

Todentaminen vaikuttavuuden keskiössä

STN -konsortion vaikuttavuuden seuranta tehdään vaikuttavuuskertomusten avulla.

Hankkeen nimi ja lyhenne: Maanviljelyn monihiötyiset ratkaisut ilmastokestävään ruokajärjestelmään, MULTA

Konsortiojohtaja: Jari Liski, Ilmatieteen laitos

1. Vaikuttavuustavoite

Onko kyseessä a) konsortion kokonaisvaikuttavuutta vai b) rajatumpaa vaikuttavuutta kuvaava kertomus? Mikäli kyse on vaihtoehdosta b), esitä ja perustele sen asema konsortion työn ja tavoitteiden kokonaisuudessa ja esitä lyhyt kuvaus tavoitteen tutkimuksellisesta ja yhteiskunnallisesta taustasta.

b) Vaikuttavuuskertomus käsittelee konsortion tavoitetta todentamismenetelmän kehittämisestä. Tämä tavoite on erittäin keskeinen. Hiilen sitoutuminen maaperään, lisäisyyden, pysyvyyden ja –vuotojen määrittäminen pitää tehdä tieteellisesti hyväksytyin keinoin. Hankkeen seurauksena syntyvät ratkaisut eivät kuitenkaan perustu pelkästään konkreettiseen mittaamiseen ja tulosten analysointiin, vaan tavoitteena on luoda validi **todentamisjärjestelmä, jota hyödyntäen kerätyn aineiston perusteella voidaan mallintaa ja ennustaa hiilensidontaa myös sellaisilla alueilla, joilta konkreettista mittaustulosta on vain vähän saatavilla. Koska tavoitteena on luoda ja pilotoida yleisesti päteviä ja valideja käytäntöjä ensin Suomen mittakaavassa ja sen jälkeen skaalata käytännöt kansainvälisesti toimiksi, tulee laskelmien ja mallinnuksen perustua kansainvälisesti hyväksytyyn ja validoituun tutkimustietoon. Maaperän hiilensidontaa on aikaisemmin tutkittu toisistaan erillisten simulaatioiden ja mittausten avulla, mutta **MULTA-hankkeen tavoitteena on luoda todentamisjärjestelmä, joka hyödyntää mittaustuloksia, mallinnusta ja tietojärjestelmiä tehokkaasti ja toimii luotettavasti erilaisissa olosuhteissa eri maissa.****

2. Mitä ohjelman tavoitetta vaikuttavuuskertomus käsittelee?

Vaikuttavuuskertomus käsittelee seuraavia ohjelman tavoitteita:

- kuinka luoda tieteellisesti hyväksytyjä ja validoituja käytäntöjä maaperän hiilen sidonnan todentamiseksi
- kuinka hyödyntää ko. menetelmiä alueilla, joilta on kerätty aineistoa (esim. maaperän hiilen ja hiilidioksidin mittauksia) vain rajallisesti tai ei ollenkaan
- kuinka määrittää hyödyt, mahdolliset riskit ja arvioida ja ennustaa tuloksia pitkällä aikavälillä
- kuinka viestiä tuloksista suoraan viljelijöille ja kannustaa hiilineutraaliin viljelyyn
- kuinka määrittää hiiliyksiköt ja saada ne mukaan yhteiskunnan päätöksentekoon
- kuinka hyvittää toimijoille hankkeen myötä syntyneet hiilinelut (hiilikrediitti ja kompensatio)

3. Keinot

Kerro toimenpiteistä, joita kyseisen vaikuttavuustavoitteen saavuttamiseksi on toteutettu. Keinoja voivat olla esimerkiksi vuorovaikutustyö, yhteistyökumppaneita osallistavat työskentelytavat, tapahtumat, esiintymiset, opetus, asiantuntijatehtävät, kansainvälinen yhteistyö, yrityspilotit jne.

