

BIOHILA-hankkeen loppuraportti

Sisällysluettelo

Käytetyt lyhenteet & sanasto	2
1. Hankkeen esittely	3
1.1. Perustiedot hankkeesta	3
1.2. Hankkeen tavoitteet	3
1.3. Yhteenveto hankkeesta	4
2. Hankkeen toteutus ja toteutusvaiheen arviointi	4
2.1. Menetelmät ja aineisto	4
2.1.1 Biomassamenetelmät (TP1)	5
Sentinel-2 -menetelmä	5
Ekosysteemimalli-menetelmä	6
2.1.2 Testaus (TP2)	7
2.1.3 Hiililaskurit (TP3) ja Tiedon käyttö (TP4)	7
2.2. Aikataulu ja resurssit (sis. toteutuksen organisaatio ja yhteistyökumppanit)	8
2.3. Kustannukset ja rahoitus	8
2.4. Raportointi, julkaisut ja seuranta	10
2.5. Toteutusvaiheen arviointi	10
3. Tulokset ja niiden arviointi	11
3.1. Tulosten esittely	11
3.1.1 Biomassa-menetelmät (TP1)	11
3.1.2 Testaus (TP2)	11
Biomassamittaukset	11
GPP-arvot	13
Menetelmien vertailu toisiinsa	14
3.1.3 Hiililaskurit (TP3)	2
Biomassan, hiilen ja kasvihuonekaasujen mittaus- ja laskentajärjestelmä	2
Pelto-observatorio	3
Hiilijalanjälkilaskuri	3
3.1.4 Tiedon käyttö (TP4)	4
Elintarvikeyritys	4
Biocode	6
3.1.5 Viestintä ja vuorovaikutus (TP5)	7
3.2. Tulosten vieminen käytäntöön	9
3.3. Tulosten merkitys ja jatkotoimenpiteet	9
4. Toimintasuositukset ja hankkeen muut tuotokset	10
Lähteet	10

Käytetyt lyhenteet & sanasto

API	Application Programming Interface
BASGRA	Basic Grassland -malli
BSAG	Baltic Sea Action Group
CAMS	Copernicus Atmospheric Monitoring Service
CSRD	Corporate Sustainability Reporting Directive, yritysten kestävyysvaatimuksia koskeva Euroopan Unionin direktiivi
CO ₂	hiilidioksidi
EC	Eddy Covariance, eddy kovarianssimittaus, pyörrekovarianssimittaus
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
GPP	Gross Primary Production, bruttofotosynteesi
HAMK	Hämeen ammattikorkeakoulu
IL	Ilmatieteen laitos
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change, hallitustenvälinen ilmastopaneeli
KHK	kasvihuonekaasu
LAI	Leaf Area Index, lehtialaindeksi, yhteyttävä lehtipinta-ala
Land-DNDC	Land DeNitrification-DeComposition, denitrifikaatio- ja hajotusprosesseihin perustuva simulaatiomalli
LCA	Life Cycle Assessment, elinkaariarviointi
Luke	Luonnonvarakeskus
LULUCF	land use, land use change and forest, Maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous -sektori
MMM	Maa- ja metsätalousministeriö
NEE	net ecosystem exchange, hiilidioksidin nettovirtaus
NPP	Net Primary Production, nettoprimäärituotos, nettobiomassatuotos
PAR	photosynthetically active radiation, fotosynteettisesti aktiivinen säteily
PEcAn	Predictive Ecosystem Analyzer
SeAMK	Seinäjoen ammattikorkeakoulu
STICS	satoa ja maaperää kuvaava dynaaminen malli
SYKE	Suomen ympäristökeskus
TP	työpaketti
Yasso	Maaperän hiilimalli

Peltolohkokohtainen laskentamenetelmä tarkoittaa tässä raportissa menetelmää, jolla arvioidaan biomassaa peltolohkokohtaisesti. Tässä hankkeessa kehitettiin tähän tarkoitukseen kaksi menetelmää: 1) Sentinel-2 -satelliitin bruttofotosynteesituotteeseen perustuva menetelmä ja 2) peltoekosysteemin toiminnan mallitukseen perustuva menetelmä.

1. Hankkeen esittely

1.1. Perustiedot hankkeesta

Hankkeen nimi: Tarkkaa tietoa peltojen biomassasta maatalouden hiiliaselaskennan sovelluksiin yhdistämällä satelliitti- ja maastomittauksia sekä ekosysteemimallitusta (BIOHILA)

Toteuttajat: Ilmatieteen laitos (IL), Hämeen Ammattikorkeakoulu (HAMK), Biocode ja Valio

Yhteistyökumppani: Luonnonvarakeskus (Luke)

1.2. Hankkeen tavoitteet

Hankkeen pää tavoite on a) kehittää menetelmä tuottaa tarkkaa tietoa peltojen biomassasta ja b) hyödyntää sekä soveltaa tätä tietoa ja menetelmää maatalouden hiiliaselaskennassa, julkisen ja yksityisen sektorin ilmastotyössä sekä elintarviketuotannon operatiivisessa toiminnassa.

Hankkeen yksityiskohtaiset tavoitteet ovat:

- 1) kehittää käytännöllinen menetelmä tuottaa tarkkaa tietoa peltojen biomassasta yhdistämällä satelliittien keräämää dataa, kenttämittauksia ja ekosysteemimallitusta sekä liittää tämä menetelmä osaksi peltojen hiiliaselaskureita,
- 2) pilotoida menetelmää peltolohko- ja tilakohtaisessa hiiliaselaskennassa,
- 3) osoittaa, miten menetelmää voidaan käyttää erilaisissa hiiliaselaskureissa, kuten kansallisessa kasvihuonekaasujen inventaariojärjestelmässä, peltolohkokohtaisessa hiiliaselaskennassa sekä elintarvikkeiden elinkaariarvioinnissa ja hiilijalanjätkilaskennassa,
- 4) suunnitella, miten menetelmä ja sen tuottama tieto voidaan liittää uusiin hiiliedon käyttökohteisiin, kuten hiilikompensaatiohankkeisiin.

Hanke kuuluu hankehaun teemaan 5. "Maankäyttösektorin tieto-ohjelman toteuttaminen". Teemaan kuuluvilla hankkeilla vahvistetaan maankäyttösektorin tietopohjaa ja kehitetään tietojärjestelmiä ja tietotuotteita: "Tieto-ohjelmassa on listattu toimenpiteet maankäyttösektorin tietoaineistojen hankkimiseksi, niiden käytön kehittämiseksi ja tehokkaan hyödyntämisen edistämiseksi sisältäen tietotuotteet ja –palvelut sekä mallinnuksen".

Teemassa 5 hanke kuuluu siinä tarkemmin kuvatuista kolmesta aiheesta aiheeseen "Biomassan estimointi, kartoitus ja mallinnus". Tämän aiheen hankkeissa "voidaan parantaa biomassan estimointiin, kartoitukseen ja mallinnukseen liittyvää tietopohjaa päätöksenteon ja toiminnan tueksi." Aiheen kuvauksen mukaan "Tarkemman tiedon pohjalta voi syntyä esimerkiksi kartta-aineistoja ja sovelluksia. Esimerkiksi tilakohtaiseen puuston ja maaperän hiiliaselaskentaan voidaan tuottaa lähtötietoja. Tietopohja puubiomassan, peltobiomassan sekä esimerkiksi kasvillisuuden ja karikkeen hiilisyötteestä on tarkentunut ja toimijoiden sekä KHK-raportoinnin käytettävissä. Maatalouden tarpeisiin on tuotettu lähtötietoa vuotuisesta kasvukehityksestä lohkoitasolla satelliittikuvia hyödyntäen."

1.3. Yhteenveto hankkeesta

Hankkeessa kehitettiin kaksi menetelmää arvioida peltolohkojen biomassaa. Ensimmäinen menetelmä perustui Sentinel-2 -satelliitin bruttofotosynteesituotteeseen ja toinen peltoekosysteemin toiminnan mallitukseen. Menetelmien luotettavuutta arvioitiin vertaamalla niiden tuloksia mittauksiin ja vertaamalla kahden menetelmän tuloksia toisiinsa.

Biomassan arviointimenetelmät liitettiin osaksi peltolohkokohtaista hiilitaseen laskentajärjestelmää ja työtä havainnollistettiin Pelto-observatorio -palvelussa. Laskentajärjestelmä hakee Sentinel-2 -menetelmän tarvitsemat tiedot eri lähteistä automaattisesti lohkon tunnuksen tai koordinaattien perusteella ja laskee biomassan syöttötietojen perusteella. Ekosysteemimallien käyttöä automatisoidaan parhaillaan.

Hankkeessa selvitettiin, miten kehitettyjä biomassan arviointimenetelmiä voidaan käyttää kansallisen kasvihuonekaasujen inventaariojärjestelmän parantamiseksi ja muissa hiilijalanjälkilaskennan käyttökohteissa. Hanke suosittelee, että Sentinel-2 -biomassamenetelmän käyttöä kasvihuonekaasujen inventaarioissa selvitetään tarkemmin ja menetelmää kehitetään edelleen juuri Suomen oloihin sopivaksi.

Lisäksi Biocode kehitti hankkeessa maataloudelle ja ruokaketjulle suunnattua pilvipohjaista Hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin IPCC:n Tier 1 ja 2 -tasoihin päästökertoimiin perustuvaa hiilijalanjälkilaskuria yrityksille ja kuluttajille.

Hankkeen toteuttivat Ilmatieteen laitos konsortion johtajana ja vastuuhenkilönä Jari Liski, Hämeen ammattikorkeakoulu vastuuhenkilönä Iivari Kunttu, Biocode Oy vastuuhenkilönä Ernesto Hartikainen ja Valio Oy vastuuhenkilönä Juha Nousiainen.

Hankkeen budjetin mukaiset kustannukset olivat 904 514 euroa, joihin Maa- ja metsätalousministeriöltä (MMM) haettiin rahoitusta 599 759 euroa. Myönnetty rahoitus oli 540 000 euroa. Myönnetystä rahoituksesta käytettiin 99,6 % ja hankkeen toteutuneet kokonaiskustannukset olivat 852 107,82 euroa.

