

Maaperäpilotti

Loppuraportti

22.12.2023



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	6
3.3 Toteutusvaiheen arviointi	8
3.4 Julkaisut ja raportit	9
4. Tulosten arviointi	10
4.1 Tulosten käytännön sovellettavuus	10
4.2 Tulosten tieteellinen merkitys	10
5. Toimintasuositukset	11

1. Hankkeen tavoitteet

Maaperäpilotti-hankkeen päätavoitteena on kehittää toimintamalli, jolla maankäyttösektorin toimijoiden sekä maaperätiedon hyödyntäjien kannalta kriittiset kivennäis- ja turvemaiden maaperätiedot pystytään tuottamaan riittävällä tarkkuudella ja kustannustehokkaasti tulevaisuudessa kaukokartoituksen ja geofysiikan aineistojen mallinnuksen sekä koneoppimisen avulla koko Suomesta. Hanke on jaettu neljään työpakettiin:

TP 1. Maankäyttösektorin ilmastotoimenpiteissä tarvittavien maaperätietotarpeiden täsmentäminen. Maankäyttösektorin maaperätietotarpeet kartoitetaan maankäyttösektorin toimijoille suunnattavan kyselytutkimuksen ja haastattelujen avulla. Vastuuorganisaatio GTK.

TP 2. Tietotarpeiden ja tiedontuotantomenetelmien vertailu ja tiedontuotantoprosessien määrittäminen. Määritetään TP 1:n tulosten perusteella kriittisimmät maaperätiedot ja tehdään suunnitelmat niiden tuotantoon. Vastuuorganisaatio GTK.

TP 3. Tiedontuotantomenetelmien pilotointi.

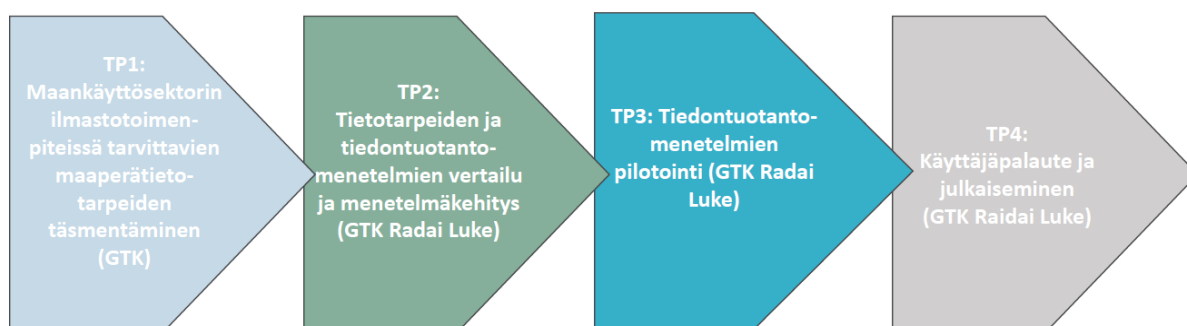
Tarkennetaan tietotuotteiden tietosisältöä asiantuntijoiden ja koneoppimisen yhteistyönä. Työpaketti koostuu kahdesta pilottiprojektista. Vastuuorganisaatio Radai Oy.

Pilotti 1. Kaukokartoitukseen ja koneoppimiseen perustuva pintamaalajitietotuote
Pystytään tunnistamaan orgaaniset ja kivennäismaalajit käyttäen maastohavainnoin ja –mittauksin kerättyä opetusaineistoa.

Pilotti 2. Orgaanisen ja kivennäismaaperän kerrospaksuusmallitietotuote
Pystytään määrittämään orgaanisen ja kivennäismaaperän kerrospaksuuksia ja sisäisiä kerrosrajoja.

TP 4. Käyttäjäpalaute ja julkaiseminen.

TP 3:n aineistot jaetaan loppukäyttäjille ja kerätään palaute aineistojen käyttökelpoisuudesta, tietosisällöstä ja tarkkuudesta. Näiden perusteella luodaan toimenpide-ehdotukset ja kustannuslaskelmat TP2:ssa kriittisiksi arvioitujen ja TP3:ssa pilotoitujen maaperätietojen tuotantoprosesseille. Vastuuorganisaatio GTK.



2. Osapuolet ja yhteistyö

Maaperäpilotti-projekti on pääosin maa- ja metsätalousministeriön rahoittama ja kuuluu Hiilestä kiinni -tutkimus- ja innovaatio-ohjelmaan. Ohjelman hankkeet ovat usean organisaation muodostamia tieteidenvälisiä konsortioita. Maaperäpilotti-projektin osapuolet ovat:

Geologian tutkimuskeskus (GTK) on Työ- ja elinkeinoministeriön alainen riippumaton geologisten luonnonvarojen tutkimuslaitos, joka tuottaa puolueetonta tutkimustietoa ja palveluita elinkeinoelämän ja yhteiskunnan tarpeisiin. GTK:n tehtäviä ovat mm. geologisten luonnonvarojen kartoitus sekä niihin liittyvien karttojen ja tietopalvelujen ylläpito, geologisen tiedon tuottaminen päätöksenteon tueksi ja soveltava tutkimus elinkeinoelämän tarpeisiin.

