasvien tunnistukseen,
- 6) mahdollistaa peitekasvien viljelyn mittava laajentaminen,
- 7) motivoida ja kannustaa viljelijöitä ikivihreän vallankumouksen täytäntöönpanoon ja hiilensidontaan maanpeitekasvein sekä
- 8) tuottaa koostetietoa kansalliseen ja EU:n politiikkavalmisteluun sekä tukea maatalouden hiilikompensaatiopalveluiden kehittämistä.

2. Osapuolet ja yhteistyö

IKIVIHREÄ-hankkeen toteuttivat Luonnonvarakeskus (Luke), Suomen ympäristökeskus (SYKE), Maanmittauslaitoksen Paikkatietokeskus (NLS), ProAgria Keskusten Liitto (ProAgria) sekä alihankittavina partnereina Tyynelän tila ja Koivumäen tila. Myös Kilpiän tilalla toteutettiin samanaikaisesti hanketta hyödyttäneitä koetoimintaa.

Hankkeen toteutuksesta vastasivat:

- Pirjo Peltonen-Sainio (hankkeen vastuullinen johtaja, WP1- ja WP5-vetäjä), Hannu Känkänen (WP2-vetäjä) ja Lauri Jauhiainen (Luke)
- Eetu Puttonen (WP3 vetäjä), Mika Karjalainen, Eija Honkavaara ja Roope Näsi (NLS)
- Tuomas Mattila (WP4 vetäjä, SYKE ja Kilpiän tila)
- Sari Peltonen (WP6-vetäjä, ProAgria) sekä
- alihankittavina asiantuntijoina tilakokeiden toteuttajat Juuso Joona (Tyynelän tila, luomu, Joutseno) ja Tony Hydén (Koivumäen tila, tavanomainen, Loviisa).

3. Hankkeen toteutus ja toteutusvaiheen arviointi

3.1. Menetelmät ja aineisto

WP1 Viljelijäkyselyt ja -haastattelut olemassa olevan tiedon koontiin ja tietoaukkojen tunnistamiseen. Työpaketissa tehtiin laaja viljelijäkysely, jolla kartoitettiin viljelijöiden näkemyksiä maanpeitekasvien hyödyistä, kokemuksia niiden käytöstä sekä kerättiin tietoa niin parhaista viljelykäytännöistä kuin kohdatuista haasteista, joille hankkeessa haettiin ratkaisuja. Viljelijäkysely toteutettiin maaliskuuhuhtikuussa 2021 eli se käynnistettiin ennen rahoituspäätöksiä, jotta aineisto olisi analysoitavissa kasvukauden 2021 aikana. Kysely lähetettiin 5593 tavanomaiselle tuottajalle ja 1432 luomutilalliselle. Kohderyhmänä olivat tilat, jotka olivat tehneet kerääjäkasvisopimuksen vuonna 2020. Tila- ja lohkotunnukset samoin kuin tieto taustamuuttujista (kuten tilan ja lohkojen ominaisuuksista) saatiin Ruokavirastolta. Vain viljelijöiden ikä ja koulutus tiedusteltiin kyselyssä. Kysely oli onnistunut (1130 vastausta, 17,4 % vastausosuus). Siinä oli yhteensä 51 väittämää seuraavien pääkysymysten alla (jokaisessa väittämässä viisi vastausvaihtoehtoa):

- 1) Mistä maanpeitekasveista sinulla on omakohtaista kokemusta? Mikä käyttötarkoitus? Jos aluskasvi, millä satokasvilla?
- 2) Mitä mieltä olet seuraavista väittämistä liittyen maanpeitekasvien viljelyyn?
- 3) Miten toimit maanpeitekasvien kanssa?
- 4) Mitä mieltä olet omasta onnistumisestasi maanpeitekasvien kanssa?
- 5) Mitä mieltä olet seuraavista yleisistä väittämistä?

Lisäksi vastaajat ilmoittivat kaikki kokeilemansa peitekasvilajit ja kuinka paljon heille oli kertynyt kokemusta kustakin lajista. Heillä oli myös mahdollisuus kertoa seoksiin liittyvistä kokemuksistaan, tarkentaa vastauksiaan vapaisiin kenttiin, kertoa tutkimustarpeista ja koneinvestoinneistaan sekä lähettää terveisiä hanketoimijoille. Viljelijän piti vastata kaikkiin varsinaisiin kysymyksiin ennen lähettämistä. Aineistot analysoitiin kyselytutkimuksissa käytettävien menetelmin. Vastaajien todettiin katoanalyysin perusteella edustavan varsin hyvin viljelijäkuntaa.

WP2 Tilakokeet tietoaukkojen täyttämiseksi ja uuden tiedon ja ymmärryksen tuottamiseksi ja jakamiseksi. Räätelöityjä, käytännön tuotantotilanteet huomioon ottavia tilakokeita järjestettiin kolmena vuotena kahdella pitkään peitekasveja viljelleellä pilottitilalla, joista toinen on luomu- ja toinen tavanomaisessa tuotannossa. Tavoitteena oli, että peitekasvit tuottavat entistä suurempia ja monimuotoisempia biomassoja hiilensidonnan, maan elävyyden ja viljelykasvien sadon lisäämiseksi. Kokeet perustettiin tilojen omilla koneilla tilan normaalein menetelmin, käytännön mittakaavassa, isoin koeruuduin ja satunnaistaen. Viljasadot korjattiin tilojen omilla puimureilla, poikkeuksena tavanomaisen tilan vuodet 2022 ja 2023, jolloin määritettävä sato puitiin koeruutupuimurilla ennen koko alan puintia.

Tavanomaisen, Koivumäen tilan koe toistettiin samalla paikalla ja samoin koeruuduin kolmena kesänä. Siinä kylvettiin neljää yksittäistä palkokasvia sekä yhtä seosta kevätvehnän aluskasviksi ja verrattiin aluskasvittomaan vehnään. Kokeesta tehtiin kasvustomittauksia ja

havaintoja kesän aikana, mitattiin kevätvehnän jyväsato ja aluskasvin kuiva-aine- ja typpisato lokakuussa (2023 syyskuussa) sekä määritettiin maan ammonium- ja nitraattityypen määrä 25 cm maakerroksessa loppusyksyllä ja keväällä. Kahtena ensimmäisenä vuonna saatiin myös suuntaa antava tieto juurten kuiva-ainesadosta, ottamalla yksi näyte (25 cm × 25 cm, syvyys 20 cm) koejäsentä kohti. Koealueesta puolet muokattiin syksyllä, toinen puoli seuraavana keväänä.



Kuva: Kokeet perustettiin maatilan toimesta isoille peltolohkoille. Näytteitä ottivat sekä Luken työntekijät että tilan väki.

Tyynelän luomutilan kokeet sijaitsivat eri lohkoilla eri vuosina tilalla noudatettavan viljelykierron mukaisesti. Pääkasvina oli herneen ja kevätvehnän seos, paitsi viimeisenä vuonna herneen ja kauran. Aluskasvina oli italianraiheinä (siemenmäärä 5–8 kg/ha), lisäksi ensimmäisenä ja kolmantena kesänä seoksessa oli myös 1 kg/ha valkoapilaa. Mittaukset olivat muuten vastaavat kuin tavanomaisen tilan kokeessa, mutta maan mineraalityppinäytteet otettiin alku- ja loppusyksyllä, viimeisenä vuonna vain alkusyksyllä. Koealat muokattiin kahtena ensimmäisenä vuonna tilan käytännön mukaisesti melko pian puinnin sekä kasvusto- ja maanäytteiden keruun jälkeen, koska seuraavaksi kasviksi kylvettiin syysvilja. Loppusyksyn maanäyte kuvasi siten myös syysviljan kykyä kerätä liukoista typpeä. Raiheinä jatkoi jossain määrin kasvuaan kevennetyn muokkauksenkin jälkeen. Kahtena viimeisenä syksynä otettiin vertailun vuoksi täydentävät kasvustonäytteet lohkolta, jossa kasvoi viljan aluskasvina erittäin monipuolinen 20 kasvilajin seos.

WP3 Kaukokartoitus viljelijän päätöksenteon tueksi. Työpaketissa toteutettiin drone-kuvauksia tilakokeista ja linkitettiin niitä Sentinel-1- ja Sentinel-2-satelliittiaineistoihin tuottamaan lohko- ja tilakohtaista lisäymmärrystä maanpeitekasvien kasvudynamiikasta, biomassan tuotosta ja maanpeitteisyydestä. Mittauksissa käytettiin sekä maastoresoluutioltaan tarkkoja RGB-kameroita (DJI P1) että multispektrisensoreita (Micasense Altum). Vuonna 2021 mittauskampanjoita toteutettiin elo-marraskuun aikana tavanomaisella tilalla Loviisassa. Luomutuotannossa olevalla tilalla kuvaukset tehtiin vuonna 2022 heti puinnin jälkeen, ennen syysmuokkausta, kun taas tavanomaisella tilalla ne tehtiin juuri ennen puintia. Näin tutkittiin, voidaanko eri aluskasveja havaita viljakasvuston alta. Kuvaukset toistettiin lokakuussa tavanomaisella tilalla, jolloin aluskasvit olivat jo näkyvillä ja aloittaneet puinnin jälkeisen kasvun. Vuonna 2022 WP2:n biomassamääritykset eri

aluskasveista linkitettiin drone-kuvauksiin siten, että kuvaus suoritettiin ensin ja samalla määritettiin ja mitattiin koordinaatit näytteenottopaikoille.



Kuva. Vasemmalla kuva näytteenottopaikan merkkauksesta ja paikan määrittämisestä luomutilalla 31.8.2022. Oikealla mittauksissa käytetty drone (DJI M300 RTK) sekä lohkoa muodostettu drone-kuva (multispektriortokuvamosaiikki), johon on merkitty myös mitatut näytteenottopisteet keltaisella.

Drone-kuvat prosessoitiin ensin ortokuvamosaiikeiksi, joista sitten laskettiin (irrotettiin) erilaisia kasvillisuusindeksejä ja статистиikkoja halkaisijaltaan 50 cm:n näytealoille, joita käytettiin kaukokartoituspiirteinä ja syöteinä biomassamittausten lisäksi regressio- ja koneoppimismallinnuksissa. Regressiomalleina testattiin lineaarisia malleja (yhden muuttujan mallit sekä monimuuttujamallit) ja koneoppimisalgoritmina epälineaariin tarkasteluihinkin soveltuvaa Random Forest -algoritmia.