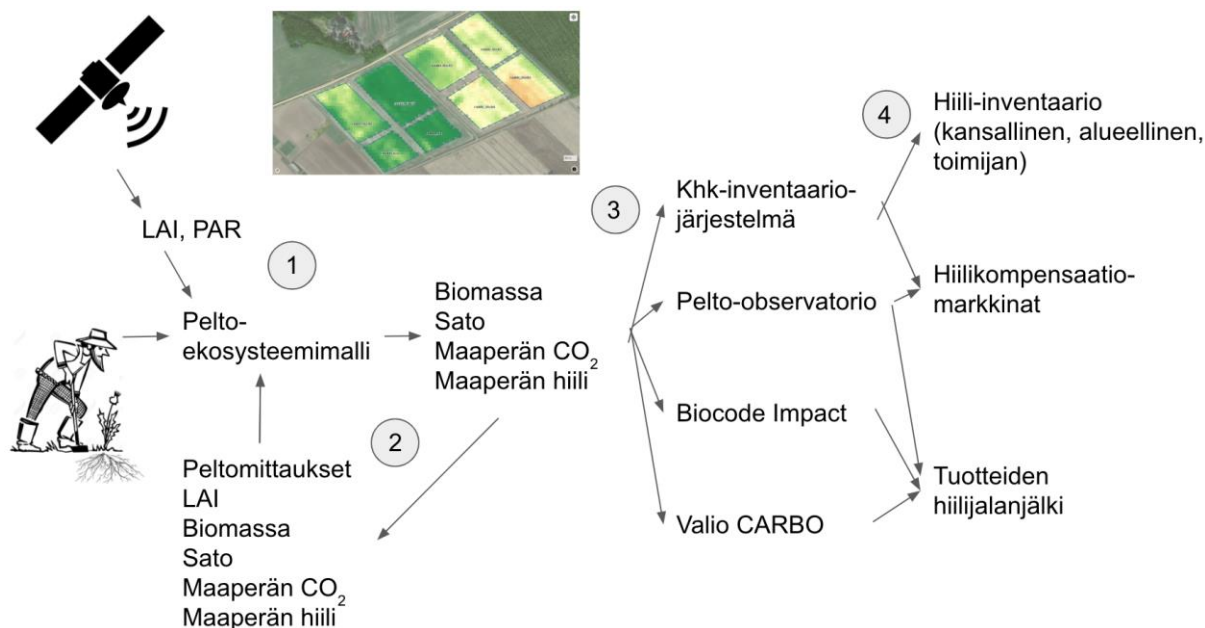
Hankkeen tuloksista julkaistiin yksi tieteellinen artikkeli ja toinen tieteellinen artikkeli on valmisteilla. Hankkeen tuloksia julkaistiin lisäksi uutena Pelto-observatorio-palvelun versiona (www.peltoobservatorio.fi) ja Biocoden palveluina (www.biocode.io). Tuloksia hyödynnettiin lisäksi Hämeen ammattikorkeakoulun opetuksen kehittämisessä.

2. Hankkeen toteutus ja toteutusvaiheen arviointi

2.1. Menetelmät ja aineisto

Hankkeessa kehitettiin kaksi menetelmää arvioida peltolohkojen biomassaa (Kuva 1). Ensimmäinen menetelmä perustui Sentinel-2 -satelliitin bruttofotosynteesituotteeseen ja toinen peltoekosysteemin toiminnan mallitukseen (työpaketti 1). Menetelmien luotettavuutta arvioitiin vertaamalla niiden tuloksia mittauksiin ja vertaamalla kahden menetelmän tuloksia toisiinsa (TP2). Menetelmät liitettiin osaksi peltolohkokohtaista hiilitaseen laskentajärjestelmää ja työtä havainnollistettiin Pelto-observatorio-palvelussa (TP3). Hankkeessa selvitettiin myös, miten TP1–3:ssa kehitettyjä menetelmiä voidaan käyttää kansallisen kasvihuonekaasujen inventaariojärjestelmän parantamiseksi ja muissa hiilijalanjälkilaskennan käyttökohteissa

(TP4). Lisäksi Biocode kehitti hankkeessa maataloudelle ja ruokaketjulle suunnattua pilvipohjaista IPCC:n Tier 1 ja 2 -tasoihin päästökertoimiin perustuvaa hiilijalanjälkilaskuria ja kuluttajille asti yltäviä elinkaariarvioinnin ja tuote- ja yritystason raportointiratkaisuja.



Kuva 1. BIOHILA-hankkeessa kehitettiin kaksi menetelmää tuottaa tarkkaa tietoa peltojen biomassasta yhdistämällä satelliitti- ja kenttämittauksia sekä ekosysteemimallitusta (1 ja 2) ja tapoja hyödyntää näitä menetelmiä hiilitaselaskennan sovelluksissa (3 ja 4). Numerot viittaavat hankkeen työpaketteihin; viides työpaketti vastasi viestinnästä ja vuorovaikutuksesta.

2.1.1 Biomassamenetelmät (TP1)

Sentinel-2 -menetelmä

Peltojen biomassa laskettiin Sentinel-2 -satelliitin bruttofotosynteesituotteen (Gross Primary Production, GPP) avulla. GPP:stä vähennettiin kasvien hengityksen osuus (54 %) ja näin saatuja nettobiomassatuotoksen (Net Primary Production, NPP) arvoja laskettiin yhteen ajan yli. Näistä biomassa-arvoista vähennettiin vielä sadonkorjuussa poistettu biomass.

$$\text{Biomassa}(t) = \Sigma [\text{GPP}(t) * \text{NPP}/\text{GPP} - \text{sadonkorjuu}(t)]$$

Kokonaisbiomassa jaettiin maanpäälliseen ja maanalaiseen osaan samalla tavoin kuin Palosuon ym. (2015) tutkimuksessa.

Sentinel-2 -satelliitin GPP-tuote perustuu yhteyttävän kasvillisuuden määrää kuvaavaan kasvillisuusindeksiin ja fotosynteesistä aktiivisen säteilyn (PAR) määrään (Peng ja Gitelson 2012). Satelliitti tuottaa nämä tiedot 20 x 20 m pikseleittäin.

$$\text{GPP} = 4.8 * \ln(\text{CI}_{\text{red_edge}} * \text{PAR} * 1\text{e}3) - 37.93,$$

missä

$CI_{red_edge} = \text{Chlorophyll Index RedEdge} = (B7/B5) - 1,$

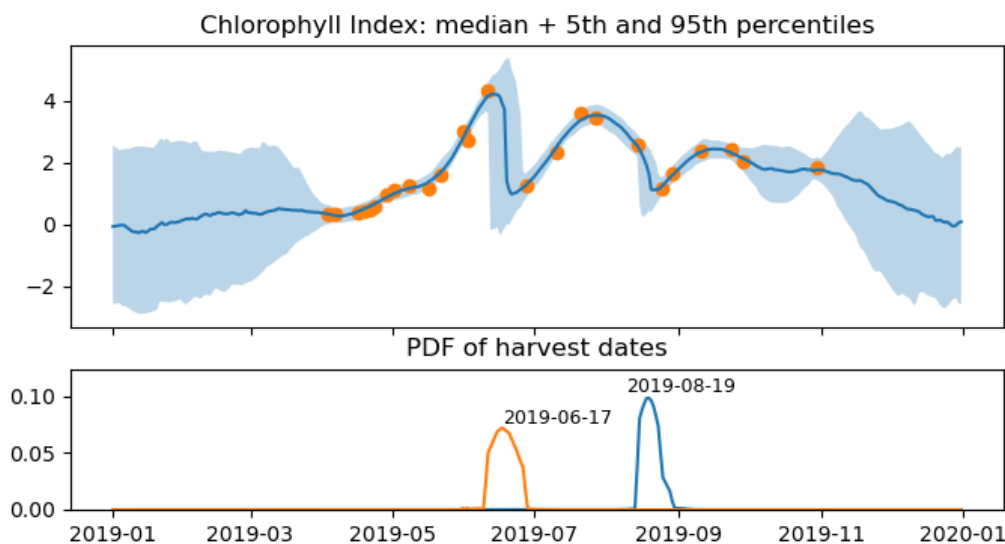
B7 = Sentinel-2 band 7 at 783 nm,

B5 = Sentinel-2 band 5 at 705 nm ja

PAR = daily photosynthetically active radiation, yksikkö MJ/s/m².

Sentinel-2 -satelliitit lentävät Suomen yli joka toinen tai kolmas päivä, mutta mittaukset onnistuvat tätä harvemmin pilvisyyden vuoksi. Jatkuvan päivittäisen GPP-aikasarjan tuottamiseksi kehitettiin menetelmä, jolla ensiksi interpolointiin kasvillisuusindeksin arvoja mittausten välillä (Kuva 2) ja sitten yhdistettiin Copernicus Atmospheric Monitoring Service (CAMS) -palvelusta saatu päivittäinen PAR-tieto näihin kasvillisuusindeksin arvoihin (ks. Kuva 5).

Kasvillisuusindeksin interpolointi perustuu Gaussiseen prosessiin, joka on tilastotieteessä ja koneoppimisessa käytetty malli, jossa havaintoihin sovitetaan tietyt reunaehdot täyttävä satunnaisprosessi. Nyt toteutetun menetelmän erityispiirteenä on kasvillisuusindeksin arviointi paloittain jatkuvalla funktiolla, joka vaihtelee tasaisesti sadonkorjuuiden välillä, mutta huomioi äkilliset kasvillisuusindeksin muutokset niittojen yhteydessä. Tässä raportissa esitetyt tulokset perustuvat ilmoitettuihin sadonkorjuupäiviin, mutta mikäli tarkkoja päivämääriä ei ole tiedossa, voidaan interpolointimenetelmää käyttää myös sadonkorjuuiden ajoittamiseen.



Kuva 2. Ylempi paneeli: nurmipellon Sentinel-2 -satelliitin kasvillisuusindeksi (CI Red Edge, oranssit pisteet) vuonna 2019 interpoloituina Gaussisella prosessilla (sininen viiva); sininen varjostus osoittaa 90 % luottamusvälin interpoloiduille arvoille. Alempi paneeli: kasvillisuusindeksin avulla estimoitujen sadonkorjuupäivien todennäköisyysjakaumat; suurimman todennäköisyyden päivämäärät on merkitty kuvaan. Todelliset sadonkorjuupäivät olivat 11.6. ja 20.8.

Ekosysteemimalli-menetelmä

Nurmipeltojen biomassaa arvioitiin simuloimalla näiden ekosysteemien toimintaa simulointimalleilla. Kivennäismaapeltoja simuloitiin BASGRA-Yasso ja turvemaapeltoja

BASGRA-BGC -mallilla (Huang ym. 2021). BASGRA-Yasso -malli kehitettiin BASGRA-N -mallista (Höglind ym. 2020) vaihtamalla sen maaperäosaksi Yasso20-malli (Viskari ym. 2022). Tämä lisää tämän työn yhteensopivuutta Suomen kansallisen kasvihuonekaasujen inventaarion kanssa, sillä inventaariossa kivennäismaapeltojen hiilitase lasketaan Yasso-mallin vanhemmalla Yasso07-versiolla (Tuomi ym. 2011).

BASGRA-mallit kalibroitiin Suomen oloihin paremmin sopiviksi osana tätä työtä (Fer ym. 2018). BASGRA-Yasso -mallin kalibroinnissa oli kaksi osaa. Yhdessä osassa malli kalibroitiin käyttäen Sentinel-2 -satelliitin lehtipinta-alaindeksin (LAI) mittauksia kaikilta tämän työn kivennäismaiden nurmipelloilta. Toisessa osassa malli kalibroitiin käyttäen Qvidjan eddy kovarianssi -pellon lehtipinta-alaindeksiä, latenttia lämpöä (latent heat) ja hiilidioksidin nettovirtausta (net ecosystem exchange, NEE). BASGRA-BGC -malli kalibroitiin käyttäen Ruukin eddy kovarianssi -mittausaseman hiilidioksidin nettovirtausta ja muita mittauksia.

Biomassan tuotos (nettoprimäärituotos, NPP), laskettiin BASGRA-mallien tuloksista NEE:n ja kasvien hengityksen summana. GPP arvioitiin mallien fotosynteesiosien avulla, mutta sen laskentaa vaikeutti se, etteivät BASGRA-mallit kuvaa kasvien ylläpitohengitystä.

2.1.2 Testaus (TP2)

Biomassa-arvioiden luotettavuutta testattiin kolmella tavalla:

- 1) vertaamalla laskettuja lukuja biomassamittauksiin,
- 2) vertaamalla Sentinel-2 -menetelmän biomassaarvioiden lähteenä olevia GPP-arvoja eddy kovarianssi -mittauksista laskettuihin GPP-arvoihin ja
- 3) vertaamalla Sentinel-2 -menetelmällä ja ekosysteemimalli-menetelmällä laskettuja biomassaarvioita toisiinsa.