Carbon Action-alustalla toimivaa MULTA-hanketta toteutetaan läheisessä yhteistyössä kansainvälisen tutkimusyhteisön kanssa. Hankkeessa edelleen kehitettävät mittaus- ja mallinnusmenetelmät ovat laajasti käytössä ilmastotyötä johtavissa yliopistoissa ja tutkimuslaitoksissa. Erityisesti maaperän hiilensidontaa todentamaan on Ilmatieteen laitoksella

kehitetty laskenta- ja mallinnusmenetelmää yhteistyössä johtavien kansainvälisten huippuasiantuntijoiden kanssa. Työn tavoitteena on luoda **hiilensidonnan todentamisjärjestelmä**, jossa voidaan yhdistää useita käytössä olevia mallinnusmenetelmiä reaaliaikaisesti päivittyvään järjestelmään. Näin tuotettavat tulokset voidaan arvioida usean mallin avulla, eikä syöttöaineistoa tarvitse erikseen räätälöidä kaikille malleille sopivaksi. Hiilensidonnan todentamisjärjestelmä kehitettiin Predictive Ecosystem Analyzer (PEcAn) -alustalle (<https://pecanproject.github.io/>). Alusta yhdistää 1) hiilenkierron laskentamallit, 2) erilaiset mittaukset mallien käyttämistä ja tulosten analysointia varten sekä 3) matemaattiset menetelmät. Todentamisjärjestelmän käyttöä varten perustettiin PEcAn-palvelin Ilmatieteen laitoksen tietoverkkoon. Palvelimelle yhdistettiin mallien käyttöön ja tulosten analysointiin tarvittavat tietovirrat. Tietojen päivittyminen automatisoitiin niin, että ne päivittyvät reaaliajassa palvelimelle (lue lisää [Fer et al. 2020](#)). PEcAn on avoimen tieteen periaatteita noudattava kansainvälinen järjestelmä.

Hankkeessa kehitettävien menetelmien ja niistä saatavien tulosten viestinnän tehostamiseen on kehitetty **Pelto-observatorio** (<https://www.fieldobservatory.org/fi/home-suomi/>) yhdessä Hämeen Ammattikorkeakoulun (HAMK), Suomen ympäristökeskuksen (SYKE), Baltic Sea Action Group:n (BSAG) ja Helsingin Yliopiston (HY) kanssa. Pelto-observatorio on verkossa vapaasti käytettävissä oleva alusta, joka näyttää mittaustietoa maaperän ja kasvillisuuden prosesseista sekä laskee hiilivirtoja ja -varastoja lähes reaaliajassa. Se arvioi viljelykäytäntöjen vaikutuksia satoon, biomassaan ja hiilensidontaan. Yhdelle koepellolle (Qvidja) esitetään päivittäin automaattisesti päivittyvä 15 vuorokauden nurmisato- ja hiilitase-ennuste. Se on ensimmäisiä tällaisia ennusteita maailmassa. Pelto-observatorion ydin on tekijöiden kehittämä menetelmä seurata ja ennustaa peltoekosysteemin toimintaa ja hiilitasetta. Menetelmä yhdistää kenttämittauksia, automaattisia mittausteknologioita, säätietoja, satelliittimittauksia ja mallinnusta PEcAn tietokonelaskentajärjestelmään. Pelto-observatoriossa on tällä hetkellä kolme intensiivisesti mittaamaa tutkimuspeltoa (Ilmatieteen laitoksen Qvida, Ruukki ja Helsingin yliopiston Haltiala). Lisäksi siellä on 20 Carbon Action pilottitilaa, neljä Valio Carbo® maatilaa ja yksi hiiliviljelyn pilottitila Ruotsista. Uusia kohteita lisätään parhaillaan.

Viljelijät voivat näillä tiloilla itse seurata hiiliviljelytoimenpiteiden vaikuttavuutta lohkoktasolla, lisäksi tulokset julkaistaan vuosittain Zenodo-palvelimella (<https://zenodo.org/>, hakusana 'Carbon Action'). Tulosten avulla nähdään, miten eri lohkot käyttäytyvät kuivuuden ja rankkasateiden aikana, miten kasvit kasvavat eri lohkoilla ja miten viljelijä voi kehittää kasvien ja maaperän kykyä sopeutua muuttuvaan ilmastoon. Tulevaisuudessa tällainen palvelu voi toimia viljelijöiden päätöksenteon tukena, sillä he voivat sen avulla seurata viljelytoimien vaikutuksia pelloillaan. Pelto-observatorio havainnollistaa tulevaisuuden hiililaskennan ja kasvihuonekaasuinventarioiden menetelmiä. Pelto-observatoriosta on julkaistu ensimmäinen tieteellinen julkaisu [Nevalainen et al. 2022](#). Tiedon helpomman saatavuuden ja ymmärtämisen vuoksi Pelto-observatorio on käännetty myös suomeksi ja ruotsiksi ja Pelto-observatoriosta on kehitteillä ns. kansalaisversio, jotta se palvelisi kaikkia hiilensidonnasta kiinnostuneita kansalaisia.