Satelliittikuvien tila- ja lohkoittainen irrotus tehtiin Maanmittauslaitoksen EODIE-työkalulla, jolla tuotettiin kullekin kasvulohkolle ominaisia kasvillisuusindeksistatistiikkoja kasvukauden ajalta. Kasvillisuusindeksit laskettiin näkyvän valon ja lähi-infrapuna-alueelta (Sentinel-2), joiden heijastusvaste korreloi voimakkaasti peltolohkojen biomassan määrän kanssa. Lisäksi käytettiin Sentinel-1 satelliiteilla kerättyjä tutkavastetietoja. Kasvulohkoaineistoina käytettiin Ruokaviraston vuosien 2020 ja 2021 kasvulohkoaineistoja eteläisen Suomen alueelta. Aineistoon oli lisätty tieto siitä, onko kyseiselle lohkolle tehty kerääjäkasvisopimusta. Aineisto jaoteltiin pääkasvin mukaan siten, että mukaan valittiin kaura, kevättrypsi, kevätvehnä, mallas- ja rehuohra sekä useita viljoja sisältävät seoskasvustot, sillä näillä käytetään eniten aluskasveja (noin 10 prosentilla kunkin pääkasvin kokonaisalasta). Satelliittiaineistojen aikasarjat kohdistettiin ensisijaisesti viikkoihin 38–47 eli syyskuulta marraskuulle, sillä tällöin pääkasvi oli pääosin jo puitu ja peitekasvin oletettiin kasvavan ennen lumentuloa. Aikasarjat muodostettiin viikoittaisiksi ja osa pilvien takia puutteelliseksi jääneistä datapisteistä interpoloitiin yhtenäisen aineiston takaamiseksi. Näitä viikoittaisia aikarajoja käytettiin kaukokartoituspiirteinä, joiden avulla luokittelumalleja koulutettiin aluskasvilohkojen tunnistukseen käyttäen Random Forest -algoritmia.

WP4 Maanpeitekasvit hiilinieluinä ja maaperän hiilivarastojen kerryttäjinä. Peitekasvien vaikutusta maaperän hiilivarastoihin on tutkittu paljon, joten tämä työpaketti pyrki täyttämään tunnistettuja tietoaukkoja: peitekasvien vaikutusta niin nopeasti muuttuviin

hiili- ja typpiyhdisteisiin kuin maaperän kosteuteen ja lämpötilaan. Hyödynsimme kahta käynnissä olevaa koetta: 1) Carbon Action (CA) kokeen neljää kerääjäkasvitilaa (2019–2023) sekä 2) WP2-tilakokeita. IKIVIHREÄ-hanke mahdollisti nopeasti muuttuvien hiiliyhdisteiden tarkemman mittauksen CA-kokeen aineistosta. Lisäksi hankkeen tilakokeista kerättiin näytteet (kevät 2022, syksy 2022 ja kevät 2023), joista analysoitiin kokonaishiili hehkutuskevennyksellä, vesiliukoinen hiili ja typpi, glomaliininkaltainen maaperäproteiini, aminosokerit sekä mikrobien hengittämä hiili 24 tunnin kokeessa. Tavoitteena oli seurata, johtaako peitekasvien viljely maaperän nopeasti hajoavien hiiliyhdisteiden kertymiseen. Lisäksi tilakokeisiin asennettiin jatkuvatoimiset maaperän lämpötila- ja kosteusmittarit, jotta voitiin tarkentaa peitekasvien vaikutuksia haihdutukseen ja maan kosteuteen, sekä lämpötilan vaihteluun.

CA-hankkeen koetilojen viljelijöillä oli käytössään puimurissa olevat satomittarit, joiden datan avulla saatiin arvioitua myös peitekasvien vaikutuksia satoon viisi vuotta kestäneen kokeen aikana. Tulosten analysoimiseksi keräsimme tietoa myös maaperän ominaisuuksista ja kasvuston kehityksestä satelliittiseurannalla, jotta saatoimme tarkemmin erottaa, mikä osa satovaihtelusta johtui peitekasvien viljelystä. Tiedon analysointiin kehitimme ja julkaisimme avoimesti työvuon, jota on tällä hetkellä ladattu Zenodo-palvelimelta 195 kertaa ja jota käytetään SEAMK:in GIS-kurssin pohjana.

Kerättyjä tietoja sovellettiin kolmen hiilenkiertomallin sovittamiseen koeaineistoihin. Ensimmäinen malli oli YASSO, jota käytetään mm. Suomen kasvihuonekaasuinventaarion hiilivarastojen arvioinnissa. Toinen oli SOMIC, joka on tehty tutkimustarkoituksiin tarkastelemaan etenkin mikrobien ja saven vaikutusta hiilen kertymiseen (puuttuvat YASSO mallista). Kolmas oli DNDC-peltoekosysteemimalli (uusin 2023 versio DNDC_Can), joka on sovitettu Kanadan viileisiin ja kosteisiin ilmasto-oloihin. Hiilenkiertomallien avulla simuloitiin kokonaishiilen ja labiilien hiilijakeiden kertymistä kokeissa ja saatuja ennusteita verrattiin havaintoihin. Lisäksi teimme yhdistetyn epävarmuus- ja herkkyyštarkastelun malleille, jotta voitaisiin tunnistaa, minkä muuttujien mittaaminen vähentäisi mallien ennusteen epävarmuutta eniten.

Herkkyyštarkastelun perusteella peite- ja satokasvin hiilisyöte oli keskeisin muuttuja, joka vaikutti hiilitaseeseen. Jotta saatiin käsitystä tämän vaihtelusta laajemmin ja voitiin tunnistaa peitekasvien satoisuuteen vaikuttavia tekijöitä, käynnistettiin leikkimielinen *Kerääjäkasvikisa 2023* -viljelijätutkimuskoe. Siinä 13 viljelijää pyrki kasvattamaan mahdollisimman paljon peitekasvibiomassaa mahdollisimman edullisesti. Kyselyllä kerättiin tietoja viljelystä ja kasvustoista ja sen perusteella arvioitiin, miten eri viljelytoimet ja maaperän ominaisuudet vaikuttivat peitekasvien kasvuun.

WP5 Synteesi maanpeitekasvien ekosysteemipalveluista, niiden kontekstiriippuvuudesta sekä niihin pohjautuvat ratkaisut päätöksenteon tueksi. Koska peitekasvien viljelyllä voidaan saavuttaa monimuotoisia hyötyjä ja ekosysteemipalveluja hiilinieluina toimimisen ja hiilivarastojen kerryttämisen lisäksi, kaikista hankkeen aikana koostetuista ja tuotetuista käytännönläheisistä aineistoista tehtiin yhteenvetoja ja tiivistelmiä. Havaintoja ja

johtopäätöksiä tarkasteltiin tieteellisissä julkaisuissa, joissa tuloksia rinnastettiin aiemmin julkaistuun, usein eri olosuhteissa tuotettuun tietoon laajemman ymmärryksen tuottamiseksi. Tilakokeiden julkaiseminen toteutuu aikataulusyistä vasta hankekauden jälkeen. Synteesien tuloksena tuotettiin tietokortteja. Alun perin tavoiteltu viljelijöiden päätöksentekoa tukeva tieto- ja kokemuspohjainen menetelmä parhaiten soveltuvien maanpeitekasvien tunnistukseen ei ehtinyt toteutua hankkeen aikana – pääosin, koska hankekausi jäi merkittävästi anottua lyhyemmäksi. Tutkimusryhmän jäsenillä on kuitenkin vireillä Horizon Mission CLIMA -rahoitushakemus, jossa menetelmä kehitettäisiin pääosin IKIVIHREÄ-hankkeen tuottaman aineiston pohjalta. Työpaketissa koostettiin pohja-aineistot viestintämateriaalien toteutukseen (WP6).

WP6 Vuorovaikutus. Työpaketti vastasi viljelijöiden osallistamisesta hankkeen kehitystyöhön ja tuloksiin sekä vuorovaikutuksesta sidosryhmien kanssa. Työpaketissa tuotettiin materiaaleja ja ohjeistuksia käytännön viljelyyn, viestittiin tuloksista sekä järjestettiin tilaisuuksia, joiden avulla tulokset saatettiin viljelijöiden, asiantuntijoiden, suunnittelun ja politiikkavalmistelun mahdolliseen käyttöön.

3.2. Tulokset

WP1 Viljelijäkyselyt. Työpaketissa kartoitettiin viljelijäkyselyn avulla viljelijöiden tähänastisia kokemuksia peitekasvien käytöstä ja kerättiin tietoa niin parhaista viljelykäytännöistä kuin kohdatuista haasteista. Seuraavassa muutamia avainhavaintoja perustuen julkaisuihimme.

Kyselyyn vastanneet viljelijät olivat yllättävänkin positiivisia maanpeitekasvien ominaisuuksista ja vaikutuksista viljelyyn ja ympäristöön. Viljelijät vastasivat kokeneensa aluskasvien vaikuttavan myönteisesti maan kasvukuntoon. Erityisesti tavanomaisilla tiloilla peitekasveja sijoiteltiin isoille, usein myös yksipuolisesti viljellyille peltolohkoille. Kohdentaminen ei tapahtunut ainoastaan pääsatokasvin sanelemana, vaan peitekasveja kohdennettiin usein myös vesistön läheisyyteen. Viljelijät pyrkivät siis hyötymään peitekasvien tuottamista ekosysteemipalveluista, kuten monimuotoisuudesta, ympäristöjalanjäljen pienentämisestä ja maan kasvukunnon parantumisesta.