Vertailuja tehtiin erilaisilla tutkimuspelloilla:

- 1) Sentinel-2 -menetelmän biomassatuloksia verrattiin biomassamittauksiin 40:llä Carbon Action -verkoston pellolla, jotka sijaitsivat 20:llä nk. 'Advanced Carbon Action' -maatilalla. Yhdellä pellolla vertailussa oli mukana myös ekosysteemimalli-menetelmä. 'Advanced Carbon Action' -tilojen pelloilta tehdyt mittaukset ovat saatavilla avoimesti Zenodo-palvelussa (<https://zenodo.org/communities/carbonaction/about>).
- 2) Sentinel-2 -menetelmän ja eddy kovarianssi -menetelmän GPP-arvoja verrattiin toisiinsa Qvidjan nurmipellon ja Haltialan viljapellon mittausasemilla.
- 3) Biomassa-menetelmiä verrattiin toisiinsa 14:lla Valion tutkimuspellolla, joista kuusi oli kivennäismaapeltoja ja kahdeksan turvemaapeltoja, sekä Qvidjan eddy kovarianssi -pellolla. Lisäksi Sentinel-2 -menetelmän toimintaa havainnollistettiin Qvidjan ja Ruukin tutkimuspelloilla.

2.1.3 Hiililaskurit (TP3) ja Tiedon käyttö (TP4)

Biomassamenetelmät liitettiin osaksi Ilmatieteen laitoksella (IL) toimivaa peltojen hiilen ja kasvihuonekaasujen laskentajärjestelmää ja siihen kuuluvaa Pelto-observatoriota. Lisäksi otettiin konkreettisia edistysaskeleita menetelmien ja koko järjestelmän kytkemiseksi Valion Carbo®-laskuriin. Keskusteluja käytiin myös siitä, miten tässä hankkeessa kehitetyt

biomassan arviointimenetelmät ja koko laskentajärjestelmä vertautuu Biocoden käyttämiin IPCC:n Tier 1 ja 2 -tason päästökertoimiin.

2.2. Aikataulu ja resurssit (sis. toteutuksen organisaatio ja yhteistyökumppanit)

IL oli hankkeen päähakija ja johti työpaketteja 1 ja 2. IL vastasi biomassamenetelmien kehityksestä ja niiden testaamisesta sekä menetelmien liittämisestä peltolohkokokohtaiseen hiilitaseen laskentajärjestelmään.

IL ja Hämeen ammattikorkeakoulu (HAMK) toteuttivat hanketta Pelto-observatorion muodostamassa viitekehityksessä (Nevalainen ym. 2021). Pelto-observatorio on IL:n, HAMK:n, Baltic Sea Action Groupin (BSAG) ja Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) kehittämä mittauksia ja mallitusta yhdistävä hiilitaseen laskenta- ja havainnollistamisjärjestelmä. IL ja HAMK vaihtoivat tietoja ja näkemyksiä Valion kanssa siitä, millaista tietoa elintarvikealan yritykset tarvitsevat hiilijalanjälkilaskentaansa ja miten tieteellinen tutkimus ja siihen perustuvat palvelut voivat sitä tuottaa. Biocode kehitti hankkeen aikana oman, IPCC:n Tier 1 ja 2 -tason taulukkokertoimiin pohjautuvan maaperän hiilivaraston muutosten laskennan pilviratkaisun. Se voidaan päivittää käyttämään kansallisia laskentakaavoja tai kytkeä IL:n rajapintaan, kun sellainen on tarjolla.

IL teki lisäksi ensimmäisen hankevuoden aikana yhteistyötä Yield Systems -start-up-yrityksen kanssa. Yield Systems kehittää menetelmää peltokasvillisuuden ominaisuuksien määrittämiseen mobiililaitteella kuvatusta videosta. Menetelmän pilotoinnissa kävi kuitenkin ilmi, että menetelmällä ei voida vielä mitata peltokasvien biomassaa riittävän tarkasti tämän hankkeen tarpeisiin. Tämän vuoksi yhteistyö lopetettiin hyvässä yhteisymmärryksessä ensimmäisen vuoden jälkeen.

2.3. Kustannukset ja rahoitus

Hankkeen kokonaiskustannukset on esitetty hanketoimijoittain ja koko hankkeen osalta taulukossa 1. Kaikki hankkeessa tehdyt matkat olivat kotimaan matkoja.

Pääosin hanketoimijat käyttivät MMM:n myöntämän rahoituksen kokonaisuudessaan. Toteutunut rahoituksen käyttö oli 99,6 % myönnöstä. MMM:n rahoituksen osalta toteutunut rahoitus sisältää viimeisten maksatushakemusten tiedot, joiden maksupäätökset tulevat vasta loppuraportin jättämisen jälkeen.

Budjetin osalta MMM rahoitus vastaa myönnettyä rahoitusta taulukossa 1. Myönnetty summa oli kullekin hanketoimijalle jonkun verran haettua pienempi. Tämän vuoksi IL:n ja HAMK:n taulukossa esitetty budjetoitu omarahoitusosuus on hankehakemuksessa suunniteltua suurempi. Valion ja Biocoden kokonaisbudjetti perustuu myöntöpäätökseen.

Taulukko 1. Hankkeen kustannukset ja rahoitus.

Kulut, €	Budjetti	Toteuma	Erotus
Ilmatieteen laitos (IL)			
<i>Palkat</i>	100 155,00	95984,58	4 170,42
<i>Palkan sivukulut</i>	51 079,00	52714,29	-1 635,29
Palkat yhteensä	151 234,00	148 698,87	2 535,13
Matkat	6 000,00	0,00	6 000,00
Ostopalvelut	20 000,00	7 000,00	13 000,00
Tarvikkeet	3 000,00	0,00	3 000,00
Yleiskulut	119 627,00	112 656,10	6 970,90
Yhteensä (IL)	299 861,00	268 354,97	31 506,03
Oma rahoitus (IL)	110 961,00	80 506,49	30 454,51
MMM rahoitus (IL)	188 900,00	187 848,48	1 051,52
Hämeen ammattikorkeakoulu (HAMK)			
<i>Palkat</i>	92 650,00	93 013,56	-363,56
<i>Palkan sivukulut</i>	49 457,00	49 650,64	-193,64
Palkat yhteensä	142 107,00	142 664,20	-557,20
Matkat	2 000,00	1 543,04	456,96
Ostopalvelut	2 000,00	57,90	1 942,10
Yleiskulut	82 976,00	83 301,62	-325,62
Yhteensä (HAMK)	229 083,00	227 566,76	1 516,24
Oma rahoitus (HAMK)	84 683,00	84 131,43	551,57
MMM rahoitus (HAMK)	144 400,00	143 435,33	964,67
Valio			
Ostopalvelut	150 600,00	160 565,40	9 965,40
Yhteensä (Valio)	150 600,00	160 565,40	9 965,40
Oma rahoitus (Valio)	75 300,00	85 265,40	9 965,40
MMM rahoitus (Valio)	75 300,00	75 300,00	0,00
Biocode			

Kulut, €	Budjetti	Toteuma	Erotus
<i>Palkat</i>	133 450,00	142 376,00	-8 926,00
<i>Palkan sivukulut</i>	36 550,00	38 994,69	-2 444,69
Palkat yhteensä	170 000,00	181 370,69	-11 370,69
Ostopalvelut	18 000,00	14 250,00	3 750,00
Yhteensä (Biocode)	188 000,00	195 620,69	-7 620,69
Oma rahoitus (Biocode)	56 600,00	64 220,69	-7 620,69
MMM rahoitus (Biocode)	131 400,00	131 400,00	0,00
Hankkeen kulut yhteensä	867 544,00	852 107,82	35 366,98
MMM rahoitus yhteensä	540 000,00	537 983,81	2 016,19
Oma rahoitus yhteensä	327 544,00	314 124,01	13 419,99

2.4. Raportointi, julkaisut ja seuranta

Nevalainen, O., Niemitalo, O., Fer, I., Juntunen, A., Mattila, T., Koskela, O., Kukkamäki, J., Höckerstedt, L., Mäkelä, L., Jarva, P., Heimsch, L., Vekuri, H., Kulmala, L., Stam, Å., Kuusela, O., Gerin, S., Viskari, T., Vira, J., Hyväluoma, J., Tuovinen, J-P., Lohila, A., Laurila, T., Heinonsalo, J., Aalto, T., Kunttu, I. and Liski, J. 2022. Towards agricultural soil carbon monitoring, reporting, and verification through the Field Observatory Network (FiON). *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems* 11(1): 93-109, <https://doi.org/10.5194/gi-11-93-2022>.

Tutkimusryhmä Nevalainen, O., Fer, I., Vira, J., Kulmala, L., ..., Liski, J. Agricultural fields' biomass estimation. Käsikirjoitus valmisteilla.

Pelto-observatorio ilmastoystävällisen viljelyn apuvälineenä, HAMK Beat-blogisarja 2022, <https://blog.hamk.fi/hamk-beat/pelto-observatorio-ilmastoystavallisen-viljelyn-apuvälineena>.

Field Observatory -verkkopalvelu, <https://www.fieldobservatory.org/>.

Biocode -hiilijalanjälkilaskuri <https://biocode.io> ja maksuttomat tunnukset <https://biocode.io/signup>.

Biocode tuotekohtaiset elinkaariarviointit <https://report.biocode.io/products>.

Biocode benchmark-työkalu <https://biocode.io/carbon-footprint-label/#benchmark-table>.

2.5. Toteutusvaiheen arviointi

Peltojen biomassamittausten vähäinen määrä sekä tiedon puute näiden mittausten luotettavuudesta olivat merkittävimmät tekijät, jotka vaikeuttivat biomassan arviointimenetelmien kehitystä. Toisaalta nyt kehitettyjä menetelmiä voidaan parantaa hankkeen jälkeen muussa työssä, jos biomassan mittauksia saadaan käyttöön lisää.

Hankkeen aikataulu osoittautui ongelmalliseksi Biocodelle. Biocode olisi tarvinnut peltolohkokohtaisen biomassalaskennan kehittämäänsä palveluun hankkeen alkupuoliskolla. Biomassan laskentamenetelmät valmistuivat kuitenkin hankkeen loppuun mennessä alkuperäisen työsuunnitelman aikataulun mukaisesti.

3. Tulokset ja niiden arviointi

3.1. Tulosten esittely

Hankkeen kaikkien peltojen kaikki tulosgraafit ovat vapaasti saatavilla osoitteessa https://fieldobservatory.org/biohila_biomass_app.