Luonnonvarakeskus (Luke) on monitieteellinen tutkimuslaitos, joka tuottaa tietoa Suomen uusiutuvista luonnonvaroista ja tarjoaa ratkaisuja niiden kestävään käyttöön. Luke hoitaa myös lakisääteisiä viranomaistehtäviä (mm. metsävarojen seuranta (VMI) ja maatalouden ja maankäyttösektorin kasvihuonekaasulaskenta).

Radai Oy on yksityinen oululainen start-up yritys, joka tarjoaa geofysiikan mittauspalveluja miehittämättömillä lentolaitteilla ja kehittää uusia lentomittaukseen soveltuvia mittausjärjestelmiä ja laskentamenetelmiä asiakasyrityksille. Radai tarjoaa geofysiikan lentomittauspalveluita Suomessa. Asiakkaina ovat kaivannaisalan toimijat - kansainväliset kaivosyhtiöt ja malminetsintäyhtiöt.

Projektin ohjausryhmän muodostivat Riikka Knaapi, MMM, pj.; Jaakko Nippala, MMM, vara pj.; Aleksi Lehtonen, Luke; Jukka Malinen, Metsäteho; Airi Kulmala, MTK (korvasi Liisa Pietolan, MTK); Kaisa Torri, Päijät-Hämeen liitto; Åke Möller, Ruokavirasto; Mika Kemppainen, Lahden kaupunki; Ulla Pyysalo, MML; Miia Saarimaa, Metsäkeskus; Markku Pirttijärvi, Radai Oy ja Jouni Pihlaja, GTK

3. Hankkeen toteutus ja tulokset

3.1 Menetelmät ja aineisto

TP1 Maankäyttösektorin ilmastotoimenpiteissä tarvittavien maaperätietotarpeiden täsmentäminen

Projektin alussa kartoitettiin erilaiset maaperätietotarpeet maankäyttösektorin toimijoille suunnatulla verkkokyselyllä ja siihen liittyvillä haastatteluilla. Kyselyn ja haastattelujen perusteella tietotarpeet voitiin arvottaa ja tarkentaa maaperätietojen sisältöä työpaketeissa 2 ja 3. Kysely lähetettiin 160:lle työssään maaperätietoa käyttävälle asiantuntijalle viranomaissektorilla tai asiantuntijaorganisaatioissa. Vastauksia kertyi 42. Kyselyyn vastanneista henkilöistä toimii viranomaissektorilla noin neljäkymmentä prosenttia, tutkimuslaitoksissa tai asiantuntijaorganisaatioissa noin kolmannes, yliopistoissa tai muulla koulutussektorilla reilut kymmenen prosenttia sekä edunvalvontajärjestössä tai muussa järjestötoiminnassa kymmenen prosenttia. Valtaosa vastaajista on organisaatiossaan asiantuntijatehtävissä. Verkkokyselyn yhteydessä kysyttiin vastaajien halukkuutta henkilökohtaiseen haastatteluun tarkemman kuvan saamiseksi maaperätietotarpeista. Halukkuutensa ilmaisi 18 vastaajaa. Heistä valikoitui haastatteluun lopulta yhdeksän henkilöä. Kyselyn ja haastattelujen tulokset koottiin projektin sisäiseen työraporttiin.

TP2 Tietotarpeiden ja tiedontuotantomenetelmien vertailu ja tiedontuotantoprosessien määrittäminen

Työpaketissa analysoitiin TP 1:n kysely- ja haastattelututkimusten tulokset ja valittiin näiden perusteella kriittisimmät maaperätiedot. Näiden ilmastokriittisyys arvoitettiin kysely-, haastattelu- ja kirjallisuustutkimuksissa esiin tulleiden ilmastovaikutusten perusteella. TP1:ssä esiin nousseiden maaperätekijöiden ilmastokriittisyyttä arvioitiin kysely-, haastattelu- ja kirjallisuustutkimuksessa.

Näiden lisäksi maaperätekijöiden laajaa kansainvälistä kriittisyyttä on selvitetty Bing- ja Summon hakukoneiden hakuosumien määrällä. Näin selvitettiin, kuinka usein kutakin maaperäteemaa on tutkittu ilmastonmuutoksen kontekstissa. Maaperätiedoista valittiin useita primäärisiä fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia, joiden tämänhetkisten aineistojen saatavuutta, tarpeita ja puutteita tarkasteltiin kirjallisuuskatsauksen ja asiantuntija-arvion perusteella. Lisäksi pohdittiin, miten uusia koko maata kattavia maaperäaineistoja voisi tuottaa hyödyntäen uusia tiedonkeruumenetelmiä. Uudet tiedontuotantomenetelmät arvioitiin niiden tehokkuuden, käytäntöön soveltuvuuden ja tuotantokustannusten kannalta. Tämän työpaketin tarkastelussa ei käsitelty kivennäis- ja turvemaiden maalaji- tai kerrospaksuustietoa eikä peltolohkokohtaista maalajitietoa, sillä ne on jo aiempien tutkimusten (MMM 2020) perustella todettu kriittisiksi, ja niihin paneuduttiin työpaketissa 3. Kriittisyyttä kuvaavat arvot laskettiin kaikille kysely- ja haastattelututkimuksissa mukana olleille maaperätiedoille.