Kyselyyn vastanneilla oli yllättävänkin monipuolisesti kokemusta eri maanpeitekasvien vaihtoehtoista huomioon ottaen pohjoisen ilmaston tuomat rajoitteet sekä sen, kuinka alihyödynnettyjä ne yhä ovat. Vain 11 prosentilla vastaajista oli paljon kokemusta peitekasviseoksista. Maanpeitekasveina suosittiin lajeja, jotka ovat tuttuja satokasveja. Luomutuottajat olivat kokeneempia kuin tavanomaiset viljelijät useiden eri peitekasvilajien viljelyssä. Lisäksi he olivat kautta linjan astetta myönteisempiä kuin tavanomaiset tuottajat. Syynä tähän lienee se, että he ovat käyttäneet pidempään peitekasveja ja luomun tuotantomenetelmät poikkeavat tavanomaisesta erityisesti kasvien ravinnetalouden ja rikkakasvien torjunnan osalta. Monimuotoisesti viljelevät arvostivat peitekasveja maankäytön monipuolistajina enemmän kuin yksipuolisesti viljaa viljelevät. Nuoret, korkeakoulutetut viljelijät suhtautuivat varauksellisemmin peitekasvien ”kaikkivoipaisuuteen”, erityisesti niiden rooliin sopeutumistoimena ja ilmastomuutoksen hillitsijänä.

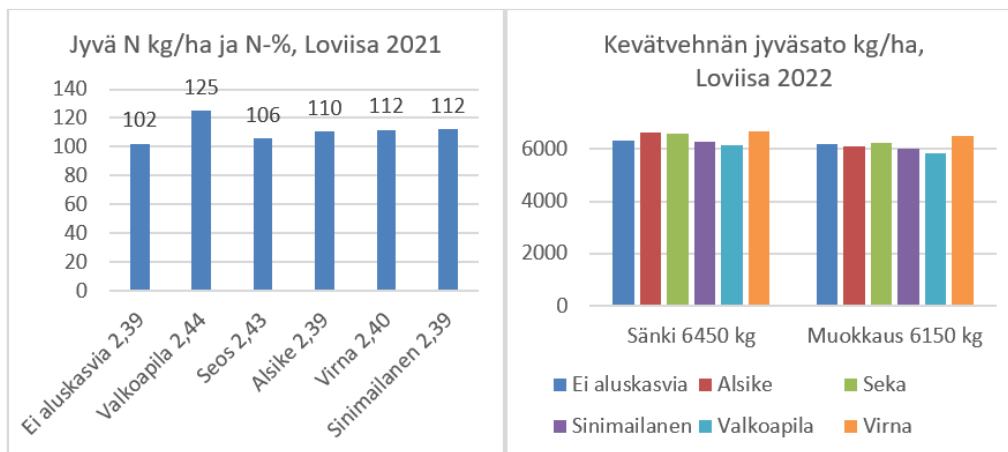
Kaikkienensa vastaajien näkemykset ja kokemukset maanpeitekasveista voivat rohkaista muitakin viljelijöitä peitekasvien viljelyyn tai niiden viljelyalan laajentamiseen tilalla. Tilojen välinen tiedon ja kokemusten vaihto on omiaan tukemaan tätä. Tähän kannustivat eritoten luomuviljelijät, joilla on usein pitkäaikaista kokemusta peitekasveista. Tulosten valossa varsinkin yksipuolisesti viljaa viljelevät tilat ovat tärkeä kohderyhmä. Tutkimuksen ja tilakokeiden tulisi tuottaa yhä enenevässä määrin tietoa aluskasvien käytöstä myös muilla satokasveilla kuin viljoilla, erityisesti palkoviljoilla, öljykasveilla sekä muilla erikoiskasveilla. Parhaillaan tiloilla toteutettavat eri peitekasvien viljelykokeilut tuottanevat arvokasta ymmärrystä parhaista viljelykäytännöistä. Tietoa pitäisi edelleen kerätä ja koostaa tukemaan peitekasvien monipuolisempaa ja hallitumpaa käyttöä. Tutkimukselta kaivattiin lisätietoa erityisesti liittyen kasvinsuojeluun, kylvömenetelmiin, uusien lajien ja seosten käyttöön sekä satovaikutuksiin ja kannattavuuteen. Viljelijät ennakoivat maanpeitekasvien viljelyn laajanevan nykyisestäään ja vain ani harva totesi jäävänsä odottamaan lisäkokemusten kertymistä ennen kuin jatkavat tai laajentavat niiden käyttöä tilallaan.

Tulokset antavat viitettä siitä, että nykyinen tukitaso kannustaa peitekasvien viljelyyn ja se kompensoi epäonnistumisen riskiä. Kansainvälisesti vertailtuna Suomessa saatavaa tukea voi pitää lähes poikkeuksellisen hyvänä, sillä eri puolilla maailmaa tukien puute on eräs keskeisin tutkimuksissa esiinnoussut este peitekasvien käyttöönotolle.

Yksityiskohtaisten tieteellisten julkaisujen ohella avaintulokset on esitetty tiivistettyinä muun muassa tietokorteissa ja blogikirjoituksissa (kts. 3.4. Julkaisut).

WP2 Tilakokeet järjestettiin hankkeen kokeneilla pilottitiloilla Joutsenossa (luomu) ja Loviisassa (tavanomainen). Loviisassa peitekasvit kasvoivat heikosti vuonna 2021 varhaiskesän rankkasateiden ja niitä seuranneen pitkän kuivuusjakson vuoksi. Vuonna 2022 peitekasvit kasvoivat hyvin, mutta syksyn biomassan kertymistä rajoitti suuri ruokailevien hanhien määrä pellolla. Vuoden 2023 peitekasvustot olivat rehevimmät, vaikka näyte otettiin kuukautta aikaisemmin kuin edellisvuosina. Rehevyyttä lisäsivät edellisen kesän kylvöstä peräisin olevat peitekasvit. Pääkasvina kasvaneen kevätvehnän kasvu oli toisena kesänä muita vuosia parempaa. Sato oli kohtuullinen myös vuonna 2021, mutta 2023 kuivuuden vuoksi paikoin hyvinkin heikko.

Aluskasvittoman kevätvehnän jyväsato oli noin 4300 kg/ha vuonna 2021 ja 6300 kg/ha 2022. Vuonna 2023 syysmuokatun alueen jyväsato oli keskimäärin vain 1400 kg/ha, sänkialueen 2800 kg/ha. Vuonna 2021 aluskasvikoejäsenten vehnän jyväsato oli 100–900 kg/ha aluskasvitonta isompi. Vuonna 2022 aluskasviruuduilla oli sekä aluskasvitonta verrannetta pienempiä että suurempia jyväsatoja (molemmat enimmillään 300 kg/ha). Suurin keskimääräinen jyväsato saatiin vuonna 2021 valkoapilaruuduista, joissa syksyinen peitekasvusto oli hyvin vähäinen, osittain hanhien vaikutuksesta. Seuraavana kesänä taas suurin jyväsato saatiin virnaruuduista, joissa oli kohtalainen kasvusto 2021 mutta vuonna 2022 virna tuhoutui rikkakasviruiskutuksessa.



Kuva: Jyvien hehtaari- ja typpisadot ja peitekasvien vaikutukset niihin vaihtelivat vuosittain. Ensimmäisenä vuonna (2021) palkokasvit aluskasveina näyttivät vaikuttavan myönteisesti jyvä- ja typpisatoon Loviisan kokeessa. Seuraavina vuosina syksyn muokkausratkaisu vaikutti enemmän jyväsatoon kuin peitekasvi.

Peitekasvien maanpäällinen kuiva-ainesato lokakuun puolivälissä oli vuonna 2021 suurimmillaan noin 300 kg/ha (alsikeapila), mutta valkoapilan sato oli vain muutaman kymmenen kiloa. Tasan vuoden päästä valkoapilan maanpäällinen kuiva-ainesato oli lähes 500 kg/ha ja alsikeapilan 400 kg/ha. Vuonna 2022 pellolla oli jo ennen näytteiden ottamista nähty tuhansien hanhien parvi, ja myös edellisenä syksynä näytteissä oli kasviyksilöitä, joista oli syöty lehdet. Vuonna 2023 valkoapilan, alsikeapilan ja seoksen (apilat ja sinimailanen) kuiva-ainesadot olivat noin 1000 kg/ha, rehuvirnan 650 kg/ha ja sinimailasen 500 kg/ha. Näytteisiin sisältyi myös edellisessä kylvettyjä kasveja. Peitekasvustot olivat noin 200 kg/ha suuremmat alueella, jota ei ollut muokattu edellisinä syksyinä. Peitekasvit nostivat kasvinäytteen (jossa mukana rikkakasvit) typpipitoisuutta ensimmäisenä vuonna vaihtelevasti ja melko vähän, mutta seuraavina vuosina yli puolella %-yksiköllä. Syysmuokkauksittellulla ei ollut vaikutusta vuonna 2022 mutta 2023 syysmuokkausalueen maanpeitekasviruutujen typpipitoisuus oli puoli prosenttiyksikköä suurempi kuin syksyisin sängelle jätetyn.

Juurinäytteet otettiin 20 cm syvyydeltä yhdestä kerranteesta (eli yhdestä koeruudusta) vuosina 2021 ja 2022. Peitekasvittoman ruudun juurisato oli 300 kg/ha kuiva-ainetta molempina syksyinä. Vuonna 2021 sinimailasruudun juurisato oli lähes 800 kg/ha, alsikeapilan 700 kg/ha, rehuvirnan sekä apiloiden ja sinimailasen seoksen vajaa 600 kg/ha ja valkoapilan reilu 300 kg/ha. Vuonna 2022 alsikeapilaruudun juurten kuiva-ainesato oli 950 kg/ha, seoksen noin 700 kg/ha ja valkoapilan yli 500 kg/ha. Sinimailasen näyte osui kohtaan, jonka maanpäällinen kasvusto osoittautui muita näytekohtia heikommaksi, joten sen juurisato jäi alle 500 kilon per ha. Myös rehuvirnakasvan näytteen juurisadoksi saatiin vajaa 500 kg/ha, vaikka virna tuhoutui lähes kokonaan kesän rikkakasviruiskutuksessa. Syksyllä 2023 vedettiin kasveja havaintomielessä juurineen: juuret osoittautuvat huomattavan voimakaskasvuiksi. Esimerkiksi ensimmäistä kesää kasvaneen sinimailasen paalujuuri oli jo lyijykynän paksuinen. Toisen kesän juuristo oli kooltaan noin kolminkertainen ja vielä 30 cm syvyydessäkin ensimmäisen kesän juurta paksumpi. Typensitojakasvien juurten

typpipitoisuus oli selvästi maanpäällisiä kasvinosia pienempi, mutta niiden käyttö nosti juurinäytteiden typpipitoisuutta huomattavasti.