3.1.1 Biomassa-menetelmät (TP1)

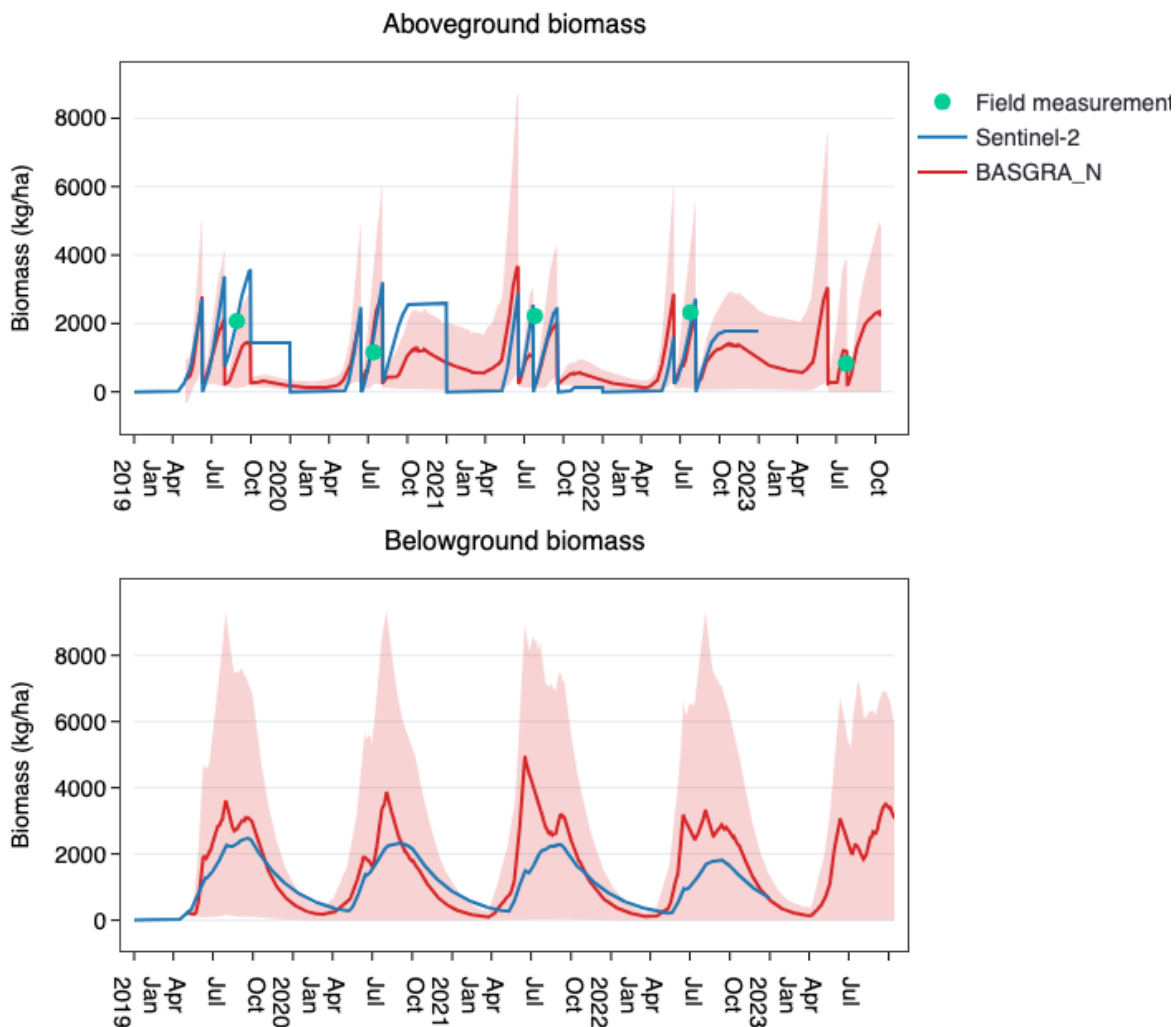
Hankkeessa kehitettiin kaksi menetelmää peltojen biomassan arviointiin: Sentinel-2 -satelliitin bruttofotosynteesituotteeseen perustuva menetelmä ja peltoekosysteemin toiminnan simulointiin perustuva menetelmä. Molemmat menetelmät liitettiin IL:lla toimivaan peltojen hiilen ja kasvihuonekaasujen mittaus- ja laskentajärjestelmään. Sentinel-2 -menetelmää voidaan käyttää kaikille pelloille. Ekosysteemimallitus-menetelmän kehitys rajoittui alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen vain nurmipelloille, sillä mallien soveltaminen osoittautui ennakoitua työläämmäksi. BASGRA-Yasso -mallia käyttävää menetelmää voidaan käyttää kivennäismaiden nurmipelloilla ja BASGRA-BGC -mallia käyttävää menetelmää turvemaiden nurmipelloilla. Sekä nurmi- että viljapelloille soveltuvien Land-DNDC- ja STICS-mallien biomassan arviointisovelluksia kehitetään yhä muissa hankkeissa.

3.1.2 Testaus (TP2)

Biomassa-menetelmiä testattiin sekä vertaamalla laskettuja biomassarvoja ja Sentinel-2 -menetelmän taustalla olevia GPP-arvoja mittauksiin että vertaamalla Sentinel-2 -menetelmän ja ekosysteemimallitus-menetelmän tuloksia toisiinsa.

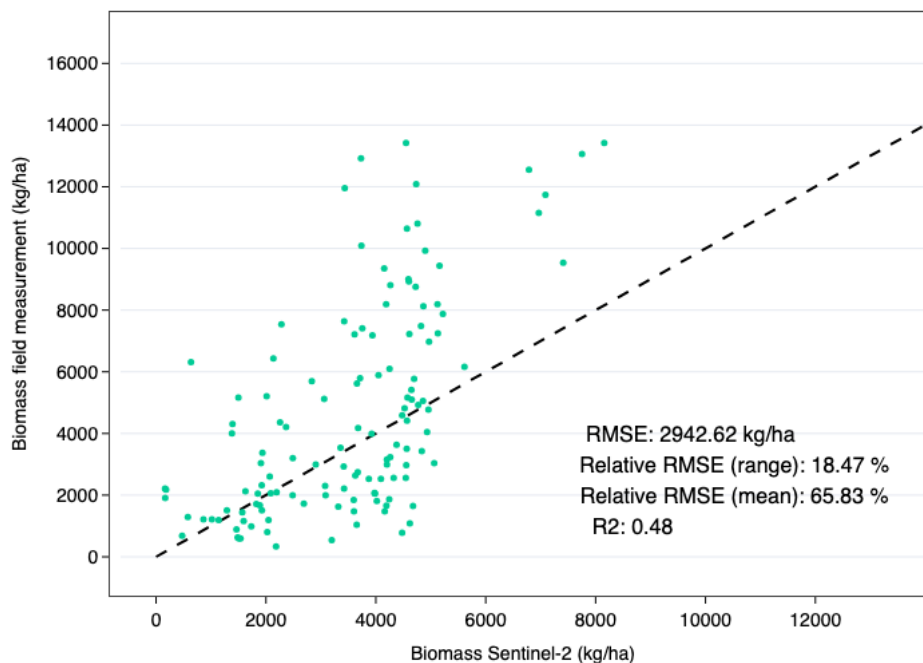
Biomassamittaukset

Sentinel-2 -menetelmällä lasketut biomassarvot vastasivat mittauksia varsin hyvin monella 'Advanced Carbon Action' -tilan pellolla (Kuva 3). Pellolla, jolla biomassan määrää simuloitiin myös ekosysteemimalli-menetelmällä, molempien menetelmien arvot olivat varsin lähellä toisiaan ja biomassamittauksia. Koko aineisto huomioiden arvojen välillä oli kuitenkin eroa; korrelaatiokerroin oli 0,69 (Kuva 4). Etenkin korkeat mitatut biomassarvot, yli 8 000 kg/ha, olivat korkeampia kuin Sentinel-2 -menetelmällä lasketut arvot.



Kuva 3. Biomassa kivennäismaan nurmipellolla 'Advanced Carbon Action' -tilalla "KO" v. 2019–2023 Sentinel-2 menetelmän, ekosysteemimallitusmenetelmän ja mittausten mukaan.

Summary plot: Biomass field measurements vs Sentinel-2



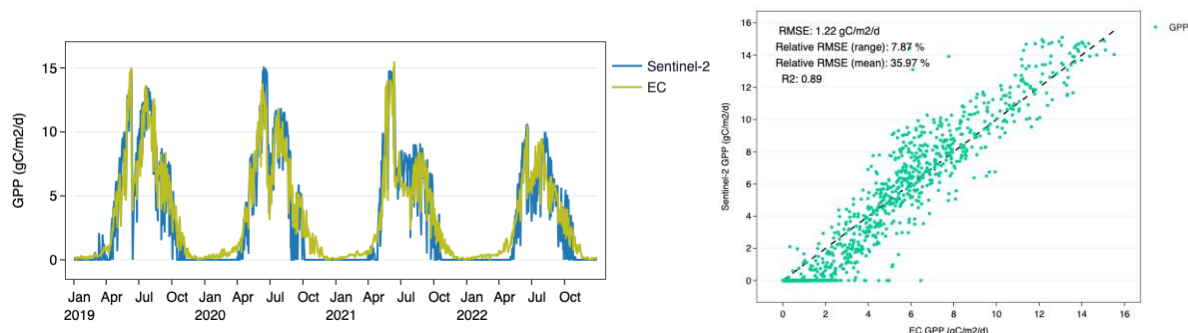
Kuva 4. Sentinel-2 -satelliitin tietojen avulla lasketut biomassan arviot (x-akseli) ja mitatut biomassamäärät (y-akseli) 40:llä 'Advanced Carbon Action' -tilan pellolla v. 2019–2022 (n=189).

GPP-arvot

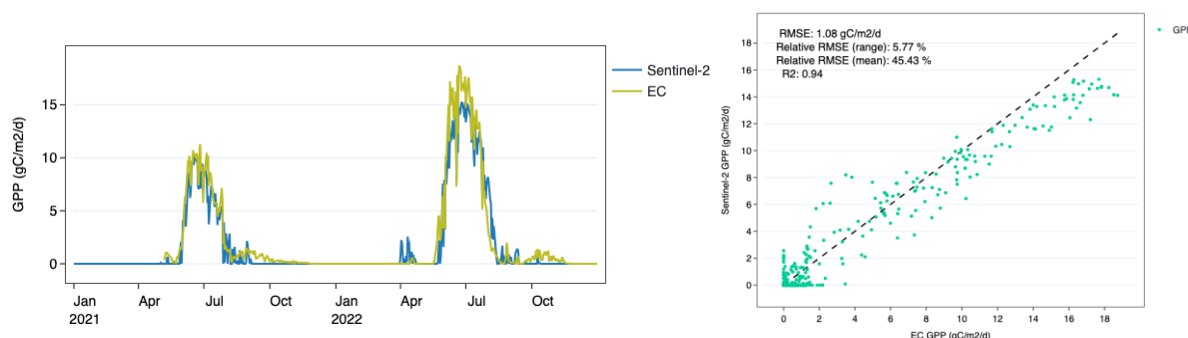
Sentinel-2 -menetelmän biomassa-arvojen lähtökohtana ovat satelliittitietojen avulla lasketut bruttofotosynteesin arvot. Näiden biomassa-arvojen luotettavuuden arvioimiseksi Sentinel-2 -mittausten avulla laskettuja GPP-arvoja verrattiin eddy kovarianssi -mittauksista laskettuihin GPP-arvoihin.