TP 3 Tiedontuotantomenetelmien pilotointi

Työpaketissa 3 pilotoitiin maaperätietotuotteiden luontia uusilla menetelmillä käyttäen kaukokartoitusaineistojen koneoppimista ja GTK:n sähkömagneettisen lentoaineiston numeerista inversiolaskentaa. Pilotointi tehtiin kolmella geologiaaltaan ja maankäytöltään erilaisella alueella: Humppila, Kaustinen ja Kittilän Tiukuvaara. Perustuen MMM:n Maankäyttösektorin tieto-ohjelman tuloksiin, projektin suunnitteluvaiheessa valittiin kolme pilotoitavaa maaperätietotuotetta: 1) pintamaalajitieto, 2) maaperän kerrospaksuusmalli ja 3) peltolohkokohtainen maaperätieto. Näillä tarkemmilla aineistoilla pystytään selvittämään entistä paremmin maaperän ilmastovaikutusta. Aineistot palvelevat laajaa käyttäjäkuntaa ja niiden tuottamiseen on mahdollista käyttää uusia aineistonsäilytysmenetelmiä. Peltolohkokohtaisesta (3) maaperätiedon pilotoinnista luovuttiin resurssien ja ajan puutteen vuoksi. Lisäksi Maatalousmaiden turvetieto, MaaTu-projekti, tuotti samaan aikaan koko maan kattavan turpeen paksuus 1.0/2023 aineiston, joka vastasi kyseiseen tietotarpeeseen.

Pilotti 1. Kaukokartoitukseen ja koneoppimiseen perustuva pintamaalajitietotuote.

Pilotissa käytettiin kaukokartoitusmenetelmiä (SAR-satelliittiaineisto, LiDAR korkeusmalli sekä aerogeofysiikkaalinen aineisto), joiden avulla tutkimusalue jaettiin ominaisuuksiltaan erilaisiin osaluokkiin. Luokittelussa käytettiin koneoppimismenetelmiä, jotka pystyvät tunnistamaan orgaaniset ja kivennäismaalajit käyttäen maastohavainnoin ja –mittauksin kerättyä opetusaineistoa. Maalajin ennustamiseksi kerättiin maalajihavaintoja GTK:n tietokannoista, MML:n Maastotietokannasta ja olemassa olevista 1:20 000/50 000 maaperäkartoista sekä kesällä 2022 tehtiin uusia havaintoja maastossa. Selittävinä rasterimuuttujina käytettiin MML:n laserkeilausaineistosta johdettua 2 m korkeusmallia ja sen tekstuuria kuvaavia suureita, optista Sentinel-2 ja ALOS PALSAR tutkasatelliittiaineistoa sekä lentogeofysiikan aineistoa ja sen sähkömagneettisesta aineistosta inversiomallinnuksella laskettua pintakerroksen sähkönjohtavuutta.

Pilotti 2. Orgaanisen ja kivennäismaaperän kerrospaksuusmallitietotuote.

Käyttämällä GTK:n aerogeofysiikkaalista kahden ja neljän taajuuden sähkömagneettista aineistoa mallinnettiin kolmelta pilottialueelta maaperän eri kerroksien paksuutta. Irtomaan kerrospaksuuden määrittämiseen käytettiin Radai Oy:n kehittämää Aeminv-tietokoneohjelmaa, jolla GTK:n sähkömagneettisesta lentomittausaineistosta saadaan tulkittua kerroksellisen maan ominaisvastus- ja paksuusarvoja. Tulkintaohjelmaa parannettiin mm. niin, että maaperäkartoja voidaan käyttää antamaan maaperäkartan kuvaamille alueille ominaisvastuksen ja paksuuden alkuarvoja. Lisäksi turvekerrosten paksuudelle voidaan antaa alkuarvo käyttämällä GTK:n radiometrisiä (kaliumpitoisuus) lentomittausaineistojen ja tutkittujen turvepaksuuksien tilastollista vertailua. Alkuperäisenä tavoitteena oli erottaa sekä orgaanisen että kivennäismaaperän sisäisiä kerrosrajoja,

mutta aineiston laatu ja ominaisuudet eivät tähän riittäneet. Inversiotulkinta tehtiin käyttämällä kolmekerroksellisen maan mallia.

TP4 Käyttäjäpalaute ja julkaiseminen

Työpaketissa 4 julkaistiin työpaketissa 3 pilotoidut aineistot (pintamaalaji ja kerrospaksuusmalli) jaettiin NextCloudin kautta valikoidulle loppukäyttäjäryhmälle ja kerätiin palaute aineistojen käyttökelpoisuudesta, tietosisällöstä ja tarkkuudesta. Työpaketissa tehtiin toimenpide-ehdotus pilotoitujen ja työpaketissa 2 valittujen muiden kriittisten maaperätietojen tuotantoprosesseille. Toimenpidesuosituksessa listattiin parhaat käytännöt, suositukset ja kustannuslaskelmat kriittisiksi arvioitujen maaperätietojen tuottamiseksi koko Suomen kattaviksi paikkatietoaineistoksi.