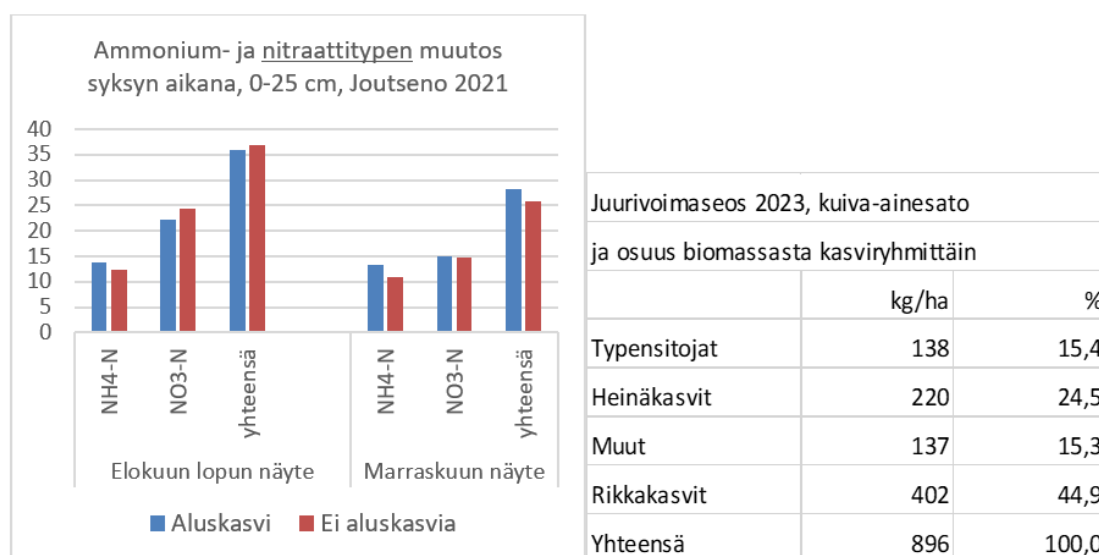
Maan mineraalityypinäytteet otettiin vuosina 2021 ja 2022 marraskuussa, mutta hankkeen päättymisvuonna jo syyskuussa, kasvustonäytteiden aikaan. Vuosina 2021 ja 2022 ennen näytteenottoa tehty maanmuokkaus lisäsi huomattavasti nitraattitypen määrää verrattuna muokkaamattomaan maahan. Peitekasvit vähensivät selkeästi maan nitraattitypen määrää vuonna 2021 sekä muokatussa että muokkaamattomassa maassa, mutta vuonna 2022 peitekasvit eivät vaikuttaneet nitraattitypen määrään. Tulos osoittaa, että myös palkokasvit voivat sopivissa oloissa vähentää typen huuhtoutumisen riskiä. Kasvukauden 2023 alkaessa valkoapilakaistoilla oli noin 5 kg/ha enemmän kasveille käyttökelpoista mineraalityppeä kuin maanpeitekasvittomilla ruuduilla. Myös seoskasvusto nosti hieman (noin 1 kg/ha) mineraalitypen määrää. Muilla peitekasveilla ei ollut vaikutusta. Tämä vahvistaa aiempia tuloksia valkoapilan muita lajeja nopeammasta typen vapautumisesta. Syksyllä 2023 nitraattitypen määrä oli lähes nelinkertainen kahtena edellisenä syksynä muokatulla (21 kg/ha) kuin syysmuokkaamattomalla (6 kg/ha) alueella. Nitraattitypen määrät olivat erityisen suuria ruuduissa, joissa vehnän sato oli pieni ja joissa kasvoi maanpeitekasveja. Pienimmän, 500 kilon vehnäsadon kohdalla nitraattitypen määrä oli erittäin suuri, 57 kg/ha.

Loviisan kokeessa verrattiin typpilannoituksen määrää jyväsatojen typpimäärään. Vuosina 2021 ja 2022 pääosa tpeestä annettiin kylvön yhteydessä, mitä täydennettiin myöhemmin tarpeen mukaisesti. Vuonna 2023 lisätyppeä ei annettu heikon kasvun vuoksi. Kokonaistyppimäärät olivat vuonna 2021 124 kg/ha, 2022 119 kg/ha ja 2023 vain 74 kg/ha. Jyvien typpimäärät olivat 2021 ilman peitekasvia 102 kg/ha ja peitekasvin kanssa 106–125 kg/ha, ja vuonna 2022 vastaavasti 110 ja 108–120 kg/ha. Vuonna 2023 syysmuokatun alueen typpisato oli vain noin puolet syksyllä sängeksi jätetyn alueen typpisadosta. Sängialueen typpisato oli ilman peitekasvia 63 kg/ha ja 60–69 kg/ha sen kanssa. Syysmuokatun alueen vastaavat luvut olivat 32 kg/ha ja 34–39 kg/ha. Jyviin päätyneen typen määrä oli siis varsin korkea suhteessa annettuun väkilannoitetyyppeen, paitsi viimeisen vuoden syysmuokatulla alueella. Vuonna 2023 lisätypen antamatta jättäminen oli oikea ratkaisu myös sängialueella. Parhaissa tapauksissa peitekasvikaistojen jyvien typpisadot olivat väkilannoitteena annetun typen suuruisia, mutta parhaat peitekasvit vaihtelivat vuosittain (valkoapila vuonna 2021, rehuvirna 2022 ja alsikeapila 2023). Viimeisen vuoden tulosten perusteella pääkasvin kohtuullinen onnistuminen on typen huuhtoutumisriskin kannalta tärkeää silloin, kun maanpeitekasvit koostuvat pelkistä typensitojakasveista useampana vuonna. Loviisassa kesän 2023 kuivissa oloissa tämän takasi pellon muokkauksen jättäminen pelkästään kevääseen.

Joutsenossa aiempaan kokemukseen perustuneet kylvömenetelmät ja -määrät sekä näiden sovittaminen käytännön viljelytoimiin ja -kiertoon olivat onnistuneita. Tulokset vaihtelivat hyvin erilaisten kasvukausien vuoksi. Peitekasvien kasvu oli melko vaatimatonta kuivuuden vuoksi vuonna 2021 ja runsaan muun kasvuston vuoksi vuonna 2022, jolloin loholla oli myös paljon pelto-ohdaketta. Toisaalta herne kasvoi molempina vuosina hyvin, mikä hillitsi

aluskasvin kasvua etenkin, kun seoksessa oli lisäksi vehnää. Puinnista kasvinäytteiden ottoon (ja maan muokkaukseen) jäi aikaa vain viikon verran näinä syksyinä, joten peitekasvit eivät ehtineet juurikaan hyödyntää lisääntynyttä kasvutilaa. Vuonna 2023 peitekasvustot olivat selvästi edellisvuosia runsaampia, koska kesän sääolot eivät olleet pääkasveille otolliset ja toisaalta loppukesän olot olivat suotuisat italianraiheinälle.

Italianraiheinän kuiva-ainesato oli vuonna 2021 oli noin 200 kg/ha, vuonna 2022 50–200 kg/ha ja vuonna 2023 keskimäärin 750 kg/ha. Rikkakasvien kuiva-ainesato oli noin 500–600 kg/ha kaikkina vuosina. Rikkakasvien kuiva-ainesato oli 100 kg/ha pienempi peitekasvikaistoilla vuonna 2021 ja 200 kg/ha pienempi vuonna 2023, mutta vuonna 2022 peitekasvi ei vaikuttanut rikkakasvien määrään. Vuonna 2023 hernekaurasta puitiin vain kauran jälkiversoista kehittyneiden röyhyjen jyvät käyttämällä korkeaa leikkuukorkeutta. Hernekasvusto kerättiin mittauksissa mukaan, samoin kuin rikkakasvit. Kaiken kaikkiaan Tällöin puinnin jälkeisen kasvuston (pois lukien kauran sänki) kuiva-ainesato oli aluskasvillisilla kaistoilla 3100 kg/ha ja aluskasvittomilla 2600 kg/ha.



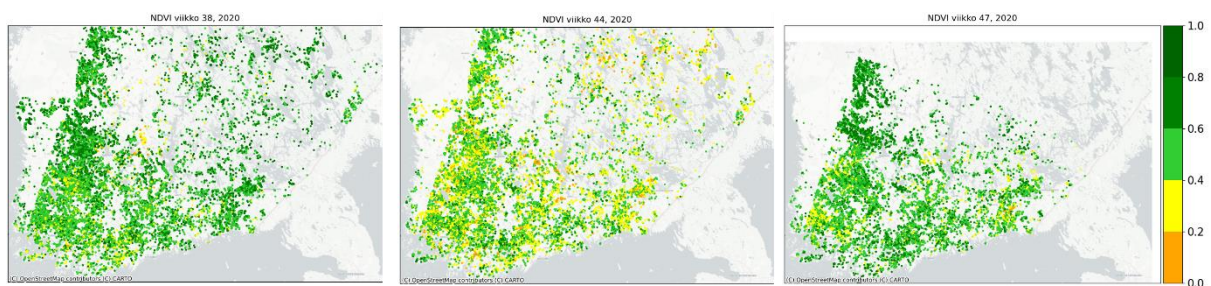
Kuva: Vuonna 2021 hyvin kasvuun lähtenyt syysspeltti vähensi herkästi huuhtoutuvan nitraattitypen määrää syksyn kuluessa (vasen). Joutsenossa määritettiin myös viherlannoituskasvustona kasvaneen Juuson Juurivoimaseoksen biomassaa ja lajisuhteita (oikea).

Maan nitraattitypen määrä (0–25 cm) väheni noin 8 kg/ha elokuun lopun ja marraskuun näytteiden välillä vuonna 2021, joten syyskylvetty speltti hyödynsi ilmeisen hyvin typpeä. Peitekasvi näytti vähentävän nitraattitypen määrää parilla kilolla hehtaaria kohti elokuun lopun näytteissä, mutta marraskuun näytteessä sillä ei enää ollut vaikutusta. Vuonna 2022 nitraattitypen määrä yli kaksinkertaistui elokuun ja marraskuun välillä. Italianraiheinällä ei tulosten mukaan ollut typen huuhtoutumisriskiä vähentävää vaikutusta, vaan nitraattitypen määrä oli keskimäärin jopa suurempi peitekasvikaistoilla kuin ilman niitä. Nitraattitypen määrän lisääntyminen syksyn mittaan johtunee maahan muokatun runsaan kasvimateriaalin, myös italianraiheinän, hajoamisesta. Raiheinä ei myöskään elpynyt muokkauksen jälkeen kasvuun, koska syksy oli kylmä, eikä se siten enää toiminut kerääjänä. Vuonna 2023

nitraattityypen määrä ei ollut näytteenottoaikaan (26.9.) suuri peitekasvittomillakaan kaistoilla (4,1 kg/ha), mutta italianraiheinä vähensi sitä kolmanneksen (1,4 kilolla per hehtaari).