Hiilensidonnan todentamiseen on hyödynnetty Ilmatieteen laitoksella kehitettävää **Yasso-mallia** ja muita peltojen hiilensidonnan laskemiseen soveltuvia laskentamalleja (kivennäismaiden nurmipeltojen BASGRA_N, turvemaiden nurmipeltojen BASGRA-BGC ja viljapeltojen STICS simulointia varten). Jo ennen tätä hanketta Yassolla on voitu analysoida viljelymaiden ja

metsien maaperän hiilivarastoa ja sen muutoksia. Tässä hankkeessa Yassoon on lisätty hiiliviljelyn vaikutusten laskemisen erityispiirteitä. Yassoon on onnistuttu menestyksekkäästi lisäämään typenkierto ja satelliittiaineistoa hyödyntävä pintakasvillisuuden määritysparametri. Yassoa voi myös käyttää maaperän keräsieniaineiston analysoimiseen, sillä hankkeessa tapahtuneen kehitystyön ansiosta malli ymmärtää nyt myös maaperän lämpö ja -kosteusmittauksia. Kehitystyö jatkuu edelleen ja Yassolla voidaan jo melko tarkasti analysoida mm. maahengityksen ja typen vaikutuksia ja linkkejä hiilensidontaan paikallisesti, sekä ennustaa tuloksia yli eripituisten ajanjaksojen. Julkaisimme uuden matemaattisesti perusteellisen Yasso20-hiilimalliversion, ja lisäsimme Yassoon typen kierron kuvauksen ([Viskari et al. 2022](#)).

Hankkeessa mukana olevat viljelijät hyötyvät todentamisjärjestelmästä suoraan ja välillisesti: tutkimuksen tuloksia pääsee tarkastelemaan reaaliaikaisesti Pelto-observatorion kautta, ja tulevaisuudessa oman pellon hiilensidontaa ja hiiliviljelytoimenpiteiden vaikutuksia voi konkreettisesti havaita. Todentamismenetelmän avulla on myös mahdollista määrittää todellinen sitoutunut hiilen määrä ja hyödyntää tätä tietoa hiilikrediittien laskentaan. Hankkeen vuorovaikutusta koordinoiva BSAG huolehtii tulosten ilmiöittämisestä ja yhteiskunnalliseen päätöksentekoon mukaan saamisesta (lue lisää: vaikuttavuuskertomus ohjauskeinoista).

Yritysalustalla mukana olevat yritykset hyötyvät laskennan ja mallinnuksen kehityksestä omassa liiketoiminnassaan, esimerkiksi elintarvikkeiden hiilijalanjäljen laskeminen tulee olemaan tarkempaa ja varmempaa. Yritysyhteistyön konkreettista vaikuttavuutta kuvataan omassa vaikuttavuuskertomuksessa (lue lisää: vaikuttavuuskertomus yritysyhteistyöstä).

4. Havainnot konkreettiset vaikutuksista

Kuuaa ja reflektoi niitä muutoksia yhteiskunnassa, joiden aikaansaamiseen hanke on myötävaikuttanut tai jotka hanke on saanut aikaan edellä esitetyillä toimillaan. Niitä voivat olla esimerkiksi vaikuttavuuden aikaansaamiseksi keskeisten henkilöiden tai instituutioiden omaksumat uudet näkemykset, julkisen tai rajatun keskustelun pohjalta syntyneet muutokset toiminnassa, käyttäytymisessä tai intresseissä, vaikutukset lainvalmisteluun tai strategioihin, uudet opetusisällöt, liiketoimintamallit, tuotteet, jne.