3.2 Tulokset

TP1 Maankäyttösektorin ilmastotoimenpiteissä tarvittavien maaperätietotarpeiden täsmentäminen

Kun kyselyyn vastanneiden näkemystä maaperätiedon tarpeesta tarkastellaan yleisesti, oli 86 % vastaajista sitä mieltä, että suurin tietotarve on turvekerroksen paksuudesta. Maalajitiedolle vastaava prosenttiluku oli 83. Haastatteluissa puolestaan maalajitieto nousi ylivoimaisesti tärkeimmäksi maaperätiedoksi. Kiinnostus kohdistui lähinnä maan pintaosaan (0-30 cm) tai pinnanmaiseen metriin. Kyselyyn vastanneista 69 %:n mielestä tärkein käyttötarkoitus paikkaan sidotulle maaperätiedolle on ilmastoasiat ja hiilensidonta. Haastatteluissa nämä seikat eivät nousseet yhtä korkealle. Kyselyssä maatalouteen liittyvä maaperätietotarve on 43 %:lla ja metsätalouteen 40 %:lla vastaajista. Luvitukseen tai ympäristönsuojeluun liittyvä tietotarve on 36 %:lla ja kaavoitukseen tai suunnitteluun liittyvä tarve 29 %:lla vastaajista. Koko maan kattava 1: 20 000 maaperäkartta ja turvealueiden tarkka raja-alue nousivat tietotarvelistan kärkeen.

TP2 Tietotarpeiden ja tiedontuotantomenetelmien vertailu ja tiedontuotantoprosessien määrittäminen

Bing -hakuosumien perusteella tärkeitä maaperätekijöitä, joilla on todennäköinen ilmastollinen vaikutus tai yhteys ilmastomuutokseen, on turpeen ominaisuudet (5,0), maaperän vesipitoisuus (2,9), kantavuus tai kulkukelpoisuus (2,2), maannostietä (0,9), maaperän ravinteisuus (0,9) ja maalajitieto (0,7). Summon -hakuosumien perusteella tärkeitä maaperätekijöitä, joilla on todennäköinen ilmastollinen vaikutus tai yhteys, ovat maaperän vesipitoisuus (5,0), maannostietä (4,1), pohjaveden korkeus (3,8), maaperän ravinteisuus (3,2), eroosioherkkyys (2,3) ja kemialliset ominaisuudet (1,6). Kirjallisuuskatsaukseen ja asiantuntija-arvioon päädyttiin ottamaan maan primäärisiä fysikaalisia (esim. hydrauliset ominaisuudet, turpeen paksuus, kivisyys) ja kemiallisia (ravinteisuus, happamat sulfaattimaat) ominaisuuksiin, koska sekundääristen maaperäominaisuuksien (esim. maaperän tiivistymisherkkyys, eroosioherkkyys) käsittely olisi tehnyt työstä liian mittavan. Lisäksi primäärisiä maaperän ominaisuuksia tarvitaan sekundääristen ominaisuuksien mallintamiseen, joten primääristen ominaisuuksien tarve on ensisijainen. Kriittisimmiksi primäärisiksi ominaisuuksiksi valittiin seuraavat ryhmitellyt maaperäominaisuudet 1) Turpeen ominaisuudet 2), Maaperän hydrauliset ominaisuudet, 3) Pohjaveden korkeus, 4) Kivisyys, 5) Maaperän kemialliset ominaisuudet mukaan lukien ravinteisuus, maannostietä ja happamat sulfaattimaat.

Edellä mainitun lisäksi valittujen maaperätietojen ilmastokriittisyys arvioitiin asiantuntijatyönä. Asiantuntija-arviossa tärkeimmiksi ilmastokriittisiksi maaperämuuttujiksi nousivat 1) pohjaveden korkeus, 2) turpeen ominaisuudet, 3) kivennäismaiden hydrauliset ominaisuudet, 4) metsä- ja maatalousmaiden ravinteisuus, 5) kivisyys ja 6) kantavuus/kulkukelpoisuus.

TP2:n tuloksena esitetään asiantuntija-arvioon perustuva yhteenvedo uuden, koko maan kattavan aineiston tuotannon käytäntöön soveltuvuudesta, tehokkuudesta ja tuotantokustannuksista. Uudet koko Suomen kattavat maaperäaineistot vaatisivat uutta maastotyötä ja/tai uusien kaukokartoitus/geofysikaalisten aineistojen keräämistä. Lisäksi useiden primäärien maaperäominaisuuksien tuottamiseksi tarvittaisiin tutkimus- ja innovaatioprojekteja esim. aerogeofysiikan (sis. Dronet) mittausten menetelmistä, uusien L-kanavan SAR-tutkasatelliittien käytettävyydestä ja spatiaalimallinnuksen kehitystyötä maaperäaineiston tuotantoon saatettavaksi. Keskeisiksi perustutkimusta vaativiksi maaperätekijöiksi todettiin pohjaveden korkeus, kivennäismaan hydrauliset ominaisuudet ja maaperän kivisyys, kantavuus tai kulkukelpoisuus.

TP3. Tiedontuotantomenetelmien pilotointi.

