

Maaperätiedon kehittäminen (MaaTi)

Projektin kesto 1.1.2021-15.11.2022

Loppuraportti, marraskuu 2022



Hanke on osa maa- ja metsätalousministeriön toteuttamaa
maankäyttösektorin ilmastotoimenpidekokonaisuutta



Maa- ja metsätalousministeriö



Sisällysluettelo

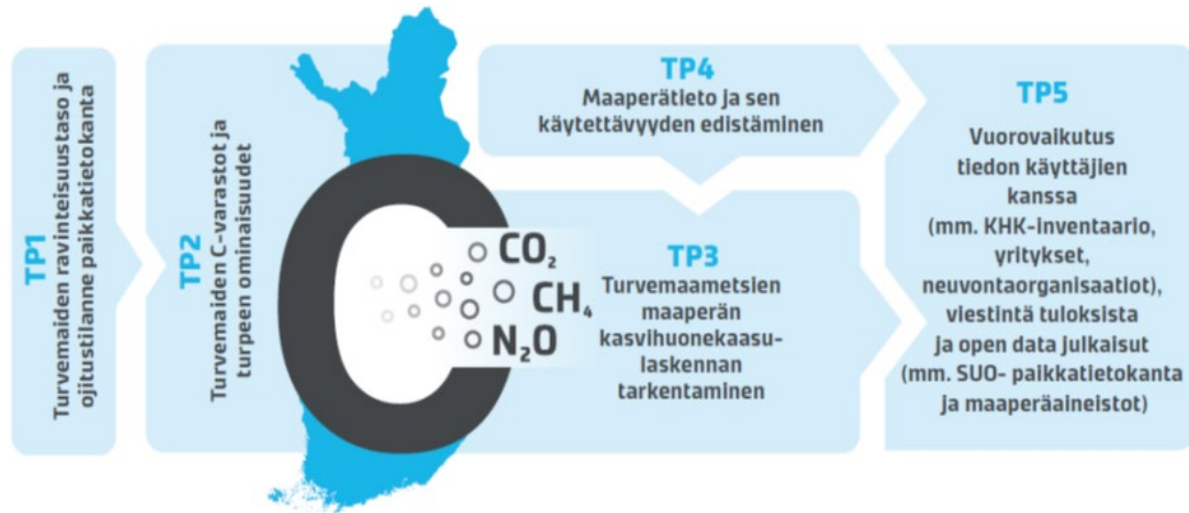
1. Hankkeen tavoitteet	3
2. Osapuolet ja yhteistyö	3
3. Hankkeen toteutus ja tulokset.....	4
3.1 Menetelmät ja aineisto	4
3.2 Tulokset.....	5
3.3 Toteutusvaiheen arviointi	7
3.4 Julkaisut.....	7
4. Tulosten arviointi	9
4.1 Tulosten käytännön sovellettavuus	9
4.2 Tulosten tieteellinen merkitys	10
5. Tiivistelmä ja toimintasuositukset	11

1. Hankkeen tavoitteet

Tavoitteena on kehittää koko maata koskevaa maaperätietoa erityisesti turvemaille ja parantaa tiedon käytettävyyttä avoimeen dataan siirtymällä. Tutkimuksen osatavoitteet ovat

1. Tuottaa valtakunnallinen turvemaiden maankäyttömuotoa, ravinteisuustasoa (suotyyppi) ja ojitustilannetta koskeva paikkatietoaineisto (Työpaketti 1)
2. Tuottaa tietoa turpeen ominaisuuksista ja hiilivarastosta (Työpaketti 2)
3. Kehittää turvemaiden hiilivaraston ja kasvihuonekaasutaseiden seurantaan entistä tarkempia ja kattavampia menetelmiä (Työpaketti 3)
4. Parantaa maaperätiedon käytettävyyttä ja hiilivaraston muutosarvioiden luotettavuutta (Työpaketti 4)

Kaikissa työpaketeissa tuotetaan tietoaineistoja, jotka julkaistaan avoimena datana.



2. Osapuolet ja yhteistyö

Maaperätiedon kehittäminen-hankkeen työpaketit (TP1-5), niiden vastuuorganisaatio ja osallistujat:

Työpaketti (TP)	Työpaketin nimi	Vastuu-organisaatio	Osallistujat
TP1	Turvemaiden kaukokartoitus ja paikkatietokanta	GTK	Luke, UTU
TP2	Turvemaiden hiilivarastot ja turpeen ominaisuudet	GTK	Luke
TP3	Turvemaametsien maaperän kasvihuonekaasuinventaarion tarkentaminen	Luke	HY
TP4	Maaperätiedon käytettävyyden edistäminen ja uuden maaperätiedon tuottamisen menetelmäkehitys	Luke	GTK
TP5	Toteutuksen, vuorovaikutustyön ja avoimen data julkaisun koordinointi	Luke	GTK

3. Hankkeen toteutus ja tulokset

3.1 Menetelmät ja aineisto

Turvemaiden kaukokartoitus ja paikkatietokanta (TP 1)