Hiilensidontan todentamisjärjestelmän kehityksestä seuraavia konkreettisia vaikutuksia on avattu edellisessä kohdassa keinojen yhteydessä. Hankkeen tieteelliset vaikutukset ovat olleet yllättävän nopeasti havaittavissa ja hiilensidonta konseptina on valtavan kiinnostuksen alla koko yhteiskunnan tasolla, myös erilaisissa kansainvälisissä verkostoissa. Todentamisjärjestelmää on esitetty yhteistyössä keskeisten MEP:ien kanssa järjestetyssä, kansainvälisessä webinaarissa 29.10.2020 ([yhteenveto](#) webinaarista ml. Prof. Jari Liskin esitelmä, lue lisää: vaikuttavuuskertomus KV-verkostoista). Tutkimus myös kiinnostaa myös kansainvälisesti, ja MULTA tutkijat ovat esittäneet tutkimuksia sekä kansallisesti että kansainvälisesti eri webinaareissa, mm. [Soil as a Carbon Sink](#) -webinaarissa 4.5.2021 ja 11.5.2021, [4p1000 Fair EU Green Week 2021](#) -virtuaali standissa 5.5.2021 ja kansainvälisessä [Soil at Risk](#) -symposiumissa 30.6.2021 (lue lisää: vaikuttavuuskertomus KV-verkostoista)

Carbon Actionin tekemän viestintätöiden ansiosta viljelijät, kansalaiset ja yhä useammat poliittiset päätöksentekijät ovat erittäin hyvin perillä hankkeen tavoitteista ja jo syntyneistä tuloksista. Useat eri sidosryhmät, mm. yritykset ja päästökompensatioihin kytkeytyvät säätötoimet ovat olleet aktiivisesti yhteydessä hankkeen tiimoilta ja useat yritykset ovat mukana kehitystyössä (lue lisää: vaikuttavuuskertomus yritysyhteistyöstä)

Hankkeeseen osallistuu 100 Carbon Action hiiliviljelytilaa, jotka pilotoivat kehitettäviä hiiliviljelykäytäntöjä ja tarjoavat tutkimusaineistoa. Hiiliviljely konseptina on levinnyt nopeasti, ja uusia tiloja ilmoittautuu mukaan Carbon Action -klubiin jatkuvasti. MULTA hankkeen tutkijat ovat myös olleet tiiviisti mukana kehittämässä kaikille avointa ja maksutonta [Uudistavan viljelyn e-opistoa](#), joka tarjoaa viljelijöille ajankohtaista ja tieteeseen pohjautuvaa tietoa maaperää, satoja ja ympäristön tilaa parantavista käytännöistä (lue lisää: vaikuttavuuskertomus viljelijäyhteistyöstä).

Hiilensidontaan liittyviä yhteistyöprojekteja ja uusia rahoitushakemuksia on syntynyt lukuisia MULTA-hankkeen myötä (mm. Carbon Action alustalla olevat hankkeet: <https://carbonaction.org/hankkeet/>). MULTA-projektin tieteellinen työ ja sidosryhmien kanssa saavutetut yhteistyötulokset ovat myös osana ja perustana Suomen Akatemian rahoittamalle [Lippulaiva-hankkeelle](#): Atmosphere and Climate Competence Center (ACCC). Hankkeessa on myös julkaistu useampi tieteellinen artikkeli, mm. <https://carbonaction.org/fi/materiaalit/tiedejulkaisuja-carbon-action-alustalta/> ja useita uusia julkaisuja valmistellaan jatkuvasti.

5. Tavoiteltu vaikuttavuus ja konsortion saavutukset tällä hetkellä

Pohdi nykytilannetta suhteessa hankkeen käsitykseen tarvittavasta yhteiskunnallisesta muutoksesta. Mitä on jo saavutettu? Miten tästä eteenpäin?

MULTA hankkeen tavoitteena on saada aikaan systeeminen muutos ruokajärjestelmässä. Tämä pohjautuu vahvasti tutkittuun tietoon. Keskeistä on saada ohjaukset paremmin tukemaan muutosta kohti ilmastoviisasta maataloutta. Nyt hankkeessa kehitettävää todentamisjärjestelmää voidaan käyttää valtioiden kasvihuonekaasujen inventaariojärjestelmissä, tuotteiden ja palvelujen hiilijalanjälkilaskureissa sekä hiilikompensaatiomarkkinoiden laskennassa sekä maatalous- että ilmastopolitiikan päätöksenteossa. Järjestelmä on jo käytössä tutkimuskohteissa ja sitä päivitetään koko ajan. Todentamisen menetelmän kehitys on tapahtunut aikataulun mukaan. Jotta tulevaisuudessa voitaisiin maksaa viljelijälle sidotusta hiilestä, tarvitsee menetelmää vielä tarkentaa, jotta se toimii kattavasti myös alueilla, joista dataa on vain vähän. Viljelijän talouteen ja hiilikompensaatiomarkkinoihin liittyvää tutkimusta edistetään hankkeessa jatkuvasti (mm. [Lankoski et al. 2020](#)) ja useita käsikirjoituksia valmistellaan parhaillaan.