Sekä Qvidjan nurmipellolla että Haltialan viljapellolla satelliittitiedoista ja eddy kovarianssi -mittauksista lasketut GPP-arvot olivat hyvin lähellä toisiaan (Kuva 5). Merkittävin ero oli Qvidjan nurmipellolla syksyisin: Sentinel-2 -menetelmän mukaan fotosynteesiä ei ollut enää lokakuusta alkaen hämärinä päivinä, kun taas eddy kovarianssi -mittausten mukaan fotosynteesi jatkui marraskuulle saakka. Tämä ero vaikutti koko vuoden biomassatuotokseen kuitenkin vain vähän.

a) Qvidjan kivennäismaan nurmipelto



b) Haltialan kivennäismaan viljapelto



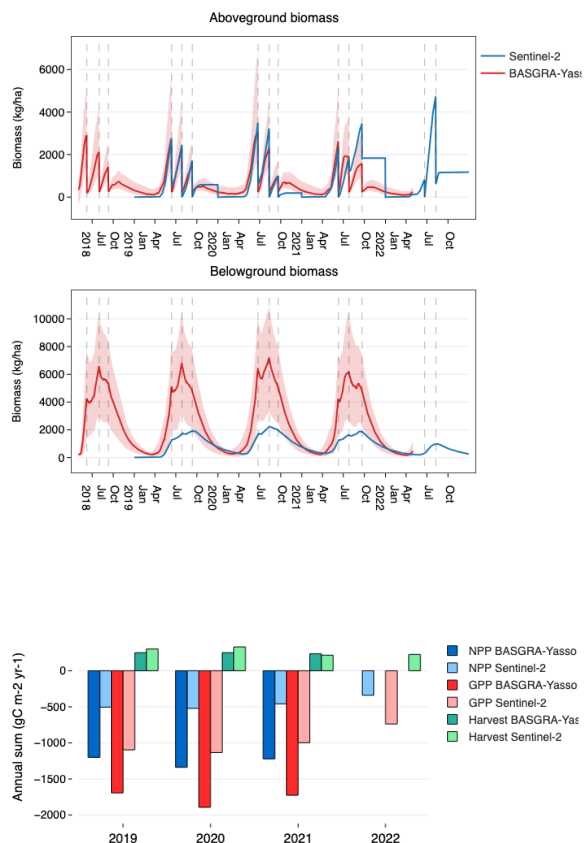
Kuva 5. Sentinel-2 -mittausten avulla laskettujen päivittäisten bruttofotosynteesiarvojen (GPP) vertailu eddy kovarianssimittauksista (EC) laskettuihin arvoihin 1) kivennäismaan nurmipelolla Qvidjassa ja b) kivennäismaan viljapelolla Haltialassa.

Menetelmien vertailu toisiinsa

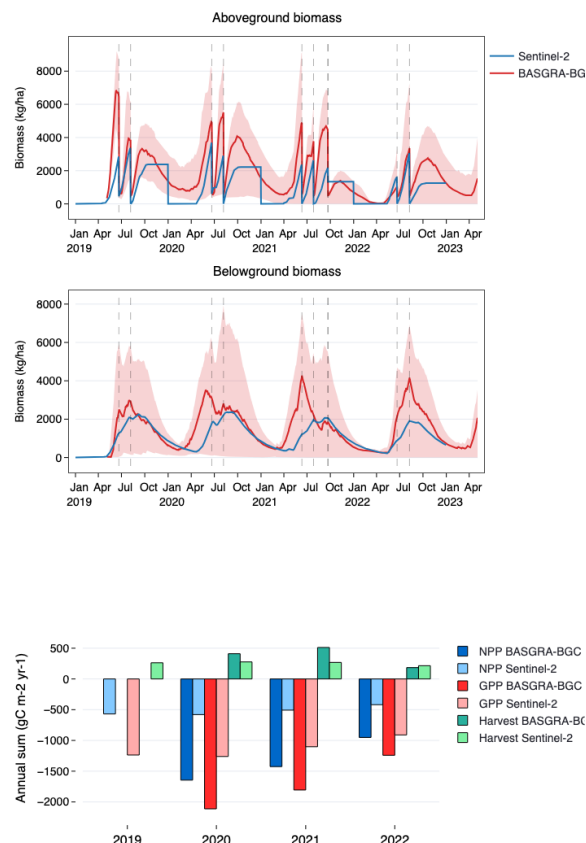
Sentinel-2 -menetelmä ja ekosysteemimallimenetelmä laskivat varsin samanlaisia maanpäällisen biomassan arvoja kivennäismaiden nurmipeltoille, mutta maanalaisen biomassan arvot olivat ekosysteemimallimenetelmän mukaan usein kaksi tai kolme kertaa suurempia kuin Sentinel-2 -menetelmän mukaan (Kuva 6). Turvemaiden nurmipeltoilla maanpäällisen biomassan arvot olivat ekosysteemimallimenetelmän mukaan usein jonkin verran suurempia kuin Sentinel-2 -menetelmän mukaan, mutta maanalaisen biomassan arvot olivat lähempänä toisiaan kuin kivennäismaapelloilla.

Kaiken kaikkiaan vuosittaiset brutto- ja nettofotosynteesin arvot olivat ekosysteemimallimenetelmän mukaan suurempia kuin Sentinel-2 -menetelmän mukaan. Ekosysteemimallituksen mukaiset nettofotosynteesin määrä ja sen osuus bruttofotosynteesistä vaikuttivat epärealistisen suurilta.

a) Kivennäismaan nurmipelto



b) Turvemaan nurmipelto

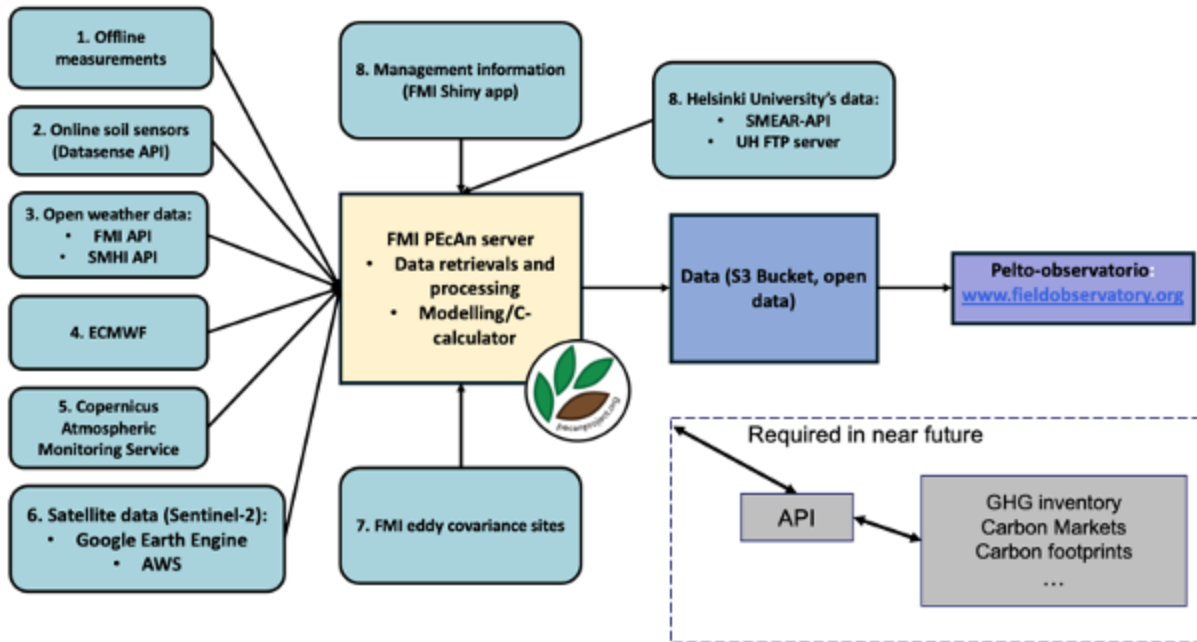


Kuva 6. Sentinel-2 -menetelmällä ja ekosysteemimallitusmenetelmällä laskettujen biomassarvojen välinen vertailu nurmipellolla a) kivennäismaalla (Valio 1_1) ja b) turvemaalla (Valio 1_2).

3.1.3 Hiililaskurit (TP3)

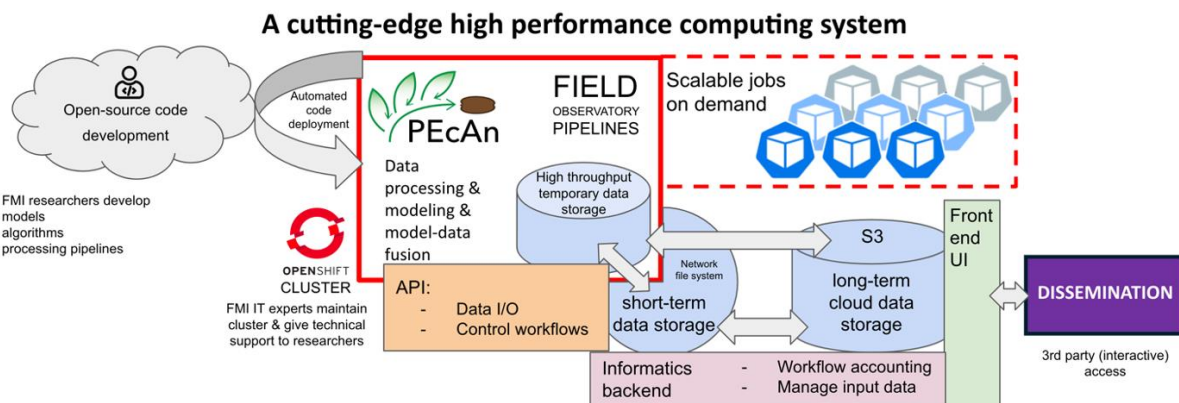
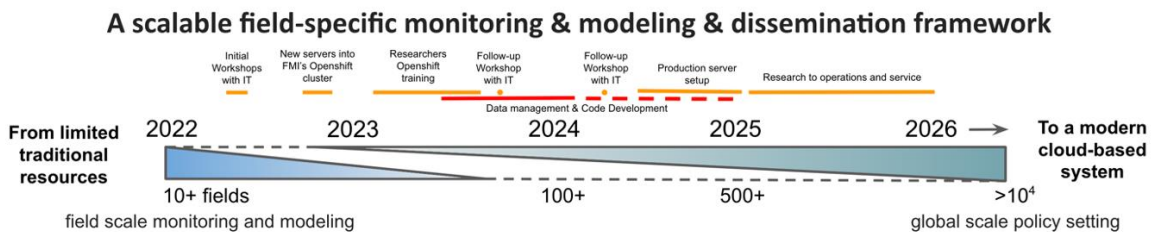
Biomassan, hiilen ja kasvihuonekaasujen mittaus- ja laskentajärjestelmä

Biomassan arvioinnin Sentinel-2 -menetelmä ja ekosysteemimallitusmenetelmä liitettiin IL:lla toimivaan peltojen biomassan, hiilen ja kasvihuonekaasujen mittaus- ja laskentajärjestelmään. Järjestelmä hakee peltolohkokohtaiseen laskentaan tarvittavat tiedot eri lähteistä automaattisesti lohkon tunnuksen tai koordinaattien perusteella (Kuva 7). Järjestelmä laskee biomassan syöttötietojen perusteella niin ikään automaattisesti Sentinel-2 -menetelmällä. Ekosysteemimallien käyttöä automatisoidaan parhaillaan.



Kuva 7. Biomassan, hiilen ja kasvihuonekaasujen mittaus- ja laskentajärjestelmän tietovirrat Ilmatieteen laitoksella (Nevalainen ym. 2022).

IL alkoi monistaa hiilen ja kasvihuonekaasujen mittaus- ja laskentajärjestelmäänsä OpenShift-alustalle vuonna 2022 (Kuva 8). Järjestelmän on tarkoitus olla käytettävissä tällä alustalla vuoden 2024 alussa. OpenShift on moderni IT-alusta, joka mahdollistaa biomassan ja hiilitaseen laskennan tuhansille ja kymmenille tuhansille peltolohkoille ja laskentojen päivittämisen joustavasti.