Kaukokartoitusaineistojen ja koneoppimismallinnuksen avulla yleistettiin maastossa havaitut turvemaiden suotyypit, ravinteisuusluokat ja maankäyttöluokat koko maan kattavaksi tietokannaksi. Työ tehtiin kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa pilotoitiin työhön sopivat kaukokartoitusaineistot, luokkasisältö ja koneoppimismenetelmät käyttäen kolmea eri pilottialuetta: Keminmaa, Etelä-Pohjanmaa ja Itä-Suomi. Satelliittikaukokartoitusaineistoista testattiin avoimia Sentinel-1 kuvaavaa tutka-aineistoa ja Sentinel-2 optista aineistoa. Lentoaineistoista mukana olivat Maanmittauslaitoksen 0,5 pisteen laserkeilausaineistoon perustuvat maaston pintamalli ja kasvillisuuden korkeusmalli, GTK:n matalalentoaineistot. Lisäksi mukaan otettiin Luken monilähteen VMI:n metsäkartta-aineistot. Maastohavaintoaineistot kerättiin GTK:n turveinventointi ja Luken VMI maastokoeala-aineistoista, sekä ilmakuvatulkinnasta. Maastohavaintoja käytettiin opetusaineistona, jolla Random Forest koneoppimisalgoritmi opetettiin tunnistamaan eri suotyypit kaukokartoitus- ja paikkatietoaineistoista.

Maaperän hiilivarastojen laskentaprosessin optimointi pilottialueilla (TP 2.1)

Turvemaiden maaperän (turpeen) hiilivarastot laskettiin ja paikkatietoaineisto tuotettiin kahdella eri mittakaavatasolla ja alueellisella kattavuudella; 1) suoallaskohtainen ja 2) valtakunnallinen turpeen hiilivarasto –paikkatietoaineisto. Suoallaskohtainen aineisto tuotettiin 2,3 milj. ha turvemaa-alalle. Alue kattaa turvemaa-alueet, joista on olemassa GTK:n yksityiskohtainen maastokartoitus sekä laboratoriomääryksiä turpeen kuiva-ainemäärästä ja hiilipitoisuudesta. Valtakunnallinen, yleispiirteinen aineisto tuotettiin koko turvemaa-alalle, n. 8,9 milj. ha, perustuen GTK:n turvekartoitusaineistoon ja laboratoriomääryksiin turpeen ominaisuuksista sekä Luken VMI-aineistoon. Turvemaa-alan rajauksena käytettiin Maanmittauslaitoksen maastotietokannan turvemaa-alueita kuvaavia kohdeluokkia.

Turpeen ominaisuudet turvemaiden tilan indikaattoreina (TP 2.2)

Turvemaiden maaperän ominaisuuksiin liittyviä avaintekijöitä (indikaattoreita), niiden suhteita ja käyttökelpoisuutta maankäytön vaikutusten (ojittamaton vs. metsäoitettu) kuvaamisessa tarkasteltiin GTK:n turveaineistoiden ja Luken VMI8:n pysyvien koealojen 988 suopisteen aineistojen avulla käyttäen lineaarisia sekamalleja ja monimuuttujamenetelmiä. Otoksesta turvenäytteitä (154) analysitiin hiili:vety:happi:typpi:rikki (C:H:O:N:S) Luken Jokioisten laboratoriossa. Tähän otokseen valittiin myös näytteet 30 metsäoitettujen soiden kasvihuonekaasujen mittaustaikalta, jotta voitiin liittää pintaturpeen ominaisuudet maaperän vuosittaisiin KHK-päästöihin.

Metsäoitettujen soiden CO₂, N₂O ja CH₄ päästöskenaariot Suomessa (TP 3.1)

Yhdistämällä MELA metsikkölaskenta, SpaFHy-peat hydrologiamalli, Yasso07 maaperämalli ja empiiriset KHK mallit laskettiin Suomelle skenaarioita metsien tulevista hiilinieluista ja KHK vaihdosta. Skenaarioissa oli mukana metsien hoidon nykymenetelmät, sekä skenaario, jossa rehevillä ojitetuilla turvemaidella ei ollut sallittua tehdä avohakkuita. Skenaariot pohjautuvat kasvumalleihin ja puuston lähtötilaan, joka perustuu VMI aineistoihin.

Mallit metsäoitettujen soiden aluskasvillisuuden kariketuotoksen ennustamiseen (TP 3.2)

BioSoil-hankkeessa kerättyjen aluskasvillisuuden biomassa- ja peittävyysaineistojen (109 suokoealaa) perusteella tehtiin tilastolliset mallit aluskasvillisuuden maanpäällisen kariketuotoksen ennustamiseen.

Metsäojitettujen soiden ojien metaanipäästöjen arviointi (TP 3.3)

Aiempien (osin julkaisemattomien) metaanipäästömittausten ja tässä hankkeessa v. 2021 kolmella koealalla (Lettosuo, Ränskälänkorpi, Paroninkorpi) tehtyjen mittausten luotiin tilastollisen analyysin perusteella päästökertoimet erilaisille ojille. Erilaisten ojien pinta-aloja Etelä- ja Pohjois-Suomessa arvioitiin SINKA-aineiston perusteella tehdyillä malleilla, joita sovellettiin metsäojitetuilta soilta tuotettuun segmenttimuotoiseen paikkatietoon.