Todentamisjärjestelmän kehitystyön edistymisestä on kerrottu mm. blogissa 23.6.2021:

<https://www.bsag.fi/fi/blogi-hiilensidontan-todentamisjarjestelma-ja-maailman-ensimmainen-nurmipellon-hiilensidontaennuste/>.

6. Tahattomat vaikutukset ja muutokset konsortion toimintatavoissa

Kuvaile muita havaittuja vaikutuksia ja yllättäviä seurauksia, joita hanke on kohdannut. Kerro niin saavutuksista, esteistä, epäonnistumisistakin, sekä tarpeista suunnata vuorovaikutustoimia uudella tavalla. Mitä korjausliikkeitä on tehty? Mitä on opittu?

Hankkeessa tehtäväksi suunnitellut tieteelliset kokeet ja niistä saatavien tulosten analysointi on edistynyt tavoitteiden mukaan. Hiiliviljelytoimenpiteiden hyödyt maan kasvukuntoon ovat olleet yllättävän nopeasti nähtävillä. Vasta vuoden hiiliviljelyssä olleiden peltojen maan kasvukunto oli parantunut silminnähden (Juuso Joonas YLE:n haastattelussa: <https://yle.fi/uutiset/3-11305258>) ja toisen kasvukauden jälkeen tulokset olivat edelleen hyvin lupaavia syksyllä 2020 ([Heimsch et al. 2021](#)). Erilaiset ravinnepuutokset ja rakenneongelmat ovat hyvin yleisiä, mutta tästä huolimatta viljelijöiden suunnitellut hiilen lisäykset ovat merkittäviä. Myös peltolohkoilla tehdyt hiilimittaukset ovat onnistuneet ja on pystytty

tunnistamaan menetelmiä, jotka todennetusti vaikuttavat hiilen sitoutumiseen maaperään. Viljelijöiden kokemuksia uudistavan viljelyn periaatteista on myös tutkittu koska on ensisijaisen tärkeää, että viljelijät kokevat toimenpiteiden olevan hyödyllisiä ja käytännöllisiä ([Mattila et al. 2022](#)).

Mittauslaitteet ovat toimineet suunnitellun mukaan ja kerättyjen aineistojen perusteella kehittävien mallien evoluutio on ollut hyvin nopeaa. Ilmatieteen laitokselle on perustettu Predictive Ecosystem Analyzer (PEcAn) serveri, jolla pyörivät mallit ovat maailmanlaajuisen mallintajayhteisön kehitettävissä. Avoimen tutkimusdatan avulla uutta dataa ja mallinnukseen liittyvää innovaatiota syntyy kiihtyvällä tahdilla ja järjestelmää parannetaan jatkuvasti.

Maailmanlaajuinen koronaviruspandemia on muuttanut työskentelytapoja, mutta työ on kuitenkin edistynyt suunnitelman mukaan. Suuri osa mallintamiseen ja todentamiseen liittyvästä tutkimustyöstä on ollut mahdollista tehdä etänä, ja toisaalta pellolla tapahtuvat mittaukset on voitu pitkälti automatisoida (Esim. Eddy Covariance –mittauslaitteisto). *In situ* – mittaukset taas on voitu suorittaa turvallisesti huolehtimalla ohjeiden mukaisista turvajärjestelyistä. Pandemia ja liikkumisrajoitukset eivät ole rajoittaneet maastossa tehtävää tutkimustyötä, mutta rajoitukset Helsingin yliopiston laboratorioden käytössä ja tutkijoiden rekrytoinnissa hidastivat tutkimusta jonkin verran keväällä ja kesällä 2020. Tämän jälkeen rekrytoinnit on kuitenkin saatu toteutettua suunnitelman mukaan ja hankkeessa on aloittanut uusia väitöskirjan tekijöitä ja tutkijatohtoreita.

