

Komeetta-hankkeen loppuraportti, 9.1.2025

Juha Mikola, Juha Heikkinen, Jaakko Heikkinen, Kari T Korhonen, Taina Pennanen, Hannu Ilvesniemi

Komeetta = Kohti metsien maaperäseurantaa – kansallisten ja kansainvälisten näytesarjojen yhteensovittaminen, kerryttäminen ja hyödyntäminen direktiivivelvoitteissa, tutkimuksessa ja kasvihuonekaasuinventaarion kehittämisessä

1. Hankkeen tavoitteet

Komeetta-hankkeen hankesuunnitelmassa tavoitteiksi asetettiin:

Työpaketti 1. Maaperädirektiivin velvoitteet täyttävän **näytealaverkoston suunnittelu** metsä- ja peltomaille niin, että verkosto rakentuu olemassa olevien maaperänäytesarjojen jatkeeksi.

Työpaketit 2 ja 3: Metsämaan **LUCAS Soil –aineiston** tulosten, luotettavuuden ja kansallisen yhteensopivuuden **tarkastelu**. Käytettävissä oli LUCAS Soil –näytesarja vuosilta 2009, 2015 ja 2018 (n = 727, 797 ja 906).

Työpaketti 4. Kivennäismaametsien **kansallisen maaperänäytesarjan täydentäminen** ja linkittäminen Operaatio Mustikassa kerätyn aineiston kanssa. Olemassa oleva kansallinen näytesarja muodostuu vuosina 1985–1989, 1995 (VMI8-aineistot) ja 2006 (BioSoil-aineisto, n = 615) kerätyistä aineistoista.

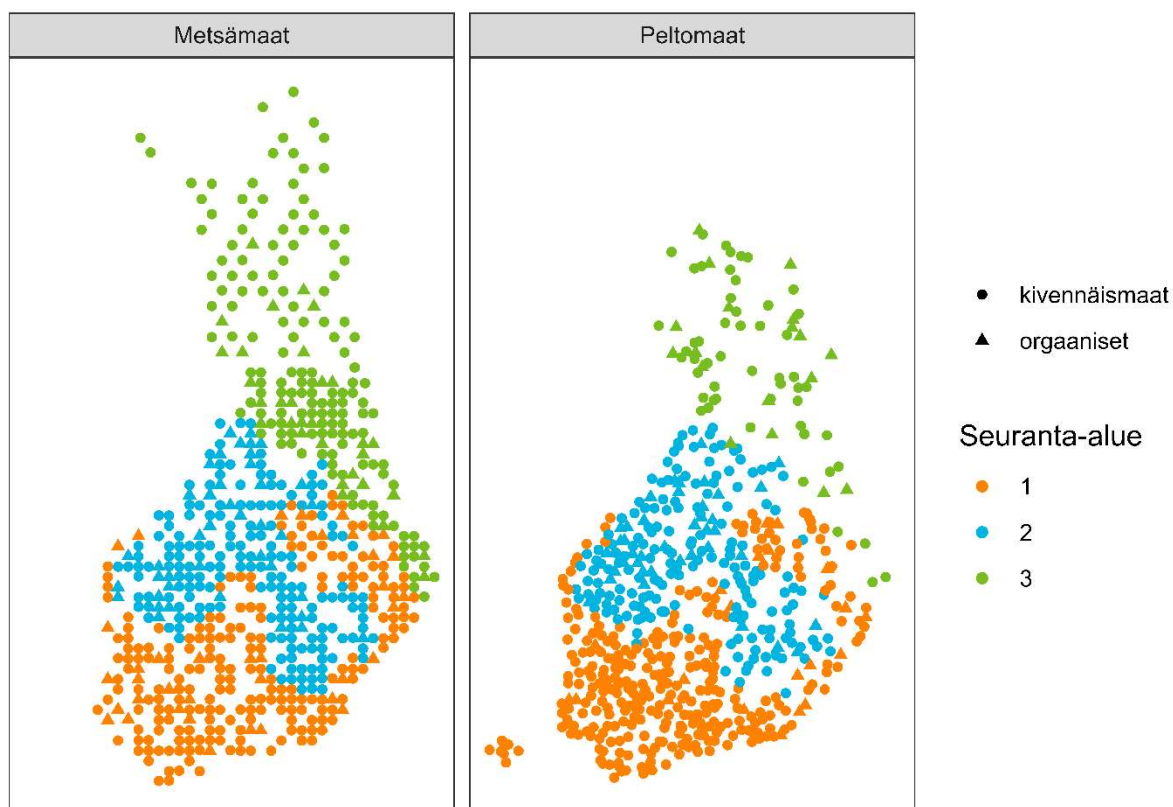
Työpaketti 5. KHK-inventaarion käyttämän kivennäismaametsien maaperän hiilivaraston **Yasso-mallinnuksen verifiointi** täydennetyllä kansallisella maaperänäytesarjalla.