Yli 20 vuotta seurattujen ICP Forest Level II koealojen maaperän hiilivaraston muutokset ja hiilivirrat (TP 4.1)

1) Vuosille 1995, 2006 ja 2016 määritettiin maaperän hiilivarasto sekä arvioitiin metsämaan hiilen kertymänopeus/muutosnopeus vuositasolle, sekä analysoitiin mitkä tekijät selittävät kertymänopeutta. Aineistoa voidaan hyödyntää maaperän hiilivarastojen muutoksien arvioinnissa käytettävien prosessimallien kehitystyössä. 2) Koealoilla määritettiin metsäekosysteemin hiilivarastojen suhde virtoihin (mm. laskeuman, karikkeen, puuston kasvun, maaveden mukana kulkeviin hiilen virtoihin).

Kivennäismaiden hydrologiset ominaisuudet (TP 4.2)

1) Suomalaisten metsämaiden vedenpidätysominaisuuksien tilastollinen analyysi ja ennustemallit kivennäismaille. Yhdistettiin Biosoil, ICP ja eri Metlan/Luken hankkeissa kerätyt vedenpidätysaineistot (n. 140 koealaa ja 800 näytettä) ja analysoitiin ne tilastollisesti sekä käyttäen mm. ryhmittelyanalyysejä. Luotiin mallit, joilla hydrologiset tunnuksot voidaan ennustaa maaperädatan ja kasvupaikkatyyppien avulla.

2) Tutkittiin maaperän dielektisyyden ja gammasäteilyn (i.e., maan kosteuden) aikastabiilisuutta ja käytettävyyttä männyn uudistamisen apuna. Aineistot olivat Keski-Lapin alueelta vuosina 1980 ja 2004 lennetyt gamma-spektrimittausaineistot ja dielektrisyysmonitorointiaineistot vuosilta 2007–2017.

3.2 Tulokset

Turvemaiden kaukokartoitus ja paikkatietokanta (TP 1)

Kaukokartoitusaineistojen ja muun paikkatiedon pohjalta luotiin koko maan kattava suotyyppikartta, jossa eriteltiin ojitetut ja ojittamattomat suot. Opetus- ja testiaineistoina käytettyjen VMI- ja GTK-maastomittausten avulla toteutettiin karttamuotoisten suotyyppiennusteiden arvojen ristiinvalidointi, jonka perusteella voitiin laskea ennusteiden tarkkuusarviot: mikä on oikein luokitettujen osuus, mikä osuus kuhunkin suotyyppiin kuuluvista havainnoista ennustetaan oikein (ns. tuottajan tarkkuus) ja mikä osa kuhunkin suotyyppiin luokitetuista kuuluu siihen todellisuudessa (ns. käyttäjän tarkkuus). Suotyyppikartta jaetaan avoimena paikkatietoaineistona (geo.fi) samoin kuin aineistoon liittyvät metatiedot.

Maaperän hiilivarastojen laskentaprosessin optimointi pilottialueilla (TP 2.1)

Hankkeen alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen suoallaskohtainen turpeen hiilivarasto – paikkatietoaineisto tuotettiin koko sille turvemaa-alalle, mistä on olemassa GTK:n yksityiskohtaista turvekartoitusaineistoa (eikä vain valitulle pilottialueelle). Yleispiirteinen turpeen hiilivarastoaineisto tuotettiin valtakunnallisena aineistona koko turvemaa-alalle. Paikkatietoanalyysin perusteella laskettu valtakunnallinen turpeen hiilivaraston suuruus (5200 Tg) on samaan suuruusluokkaa aikeisempien julkaistujen hiilivarastoarvioiden kanssa.

Turpeen ominaisuudet turvemaiden tilan indikaattoreina (TP2.2)

Laaja aineisto tarjosi mahdollisuuden tarkastella suotyyppiryhmien vaihtelua: odotusten mukaan ojituksen myötä turpeen tiheys, tuhkapitoisuus, tyyppipitoisuus ja maatuneisuus kasvoivat.

Metsäojitettujen soiden hiilipitoisuus muuttui vain vähän ojittamattomiin verrattuna, yllättäen pintaturpeen C:N suhde laski merkitsevästi vain karuimmilla ojitetuilla soilla. Perinteisesti mitattuja muuttujia käyttökelpoisemmaksi ojittamattomien ja ojitetujen soiden erottamisessa nousi pintaturpeen vedyn ja hiilen suhde, joka myös korreloi voimakkaasti mittauspaikan turpeen vuotuisen hiilidioksidipäästön kanssa.

Metsäojitettujen soiden CO₂, N₂O ja CH₄ päästöskenaariot Suomelle (TP 3.1)

Skenaariolaskennan tulokset osoittavat, että jatkuvapeitteinen kasvatus rehevillä ojitetuilla turvemailla tuo noin 1 Tg CO₂ ekv. päästövähennysmahdollisuuden Suomelle, kun hakkuukertymä on nykytasolla, verrattuna tasaikäiseen metsien kasvatukseen. Eron aiheuttaa pääasiassa avohakkuiden välttäminen ja on huomattava, että avohakkuiden päästöarvioihin liittyy merkittävää epävarmuutta.

Mallit metsäojitettujen soiden aluskasvillisuuden kariketuotoksen ennustamiseen (TP 3.2)

Suunnitelman mukaisesti saatiin sovitettua mallit kariketuotoksen ennustamiseen. Mallit tehtiin kasviryhmittäin (varvut, ruohot, sammalet, jäkälät) ja niissä aluskasvillisuuden kariketuotosta ennustavat puuston turvekangastyypit ja pohjapinta-ala.