7. Vaikuttavuuden saavuttamiseksi tehty tutkimustyö

Luettelo vaikuttavuustavoitteen toteutumista tukevat keskeiset tutkimustulokset ja julkaisut. Voit kertoa lyhyesti, millä tavoin konsortio on uudistanut tutkimustyön tekemistä tulosten saavuttamiseksi (esim. monitieteisyys, metodologia, tutkimuksen toteutustavat)?

Todentamisjärjestelmän tutkimus on edennyt vauhdilla. Lukuisia tieteellisiä artikkeleita on julkaistu hankkeen rahoituksen avulla, joista keskeisimmät ovat Fer et al. 2020, Nevalainen et al. 2022, ja Viskari et al. 2022 (lue lisää [Carbon Action -materiaalit](#)). Todentamisjärjestelmää ja sen ympärillä tehtävää tutkimusta on esitelty laajasti sekä muille tutkijoille, viljelijöille, yrityksille että päätöksentekijöille (kts. vaikuttavuuskertomus ”Ohjaus kohti systeemistä muutosta”). Myös uusia mittausasemia on avattu yhteistyössä muiden hankkeiden kanssa edistään todentamisjärjestelmän kehitystä: Haltialan mittausasema on perustettu toukokuussa 2021 Pohjois-Helsinkiin, ja Viikin mittausasema on perustettu syksyllä 2021. Viikin ja Haltialan uudet SMEAR-Agri-mittausasemat kuuluvat ilmakehän ja ekosysteemin välisiä vuorovaikutuksia tutkivien SMEAR-asemien verkostoon. Asemien tuottaman uuden tutkimustiedon avulla pyritään ymmärtämään paremmin muuttuvien sääolojen vaikutuksia ruoantuotantoon sekä kehittämään viljelykäytäntöjä ilmastovaikutukset huomioiden. SMEAR-Agri-mittausasemat ovat avoinna vierailville tutkijoille, ja niiden toivotaan toimivan perustana lukuisille tutkimushankkeille. Asemilla mitattava kasvihuonekaasujen data on reaaliaikaisesti kaikkien nähtävillä Pelto-observatoriossa, ja Viikin asema lisätään kevään 2022 aikana. Asemat ovat ns. intensiivipeltoja Carbon Action -alustalla. Asemien keräävän datan avulla pyritään tarkentamaan kasvihuonekaasujen vuositasaita sekä ilmastomalleja ja pääsemään kiinni siihen, miten ilmastonmuutos ja mahdollisten sään ääri-ilmiöiden lisääntyminen vaikuttavat peltomaan hiilensidontaan ja kasvihuonekaasupäästöihin pohjoisissa oloissa, sekä miten viljelytoimia on mukautettava muuttuviin ilmasto-oloihin. Tietoa voidaan hyödyntää edelleen poliittisessa päätöksenteossa mm. suuntaamalla maatalouden tukitoimia oikein kohdistettuihin

viljelytoimenpiteisiin, jotka tukevat ilmastovaikutukset huomioivaa maataloustuotantoa ([lue lisää](#)).

Carbon Action intensiivitulojen pelloille on asennettu keväällä 2020 noin 80 reaaliaikaista lämpötila- ja kosteusmittaria, jotka lähettävät puolen tunnin välein tietoa maaperän olosuhteista. SYKEN anturiparvi on kytketty rajapinnoilla Ilmatieteen-laitoksen serverille, jossa aineisto on mallinnuksen käytettävissä. Tämä on viljelijöille arvokasta tietoa. Se, että viljelijät ovat päässeet katsomaan omien ja muiden lohkojen dataa, on herättänyt runsaasti kiinnostusta maan lämpenemisen ja kostumisen dynamiikasta ([lue lisää](#)).

Monitieteisyys on keskeinen osa todentamisjärjestelmän kehitystä ja siitä saavutettavaa vaikuttavuutta. MULTA hankkeessa on olennaista tutkimusyhteistyö ei vain konsortion kesken, vaan yhteistyö myös muiden hankkeiden, tutkimuslaitosten, yritysten ja viljelijöiden kanssa.

Kts. lisää muusta tutkimustyöstä yllä.