Pilotti 1 Kaukokartoitukseen ja koneoppimiseen perustuva pintamaalajitietotuote

Kaikilta kolmelta pilottialueelta tehtiin Random forest- ja neuroverkko-menetelmillä maaperäluokkien esiintymis kartat. Luokittelujärjestelmäksi valittiin Valtion metsien inventoinnissa käytetty luokittelujärjestelmä, joka seuraa Suomessa yleisesti käytetty RT-luokittelujärjestelmää. Mallinnukset tehtiin erikseen sekä 1:20 000 maaperäkartasta luoduilla ja maastohavaintodatoille, koska maastohavaintoja ei kesällä 2022 tehdyn maastotyön jälkeenkään ollut riittävästi Korkeusmallin tekstuuripiirteet, Sentinel-2 ja radiometriset lentoaineistot osoittautuivat merkittävimmiksi muuttujiksi maalajia ennustettaessa. Pintamaalajin (maalaji 40-90 cm syvyydessä) sekä pohjamaalajin (maalaji 1 m syvyydessä) ennustaminen onnistui hyvin (yleisoikeellisuus 88.6–87.8%). Ennustemallit näyttivät toimivan erityisen hyvin niissä maalajiluokissa, joissa oli runsaasti opetusaineistoa. Sen sijaan maalajiluokissa, joissa opetusaineistoa oli vähän, oli ennusteessa enemmän epävarmuutta. Maastohavaintojen vähäinen määrä johtuu tutkimusalueiden valinnasta, jotka valittiin sillä perusteella, että niiltä on olemassa koko maan kattavaa 200 m linjavälillä olevaa ja 50–75 m linjavälillä olevaa tihennyslentoaineistoa. Erityisesti radiometrinen tihennyslentoaineisto osoittautui tärkeämmäksi muuttujaksi kuin harvalla linjavälillä oleva aineisto.

Projektin tuloksena saatiin pilottialueilta rasterimuotoiset maalajikartat 25 m pikselikoossa. Tulos vastaa hyvin olemassa olevaa 1:20 000 maaperäkartan tietosisältöä. Verrattuna koko Suomen kattavaan 1:200 000 maaperäkarttaan, uudella koneoppimislähestymisellä pystytään tuottamaan spatiaalisesti yksityiskohtaisempaa tulkintaa maalajista. Pilotti 1 tuloksena todetaan, että koko Suomesta voitaisiin luoda 1:20 000 maaperäkartta (pintamaalaji 40-90 cm, pohjamaalaji 1 m) olemassa oleviin aineistoihin perustuen. Opetuspistepuutteiden takia projekti ei pystynyt vastaamaan kysymykseen, pystytäänkö koneoppimisella luomaan tarkempaa kuin 1:20 000 maaperäkarttaa. Jatkossa maastohavaintojen käyttöä mallien opettamiseen ja opetus pisteiden luontia eri lähteistä tulisi tutkia laajemmin.

Pilotti 2 Orgaanisen ja kivennäismaaperän kerrospaksuusmallitietotuote.

Pilotin tuloksena saatiin sähköä johtavan pinta- ja välikerroksen (savikot, hienot maa-aines) sekä niiden päällä mahdollisesti olevan eristävän kerroksen (kuiva irtomaa) ominaisvastus- ja paksuusarvoja GeoTIFF-tiedostoina. Tulokset kuvaavat 1) johtavan pintamaan paksuutta ja ominaisvastusta, 2) johtavan välikerroksen paksuutta ja ominaisvastusta, ja 3) johtavan välikerroksen päällä olevan eristävän pintamaan paksuutta ja ominaisvastusta. Tulokinnan luotettavuuden parantamiseksi kerrosten välillä edellytettiin 5-kertaista johtavuuskontrastia, minkä vuoksi paksuusarvoja saatiin vain noin puolelta pilottialueiden pinta-alasta. Lisäksi saatiin tulos pohjakerroksen (kallio) ominaisvastuksesta ja magneettisesta susceptibiliteetista. Tiedot kerrospaksuuksista sekä kerrosrajoista ovat paikoin epäluotettavia, samoin kun esimerkiksi tieto pohjaveden pinnan korkeudesta.

TP4. Käyttäjäpalaute ja julkaiseminen

Työpaketissa 4 jaettiin edellisessä TP3 piloteissa 1 ja 2 tuotetut paikkatietoaineistot valikoidulle ryhmälle maaperätiedon käyttäjiä. Työpaketissa tuotettiin kaksi erillistä aineistokokonaisuutta:

- 1) Kaukokartoitukseen ja koneoppimiseen perustuva pintamaalaji -tietotuote
- 2) Orgaanisen ja kivennäismaaperän kerrospaksuusmalli -tietotuote

Molemmat aineistokokonaisuudet tuotettiin kolmelle maalajeiltaan toisistaan poikkeavalle pilottialueelle. Tuotetut paikkatietoaineistot olivat ladattavissa NextCloud:sta 16 henkilön ryhmälle, joka koostui pääasiassa projektin TP1:n kyselyyn vastanneista maaperätiedon käyttäjistä.

Pintamaalaji-tietotuotteen osalta aineistot koostuvat pinta- ja pohjamaalaji -rasteriaineistoista sekä niihin liittyvistä epävarmuusrasterista. TP4 päätuloksena ideoitiin toimintamalli, jolla koko Suomen kattavia maaperäaineistoja voitaisiin yhä tulevaisuudessa tuottaa. Toimintamalli koostuu kahdesta eri osasta:

1) Maastotiedonkeruun yhtenäistäminen

- Maankäyttösektorin maaperätiedot kertyvät hajanaisesti eri organisaatioiden tietopankkeihin ja yhtenäiset määrittelyt puuttuvat.
- Ratkaisut:
 - Laaditaan kansallinen maastotyöohje maastomittauksiin, näytteenottoon ja näytteiden laboratoriomäärittelyyn
 - Määritellään tietosisältö yhteismitalliseksi keskeisten suureiden osalta
 - Yhteistoimintaryhmä jakaa tietoa: Parhaiden käytäntöjen jakaminen ja yhteiset spesifikaatiot aineistoille. Dynaaminen Wiki, jota uusi yhteistoimintaryhmä päivittää
 - Tavoitteena on tiedonkeruun yhtenäistäminen, jotta uudet aineistot ovat yhteismitallisia ja niitä voidaan käyttää spatiaalimallien opettamiseen ja verifiointiin