Metsäojitettujen soiden oijen metaanipäästöjen arviointi (TP 3.3)

Tutkimus tuotti erilaisten oijen päästökertoimet ja pinta-alaosuudet, joita tietoja tarvitaan ojitetujen soiden kasvihuonekaasuinventaariossa. Vesipintaisten (21 ± 7 g CH₄/m²/vuosi) ja sammalpeitteisten (2.6 ± 0.8 g CH₄/m²/vuosi) oijen päästökertoimet erosivat merkittävästi toisistaan. Metsäojitettujen soiden oijista 70 % oli sammalpeitteisiä ja 30 % avovesipintaisia. Koko Suomen metsäojitettujen soiden (kasvihuonekaasuinventaarion metsän määritelmän täyttävän pinta-alan mukaan) oijen metaanipäästökseksi arvioitiin 7 900 t CH₄/vuosi, mikä tarkoittaa, että ojat ovat nykyisen kasvihuonekaasuinventaarion arviota (23000 t CH₄/vuosi) pienempi päästölähde.

Yli 20 vuotta seurattujen ICP Forest Level II koealojen maaperän hiilivaraston muutokset ja hiilivirrat (TP 4.1)

Analyysin tuloksena voitiin määrittää metsämaan hiilivaraston kasvunopeus yli 20 vuoden aikana, sekä määrittää varastojen suhde hiilivirtoihin. Metsämaan hiilivarasto kasvoi keskimäärin vuosittain 36 grammaa neliömetrillä. Mitä enemmän metsikössä oli kasvillisuuteen liittyvää eloperäistä ainesta ja mitä ravinteisempi kasvupaikka on, sitä suurempi oli myös metsämaan hiilivaraston kasvunopeus. Monet metsäekosysteemin hiilivarastot korreloivat karikevirran kanssa positiivisesti.

Kivennäismaiden hydrologiset ominaisuudet (TP 4.2.)

1) Analyysin tuloksena luotiin mallit, joiden avulla voidaan ennustaa vedenpidätysominaisuuksia ja kasveille käyttökelpoisen veden määrää. Havaittiin, että maalajikarttojen maalajitieto on hyödytöntä ennustettaessa metsämaan vedenpidätysominaisuuksia tietylle kohteelle. Paremmat ja käytännössä hyödynnettävät karkeat ennusteet voidaan tehdä avoimen metsävaratiedon kasvupaikkatyyppi – tunnuksen avulla, ja tätä voidaan edelleen tarkentaa visuaalisella arviolla maaperän raekokojakaumasta.

2) Maan pintakerrosten dielektrisyyden ja monitorointikohteiden välisten kosteuserojen todettiin käyttäytyvän vuodesta toiseen samalla tavalla (vuosien välinen Spearmanin järjestyskorrelaatiokerroin maankosteudelle 0.9–1). Tämän perusteella maankosteuden mittausvuodella ei ole merkitystä, koska vuodet ovat samankaltaisia keskenään.

Gammalentoaineistojen perusteella säteilytasot käyttäytyvät myös alueellisesti samalla tavalla vuodesta toiseen (Spearmanin järjestyskorrelaatiokerroin K, Th ja Tot 0.85–0.89), joten olemassa olevaa lentogamma-aineistoa voidaan käyttää yhtenä lähtöaineistona mallintamaan metsänpohjien soveltuvuutta männynnuudistamiselle.

3.3 Toteutusvaiheen arviointi

Hanke toteutui pääosin suunnitelman mukaan ja hyvin tuloksellisesti. Tässä alle kahden vuoden mittaisessa hankkeessa tuloksista on aktiivisesti viestitty tiedon käyttäjille, tuotetuista tieteellisistä julkaisuista kaksi on jo ilmestynyt kansainvälisissä tieteellisissä sarjoissa ja yhdestä kokonaisuudesta on tehty mediatiedote, jonka myötä tuloksista kerrottiin mm. Kauppalehdessä ja Tekniikka & Talous -lehdessä.

Laajan ja ominaisuuksiltaan vaihtelevan lähtöaineiston tietojen yhdistäminen tuotti jonkin verran vaikeuksia, minkä vuoksi hankkeelle myönnetty neljän kuukauden jatkoaika oli tarpeellinen (TP 1). Vaikka aineistot olivat periaatteessa kattavia, eritoten laserkeilausaineistojen peitossa oli aukkoja eri osissa maata, ja näiden aukkojen kattaminen vaati erillisen luokituksen. Satelliittikuva-aineistoilla saavutettiin täysi kattavuus, muuta koko maan alueen kattaminen yhtenäisellä satelliittikuva-aineistolla vaatii fenologialtaan erilaisina vuodenaikoina samoin kuin sää- ja valaistusolosuhteiltaan vaihtelevina aikoina otettujen satelliittikuvien kalibroimista sävypiirteiltään yhteismitallisiksi. Suotyyppien luokituksessa käytetyt koneoppimismenetelmät vaativat teknisiltä ominaisuuksiltaan ja erotuskyvyiltään vaihtelevien lähtöaineistojen saattamista laskennallisesti yhteismitalliseen muotoon, jotta niitä voidaan käyttää syötteenä valitulle spatiaaliselle luokitusyksikölle. Koneoppimismenetelmien testaus ja käyttö vaati lähtöaineistojen syöttöpiirteiden testausta ja valintaa parhaan piirreyhdistelmän löytämiseksi. Itse koneoppimismenetelmien käyttö vaati lisäksi lukuisia iteraatioita, kun eri menetelmiä ja niiden parametreja testattiin parhaan luokittajan löytämiseksi.