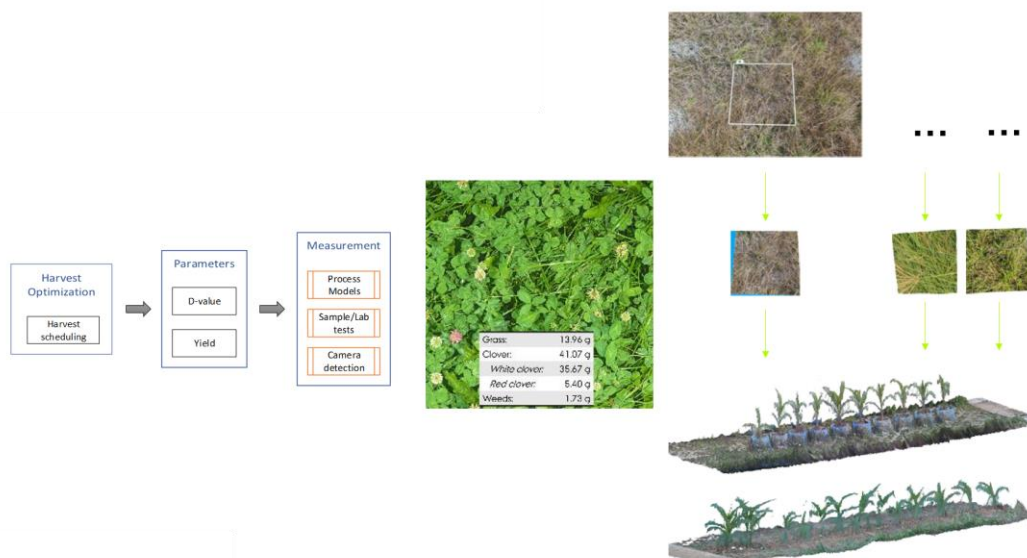
Kuva 8. Peltojen hiilen ja kasvihuonekaasujen laskentajärjestelmä OpenShift-alustalla Ilmatieteen laitoksella ja järjestelmän kehityksen aikataulu.

Pelto-observatorio

Biomassan, hiilen ja kasvihuonekaasujen mittaus- ja laskentajärjestelmään kuuluu Pelto-observatorio -palvelu (www.peltoobservatorio.fi), joka havainnollistaa järjestelmän toimintaa ja kehitystyötä. Pelto-observatoriota kehitettiin tässä hankkeessa edelleen ja siitä julkaistiin tieteellinen kuvaus. HAMK:n kehittäjät ja IL:n asiantuntijat tekivät palvelulle uuden käyttöliittymän sekä uudistivat sitä teknisesti. Näiden uudistusten ansiosta palveluun voidaan tehokkaasti sisällyttää aiempaa suurempia peltolohkomääriä.

Lisäksi Pelto-observatorion verkkosivuja kehitettiin käyttäjäystävällisemmiksi ja niille lisättiin enemmän tietoa.

Hankkeessa luotiin uusia demoja ja prototyyppejä yritysten tarpeisiin. Valion kanssa käynnistettiin keskustelut yhteistyön laajentamisesta entistä useammille tiloille Carbo®-ohjelman puitteissa. Lisäksi aloitettiin nurmibiomassan automaattisen kasvun seurantamenetelmän kehitys Valion ehdotuksesta. Kevään ja kesän 2023 aikana HAMK:n asiantuntijoiden kehittämä menetelmä auttoi haasteen ratkaisemisessa. Kesän ja syksyn mittaan syntyi menetelmä, joka yhdistää kuvatiedot ja muut peltodatat auttaen viljelijöitä seuraamaan nurmen kasvua ja määrittämään optimaalisen korjuuajan (Kuva 9). HAMK:n, Valion ja IL:n yhteistyönä on tarkoitus hakea erillinen hankerahoitus tämän menetelmän jatkokehitykseen ja pilotointiin tiloilla.



Kuva 9. Kaaviokuva HAMK:n TP3:ssa kehittelemästä kuvaan perustuvasta nurmibiomassan arviointimenetelmästä.

Hiilijalanjälkilaskuri

Biocode kehitti hankkeessa hiilijalanjälkilaskurin, jolla voisi kytkeä maatalouden toimenpiteitä huomioivan elinkaariarvioinnin tuote- ja yritystason päästölaskentaan. Tuottajakohtainen laskenta toteutettiin IPCC:n Tier 1 ja 2 -tason kertoimilla osin peltolohkokohtaisia tietoja hyödyntäen, jotta kivennäis- ja eloperäisten maiden laskentamenetelmät voitaisiin eriyttää mutta samalla pitää koherentisti yhdessä tuottajakohtaisten laskentojen toteuttamiseksi.

Alusta rakennettiin modulaariseksi, jotta elinkaarimalleja olisi helppo päivittää ja ylläpitää tutkimustiedon lisääntyessä ja tuoda uusia elinkaarimalleja erilaisiin tuotantosuuntien tarpeisiin ja käyttötarkoituksiin. Esimerkiksi broilerituotannon hiilijalanjälkilaskennassa voidaan hyödyntää itse tuotetun rehun hiilijalanjälkeä Bicooden laskurilla laskettuna.

Laskuri on vapaasti käytettävissä luomalla tilin osoitteessa <https://biocode.io> ja käyttöliittymää tarjotaan suomeksi, ruotsiksi ja englanniksi. Elinkaariset ilmastovaikutukset lasketaan kansainvälisten elinkaariarviointi (LCA) metodologioiden pohjalta (esim. ISO 14040 / 14044, ISO 14067, GHG Protocol, IPCC:n ohjeistukset) ja maaperän orgaanisen aineksen muutosten arviointien laskentamenetelmät pohjautuvat IPCC:n Tier 1 ja 2 -tasojen taulukkoarvoihin. Bicooden verkkopalvelu pyörii Microsoftin Azure servereillä Euroopassa. Pääohjelmointikielinä ja frameworkkeina on käytetty .NET, C#, React, TypeScript. Tuottajakohtainen laskuri on mobiilioptimoitu. Keskeisinä ominaisuuksina on selkeät ja interaktiiviset elinkaari-inventaariot ja tuottajille mahdollisuus jakaa laskentojaan pelkillä laskentatuloksilla tai syöttötiedoille sekä tunnistettavana tai anonymisoina. Tämä luo myös tuottajille mahdollisuuden vaikuttaa tietojensa käyttöön.

3.1.4 Tiedon käyttö (TP4)

Elintarvikeyritys

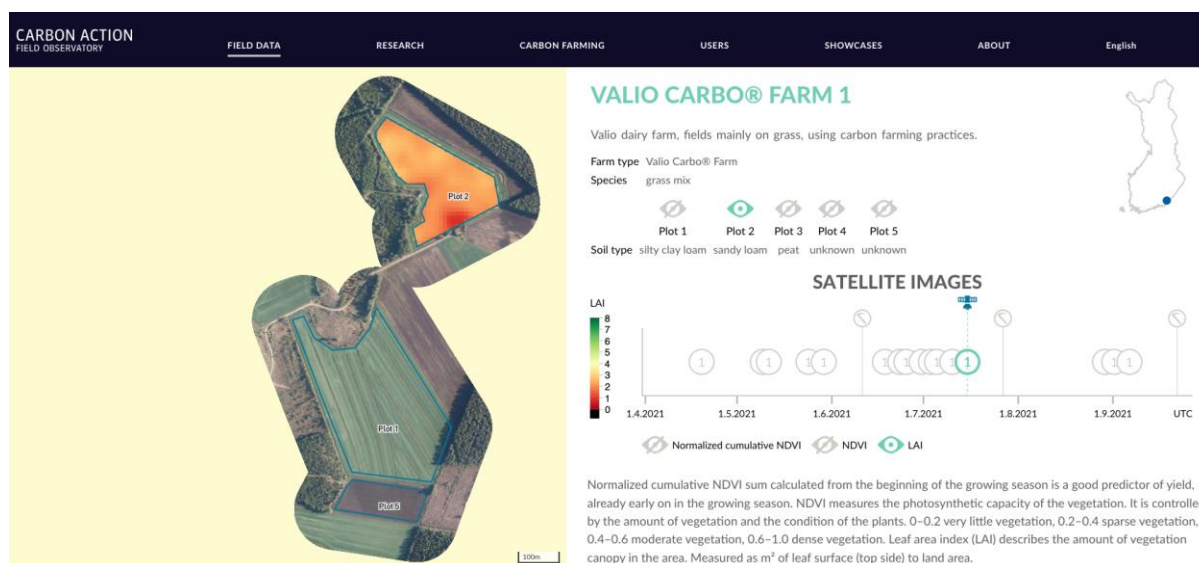
Valio on kehittänyt tarkkaa maatilatason dataa hyödyntävän elinkaarilaskentamallin (Lypsikki LCA), jonka käyttöliittymää Valio Carbo® -ympäristölaskuria käyttää jo yli 2000 valiolaista maitotilaa. Mallin ja käyttöliittymän sertifioi kolmas osapuoli (Carbon Trust) vuosittain, jolloin kaikki kehityskohteet käydään läpi kansallisten ja kansainvälisten laskentasääntöjen noudattamisen varmistamiseksi. Lypsikki LCA -elinkaarimalli luovutettiin BIOHILA-hankkeen aikana myös tutkijoiden (tässä vaiheessa Luonnonvarakeskuksen elinkaaritutkimuksen) käyttöön ja malliin lisättiin myös eri skenaariot naudanlihan tuotannolle. Valio Carbo® -ympäristölaskuri avataan vaiheittain myös muiden nautasektorin toimijoiden käyttöön avoimuuden lisäämiseksi ja yhtenäisen sekä vertailtavan hiilijalanjälkilaskennan mahdollistamiseksi.