2. Hankkeen tulokset

2.1. Maaperäotannon suunnittelu: direktiivivaatimukset ja kansallisten näytesarjojen riittävyys (Juha Heikkinen)

Maaperädirektiivin luonnoksen mukaan näytealaverkosto tulee suunnitella niin, että seurattavien maaperämuuttujien seurantayksikkökohtaisten keskiarvojen suhteelliset

otantavirheet (CV) ovat maksimissaan 5 %. **Seurantayksiköiden (soil units)** rajaamisessa tulee ottaa huomioon maaperän suuralueet, maankäyttöluokat ja maaperän päätyypit (kivennäismaat ja orgaaniset maat). Tässä hankkeessa **arvioitiin metsä- ja peltomaiden kansallisten näytesarjojen (Biosoil ja Valse) otanta-asetelmien riittävyyttä** ja täydennystarpeita, jos seurantayksiköt rajataan Kuvan 1 osoittamalla tavalla.



Kuva 1. Metsämaiden Biosoil-aineiston ja peltomaiden Valse-aineiston näytepisteiden jakautuminen hankkeessa tarkasteltuihin seurantayksiköihin. Seurantayksiköt (soil units) muodostettiin maankäyttöluokan (metsämaa, peltomaa), maaperän päätyypin (kivennäismaat, orgaaniset maat) ja seuranta-alueen yhdistelminä. Käytetyt seuranta-alueet ovat maaperän suuralueiden (Lilja ym. 2017, Kuva 1) yhdistelmiä.

Direktiiviluonnoksessa edellytetään lisäksi, että seuranta tulee suunnitella osoitettuna satunnaisotantana niin, että **otantaositteiden** rajaamisessa käytetään parasta mahdollista saatavilla olevaa ennakkotietoa maaperämuuttujien vaihtelusta. Tässä hankkeessa **vertailtiin erityyppisiä ennakkotietolähteitä** ja laadittiin tähän vertailuun perustuva suositus näytealaverkoston suunnittelun pääperiaatteista.

Otantasuunnitelman yksityiskohtien täsmentäminen on mielekästä vasta sen jälkeen, kun seurantayksiköiden rajausta on päätetty. Lopullisen suunnitelman laadinnassa on lisäksi syytä kartoittaa saatavilla olevien kansallisten maaperäkarta-aineistojen, kuten maannostietokannan, käyttömahdollisuudet ja hyödyllisyys kattavammin kuin tässä hankkeessa oli mahdollista.

2.1.1. Otantavirheet Biosoil- ja Valse-aineistoista ilman ositusta

Kansallisten näytesarjojen koealamäärät riittävät monien maaperämuuttujien seurantaan direktiiviluonnoksen edellyttämällä tarkkuudella (Taulukko 1).

Selkein havaittu ongelma on, että peltomaiden Valse-näytepisteitä on liian vähän orgaanisilla pelloilla ja seuranta-alueella 3: näissä kohteissa kaikki otantavirheet ovat yli 5 % (Taulukon 1 oranssit arvot). Kriittisiä seurantayksikön ja maaperämuuttujan yhdistelmiä (Taulukon 1 lihavoidut arvot) ovat myös saves- ja fosforipitoisuus lähes kaikissa seurantayksiköissä, typpipitoisuus kahdessa metsämaiden seurantayksikössä sekä hiilivarasto (C/ha) orgaanisilla metsämailla.

Taulukko 1. Keskeisten maaperämuuttujien seurantayksikkökohtaisten keskiarvojen suhteelliset otantavirheet (CV) metsämaiden Biosoil- ja peltomaiden Valse-aineistossa.