Maaperän hiilivarastojen laskentaprosessin toteutuksen suurimmat haasteet liittyivät eri kartoitusohjelmissa ja organisaatioissa (GTK, Luke) kerättyjen aineistojen yhteismitallistamiseen (TP 2.1). Työssä käytetyt lähtöaineistot eivät ole kerätty tätä työtä, eikä turvemaiden turpeen hiilivaraston laskentaa varten, joten aineiston yleistyksessä jouduttiin väistämättä tekemään kompromisseja. GTK:n yksityiskohtainen turvekartoitusaineisto ei kata koko maan suoalaa, vaan painottuu Etelä- ja Länsi-Suomeen sekä suurille ns. geologisen määritelmän mukaisille soille. VMI-aineistossa puolestaan turve-/orgaanisen kerroksen paksuuden mittausta ulottuu ainoastaan joko 2 m tai 4 m saakka. Mm. nämä edellä mainitut seikat tuottavat epävarmuutta turpeen hiilivaraston suuruuden laskentaan.

Turpeen ominaisuudet turvemaiden tilan indikaattoreina -osatyön toteutuksen ongelmat liittyivät vanhojen aineistojen dokumentointiin, aineistojen eri maankäyttömuotojen otantojen ja mitattujen muuttujien selvittelyyn; tämän työvaiheen hidas eteneminen on tyypillistä ja tulee huomioida ja resursoida paremmin tulevissa hankkeissa (TP 2.2). Lisäksi Korona-aika aiheutti viivettä laboratorion toiminnassa.

Työpaketeissa 3 ja 4 työ eteni pääosin suunnitellusti ja tavoitteiden mukaisesti. Suurin haaste oli joidenkin vanhojen aineistojen dokumentoinnissa ja harmonisoinnissa. Lisäksi yhden osakokonaisuuden datan avaaminen ei edennyt suunnitellusti.

3.4 Julkaisut

Laatikainen M., Harju A., Pitkänen T. et al. 2022 Turpeen hiilivarasto –paikkatietoaineiston tekninen raportti GTK:n arkistoraporttisarjassa (TP 2.1).

Launiainen, S., Kieloaho, A.-J., Lindroos, A.-J., Salmivaara, A., Ilvesniemi, H., Heiskanen, J. Water retention characteristics of mineral forest soils in Finland: Impacts for modeling soil moisture. *Forests* 2022, 13, 1797. <https://doi.org/10.3390/f13111797>. Avoin julkaisu. Datasetti, luodut ennustemallityökalut (Python 3.x) julkaistu <https://doi.org/10.5281/zenodo.7197865> avoimella lisenssillä (CC & MIT). (TP 4.2)

Lindroos, A.-J., Mäkipää, R. & Merilä, P. 2022. Soil carbon stock changes over 21 years in intensively monitored boreal forest stands in Finland. *Ecological Indicators* 144, 109551. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109551> (TP 4.1)

Merilä P., Lindroos, A.-J., Helmisaari, H.-S., Hilli, S., Nieminen, T M., Nöjd, P., Rautio, P., Salemaa, M., Tupek, B. & Ukonmaanaho L. Carbon stocks and fluxes in coniferous boreal forests along a latitudinal gradient (käsikirjoitus, submitted, TP 4.1).

Valmisteilla olevat käsikirjoitukset (12)

Farahnakian F., Zelioli L., Middleton M., Laatikainen M., Kivilompolo J., Tuominen, S. Multi-stream Convolutional Neural Network-based Fusion Architecture for Peatland Classification (käsikirjoitus tekeillä, TP 1)

Lehtonen, A., Eyvindson, K., Härkönen, K., Leppä, K., Salmivaara, A., Peltoniemi, M., Salminen, O., Sarkkola, S., Launiainen, S., Ojanen, P. and Mäkipää, R. Assessing the emission reduction potential of continuous cover forestry on drained peatlands in Finland (käsikirjoitus tekeillä, TP 3.1)

Lerssi J., Säävuori H., Nousiainen M., 2022. Turpeen(soiden) paksuuden arviointi geofysikaalisten lentomittausten perusteella (käsikirjoitus tekeillä, TP 2.1)

Markovaara-Koivisto, M., Middleton, M., Hamedianfar, A., Hyvönen, E., Hänninen, P., Ahl, A., Sutinen, R. Regional-scale time-stability of soil water regimes detected with airborne gamma-ray for forest regeneration. Käsikirjoitus, lähetetään vertaisarviointiin *Journal of Hydrogeology* 2023. (TP 4.2)

Middleton M., Pohjankukka J., Laatikainen M., Pitkänen T., Kivilompolo J., Balazs A., Lerssi J., Zelioli L., Farahnakian F., Nevalainen F., Heikkonen J., Tuominen S. 2022. Ecological and Land Use Database of Peatlands in Finland— performance of the site type, nutrient status and land use classifications (käsikirjoitus tekellä, TP 1)

Middleton, M., Laatikainen, M., Kivilompolo, J., Harju, A., Lerssi, J., Valkama, M., Pitkänen, T., Pohjankukka, J., Balazs, A., Tuominen, S., Zelioli, L., Farahnakian, F., Nevalainen, P., Heikkonen, J., Rehell, S. 2022. Technical description of the MaaTi peatland database. Julkaisematon raporttikäsikirjoitus. Jaettiin pilottialueiden aineiston mukana. Lopullinen raportti julkaistaan GTK:n arkistoraporttisarjassa (TP 1).