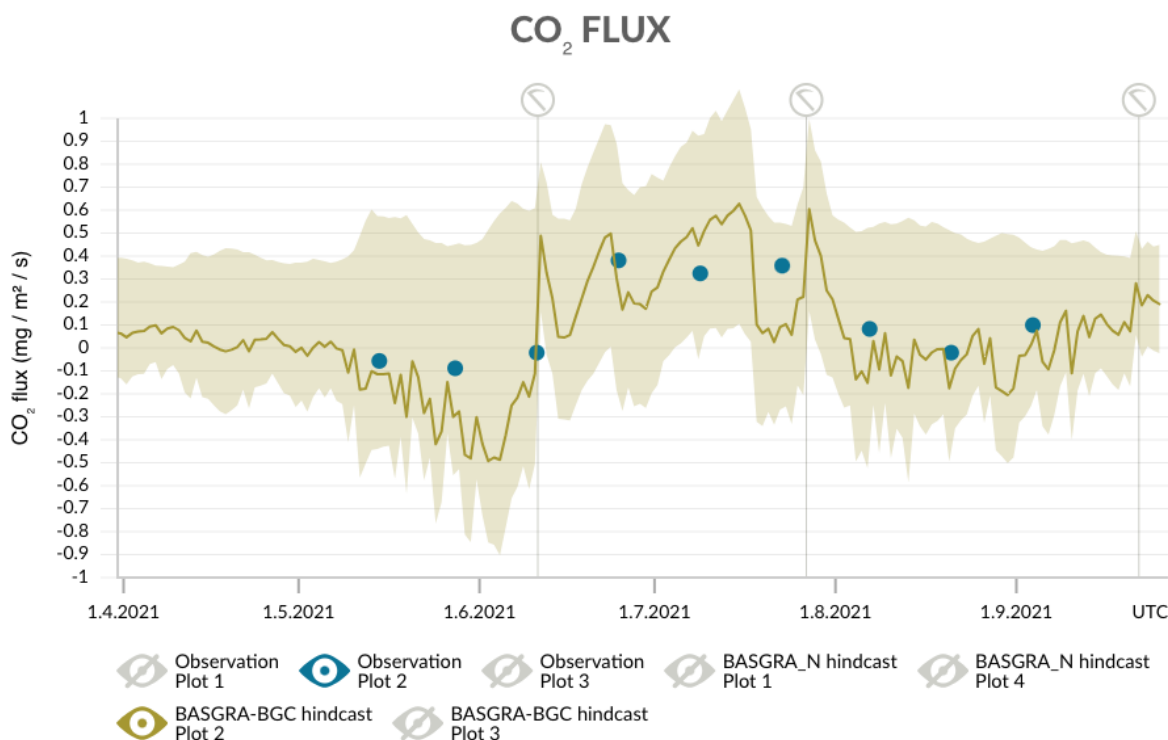
Valio Carbo® -ympäristölaskuriin syötettävien tilatason tietojen tarkkuuden parantuminen parantaa aina myös lopputuloksen eli maito- tai naudanlihakilokohtaisen hiilijalanjäljen tarkkuutta. BIOHILA-hankkeessa edistetty peltolohkokohtainen biomassan ja maaperän hiilitaseen arviointi on tärkeä osa tuotekohtaisen elinkaarilaskennan kehitystyötä. Tavoitteena on tuottaa peltolohkokohtaisesti tämänhetkistä tarkempia laskelmia myös typpioksiduuli- ja metaanipäästöille. Yksittäisten pelto- tai kasvulohkojen ja sitä kautta maatila- ja tuotekohtaisten ilmastovaikutusten arvioinnissa tulisi näkyä paikalliset tuotanto-olosuhteet ja viljelytekniset toimenpiteet, jotta hiilijalanjälkilaskenta olisi mahdollisimman luotettavaa, ja viljelijöiden tekemä ilmastotyö tulisi huomioiduksi päästölukuissa. Valion tavoitteena on tukea tarpeen mukaan myös kansallista kasvihuonekaasuinventaarion kehitystä.

BIOHILA-hankkeessa Valio perusti omana ostopalvelunaan kasvihuonekaasumittaukset neljän maitotilan pelloille. Datasense toteutti Valion koordinoimana hiilidioksidimittauksia kammiomenetelmällä kasvukausina 2021–2023 yhteensä 14 erilaisella peltolohkolla. Viidellä lohkoista mitattiin samaan aikaan vuosina 2022–2023 myös typpioksiduulipäästöjä yhteistyössä ”Mitigating grassland N₂O emissions – towards carbon neutral milk production”

(MiNiMi) -hankkeen kanssa. Kohteista otettiin Valion ja Datasensen toimesta tarkat maanäyteanalyysit ja kerättiin laaja datakokonaisuus vuosien 2020–2023 viljelytiedoista (kasvilajit, lannoitukset, satomäärät, ojitustavat, jne.). Eloperäisiltä pelloilta mitattiin lisäksi turpeen paksuus ja seurattiin pohjavedenpinnan korkeutta kasvukauden 2023 aikana.

Valio luovutti keräämänsä pilottilohkojen data-aineiston ja Datasensen kasvihuonekaasumittausten tulokset IL:n käyttöön ja BIOHILA-hankkeen tarpeisiin hankkeen päättyessä syksyllä 2023. Tarkoituksena on Pelto-observatorio-alustan jatkokehittäminen ja yleisesti kansallisen biomassa- ja maaperämallinnuksen edistäminen käytännön sovelluksineen. Valiolaisten pilottilohkojen tiedot on liitetty Pelto-observatorioon yhdessä hankekumppanien IL:n ja HAMK:n kanssa. BIOHILA-hankkeen aikana kehitetyn lohko-kohtaisen biomassa- ja kasvihuonekaasupäästömallin soveltuvuutta Valion Carbo® ympäristölaskuriin tullaan testaamaan hankkeen päättymisen jälkeen lähitulevaisuudessa erillisen projektin muodossa.





Kuva 10. Esimerkki hiilidioksidin kammiomittauksista ja simuloinnista BASGRA-BGC-mallilla turvemaan nurmipellolla Valion maitotilalla sekä työn havainnollistamisesta Pelto-observatorio-palvelussa (www.peltoobservatorio.fi; Valio Carbo® Farm 1. Ilmatieteen laitos ei ole vielä tutkinut mittausten laatua eikä hyödyntänyt niitä mallilaskelmissa.

Biocode

Euroopan Unionilla on yhteinen tavoite saavuttaa hiilineutraalisuus vuoteen 2050 mennessä. Tavoitteena on saada raportoidut kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat nettonollaan tai nettonegatiiviseksi siitä eteenpäin. Vuoteen 2030 mennessä päästöjen on tähdätty olevan EU:ssa 55 % alemmat kuin vuonna 1990. Samalla EU on asettanut LULUCF-sektorin nettopoistumien tavoitteeksi 310 miljoonaa tonnia CO₂e vuonna 2030. EU:n yrityksillä on merkittävä rooli ilmastotavoitteiden saavuttamisessa. Yritysvastuu lisääntyy ja EU:n CSRD-direktiivin myötä kasvava määrä yrityksiä joutuu raportoimaan kasvihuonekaasupäästöistään. Valmisteilla olevan EU:n Green Claims -direktiivin myötä yrityksiä veloitetaan kasvavin määrin perustelemaan ympäristöväittämänsä. Suomessa pitkään nettonieluna toiminut LULUCF-sektori oli poikkeuksellisesti vuonna 2021 0,5 Mt CO₂-ekvivalentin suuruinen päästölähde. Vuoden 2022 inventaarion pikaennakkotietojen mukaan LULUCF-sektori on nettonielu. Suomessa on paine vähentää fossiilisia päästöjä ja kasvattaa maankäyttösektorin nieluja kansallisten ja EU-velvoitteiden saavuttamiseksi.

Biocode kehitti BIOHILA-hankkeen myötä IPCC:n Tier 1 ja 2 -tason kertoimiin perustuvan ratkaisun, jolla Biocoden mukaan voitaisiin tehdä elinkaariarviointia ruokatuotteille aina kuluttajatuotteisiin asti. Ratkaisu mahdollistaa läpinäkyvää päästölaskentaa ja raportointia sekä yksittäisille viljelijöille ja alkutuotannon tuottajille, että eri kokoisille ja tyyppisille elintarvikkeiden valmistajille ja kannustaa tuotantoa ja kulutusta kohti ilmastotavoitteita.

Tuotekohtaista elinkaariarviointia on tyypillisesti toteutettu kertaluonteisina projekteina ja sekundääridataan pohjautuen. Aiemmissa projektiluontoisissa lähestymistavoissa on haasteena pitkät aikajänteet, korkeat kustannukset ja vertailuhaasteet. Luomalla digitaalisen elinkaariarvioinnin ratkaisun Biocode mahdollistaa ruokaketjun toimijoille jatkuvatoimisen kehityksen osin heidän omaan primääridataan pohjautuen, maksuttomat palvelut alkutuottajille ja elintarvikeyritysten tuotekohtaisten elinkaariarvioiden ja yritystason Scope 1–3 päästöjen laskentojen yksikkökustannusten madaltamisen murto-osaan ja vertailukelpoisuuden samojen elinkaarimallien kautta ajan yli. Muiden päästöjen ja maankäytön vaikutusten eriyttäminen mahdollistaa muiden päästöjen vähentämistoimien edistämisen sekä muiden päästöjen raportoinnin, kunnes maankäytön kansallisia laskentamenetelmiä julkaistaan valtioiden toimesta. Globaalit laskentamenetelmät mahdollistavat maankäytön huomioimisen ja suhteuttamisen elinkaariarvioinneissa globaaleille ruokaketjuille. Globaalien laskentamenetelmien rinnalle voidaan tuoda kansallisia laskentamenetelmiä käyttötarkoitusten mukaan.

IL:n kehittämiä laskentamenetelmiä voidaan käyttää Biocoden tarjoamassa hiilijalanjälkilaskurissa jatkossa muodostamalla rajapintayhteys IL:n järjestelmän ja Biocoden väliin, ja tuomalla IL:n laskentatuloksia Biocoden tuottaja-, tuote- ja yritystason päästölaskentoihin.

Koska laskentamenetelmät ja -järjestelmät olivat kehitteillä BIOHILA-hankkeen aikana, tämän tyyppistä ratkaisua ei ehditty toteuttaa. BIOHILA-hankkeessa on kuitenkin syntynyt vahva pohja tiedon käytölle ja on luotu eri käyttötarkoituksiin soveltuvia ratkaisuja ruokaketjun toimijoille.

3.1.5 Viestintä ja vuorovaikutus (TP5)

Hankkeessa tehtiin yhteistyötä monen Carbon Action -verkoston yhteensä noin 30 hankkeen kanssa (<https://www.bsaq.fi/carbon-action/hankkeet/>) ja hankkeesta viestittiin eri kanavissa.

Hankeyhteistyönä on järjestetty yhteisiä seminaareja ja palavereita, joissa on jaettu tietoa hankkeiden kesken ja pohdittu haasteita sekä mahdollisuuksia yhtenäisen maaperämallinnuksen edistämiseksi maatalous- ja elintarvikesektorilla sekä kansallisella tasolla. BIOHILA- ja MiNiMi-hankkeiden kesken tehtiin hyvin tiivistä yhteistyötä valiolaisten pilottilohkojen tutkimuksessa vuosien 2022–2023 aikana suunnittelu- ja tulospalaverien sekä viljelijäyhteistyön muodossa.

Valio järjesti lokakuussa 2022 Carbo-projektin toimesta nautasektorin ilmastovaikutuksiin keskittyneen tiedeseminaarin, johon oli kutsuttuna n. 150 alan tutkijaa ja muita sidosryhmäläisiä Suomesta. BIOHILA-projektilla oli tilaisuudessa oma esitys sekä useita hankkeen keskeisiin aktiviteetteihin liittyviä postereita.

Kasvihuonekaasupäästölaskennan kehittäminen ja viljelijöiden koulutus on keskeinen osa Valion ilmasto-ohjelmaa “Kohti hiilineutraalia maitoa 2035”. Jo noin 1500 valiolaista tilaa on käynyt maaperän hiilivarastoja ja luonnon monimuotoisuutta vahvistavia viljelykäytäntöjä käsittelevän Valio Carbo® hiiliviljelijä -koulutuksen. Hiiliviljelyn piirissä oli vuonna 2022 noin

126 000 hehtaaria valiolaista peltoa. Yhteistyössä Baltic Sea Action Group:in kanssa on rakennettu kaikille avoin ja maksuton verkko-oppimisolusta "[Uudistavan viljelyn e-opisto](#)" ¹.