Kokeiden suunnittelu ja toteutus onnistuivat molemmilla tutkimustiloilla hyvin. Vaihtelevat kasvuolot selittivät suurimmat vuosien väliset erot tuloksissa. Tulokset korostavat peitekasvien roolia muuttuvassa ilmastossa maan kasvukunnon ylläpitäjinä, ravinteiden pidättäjinä ja – etenkin Loviisan kokeen perusteella – typen lähteenä viljelykasveille. Varsinkin äärimmäisten sääolojen kasvukautena 2023, kun pääsatokasvit kasvoivat vaatimattomasti, peitekasvit ylläpitivät yhteytystä ja maan kasvukuntoa sekä kilpailivat rikkakasveja vastaan. Kahden vuoden arvion perusteella peitekasvit eivät vähentäneet viljelykasvin satoa.

WP3 Kaukokartoitus. Satelliittiaineistojen (Sentinel-1 ja -2) analysointiin tarvittava prosessointiketju kehitettiin toimivaksi. Satelliittiaineistot kerättiin toisiaan vastaavilta alueilta ja ajanjaksoilta koko eteläisestä Suomesta. Kerätyt aineistot on tallennettu CSC:n Allas-palveluun, mistä aineistoja päästiin jalostamaan suurteholaskentaympäristössä. Vuosien 2020 ja 2021 kasvillisuusindeksistatistiikan aikasarjat laskettiin onnistuneesti kaikille alueen kasvulohkoille.



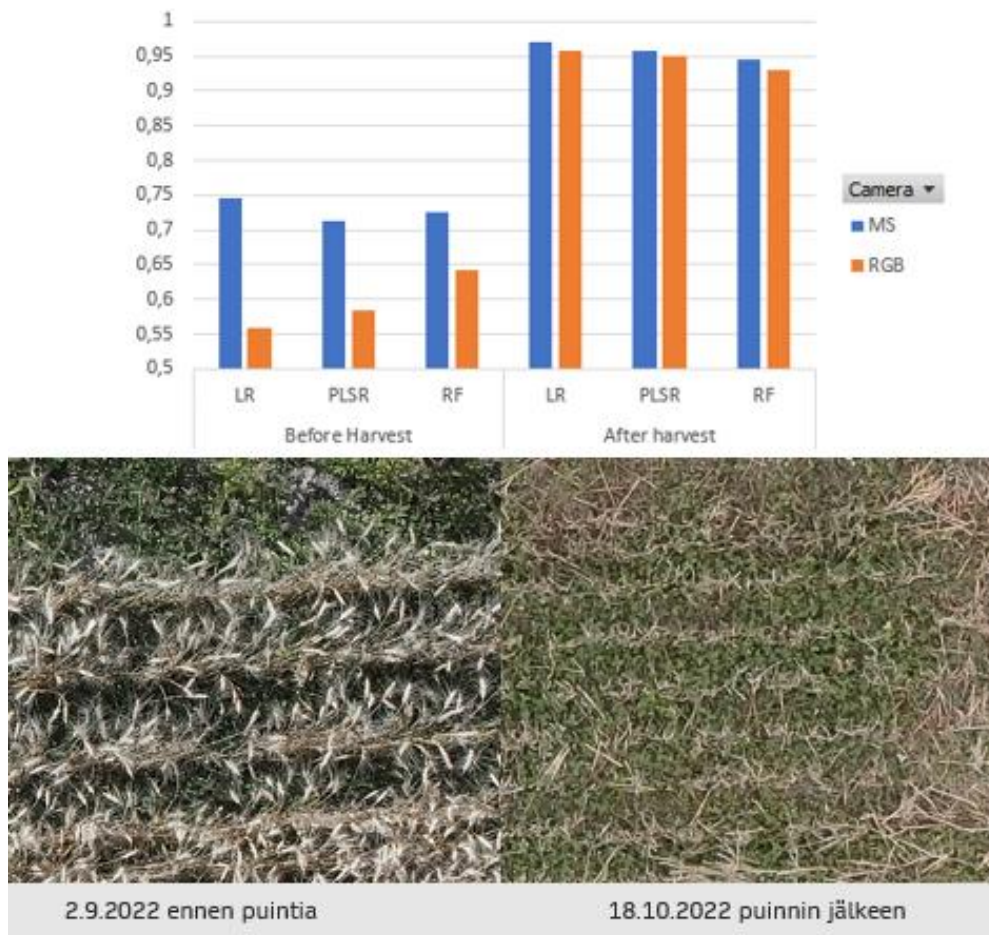
Kuva: Esimerkki satelliitti aikasarjasta vuodelta 2020, jossa havaitaan Lounais-Suomen peltujen NDVI-kasvillisuusindeksiarvojen laskevan ensin viikon 40 aikana, mutta vahvistuvan jälleen viikoilla 44–45.

Koneoppimismalleja testattaessa havaittiin, että aluskasvi (10 %) ja ei aluskasvia (90 %) luokkien epätasainen jakautuminen vaikeutti luokittelutehtävää. Siksi opetusaineiston luonnissa näytejoukkoa ali- ja ylinäytteistettiin tasaisemman jakauman aikaan saamiseksi. Näin toimien luokittelutarkkuudet saatiin samankaltaisiksi molemmille luokille (60–70 %) samoin kuin kokonaistarkkuus. Mikäli näin ei olisi tehty kokonaistarkkuus olisi ollut jopa 90 %, mutta aluskasvillisten lohkojen tarkkuus olisi jäänyt vaatimattomaksi. Alustavien tulosten mukaan aluskasvillinen lohko voitiin erottaa aluskasvittomasta parhaiten, kun pääkasvina oli kevättrypsi, kevätvehnä tai ohra. Heikoiten aluskasvi onnistuttiin erottamaan jo lähtökohtaisestikin heterogeenisestä viljaseoskasvustosta.

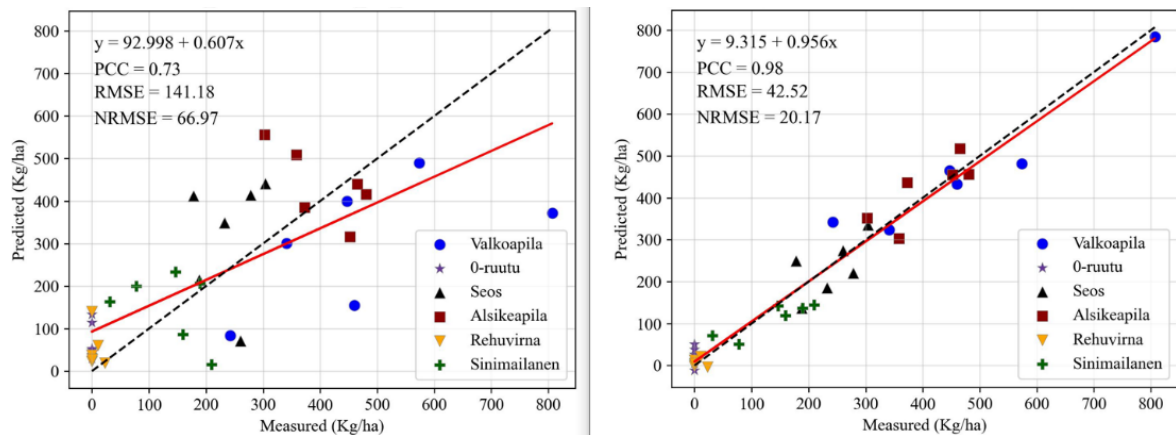
Drone-kaukokartoitusaineistojen (RGB ja multispektri) ja WP2:n tuottamien peitekasvien biomassamääritysten yhteyksiä tutkittiin molemmilla pilottitiloilla. Tavanomaisessa tuotannossa, Loviisassa olleessa kokeessa havaittiin vuonna 2022 erittäin vahva korrelaatio (0,97), kun drone-kuvaus oli tehty puinnin jälkeen (Kuvat a ja b). Tällöin aluskasvit olivat hyvin näkyvillä (Kuva a). Lisäksi biomassanäytteen otto tapahtui samaan aikaan drone-kuvauksen kanssa. Ennen puointia analysoitu korrelaatio oli 0,55–0,75, jolloin pääosa kaukokartoitussignaalista tuli pääkasvista eli kevätvehnästä. Tulosta heikentäneen myös se,

että näytteenoton ja kuvauksen välissä oli kuusi viikkoa. Luomutuotannossa olevalla kokeella Joutsenossa korrelaatiot kylvetyn aluskasvin biomassan ja drone-aineiston välillä jäivät vaatimattomiksi. Näytteenotossa määritettiin myös rikkakasvien biomassat ja kun ne huomiotiin nousi korrelaatio merkittävästi (parhaimmillaan 0,63). Koepellolla oli kuvauksen aikana myös runsaasti puintitähdettä, mikä saattoi heikentää tulosta, vaikka tätä pyrittiin välttämään näytteenottoaikan valinnalla.

Drone-aineistojen kykyä ennustaa aluskasvien biomassaa testattiin kolmella eri mallilla. Regressiomalleista testattiin lineaarisia yhden muuttujan malleja sekä monimuuttujamallia. Koneoppimisalgoritmina käytettiin epälineaarisiin tarkasteluihin soveltuvaa Random Forest -algoritmia. Menetelmien välillä ei ollut suuria eroja mutta puinnin jälkeen lineaariset mallit antoivat parhaat tulokset. Multispektrikameralla saatiin kaikissa vertailuissa korkeammat korrelaatiot kuin RGB-kameralla.