Ojanen, Kostensalo, J., Korpela, L., Larmola, T., Mäkipää, R.: Models for estimating the above-ground litter fall of ground vegetation in boreal peatland forests (käsikirjoitus, TP 3.2)

Pitkänen. T, Balazs A., Tuominen S., Middleton M. et al. 2022 Calibration of Sentinel mosaic for predicting forest variables and peatland site class (käsikirjoitus tekeillä TP 1)

Pohjankukka J., Balazs A., Tuominen S., Middleton M., Laatikainen M., Kivilompolo J. 2022

Selection of remote sensing features for predicting peatland site class (käsikirjoitus tekeillä, TP 1)

Pohjankukka J., Balazs A., Tuominen S., Middleton M., Laatikainen M., Kivilompolo J. 2022
Machine learning algorithms in predicting peatland site type (käsikirjoitus tekeillä, TP 1)

Rissanen, A J., Ojanen, P., Stenberg, L., Larmola, T., Minkkinen, K., Koskinen, M., Mäkipää, R.: Ditch vegetation and age impact methane emissions from forest drained peatlands – reason to revise IPCC emission factors and peatland management practices (käsikirjoitus, TP 3.3)

Turunen, J., Laine-Petäjäkangas, A., Anttila, J., Ovaskainen, J., Laatikainen, M., Alm, J., Larmola, T.: Impacts of forestry drainage on peat stoichiometry and physicochemical properties in boreal peatlands in Finland (käsikirjoitus valmisteilla Biogeochemistry -tieteelliseen vertaisarvioituun sarjaan, TP 2.2)

4. Tulosten arviointi

4.1 Tulosten käytännön sovellettavuus

Turvemaiden kaukokartoitus ja paikkatietokanta (TP 1)

Tuotettu suotyyppiluokitus tuottaa tiedot turvemaiden kasvihuonekaasuinventoinnin pohjaksi. Lisäksi aineisto antaa tietoa soiden suojele- ja metsätalouskäytön suunnittelun pohjaksi (puulajin ja hakkuutapojen valinta), soiden käytön suoalueitasoiseen suunnitteluun (metsätalouden uuden kannustejärjestelmän tarpeet), soiden puunkasvatuskelpoisuuden arviointiin (ml. potentiaaliset soiden ennallistuskohdeet). Potentiaalisia käyttäjiä ovat kansallinen kasvihuonekaasuinventointi, luonnonsuojelun suunnittelu, muut viranomaiset ja metsätalouden toimijat.

Maaperän hiilivarastojen laskentaprosessin optimointi pilottialueilla (TP2.1)

Tuotettujen aineistojen perusteella voidaan tunnistaa turvema-alueet, missä on merkittävät maaperän hiilivarastot ja toisaalta alueet, missä hiilivarastot ovat pienet suhteessa turvemaapinta-alaan. Yhdessä muiden aineistojen kuten TP1:ssä tuotetun suotyyppiluokitusaineiston kanssa voidaan esimerkiksi turvemaiden metsätalouskäyttöä ja soiden suojelelu kohdentaa ja suunnitella siten, että maaperän hiilivarastot vähintään säilyvät.

Arvioidaan koko maalle metsäojitettujen soiden CO₂, N₂O ja CH₄ päästöt (TP 3.1)

Skenaariomallien tulosten avulla voidaan tarkentaa ILMAVA (LULUCF ilmastotoimien vaikuttavuusarviointi) hankkeen alustavia tuloksia rehevien ojitettujen soiden jatkuvapeitteisen kasvatuksen päästövähennyspotentiaalista.

Mallit metsäojitettujen soiden aluskasvillisuuden kariketuotoksen ennustamiseen (TP 3.2)

Malleilla voidaan ennustaa aluskasvillisuuden karikesyötettä kansallista kasvihuonekaasuinventaariota sekä erilaisia skenaariotarkasteluja varten.

Metsäojitettujen soiden oijen metaanipäästöjen arviointi (TP 3.3)

Päästökertoimien ja pinta-alaosuuksien avulla voidaan tarkentaa kasvihuonekaasuinventaarion arviota oijen metaanipäästöistä. Tämän tutkimuksen mukaan Suomen turvemaametsien ojat ovat 15 000 CH₄ tonnia (noin 0,5 Mt CO₂ ekv.) nykyisin raportoitua pienempi päästölähde. Lisäksi voidaan arvioida, miten erilaiset ojiin vaikuttavat metsätaloustoimet (erityisesti kunnostusojitus) vaikuttavat oijen päästöihin. Koska umpeen kasvaneet sammalpeitteiset ojat ovat avoimiin vesipintaisiin ojiin verrattuna erittäin pieniä metaanipäästölähteitä, on oijen uudelleen kaivamista vältettävä aina kun se ei ole välttämätöntä.