2) Maaperätietojen spatiaalimallinnus

- Maastotyöhön perustuva tiedonkeruu on hidasta ja kallista. Organisaatioilla ei ole rahoitusta ohjelmalliseen tiedonkeruuseen. Aineistot kertyvät suurimmaksi osaksi yksittäisissä projekteissa alue kerrallaan.
- Ratkaisut:
 - Koko maan kattava tieto tuotetaan spatiaalimallinnuksen menetelmillä: Opettaminen ja verifiointi tapahtuu maastomittauksilla/havainnoilla ja/tai maaperän havaintoasemilla
 - Mallien dynaamisuus: malleja päivitetään, kun uutta aineistoa kertyy
 - Mallit ovat mittakaavattomia, mittakaava vaihtelee kaukokartoitusaineistojen resoluution mukaan alueittain
 - Mallinnettujen ominaisuustietojen epävarmuus julkaistaan spatiaalisesti
 - Mahdollistaa maastotyön ohjauksen ja paikkakohtaisen soveltuvuusarvioinnin eri käyttötarkoituksiin

3.3 Toteutusvaiheen arviointi

Hanke toteutui pääosin suunnitelman mukaan ja tuloksellisesti. 1.4.2021 alkavaksi suunniteltu hanke pääsi alkamaan vasta toukokuussa henkilöresurssien rajallisuuden vuoksi. Useiden hankkeeseen resursoitujen henkilöiden vielä käynnissä olevat projektit vaikuttivat asiaan. Aikataulussa oli ajoittain pientä viivettä myös hankkeen toiminnan aikana. Tähän oli syynä mallintajien useat

päällekkäiset projektit ja ajoittainen henkilöstövaje GTK:n ja Luken mallinnustaitoisessa työvoimassa. Hanke oli suunniteltu alun perin loppuvaksi 30.4.2023. Tulosten valmistuminen viivästyi lähinnä TP3 Pilotti 1 vuoksi, ja ohjausryhmä myönsi hankkeelle jatkoaikaa 15.12.2023 saakka.

Maankäyttösektorin maaperätietotarpeita selvittänyt verkkokysely (TP1) ja siihen liittyvät haastattelut sujuivat hyvin. Materiaali analysoitiin ja tammikuussa 2022 valmistunut raportti toimi hyvänä tietopohjana TP2:lle. TP2:n tuloksena syntyi laaja raportti alkukesällä 2022, jossa käytiin läpi laajasti maaperätietoa kirjallisuuden pohjalta, kartoitettiin olemassa olevat käyttökelpoiset maaperätietoaineistot ja valikoitiin kriittisimmät maaperätiedot. Lopuksi esitettiin toimintasuunnitelmat uuden koko Suomen kattavan maaperätiedon tuotannosta.

Hankkeen edetessä alkuvuodesta 2022 kävi ilmi, että opetusasteiden määrä oli pilottialueilla riittämätön luotettavaan mallinnustuloksen aikaan saamiseksi. Pisteiden lukumäärää kartutettiin lisärahoituksen turvin kesän 2022 aikana täydentävillä maastotöillä sekä maaperäkartoista generoiduilla opetusasteilla. Pintamaalajimallinnuksia pystyttiin tekemään projektin aikana viisi kierosta. Mallit erosivat toisistaan siten, että ensimmäisissä ajoissa tutkittiin jokaista pilottia erikseen, kun taas jälkimmäisissä ne yhdistettiin. Lisäksi aikaisemmissa ajoissa maaperä- ja havaintopisteet yhdistettiin yhdeksi datajoukoksi, kun taas jälkimmäisissä mallinnettiin pisteitä erikseen.

Aiemmin mainitut syyt viivästyttivät TP3:sta ja mallinnukset valmistuivat hieman myöhässä, mikä puolestaan viivästytti TP4:n käynnistymistä. Jakelukelpoista materiaalia koekäyttöä varten saatiin vasta viikolla 46/2023. Tulokset lähetettiin koekäyttöä ja arviointia varten joukolle maaperätiedon käyttäjille, ja tuloksia odotettiin joulukuun alkuun mennessä. Vastausajan pidennys 8.12. 2023 asti ja muistutussähköpostit tuottivat lopulta yhden vastauksen, minkä perusteella on mahdollista tehdä johtopäätöksiä aineiston tietosisällöstä ja käytettävyydestä.

Toteutusvaiheessa saatiin synergiaetua muista Hiilestä kiinni -ohjelman hankkeista, joihin hanketoteuttajat osallistuivat. Etenkin Maatalousmaiden turvetieto (MaaTu) ja Maaperätiedon kehittäminen (MaaTi) -hankkeista.

3.4 Julkaisut ja raportit

Hamedianfar, A., Pohjankukka, J., Pirttijärvi, M., Lerssi, J., Sallasmaa, O., Laatikainen, M., Väänänen T., Lerssi, J., Middleton, M., 2024. Integrating multi-source remote sensing and airborne geophysical data for sediment type mapping using machine-learning algorithms, (tekeillä).

Pirttijärvi, M. Lerssi, J., 2024. Sedimentary map constrained 1D inversion of airborne EM data, (tekeillä).