Kuva a. Yllä: Kaavio Pearsonin korrelaatiokertoimista aluskasvien biomassamääritysmalleille käyttäen aineistona RGB ja multispektrikameran (MS) aineistoja ennen ja jälkeen puinnin tavanomaisessa tuotannossa olleella kokeella. Malleina yhden muuttujan lineaarinen regressio (LR), lineaarinen monimuuttujamalli (PLSR) ja epälineaarinen Random Forest -koneoppimisalgoritmi (RF).



Kuva b. Drone-kuvista muodostetun kasvillisuusindeksin avulla ennustetun biomassan (y-akseli) ja mitatun biomassan (x-akseli) välinen yhteys. Vasemmalla ennen pääkasvina toimineen kevätvehnän puintia (2.9.2022) ja oikealla puinnin jälkeen (18.10.2022). PCC, Pearsonin korrelaatiokerroin; RMSE, keskineliövirheen neliöjuuri (kg/ha); NRMSE, normalisoitu RMSE (%).

WP4 Hiilinielut ja -varastot. Työpaketissa tutkittiin peitekasvien vaikutusta nopeasti muuttuviin hiili- ja tyyppiyhdisteisiin sekä maaperän kosteuteen ja lämpötilaan hyödyntäen käynnissä ollutta CA-hanketta IKIVHREÄ-hankkeen tilakokeiden ohella. Lisäksi kerättiin tietoa viljelijöiden viljelykäytännöistä ja satotasosta *Kerääjäkasvikisan* avulla. CA-kokeesta laadittiin julkaisu tyyppiyhdisteiden muutoksista peitekasvien viljelyn seurauksena, minkä perusteella peitekasvien viljely johti bakteeriperäisten aminosokereiden sekä typen mineralisaation määrän kasvuun. Peitekasvit vaikuttivat hiilisyötteeseen myös satokasvin sadon kautta, mitä analysoitiin tarkemmin MULTA-hankkeen viljelijöiden satokartoitusaineistojen avulla vuosilta 2019–2022. Tulosten perusteella peitekasvien vaikutus satoisuuteen vaihteli tiloittain ja lohkonosittain. Parhaimmillaan peitekasvit johtivat noin 300–600 kg/ha sadonlisään, mutta keskimäärin kuitenkin 300 kg/ha (5 %) sadonmenetykseen. Tämä vastasi aiemmissa tutkimuksissa saatuja arvioita ja osittain kumoaa peitekasvien tuottamaa hiilenlisäystä. Suurimmat sadonmenetykset olivat märimmillä pellon osioilla, mikä viittaa siihen, että peitekasvin ja satokasvin väliseen kilpailuun tulisi kiinnittää huomiota täsmäviljelyn keinoin: lisäämällä muokkausta tai valitsemalla märissä oloissa heikommin menestyvä peitekasvi (Agronomy Journal, käsikirjoitus). Lisäksi satokartoituksen analysointimenetelmistä kirjoitettiin työvuo-opas, joka julkaistiin avoimen tutkimustiedon Zenodo-palvelimella.

Kerättyyn aineistoon sovitettiin kolme erilaista hiilenkiertomallia (YASSO 20, SOMIC 1 ja DNDC 9.5.3 Can). Tulosten perusteella CA-MULTA lohkoilla peitekasvien aiheuttama hiilen lisäkertyminen oli luokkaa 90–140 kg C/ha/vuosi, mikä vastaa tutkimuskirjallisuuden arvoja. Mallien antamat kokonaisennusteet hiilivaraston muutoksille olivat samansuuntaisia, mutta mallien prosessikuvausten perusteella löytyi myös mielenkiintoisia osatuloksia. Esimerkiksi YASSO-mallin tulosten perusteella peitekasvien viljelyn aloittaminen johtaisi vesiliukoisen hiilen pitoisuuksien nousuun alkuvuosina. Korkeammat pitoisuudet muuntuvat vähitellen korkeammiksi pysyvien hiilivarastojen pitoisuuksiksi, mutta hitaammin kiertävien varastojen muutoksia on mahdollista mitata vasta vuosikausien päästä. Vesiliukoinen hiili voisikin olla hyvä hiilen kertymisen indikaattori. Toisaalta SOMIC-mallin tuloksissa korostui

mikrobibiomassan määrän kasvu noin kolmen vuoden tietämällä peitekasvien viljelyn aloittamisesta. Korkeammat vesiliukoisen hiilen pitoisuudet mahdollistavat mikrobibiomassojen määrän kasvun. DNDC-mallin perusteella peitekasvit vaikuttavat hiilenkierron lisäksi myös monipuolisesti typenkiertoon. Kilpailu liukoisesta tyypestä sato- ja peitekasvin välillä voi olla todellinen ongelma, mutta toisaalta peitekasvit siirtävät sadonkorjuun jälkeistä tyypeä seuraavalle satokasville. DNDC-mallin simulaatioissa näkyivät samat ongelmat, mitkä havaittiin tilojen satokartoissa: jos satokasvin kasvu jää heikoksi ja peitekasvi kasvaa jo heti alussa voimakkaasti, heikkenee satokasvin sato merkittävästi. Kaiken kaikkiaan prosessimallit auttoivat tulkitsemaan tuloksia ja tunnistamaan viljelyn kannalta keskeisiä muuttujia (Agriculture, Ecosystems and Environment, käsikirjoitus).

Mallinnuksen tuloksena syntyi kaksi merkittävää sivutuotosta: 1) Excel-versiot ja syöttötietoesimerkit YASSO20- ja SOMIC 1.0 -malleista sekä 2) laskentapohjat mallien Monte Carlo -epävarmuustarkasteluun. Nämä julkaistiin Zenodo-tutkimustietopalvelimella avoimena aineistona. YASSO- ja SOMIC-mallien käyttöönottoa on voimakkaasti rajoittanut se, että ne ovat olleet saatavilla vain ohjelmointikielisinä (R, C++, Fortran), kun taas Excel-pohjaiset laskurit mahdollistavat mallien käytön laskureina esimerkiksi neuvonnassa.

Mallinnustyön rinnalla tehtiin viljelijäyhteistyötä kerääjäkasvikisan puitteissa. Osallistuneet 13 viljelijää kisasivat siitä, kuka kasvattaisi eniten peitekasveja pienimmillä kustannuksilla. Kerääjäkasvikisassa jaettiin kolme palkintoa: 1) suurimman kerääjäkasvisadon tuottajalle, 2) suurimman kokonaishiilisyötteen tuottajalle (ml. satokasvin kasvintähteet) sekä 3) taloudellisimmin kerääjäkasveja viljelleelle. Suurin kokonaishiilisyöte oli pellolla, jossa kerääjäkasvi ei menestynyt, mutta syysvehnästä saatiin erinomainen sato. Tulosten perusteella peitekasvien satotasossa oli valtavaa vaihtelua (400–1800 kg/ha maanpäällistä kasvustoa). Suurimmat sadot saatiin melko edullisilla ja yksipuolisilla siemenseoksilla. Siemenseoksen monipuolistaminen ei lisännyt satotasoa. Keskeistä korkean peitekasvisadon saavuttamiseksi vaikutti olevan kylvö samanaikaisesti viljelykasvin kanssa, hyvä kylvöpohja, hyvä pellon viljavuus ja osin myös sateiden onnistunut ajoitus. Kisan avulla saatiin testattua myös yksinkertaisia keinoja, joilla viljelijät saivat peitekasvien ja satokasvin tiheyksiä seurattua. Hiilimallinnuksen aikana tehtyjä hiilisyötteen arviointikeinoja käytettiin, jotta viljelijöiden mittaamat peitekasvin ja satokasvin biomassat voitiin muuntaa hiilisyötteen. Ylimääräinen kannustepalkinto myönnettiin parhaille ”pellon ruokkijalle” (viljelijälle, joka sai suurimman hiilisyötteen sato- ja peitekasvista). Kerätyt tulokset ja menetelmät julkaistaan marraskuussa 2023 Zenodo-palvelimella.

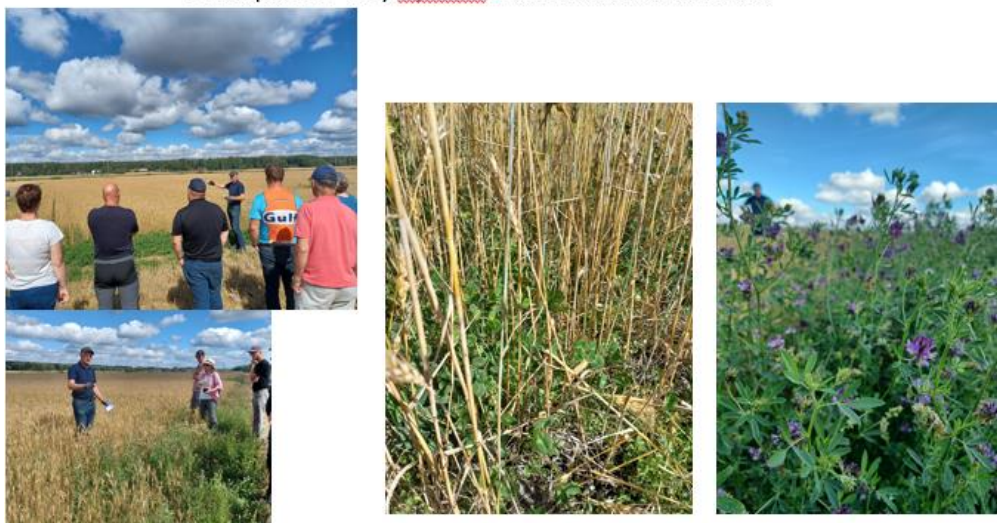
Yhteenvetona voi todeta, että mallinnus- ja mittaustyön perusteella helposti hajoavat hiiliyhdisteet voivat olla lupaava indikaattori peitekasvien hiilivaikutusten arvioimiseksi. Etenkin mikrobien hajottaman hiilen arviointi 24 h muhituskokeessa vaikuttaa lupaavalta menetelmältä. Mallinnuksella saadut hiilenkertymäennusteet ovat samaa suuruusluokkaa kuin kirjallisuudessa. Herkkyystarkastelun perusteella etenkin hiilisyötteen määrittäminen vaikuttaa olevan keskeinen pullonkaula hiiliennusteiden arvioinnissa. Peitekasvien biomassan ja satovaikutusten tarkempi arviointi parantaisi malliennusteita huomattavasti. Sen sijaan

esimerkiksi maaperän lähtöhiilipitoisuus tai maaperän lämpötilan tai kosteuden muutokset eivät osoittautuneet kovinkaan merkittäviksi muutoksen kannalta, mikä on hyvä uutinen niiden mittaamisen hankaluuden vuoksi. Mahdollinen yhden prosentin virhe maan lähtöhiilen määrittämisessä ei aiheuttanut merkittävää muutosta peitekasvien lisäämän hiilen kertymiseen. Multavuudet lohkoilla olivat 4–9%. Työpakettin aikana tuotettiin paljon arvokasta aineistoa, josta suurin osa on julkaistu jo avoimen tiedon palvelimilla tai tutkimusartikkeleina, joista loput julkaistaan talven 2023 aikana MULTA-hankkeen rahoituksella.