Yli 20 vuotta seurattujen ICP Forest Level II koealojen maaperän hiilivaraston muutokset ja hiilivirrat (TP 4.1)

Aineistoa voidaan hyödyntää maaperän hiilivarastojen muutoksien arvioinnissa käytettävien prosessimallien kehitystyössä. Tutkimus osoitti pitkäaikaisten seurantojen ja kenttäkokeiden arvon sekä tarpeen jatkoseurannalle. Vertailukelpoisin menetelmin ja tarkasti samoille kohteille määritettyä hiilivaraston muutostietoa voidaan hyödyntää monipuolisesti metsäntutkimuksessa ja ympäristömuutoksen dokumentoinnissa sekä niihin liittyvässä mallikehityksessä.

Kivennäismaiden hydrologiset ominaisuudet (TP 4.2)

Laadittuja ennustemalleja voidaan hyödyntää hydrologisissa ja metsän kasvumalleissa. Tämä parantaa maankosteuden ajallisen ja paikallisen vaihtelun ennusteita, mikä tarkoittaa mm. kuivuusriskien ja metsämaan kantavuuden arviointia ja täten metsäoperaatioiden ja metsänhoidon suunnittelua. Tarkentuva tieto hydrologiasta on välttämätöntä myös kasvihuonekaasutaseiden arvioinnissa. Tuloksia hyödynnetään parhaillaan arvioitaessa, onko viime vuosina havaitun metsien kasvun hidastumisen taustalla ilmastollisia tekijöitä.

Hankkeen tulosten perusteella männyn uudistamiselle soveltuvat alueet voitaisiin spatiaalisesti kartoittaa Lapin alueelta käyttäen olemassa olevia paikkatietoaineistoja. Aineiston potentiaalisia hyödyntäjiä olisivat metsänomistajat.

4.2 Tulosten tieteellinen merkitys

Turvemaiden kaukokartoitus ja paikkatietokanta (TP1)

Tuotettu tietokanta on ensimmäinen koko maan kattava metodologisesti yhtenäinen suotyyppitason luokitus Suomen turvemaista. Vastaavia esimerkkejä muista maista ei ole tiedossa. Luokitusta voidaan parantaa tulevaisuudessa, kun tiheäpulssinen lidar-aineisto ja mahdollinen satelliittikuvantamiseen perustuva hyperspektriaineisto tulevat saataville koko maan laajuudelta. Käyttökokemusten perusteella on harkittava aineiston päivitystarve tulevaisuudessa.

Maaperän hiilivarastojen laskentaprosessin optimointi pilottialueilla (TP2.1)

Turvemaiden maaperän hiilivaraston suuruus koko maan tasolla on ollut jo tiedossa. Tieto ei ole kuitenkaan paikkatietomuodossa. Työpaketissa tuotetut paikkatietoaineistot ovat ensimmäiset tiedossa olevat turvemaiden maaperän hiilivarastoon liittyvät aineistot ja siten tuovat lisäarvoa turvemaiden maankäytön suunnitteluun.

Turpeen ominaisuudet turvemaiden tilan indikaattoreina (TP2.2)

Hiili, happi ja vety muodostavat yli 90 % turpeen massasta, kuitenkin niiden keskinäisistä suhteista ei ollut tietoa Suomen soista eikä juurikaan muualta metsäojitetuista soista. Vedyn ja hiilen suhde nousi perinteisesti mitattuja tekijöitä käyttökelpoisemmaksi turpeen hajoamisen indikaattoriksi. Jatkotutkimuksissa tulee todentaa laajemmalla aineistolla uusien indikaattorien käyttökelpoisuus kasvihuonekaasupäästöjen selittäjinä pitkäaikaisen turpeen hajoamisen kuvaamisen lisäksi.

Metsäojitettujen soiden CO₂, N₂O ja CH₄ päästöskenaariot (TP 3.1)

Koko maan kattavat arviot metsäojitettujen soiden kasvihuonekaasupäästöistä voidaan liittää metsien käyttöä, metsänhoitotapoja ja hakkuita tarkasteleviin skenaarioihin ottamalla käyttöön jo julkaistut vesitaloutta ja kasvihuonekaasupäästöjä kuvaavat mallit. Skenaarioissa esitettyjä päästöarvioita voidaan jatkossa tarkentaa, jos mittauksia maaperän päästöistä erityisesti avohakkuualoilta tehdään lisää.

Mallit metsäojitettujen soiden aluskasvillisuuden kariketuotoksen ennustamiseen (TP 3.2)

Tieteellinen tieto aluskasvillisuuden merkityksestä on ollut vähäistä, ja työpakettin tulokset lisäävät merkittävästi tätä tietoa, jota tarvitaan mm. kasvihuonekaasuinventaariossa.

Metsäojitettujen soiden ojien metaanipäästöjen arviointi (TP 3.3)

Työpakettin tulokset lisäävät tietoa ojien metaanipäästöistä ja niihin vaikuttavista tekijöistä.

Yli 20 vuotta seurattujen ICP Forest Level II koealojen maaperän hiilivaraston muutokset ja hiilivirrat (TP 4.1)

Tulokset parantavat ymmärrystä humuskerroksen alaisen kivennäismaan roolista hiilivarastona ja hiilen kertymisen kannalta. Tulokset lisäävät tietoa kangasmaiden hiilen kertymän nopeudesta koko maannosprofiilissa, ja tekijöistä, jotka lisäävät tai vähentävät hiilimääriä ja kertymänopeutta.