Kananoja, Tapio, Maarit Middleton, Markku Pirttijärvi, Jonne Pohjankukka, Jouni Lerssi, Tapio Väänänen, Matti Laatikainen, Jukka-Pekka Palmu, Alireza Hamedianfar, Hannu Ilvesniemi, Antti-Jussi Lindroos, Eero Liski, Raimo Nevalainen, Visa Nuutinen, Jukka Räisänen, Olli Sallasmaa, Markus Valkama 2024. Maaperäpilotti (tekeillä).

Kananoja, Tapio, Maarit Middleton, Markku Pirttijärvi, Jonne Pohjankukka, Jouni Lerssi, Tapio Väänänen, Matti Laatikainen, Jukka-Pekka Palmu, Alireza Hamedianfar 2024. Maaperäpilotti-projektin loppuraportti.

Väänänen, Tapio; Vallimies, Eija ja Middleton, Maarit, 2023. Maaperäkartoituksen piikityspisteiden digitointitesti, Työraportti 41/2023, Geologian tutkimuskeskus. 22 s.

4. Tulosten arviointi

4.1 Tulosten käytännön sovellettavuus

Useat toimialat tarvitsevat valtakunnallisesti kattavaa ja resoluutioltaan nykyistä huomattavasti tarkempaa avointa maaperäaineistoa. Maaperätietoa tarvitaan esimerkiksi maaperän päästöjen ja nielujen raportoinnin tarkentamisessa, ilmastotoimenpiteiden sekä maa- ja metsätalouden toimenpiteiden suunnittelussa ja kustannustehokkaassa kohdentamisessa.

Maaperäpilotti-hankkeessa kehitetyillä menetelmillä pystyttäisiin jatkossa arvioimaan tarkemmin mm. turvemaiden hiilivarastojen määrää, erityisesti heikosti kartoitetuilla alueilla. Ohutturpeisten ja/tai pienialaisten suokuvioiden rajausta ja turvepaksuutta saadaan tarkennettua. Maaperän KHK-laskennan tarkentamiseen tarvitaan entistä tarkempaa maaperätietoa ilmastotoimenpiteiden kohdentamiseen sekä maa- ja metsätalouden käytäntöjen sopeuttamiseen muuttuvassa ilmastossa. Maaperäpilotti-hankkeen kehittämällä menetelmillä voitaisiin maa- ja metsätalouden piirissä olevien maiden maaperätietoa merkittävästi parantaa ja tarkentaa.

Maaperän kerrospaksuusmallinnuksella pystytään aiempaa paremmin arvioimaan turpeen paksuutta ja hiilivarastoja alueilla, joista maastokartoitusaineistoa on hyvin vähän. Näin pystyttäisiin esimerkiksi turvemailta osoittamaan paremmin ennallistamiskelpoiset ja paksuturpeiset, suuren hiilivaraston omaavat kohteet. Mallinnuksella pystyttäisiin nykyistä tarkemmin rajaamaan myös pienialaiset, ohutturpeiset suoalueet, jotka koostaan huolimatta ovat pinta-alallisesti merkittävä hiilivarasto. Niiden syvyystieto on tällä hetkellä kuitenkin vähäistä systemaattisen kartoituksen puuttuessa, tietoa on lähinnä vain VMI:n koealoilta. Maaperäpilotti-hankkeen myötä näiden pienialaisten soiden syvyyksistä saataisiin uutta, tarkkaa tietoa, mikä helpottaa soiden hiilimäärän laskemista. Lisäksi kivennäismaan, soistuman (ohut turvekerros) ja turvemaan rajausta voitaisiin tarkentaa verrattuna Maanmittauslaitoksen maastotietokantaan.

Hankkeen tulokset ja kehitettävät menetelmät parantaisivat LULUCF-sektorin kasvihuonekaasutaseiden laskentatarkkuutta maa- ja metsätalouden piirissä olevilta turvemailta. Tulevaisuudessa LULUCF:n kriteerit voivat kuitenkin muuttua. Luotavilla aineistoilla pystyttäisiin vastaamaan tulevaisuudessa myös näihin muuttuviin tietotarpeisiin. Tarkentuneella maaperätiedolla on positiivinen vaikutus myös metsäsektoriin esimerkiksi parempana metsän tuottona. Raskaalla kalustolla tapahtuva puun korjuun optimointi ja liikkuminen kantavalla maaperällä helpottaa korjuuta ja takaa teollisuudelle tasaisen raakapuun saatavuuden. Turvemaiden paremman syvyystiedon avulla voidaan paremmin valita ennallistettavat suot. Ennallistaminen on järkevintä keskittää hiilipäästöjen näkökulmasta paksuturpeisille soille, samoin kuin suoajelu.

4.2 Tulosten tieteellinen merkitys

Huolimatta viimeisten vuosikymmenten aikana tapahtuneesta edistyksestä sähkömagneettisten (SM) mittausten 3D-tulkinnassa, ovat kerroksellisen maan malliin perustuvat 1D-tulkintaohjelmat laskentanopeutensa vuoksi käyttökelpoisia suurten tietoaaineistojen tapauksessa. Tässä hankkeessa olemassa olevaa SM-mittausten 1D-tulkintaohjelmaa (Aeminv) kehitettiin maaperätutkimuksen tarpeisiin monin eri tavoin:

- maaperäkartan digitoituja rajaviivoja voidaan käyttää luomaan epäjatkuvuuksia mallin 1D/2D-lateraalseen (Occamin periaate) pehmeysrajoitteeseen.
- maaperäkartan avulla alkumallin parametrien arvoja ja sallittuja vaihtelualueita voidaan asettaa kunkin maalajin tyypillisen, empiirisesti määritetyn ominaisvaston mukaisesti.