BIOHILA-hankkeesta on viestitty Valion sisäisissä ja ulkoisissa kanavissa koko hankkeen ajan: Valion kanavat kuluttajille ja maidontuottajille (verkkosivut, somekanavat, Maito ja me -lehti sekä verkkosivut ja valiolaisten maitotilojen (noin 3500 suomalaista maatilaa) Valmaportaali. Valion vuosittain julkaistavassa vastuullisuusraportissa ([Yritysraportit ja julkaisut - Valio](#) ²) on kerrottu peltojen kasvihuonekaasumittauksista, mallinnuksen kehittämisestä ja pilottitiloista. Valion omissa mediakanavissa on julkaistu artikkeleita BIOHILA-hankkeeseen ja yleisesti aiheeseen liittyen. Loppuvuodesta 2023 julkaistavassa Valion Maito ja me -lehdessä ja sen sähköisessä versiossa www.maitojame.fi kerrotaan turvepeltojen ilmasto vaikutuksiin liittyvistä tutkimuksista ja käytännön ilmastotoimenpiteistä. Artikkelissa mainitaan myös BIOHILA-hanke. Esimerkkejä Valion verkkosivuilla hankkeena julkaistuista artikkeleista, joissa BIOHILA-hanke on mainittu:

[Huippumoderni mittauslaite analysoi pellon hiilensidonnän ja -päästöt – kasvit heräävät hommiin aamukuudelta - Valio](#) (julkaistu 26.8.2021) ³

[Maatalouden päästöjä ei leikata luopumalla nurmiperäisestä ruoantuotannosta – kaikelle vastuullisesti tuotetulle kotimaiselle ruoalle on paikkansa - Valio](#) (julkaistu 25.10.2022) ⁴

[Turvepeltojen ilmastotyössä avainasemassa tutkimus ja yhteistyö - Valio](#) (julkaistu 14.8.2023)⁵

IL:n tiedote 25.3.2022: [Pelto-observatoriopalvelu täydentyy, mukaan neljä Valion maitotilaa](#) ⁶

HAMKin Blogiteksti: [Pelto-observatorio ilmastoystävällisen viljelyn apuvälineenä](#) (julkaistu HAMK Beat-blogisarjassa 25.4.2022) ⁷

HAMK on mukana kahdessa Hiilestä Kiinni -ohjelmasta rahoitetussa hankkeessa, joissa molemmissa tuotetaan koulutuksellisia sisältöjä Biohilan tuloksia hyödyntäen. HAMK:n päätoteuttama Uuvitila (Uudistavan viljelyn tietämyksen laajentaminen, VN/13137/2023)-hankkeen tarkoituksena on suunnitella uusia, immersivisiä koulutusmateriaaleja uudistavan viljelyn menetelmien oppimiseen erityisesti e-oppimisen kontekstissa. Hankkeessa suunniteltavissa kokonaisuuksissa tullaan hyödyntämään Biohilassa ja muissa Hiilestä kiinni -hankkeissa tuotettua uutta tietoa ja tutkimustuloksia. Seinäjoen ammattikorkeakoulun (SeAMKin) koordinoimassa KOMIO (Maankäyttösektorin ilmasto-osaamisen koulutusyhteistyö, VN13242/2023) -hankkeessa HAMK on osatoteuttajana. KOMIO-hankkeessa HAMK tulee muun muassa toteuttamaan kahden opintopisteen koulutuskokonaisuuden, joka pohjaa BIOHILA-hankkeessa tuotettuun uuteen tietoon ja tutkimustuloksiin.

¹ <https://courses.minnalearn.com/fi/courses/regenfarming/overview/>

² https://www.valio.fi/vastuullisuus/raportit/?gclid=EAlaIQobChMIII0kkZWhggMV7ReiAx2DagkbEAAYAIAAEglx7_D_BwE&gclidsrc=aw.ds

³ <https://www.valio.fi/artikkelit/huippumoderni-mittauslaite-analysoi-pellon-hiilensidonnän-ja-paastot-%e2%88%92-kasvit-heraavat-hommiin-aamukuudelta/>

⁴ <https://www.valio.fi/artikkelit/maatalouden-paastoja-ei-leikata-luopumalla-nurmiperäisestä-ruoantuotannosta-kaikelle-vastuullisesti-tuotetulle-kotimaiselle-ruoalle-on-paikkansa/>

⁵ <https://www.valio.fi/artikkelit/turvepeltojen-ilmastotyössä-avainasemassa-tutkimus-ja-yhteistyö/>

⁶ <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/uutinen/3kuprvJiLNP2Op3niJaier>

⁷ <https://blog.hamk.fi/hamk-beat/pelto-observatorio-ilmastoystävällisen-viljelyn-apuvälineenä/>

3.2. Tulosten vieminen käytäntöön

Hankkeessa kehitetyt Sentinel-2 -satelliitin tietoihin ja ekosysteemimallitukseen perustuvat biomassan arviointimenetelmät on otettu käyttöön IL:lla toimivassa peltojen hiilen ja kasvihuonekaasujen mittaus- ja laskentajärjestelmässä. IL kehittää järjestelmään perustuvaa palvelua tiedon tarvitsijoille osana strategiansa toimeenpanoa.

Tässä hankkeessa on edistytty merkittävästi sitä kohti, että biomassan arviointimenetelmät ja niitä käyttävä mittaus- ja laskentajärjestelmä voidaan kytkeä elintarvikeyritysten hiilen ja kasvihuonekaasujen peltolohko- ja tilakohtaiseen laskentaan. Biocoden ratkaisu puolestaan mahdollistaa niin isojen kuin pienten elintarvikeyritysten päästölaskentaa ja -raportointia. Näin ollen tämän hankkeen tulokset ovat hyödyllisiä entistä ilmastoviisaampien viljelymenetelmien kehityksen ja käyttöönoton, tuotekehityksen ja markkinoinnin kannalta.

Uusista biomassan arviointimenetelmistä viestitään kansalliselle kasvihuonekaasujen inventaariolaskennalle. Etenkin Sentinel-2 -menetelmä on sellainen, jonka käyttöä inventaariossa olisi syytä selvittää tarkemmin. MMM:n rahoittama IL:n ja Luonnonvarakeskuksen yhteinen hanke “Kohti peltolohko-kohtaista kasvihuonekaasulaskentaa: uudet päästökertoimet ja mallitusratkaisut sekä päivitettävä järjestelmä (LOHKO-KHK)” on hyvä kanava tälle viestinnälle.

3.3. Tulosten merkitys ja jatkotoimenpiteet

Tämän hankkeen Sentinel-2 -tietoihin ja ekosysteemimallitukseen perustuvat biomassan arviointimenetelmät edesauttavat kehitystä kohti peltolohkokohtaista hiiliseen laskentaa. Tämä on merkittävä edistysaskel esimerkiksi nykyiseen kansalliseen kasvihuonekaasujen inventaarioon verrattuna. Siinä laskelmat tehdään ELY-keskuksittain viljelykasvilajityyppien satotietoja hyväksi käyttäen. Peltolohkokohtainen laskenta tarkoittaa elintarvikkeiden arvoketjujen hiilijalanjäljen arviointia, tuottaa tietoa maanviljelijöille ja sitä tarvitaan kehittyvien hiilimarkkinoiden tarpeisiin.

Sentinel-2 -satelliitin tietoihin perustuva menetelmä vaikutti sellaiselta, että sen soveltuvuutta biomassan seurantaan ja kasvihuonekaasujen inventaarioon olisi syytä selvittää lisää. Lupaavat tulokset olivat seurausta siitä, että arvioimme biomassaa kertyneen fotosynteesin avulla ja kehitimme menetelmän, jolla voimme laskea satelliittitiedoista jatkuvan aikasarjan. Viime aikoina Sentinel-2 -satelliitin tiedoista on pyritty havaitsemaan biomassaa suoraan, ja tulokset ovat olleet usein vaikeasti yleistettäviä.

Peltoekosysteemien simulointimallien käyttö biomassan arviointiin on satelliittitietoihin perustuvaa menetelmää monimutkaisempaa. Simulointimallit ovat kuitenkin välttämättömiä, jotta ymmärrämme, miten peltoekosysteemit toimivat, ja osaamme kehittää viljelymenetelmiä, jotka ohjaavat ekosysteemien toimintaa haluttuun suuntaan.

Simulointimallit ovat myös välttämättömiä arvioitaessa peltojen tulevaa kehitystä. Tulevaisuuden skenaarioita peltojen ilmastovaikutuksista tarvitaan mm. maankäyttö-, maatalous- ja ilmastopolitiikan tarpeisiin. Myös hiilikompensaatiohankkeissa tarvitaan arvioita peltojen tulevasta kehityksestä, sillä niissä on osattava arvioida, kuinka kauan viljelytoimien vaikutukset kestävät ja kuinka paljon saavutetuista hyödyistä on lisäistä nykyiseen viljelyyn verrattuna.

4. Toimintasuositukset ja hankkeen muut tuotokset

Peltojen biomassasta tarvitaan peltolohkokohtaista tietoa ilmastovaikutuksiltaan nykyistä parempien viljelymenetelmien suunnittelemiseksi, käyttöön ottamiseksi ja seuraamiseksi. Tämä tieto pitää tuottaa riittävän matalin kustannuksin.

Tässä hankkeessa kehitettiin kaksi menetelmää arvioida peltolohkojen biomassaa: ensimmäinen menetelmä perustui Sentinel-2 -satelliittien mittauksista laskettuun kasvien fotosynteesiin ja toinen peltoekosysteemien toiminnan mallitukseen.

Sentinel-2 -menetelmä arvioi kasvien fotosynteesiä luotettavasti, mutta yhteenlasketun fotosynteesituotoksen avulla arvioitu biomassa vertautui biomassan mittauksiin vain kohtalaisesti. Kohtalaiseksi jäänyt vastaavuus saattoi johtua biomassamittauksista, joiden luotettavuutta ei voitu arvioida kunnollisesti. Ekosysteemimalli-menetelmän biomassarvioiden vastaavuus Sentinel-2 -arvioihin vaihteli kivennäismaapeltojen ja turvemaapeltojen sekä versojen ja juurten biomassojen välillä.

Sentinel-2 -menetelmän tulokset olivat niin lupaavia, että sen soveltuvuutta biomassan seurantaan ja kasvihuonekaasujen inventaarioihin on syytä selvittää lisää. Tähän työhön tarvitaan luotettavia mittauksia peltojen biomassasta. Menetelmän käyttö edellyttää luotettavaa tietoa korjatusta sadosta. Ekosysteemimalli-menetelmää tarvitaan peltojen toiminnan ymmärtämiseen ja tulevaisuuden skenaarioiden tekoon maanviljelyn ilmastovaikutuksista.

Molemmat biomassamenetelmät liitettiin peltojen hiilen ja kasvihuonekaasujen arviointijärjestelmään sekä sitä havainnollistavaan Pelto-observatorioon (www.peltoobservatorio.fi).

Lisäksi Biocode kehitti hankkeessa yrityksille ja kuluttajille suunnattua, päästökertoimiin perustuvaa hiilijalanjälkilaskuria ja julkaisi sen Biocoden palveluina (www.biocode.io).

Lähteet

Fer ym. 2018 <https://doi.org/10.5194/bg-15-5801-2018>

Huang ym. 2021 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144385>

Höglind ym. 2021 <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108925>

Nevalainen ym. 2021 <https://doi.org/10.5194/gi-11-93-2022>

Palosuo ym. 2015 <https://doi.org/10.1080/17583004.2015.1131383>

Peng ja Gitelson 2012 <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.10.021>

Tuomi ym. 2011 <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.05.009>

Viskari ym. 2022 <https://doi.org/10.5194/qmd-15-1735-2022>