WP5 Synteesi. Työpaketti koosti pohja-aineistot viestintämateriaalien toteutukseen (WP6) eri työpaketeissa tuotettuihin aineistoihin nojaten.

WP6 Vuorovaikutus. Työpaketissa järjestettiin kaksi pellonpiennarpäivää maanpeitekasveja käyttävillä pilottitiloilla kasvukauden 2023 lopussa, jolloin päästiin parhaiten näkemään peitekasvien kasvuun lähtö pääkasvin korjuun jälkeen ja siten havainnoimaan mahdollisia viljelytekniikan vaikutuksia ja eroja. Pellonpiennarpäivät järjestettiin 17.8.2023 Loviisassa Tony Hydénin tilalla ja 13.9.2023 Joutsenossa Juuso Joonan tilalla. Loviisassa oli esillä kevätvehnän alle kylvetty valkoapila, alsikeapila, sinimailanen tai rehuvirna. Joutsenossa oli herne-vehnän/-kauran alla italianraiheinä. Molemmissa paikoissa tutustuttiin myös aluskasvien vaikutukseen maan rakenteeseen ja lisäksi Joutsenossa monilajiseen Juuson juurivoimaseokseen viherlannoitus/maanparannuskasvustona. Loviisan tilaisuuden alussa kuultiin esityksiä sisätiloissa peitekasvikokeilujen tuloksista. Tilaisuuksissa korostui tärkeänä peitekasvien onnistumisen tekijänä kylvö riittävällä siemenmäärällä ja multauksella. Maanpeitekasvit pysyvät kasvuston alla, kun pääkasvi kasvaa hyvin. Monivuotisten aluskasvien kohdalla on vaarana niiden kasvaminen pääkasvin yli, ellei niiden kasvua hillitä keväällä. Aluskasvit näyttivät yleisesti murentavan erityisesti maan pintaosaa ja muokkauskerrosta. Syväjuurisempia kasveja tarvitaan maan rakenteen parantamiseksi syvemmältä. Yhteensä tilaisuuksissa oli 38 osallistujaa, jotka olivat viljelijöitä ja sidosryhmien edustajia.

Pellonpiennar Tony Hydénin tilalla Loviisassa 17.8.2023



Pellonpiennar Juuso Joonan tilalla Joutsenossa 13.9.2023



Tämän lisäksi hanke on esillä eri viljelijätapahtumissa, kuten VYR viljelijäseminaarissa 16.2.2023, OKRA-näyttelyssä 5.–8.7.2023 ja KoneAgria-näyttelyssä 12.–14.10.2023. VYR-seminaarissa kuultiin myös Tuomas Mattilan esitys hiiltä sitovista viljelykäytännöistä ja kerääjäkasvikisan käynnistämisestä (<https://www.vyr.fi/fin/ajankohtaista/tulevat-tapahtumat-1/>) Okra-näyttelyssä hanke oli mukana myös MMM:n ohjelmalavan haastattelussa 6.7.2023, kuten myös KoneAgrian näyttelyssä (<https://www.koneagria.fi/ohjelma/ohjelmavideot>) sekä lisäksi Innovaatiotorilla 13.10.2023.

OKRA-näyttely 5.-8.7.2023



KoneAgria12.-14.10.2023



Suvi Anttila @Suvi_Anttila - 3 pv
KoneAgrian ohjelmassa asiaa maanpeitekasveista ja käytännön kokemuksia, mikä kannattaa ja mikä ei. Typensitojakasvit tuottavat 30-40 kiloa tyypeä hehtaarille. Lisäksi maanrakenteen paraneminen ja märkänä syksynä varmistaa pellolle pääsyä.
#nappaahilestäkiinni @saripelt



Työpaketissa tuotettiin kolme tietokorttia Luken julkaisusarjaan. Ensimmäinen tietokortti käsitti koosteen peitekasvien viljelyn edistämisestä perustuen viljelijöiden näkemyksiin hyödyistä (<http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2023063068897>). Toinen tietokortti koosti eri peitekasvivaihtoehdot sekä kuvaukset niiden ominaisuuksista, soveltuvuuksista eri pääkasveille sekä parhaista viljelyteknikoista ja käytännöistä mukaan lukien myös mahdolliset haasteet ja riskit (<http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe20231023140854>). Haasteista ja riskeistä otettiin huomioon esimerkiksi maanpeitekasvien riski kasvaa pääkasvin yli, siemenseosten joukossa mahdollisesti leviävät vieraslajit sekä peitekasvien riski jäädä itsessään haittakasviksi tai muuttua viljelykarkulaiseksi. Kolmas tietokortti käsitteli viljelijöiden onnistumisia maanpeitekasvien viljelyssä ja tietotarpeita tutkimukselle (<http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe20231025141300>).

Hankkeen aikana kirjoitettiin neljä blogitekstiä maanpeitekasvien viljelijäkyselyn tuloksista ja kaukokartoitusmenetelmistä hiilensidonnassa osoittamiseksi. Ajankohtaisia aiheita tarjottiin myös Hiilestä kiinni -uutiskirjeisiin. Hankkeesta tehtiin kaksi lehtihaastattelua: Maaseudun Tulevaisuus tammikuussa 2023 ja Maatilan Pellervo maaliskuussa 2023. Viljelijöiden kanssa käytiin myös syvää vuorovaikutusta Kerääjäkasvikisan myötä.

Tapahtumista tiedotettiin laajasti ProAgrian ja Luonnonvarakeskuksen somekanavien kautta sekä ilmastoviisas.fi-jakelussa.

3.3. Toteutusvaiheen arviointi

Hanke toteutettiin pitkälti päivitetyn aikataulun mukaisena huolimatta haasteista, joita hankkeen suunniteltua merkittävästi lyhyempi elinkaari aiheutti. Suurin poikkeama oli WP5:n ja WP6:n toimeenpanon siirtyminen pääosin viimeiselle vuodelle. Viljelijöiden

päätöksentekoa tukevaa menetelmää ei voitu toteuttaa ajanpuutteen vuoksi, mutta se sisällytettiin osaksi Luken koordinoimaa Horizon Mission CLIMA -hankehakemusta. Toisaalta laadittu tietokortti eri peitekasvilajien vaihtoehtoista, ominaisuuksista, vaikutuksista ja käyttötavoista korvannee osittain suunniteltua menetelmää.

Hankkeessa onnistuttiin toteuttamaan tilakokeet kolmena vuotena, mikä kuitenkin edellytti ensimmäisen vuoden kokeiden suunnittelu- ja käynnistystoimien ennakointia. Samoin viimeisen koevuoden jääminen lyhyeksi haastoi kokeiden loppuunsaattamista. Viljelijäkysely toteutettiin kaikinensa ennakoivasti maaliskuussa 2021. Muuten aineistojen saanti olisi lykkääntynyt lähes vuodella kasvukauden käynnistyttyä, mikä olisi heikentänyt merkittävästi tulosten hyödyntämismahdollisuuksia sekä käytäntöön vientiä.

Vuorovaikutus painottui viimeiselle hankevuodelle, mutta se mahdollisti edeltävien kahden tutkimusvuoden havaintojen mukaan oton ja kattavamman kokonaisuuden esittelyn. Lisäksi eri tilaisuuksissa ja haastatteluissa voitiin tuoda esille laajasti havaintoja yksittäisen kasvukauden sijaan.

Kasvukausien sääolot olivat varsin poikkeukselliset ja haasteelliset tutkimusten toteutukselle varsin äärevien, eritavoin ajoittuneiden sääilmiöiden vuoksi. Toisaalta kertynyt aineisto kuvaa hyvin peitekasvien viljelyä tilanteissa, jotka saattavat yleistyä lähivuosikymmeninä. Kuitenkin yhdestä tavanomaisesta, kohtuullisen suosiollisesta vuodesta olisi ollut hyötyä vertailukohtena.

3.4. Julkaisut ja muut viestintämateriaalit

Hanke tuotti suuren määrän viljelijäkyselyyn perustuneita tieteellisiä julkaisuja tavoitteenaan avaintuloksien hyödyntäminen hanketoimissa:

- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Mattila, T., Joona, J., Hydén, T. & Känkänen, H. 2022. Pioneering farmers value agronomic performance of cover crops and their impacts on soil and environment. *Sustainability* 14, 8067; <https://doi.org/10.3390/su14138067>
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Känkänen, H., Joona, J., Hydén, T. & Mattila, T.J. 2022. Farmers' experiences of how under-sown clovers, ryegrasses, and timothy perform in northern European crop production systems. *Agronomy* 12, 1401, <https://doi.org/10.3390/agronomy12061401>
- Peltonen-Sainio, P., & Jauhiainen, L. 2022. Come out of a hiding place: how are cover crops allocated on Finnish farms? *Sustainability* 14, 3103. <https://doi.org/10.3390/su14053103>
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Joona, J., Mattila, T.J., Hydén, T. & Känkänen, H. 2023. Sowing and harvesting measures to cope with challenges of cover crops experienced by Finnish farmers. *Agronomy* 13, 499. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020499>
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L. & Känkänen, H. 2023. Finnish farmers feel they have succeeded in adopting cover crops but need down-to-earth support from research. *Agronomy* 13, 2326. <https://doi.org/10.3390/agronomy13092326>

- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Joona, J., Mattila, T.J., Hydén, T. & Känkänen, H. 2023. Farm characteristics shape farmers' cover crop choices in Finland. *International Journal of Agricultural Sustainability*, manuscript revised
- Wittke, S., Fouilloux, A., Lehti, P., Varho, J., Kivimäki, A., Karhu, M., Karjalainen, M., Vaaja, M., & Puttonen, E. 2023. EODIE — Earth Observation Data Information Extractor. SoftwareX, 23, 101421. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2023.101421>

Viljelijäkyselyyn pohjautuen laaditaan vielä yksi käsikirjoitus Ruokavirastolta anottujen tausta-aineistojen saavuttua. Tässä tarkastellaan, kuinka viljelijät kohdentavat maanpeitekasveja viljelykiertoihin ja mikä vaikutus niillä on seuraavien kasvien valintaan. Aineistokokonaisuutta ja saatua ymmärrystä hyödyntäen tarkastellaan tulevaisuudessa mahdollisuuksia sisällyttää peitekasvit osaksi Luken VILKAS-hankkeessa kehittämää Viljelykierto-työkalua. Lisäksi WP4-tutkimukset hyötyivät CA-hankkeessa tuotetuista julkaisuista ja niiden käsikirjoituksista. Julkaistuna on: Mattila, T.J., Girz, A.I. & Pihlatie, M. 2023. Do carbon farming practices build bioavailable nitrogen pools? *Soil Use and Management* 39, 1532–1544. <https://doi.org/10.1111/sum.12930>.