Maaperämuuttuja / maaperän päätyyppi*	Metsämaat			Peltomaat		
	Seuranta-alue					
	1	2	3	1	2	3
Saves-%	9,6	11,4	8,7	4,2	7,7	17,8
Hiesu-%	2,8	3,0	3,8	2,3	3,5	7,1
Hieta- ja hiekka-%	2,6	2,0	1,9	4,6	4,4	6,1
C-%, kivennäismaat	3,4	4,4	4,0	3,2	4,2	7,6
C-%, orgaaniset	3,2	3,2	2,2	8,7	6,2	8,9
N-%, kivennäismaat	4,1	5,6	3,6	2,8	3,7	5,7
N-%, orgaaniset	3,7	4,1	5,2	8,1	6,3	9,8
P-%, kivennäismaat	4,0	6,5	6,7	10,4	5,9	9,5
P-%, orgaaniset	7,9	5,4	7,1	9,6	11,0	14,0
C/ha, kivennäismaat	3,7	4,2	3,9			
C/ha, orgaaniset	6,8	7,6	7,7			

*Kivennäismaametsissä käytettiin (humuskerroksen alaisen) kivennäismaakerroksen pitoisuuksia; hiilivarastossa (C/ha) otettiin huomioon molemmat kerrokset.

2.1.2. Ennakkotietolähteet ja niiden vertailu

Hankkeessa testattiin ositetun otannan **ennakkotietoina**:

- LUCAS Soil-aineistoon perustuvia maaperäkartoja ("JRC-kartat"; Ballabio ym. 2016, 2019),
- metsämailla valtakunnan metsien inventointien (VMI) yhteydessä arvioitavia muuttujia,
- peltomailla maaperän suuralueita (Lilja ym. 2017) ja peltolohkorekisteriin tallennettua tuotantosuuntaa (kasvi- vs. eläintuotanto).

Seurantayksiköiden maa-ala voidaan jakaa suoraan **otantaositteisiin** JRC-karttojen, kansallisten maaperäkarttojen tai peltolohkorekisterin tietojen avulla. VMI-aineiston käyttö ennakkotietona perustuisi kaksivaiheiseen ositettuun otantaan: kaikki aiemmin mitatut VMI-koealat (jollain järkevällä aikajänteellä) muodostaisivat koko kohdepopulaatiota edustavan ensimmäisen vaiheen otoksen, josta poimittaisiin valittujen VMI-tunnusten avulla ositettu otos varsinaiseksi maaperäseurannan näytealaverkostoksi.

Erilaisten ositusten vertailuun valittiin kappaleessa 2.1.1. esitettyjen tulosten perusteella sellaisia seurantayksikön ja maaperämuuttujan yhdistelmiä, joilla oli ilman ositusta poikkeuksellisen suuri Biosoil-aineistosta arvioitu otantavirhe (Taulukko 1). Kullekin muuttujalle valittiin osituksen perustaksi kyseisen muuttujan ennakkotieto JRC-kartasta. VMI-aineistosta käytettiin Taulukossa 2 lueteltuja muuttujia. Ositus optimoitiin sillä rajoitteella, että ositekohtaiset otantavirheet saatiin arvioitua kohtuullisella tarkkuudella Biosoil-aineistoon perustuen.

Taulukko 2. VMI-aineistosta ja peltolohkorekisteristä osituksen perustaksi poimitut apumuuttujat.

Maaperämuuttuja	VMI-muuttuja	Ositteet
Saves-%	Keskiraekoko	1: "hieno" 2: muut
N-%, kivennäismaat	Kasvupaikkatyyppi	1: lehdot ja lehtomaiset kankaat 2: tuoreet kankaat 3: muut
C/ha, orgaaniset	Orgaanisen kerroksen paksuus	1: 0–12 cm 2: 13–35 cm 3: >35 cm

Metsämaiden **savespitoisuuden** osalta VMI:ssa mitattava keskiraekoko osoittautui erittäin tehokkaaksi ennakkotiedoksi seuranta-alueella 1: tarvittava koealojen lukumäärä väheni osituksella 68 % ja läheni BioSoil-aineiston näytteenottoa (Taulukko 3). Koko maankin osalta VMI:n keskiraekoko oli JRC-karttojen savespitoisuutta tehokkaampi ennakkotieto, vaikka VMI ei seuranta-alueella 3 tuonut etua osittaman aineiston käyttöön verrattuna (Taulukko 3). Seuranta-alueilla 2 ja 3 tarvitaan joko huomattavasti nykyistä BioSoil-näytteenottoa enemmän koealoja (3,4-kertainen määrä) tai parempaa ennakkotietoa savisuudesta, jotta savespitoisuuden CV saadaan alle 5 %:n (Taulukko 3).