Kivennäismaiden hydrologiset ominaisuudet (TP 4.2)

1) Tulokset parantavat maankosteuden dynamiikan ennusteita boreaalisissa metsissä, millä on merkittäviä välillisiä vaikutuksia mm. kasvihuonekaasututkimukseen ja metsien resilienssin arviointiin. Avoin data mahdollistaa laajemmat alueelliset synteetit.

2) Merkittävä lisä. Gamma-aineiston käytettävyyttä metsän uudistamisen tukena puulajivalinnassa on aiemmassa tutkimuskirjallisuudessa käsitelty vähän. Esim. koko Lappia koskevan aineiston tuottaminen yhteisrahoitteisena projektina Luken kanssa olisi hyvin ajankohtainen ottaen huomioon uusien biojalostamoiden ja maailmanpolitiikan aiheuttamat puutuotannon paineet Pohjois-Suomessa.

5. Tiivistelmä ja toimintasuositukset

Turvemaiden kaukokartoitus ja paikkatietokanta (TP1)

Suotyyppin luokitustarkkuus ojitetuilla soilla oli 31–39 % ja ojittamattomilla soilla 36–40 % suotyyppivyyhykkeestä riippuen. Ravinteisuusluokan tasolla luokitustarkkuus oli ojitetuilla soilla 51–57 % ja ojittamattomilla soilla 47–59 %. Aineiston soveltuvuus kansallisen KHK inventoinnin syötteeksi tulee selvittää. Kehitysprojekteissa tulisi testata parantaisivatko 5 p lidar aineisto ja satelliittihyperspektriaineistot luokitustarkkuutta.

Maaperän hiilivarastojen laskentaprosessin optimointi pilottialueilla (TP2.1)

Koko Suomen turvemaiden maaperän hiilivaraston suuruus oli paikkatietoanalyysin perusteella noin 5200 Tg, mikä vastaa hyvin aikaisempien tutkimusten hiilivaraston suuruutta. Suurimmat turpeen hiilivarastot ovat aineiston perusteella suovaltaisilla alueilla Pohjois-Pohjanmaalla sekä Etelä-Suomen paksuturpeisilla alueilla. Koska lähtöaineistot, etenkin turpeen paksuusmittaukset eivät kata koko maan aluetta tai eivät ulotu turvekerroksen pohjaan saakka, on hiilivaraston suuruus luultavasti aliarvioitu. Jatkossa tulisikin joko kehittää menetelmiä turpeen paksuuden määrittämiseksi ilman maastomittauksia tai vaihtoehtoisesti jatkaa turpeen paksuusmittauskartoituksia joko olemassa olevien projektien/kartoitusohjelmien puitteissa tai uusissa projekteissa.

Metsäojitettujen soiden ojien metaanipäästöjen arviointi (TP 3.3)

Sammaloituneiden ojien metaanipäästöt ovat huomattavasti vähäisemmät kuin vesipintaisten ojien. Ojien metaanipäästöjä voidaan vähentää välttämällä kunnostusojituksia, koska suuri osa ojista sammaloituu vähitellen, jos niitä ei kunnosteta.

Yli 20 vuotta seurattujen ICP Forest Level II koealojen maaperän hiilivaraston muutokset ja hiilivirrat (TP 4.1)

Metsämaan hiilivarasto oli suurempi kuusikoissa kuin männiköissä johtuen kuusikoiden paremmasta ravinteisuudesta. Karikekerroksen biomassa korreloi positiivisesti maaperän hiilivaraston koon

kanssa. Metsämaan hiilivaraston kasvunopeus oli keskimäärin 36 g/m²/v, mutta maaperän hiilivarasto väheni aloilla, joilta puustoa poistui luontaisten tuhojen ja hakkuiden vuoksi. Kasvupaikan hyvä ravinteisuus ja suuri biomassan määrä lisäsivät maaperän hiilimäärän kasvunopeutta. Kivennäismaan rooli on tärkeä hiilen kertymässä ja varastona. Karikkeen mukana kulkeva hiili on erityisen tärkeä varastojen kannalta. Maaperän hiilivaraston avohakkuiden jälkeisen muutosnopeuden määrittämiseksi tarvitaan lisää mittauksia.

Kivennäismaiden hydrologiset ominaisuudet (TP 4.2)

1) Pintamaalaji ei ennusta puuston kasvulle ja kasvihuonekaasutaseille merkittäviä vesitaloustunnuksia, joten maaperäkartojen hyöty jää heikoksi. Avoimen metsävaratiedon kasvupaikkatyyppi –tunnuksen avulla voidaan tehdä karkeita ennusteita vedenpidätysominaisuuksista, mutta tarkka ennustaminen tietylle kohteelle vaatii kuitenkin aina suoria mittauksia tai tietoa paikkakohtaisista tekijöistä, erityisesti hienoaineksen ja orgaanisen aineen tilavuusosuudesta. Näiden kerääminen laajassa mittakaavassa on äärimmäisen kallista ja tehotonta, joten isot epävarmuudet on hyväksyttävä.

2) Gammalentoaineiston ja muiden avoimien spatiaalisten aineistojen avulla voidaan luoda huomattavan tarkka (AUC >0.9) alueellisen mittakaavan kartta soveltuvuudesta männyn uudistamiselle. Metsäkuviokohtaiseen tarkkaan kartoittamiseen tarvitaan tarkemman resoluution spatiaalisia aineistoja.