Pirjo Peltonen-Sainio toimi laajan EASAC-raportin toimituskunnassa, jonka tuottamassa raportissa huomioidaan kattavasti monimuotoistamisen mahdollisuuksia ja hyötyjä:

- EASAC 2022. Regenerative Agriculture in Europe. A critical analysis of contributions to European Union Farm to Fork and Biodiversity Strategies. *EASAC Policy Report 44*, 58 p. ISBN: 978-3-8047-4372-4. Available online at www.easac.eu

Hankeryhmä laati blogikirjoituksia, joista osa julkaistiin myös Hiilestä kiinni -ohjelman uutiskirjeessä:

<https://www.luke.fi/fi/blogit/luvassa-ikivihreytta-suomalaisille-pelloille>

<https://www.luke.fi/fi/blogit/kasvinviljelytiloilla-etsitaan-ikivihreytta-maanpeitekasvien-avulla>

<https://www.luke.fi/fi/blogit/maanpeitekasvien-jaljilla-toulousessa-etelaranskassa>

<https://www.maanmittauslaitos.fi/ajankohtaista/ensituloksia-kaukokartoitusaineistojen-hyodyista-maanpeitekasvien-hiilensidontan>

Lisäksi hankkeessa tuotettiin maanpeitekasvien viljelyä tukevia tietokortteja ja avoimia aineistoja:

<http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2023063068897> Maanpeitekasvien viljelyn edistäminen perustuen viljelijöiden näkemyksiin hyödyistä

<http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe20231023140854> Maanpeitekasvien valinta

<http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe20231025141300> Onnistumisia maanpeitekasveilla: Tietotarpeita tutkimukselle

<https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.7852637> Satokartoitusopas

<https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.10121986> Kerääjäkasvikisan tulokset (ei vielä julkinen)

Hankkeen tilakoekokemusten perusteella kirjoitettiin Tilakoeopas-blogi (Joona ja Mattila), johon kirjattiin tilakokeen järjestämiseen huomioitavia seikkoja ja oppaita. Oppaasta oli tarkoitus tehdä hankkeen aikana myös raportti, mutta raportti viimeistellään hankkeen päätyttyä marraskuussa 2023.

4. Tulosten arviointi

4.1. Tulosten käytännön sovellettavuus

Hanke on vahvasti käytännönläheinen. Sen keskeisenä tavoitteena oli parantaa edellytyksiä ja tukea maanpeitekasvien laajamittaista käyttöönottoa, mahdollistaa peitekasvien hiilensidonta- ja varastointipotentiaalin hyödyntäminen ja varmistaa, että tieto-, taito- ja kokemuspohjaiset parhaat peitekasvien viljelykäytännöt sekä käsitys niiden soveltuvuudesta ja ominaisuuksista eri tuotantotilanteissa ovat helposti tietoa tarvitsevien saatavilla. Lisäksi motivointi ja kannustus olivat keskeisiä elementtejä käytäntöön vientiä ja hankkeen tavoitteiden toteutumista ajatellen.

Hanke on tuottanut tavoitteidensa mukaisesti runsaasti uutta, käytännönläheistä tietoa niin viljelijöiden, neuvonnan kuin politiikkavalmistelun tueksi. Tuloksista on viestitty ja vuorovaikutusta toteutettu eri keinoin: viljelijätilaisuuksissa, laajoissa tapahtumissa, tieteellisinä julkaisuina, avoimina tietoina, avoimia oppaita/tietoa tutkimustiedon Zenodo-palvelimella, osallistavina viljelijäkokeina sekä nettisivuja ja somekanavia hyödyntäen. Suunniteltu Policy Brief korvautui sisältönsä vuoksi Luken Tietokorteilla. Toimenpidesuosituksia koostettiin erilliseksi loppuraportin liitteeksi.

Drone-kaukokartoitus vaikuttaisi olevan hyvä keino aluskasvien biomassan määrittämiseen paikallisesti, etenkin puintikauden jälkeen. Mallia olisi hyvä kuitenkin testata laajemmalla aineistoilla, jotta sen yleistettävyyttä voitaisiin varmistaa erilaisissa ympäristöissä. Ennen puintia tarkoista drone-kuvista voisi olla mahdollista kartoittaa aluskasvin määrää. Hankkeessa tehtyyn kokeeseen liittyi kuitenkin epävarmuuksia, sillä näytteenotto tehtiin vasta kuusi viikkoa puinnin jälkeen. Tänä aikana eri aluskasvien kasvu ei välttämättä ollut samalaista. Lisäksi tuona aikana hanhien havaittiin syöneen osan kasvustosta, erityisesti apiloista. Kasvipeitteisyyden havainnointi satelliittikuvista tuotti lupaavia tuloksia. Eri pääkasveilla on kuitenkin erilaiset kasvurytmit. Lisäksi maantieteellinen vaihtelu lisää eroja vuotuisessa kasvurytmissä. Nämä tekijät on syytä huomioida mallien jatkokehityksessä. Ruokavirasto pyrkii monitoroimaan kasvipeitteisyyttä valtakunnallisella tasolla, mutta on kohdannut syksyisestä pilvisyydestä johtuneita haasteita samoin kuin epävarmuutta, onko kyseessä kylvetty peitekasvi vai ei.

4.2. Tulosten tieteellinen merkitys

Hankkeessa yhdistettiin viljelijänkyselyn tuoma uusi ja laaja, paljolti piilossa ollut tiedon ja kokemus tilakokeiden tuottamaan, täydentävään ymmärrykseen. Julkaisujen laadinnassa perehdyttiin ja hyödynnettiin mittava määrä kansainvälistä, tuoreinta tutkimustietoutta

maanpeitekasvien viljelymenetelmistä sekä vaikutuksista tuotantoon, tilan talouteen ja ympäristöön. Tätä tietoa nivottiin osaksi kansallisia tarkasteluitamme. Ajantasaisella, viljelijöiltä saatujen tilatason kokemusten hyödyntämisellä nähtiin olevan keskeinen rooli kannustettaessa viljelijöitä yhä laajempaan maan kasvipeitteisyyden hyödyntämiseen suomalaisilla maatiloilla. Kyselyn perusteella viljelijät arvioivat, että peitekasveista on tullut pysyvä, merkitykseltään yhä kasvava elementti osana suomalaisia tuotantojärjestelmiä. Vastaukset antoivat vahvaa viitettä koetusta tarpeesta muuttaa tuotantotapoja kohti uudistavaa viljelyä. Viljelijäkysely oli laajuutensa ja kattavuutensa vuoksi poikkeuksellinen ja se on kiinnostanut kansainvälisesti.

Hiilimallinnuksen ja labiilien hiiliyhdisteiden mittauksen avulla saatiin syvennettyä ymmärrystä kerääjäkasvien vaikutuksista maaperän hiileen ja hiilivaraston muutoksiin vaikuttavista tekijöistä. Hankkeen avulla testattiin uusia menetelmiä hiilijakeiden tunnistamiseen (aminosokerit ISNT-N menetelmällä) sekä hiilisyötteen arviointiin satokartoituksen avulla. Menetelmät on julkaistu avoimina ja hyödyttävät tiedeyhteisöä laajemminkin. Peitekasvien tuottama biomassa tulisi myös todentaa tarkoin mittauksin (ml. drone-kartoitus) ja sitoa tuet hiilensidontahyötyyn. Hiilimallinnuksen tulosten pohjalta juuri hiilisyötteen arviointiin kannattaisi panostaa, sillä se on keskeinen muuttuja hiilivaraston muutokselle. Hiilisyöte sisältää kuitenkin vaikeasti mitattavia jakeita (juurieritteet ja hienojuuret). Nopeasti muuttuvat hiilipoolit (vesiliukoinen ja mikrobien hengittämä hiili) voivat toimia indikaattoreina hiilisyötteen määrälle.

Vaihtelu tilojen välillä oli huomattavan suurta, mikä kannustaa pitkäaikaisten tilakokeiden ja tilakoeverkostojen ylläpitoon yksittäisten koepaikkojen sijaan. Kerääjäkasvikisan avulla jalkautettu tiedonkeruu osoitti, että käytännön viljelyssä kerääjäkasvibiomassat ovat 300–2500 kg/ha samanakin kasvukautena riippuen kasvuoloista, kerääjäkasvin perustamisen onnistumisesta sekä kilpailusta pääkasvin kanssa.

Lukelle tuli tutkijavieraaksi 2023, yhteensä noin kolmen kuukauden ajaksi apulaisprofessori Axel Garcia y Garcia Minnesotan yliopistosta. Hänen vierailunsa liittyi IKIVIHREÄ-tutkimukseen. Pirjo Peltonen-Sainio oli tutkijavieraana kolmen viikon ajan keväällä 2023 Euroopan suurimman maatalous- ja ympäristötutkimuslaitoksen, INRAE:n maanpeite- ja välikasvien tutkimusryhmässä Etelä-Ranskan Toulousessa (kts. blogikirjoitus). Hän sai myös kutsun kustannetulle vastavierailulle Minnesotaan kesällä 2024 tutustumaan koetoimintaan, maatilojen käytäntöihin sekä alustamaan kokemuksistamme.