Lisäksi esimerkiksi kalliopaljastumat voidaan mallintaa alueina, joissa pintakerrosta ei ikään kuin ole, koska se on kiinnitetty ohueksi ja eristäväksi.

- radiometrisistä mittauksista saatavan näennäisen kaliumpitoisuuden ja turvesoiden mitatun paksuuden väliseen tilastolliseen analyysiin perustuen saadaan turvekerrosten paksuudelle alkuarvo. Vastaavia SM-tulkintaa edesauttavia tekniikoita ei tietääksemme ole aiemmin toteutettu. Aiheesta on tekeillä artikkeli kansainväliseen julkaisuun.

Maalajin kartoitus geospaatiallisista aineistoista koneoppimismenetelmillä on uusi tieteenala ja varsinkin aiemmin jäätiköityneiden alueiden maalajitunnistus on hyvin uutta. Tätä taustaa vasten projektin saavuttamat korkeat kokonaisluokitteluoikeellisuudet ovat merkittävä tieteellinen edistysaskel.

5. Toimintasuositukset

Maaperäpilotti-hankkeen päätavoitteena oli kehittää toimintamalli, jolla maankäyttösektorin kannalta kriittiset maaperätiedot pystytään tuottamaan riittävällä tarkkuudella ja kustannustehokkaasti koko Suomesta. Hanke on toteutettu kaukokartoituksen ja matalalentoaerogeofysiikan aineistojen mallinnuksen sekä koneoppimisen avulla. Koko Suomen kattavan tarkan maaperätiedon luomiseksi tarvittaisiin kuitenkin uusia ja tarkempia kaukokartoitusaineistoja, geofysikaalisia matalalentomittausaineistoja sekä uusia maastohavaintoja.

Maalajin tunnistamisessa koneoppimismallien opettamiseen tarvitaan lisää maastosta kerättyä kalibrointi- ja validointiaineistoa. Tätä aineistoa on jo paljon eri organisaatioiden tietokannoissa, mutta aineistot painottuvat kuitenkin vahvasti kallio- ja turvehavaintoihin. Lisäksi havainnot ovat alueellisesti epätasaisesti jakaantuneet, eikä kaikkia aineistoja ole avoimesti saatavilla. Koko Suomen kattavaa 1:20 000 mittakaavaista maalajikarttaa ei pystyittäisi luomaan ilman lisäkartoituksia maastossa.

Myöskään luotettavaa maan pinnan alaista kerrospaksuustietoa ei voida tuottaa tämänhetkisiin optisiin tai tutkasatelliittiaineistoihin eikä epäsuorasti maan pinnan topografiaan piirteisiin (LiDAR korkeusmalliin) perustuen. Maalajien ja niiden ominaisuuksien tunnistaminen vaatii uusia aerogeofysikaalisia mittauksia. Maaperän tutkimiseen parhaiten soveltuva, neljän taajuuden sähkömagneettinen aineisto kattaa ainoastaan noin 2 % Suomen pinta-alasta. Mittaukset pitäisi ulottaa kattamaan koko maata.

Suomeen pitäisi luoda yhteistoimintaelin koordinoimaan maankäyttösektorin tarvitsemien maaperätietojen tuottamista. Tämä vaatisi kansallisen maastotyöohjeistuksen, jonka avulla maaperätiedon kerääminen ja tietosisältö saataisiin yhteismitalliseksi. Näin saataisiin tasavertaista validointi- ja kalibrointiaineistoa maaperätiedon mallintamiseen. Spatiaalimallinnuksen avulla pystyittäisiin ohjaamaan maastotyötä. Toimintaa ohjaisi kansallinen yhteistoimintaryhmä, joka koordinoisi tutkimus- ja innovaatiotoimintaa.

Maaperäpilotin TP 3:ssa pilotoitujen maaperäaineistojen tuottamisesta koko Suomen alueelle voidaan antaa karkeita, suuntaa antavia kustannusarvioita. 1:20 000 mittakaavassa tuotettava pinta- ja pohjamaalajikartan tuottaminen veisi 3-5 htv ja vaatisi lisäksi jonkin verran lisää maastotyötä. Kustannusarvio olisi noin 1-2 milj. €. Maaperän kerrospaksuusmallin ulottaminen koko maan alueelle vaatisi tiedontuotantoon ja prosessointiin työaikaa arviolta 7 htv, joka olisi kustannuksiltaan noin 850 000 €. Lisäksi tämä vaatisi uuden 50 metrin linjavälillä tehdyn matalalento-ohjelman toteuttamista. Tämä veisi aikaa noin 25 vuotta ja maksaisi noin 350 milj. €.

Kriittisiä, yhteismitallisia maaperätietoja tulisi kerätä eri organisaatioissa. Näitä olisivat ainakin turvekerroksen paksuus, maalaji, kivisyys, maaperän vesipitoisuus, pohjaveden korkeus ja maaperän kemialliset ominaisuudet. Tulevaisuudessa maaperätietojen päivitys tulisi olla kaikkien toimijoiden tehtävä ja tapahtua yhteistoimintaryhmän koordinoimana organisaatioiden yhteistyönä.