Taulukko 3. (a) Nykyinen BioSoil-koealojen lukumäärä kivennäismailla, sekä maaperädirektiivissä edellytettyn savespitoisuusarvion tarkkuuteen ($CV \leq 5\%$) vaadittavat koealamäärät (b) ilman ositusta ja (c) JRC:n savespitoisuuskarttaa ja (d) VMI:n keskiraekokoa hyödyntävillä osituksilla.

Koealamäärän perusta	Seuranta-alue			
	1	2	3	yhteensä
(a) BioSoil	204	170	147	521
(b) Maaperädirektiivi: ei ositusta	888	747	448	2083
(c) Maaperädirektiivi: JRC-ositus	523	661	332	1516
(d) Maaperädirektiivi: VMI-ositus	282	612	448	1342

VMI-ositus oli JRC-ositusta tehokkaampi myös kivennäismaiden **typpipitoisuuden** arvioinnissa. Seuranta-alueen 2 CV saatiin alle 5 %:iin kasvupaikkatyyppiä hyödyntävällä jälkiosituksella, joten tämä muuttuja ei edellytä nykyistä suurempaa näytepisteiden määrää.

Orgaanisten metsämaiden näytteenottoon tarvittaisiin n. 50 %:n lisäys nykyiseen koealamäärään, vaikka VMI:ssa mitattava orgaanisen kerroksen paksuus on tehokas aputieto (Taulukko 4), jotta seuranta-alueittaisten **hiilivarastojen** CV saataisiin alle 5 %:n.

Taulukko 4. (a) Nykyinen Biosoil-koealojen lukumäärä orgaanisilla mailla sekä maaperädirektiivissä edellytettyyn hiilivarastoarvion tarkkuuteen ($CV \leq 5\%$) vaadittavat koealamäärät (b) ilman ositusta ja (c) VML:n orgaanisen kerroksen paksuutta hyödyntävällä osituksella.

Koealamäärän perusta	Seuranta-alue			
	1	2	3	yhteensä
(a) Biosoil	37	41	31	109
(b) Maaperädirektiivi: ei ositusta	68	96	74	237
(c) Maaperädirektiivi: VML-ositus	49	66	38	153

Fosforipitoisuuden arvioinnin tarkentamiseen ei tämän hankkeen puitteissa pystytty löytämään hyödyllistä aputietoa metsä- eikä peltomailla.

2.1.3. Päätulokset ja johtopäätökset

Tässä raportissa esitettyjen tulosten ja hankkeessa tehtyjen muiden tarkastelujen perusteella **ositetun otannan ennakkotietona kannattaa käyttää kansallisia aineistoja**, kuten VML, maannostietokanta ja peltolohkorekisteri, ennemmin kuin JRC:n maaperäkartoja.

Saves- ja fosforipitoisuudesta ei saada riittävän tarkkaa arviota edes kansallisten näytesarjojen pohjalta tehdyllä osituksella. Näiden muuttujien vaihtelusta ei tämän hankkeen puitteissa pystytty löytämään (tarpeeksi) hyödyllistä aputietoa.

Muiden maaperämuuttujien osalta nykyisten kansallisten näytesarjojen koealamäärät osoittautuivat riittäviksi seuraavin poikkeuksin:

- Peltomaiden näytepisteitä tarvittaisiin merkittävästi enemmän Pohjois-Suomessa ja turvepelloilla.
- Orgaanisten metsämaiden hiilivaraston seuranta varten tarvitaan n. 50 %:n lisäys nykyiseen koealamäärään.

Hankkeen aikana ei ollut edellytyksiä viedä loppuun maaperädirektiivin veloitteet täyttävän näytealaverkoston suunnittelua. Tämä edellyttäisi ennen kaikkea päätöksen seuranta-alueiden rajaamisesta: mitä enemmän ja pienempiä seuranta-alueita, sitä enemmän näytepisteitä tarvitaan.

Hankkeessa tuotetun laskentamallin avulla **otantasuunnitelma** voidaan laatia, kun päätös seuranta-alueista on tehty ja ne maaperämuuttujat, joille 5 %:n CV vaaditaan, ovat tiedossa. Jos seuranta-alueita on kaksi tai kolme (vertailun vuoksi: kasvihuonekaasuinventaarion LULUCF-laskennoissa seuranta-alueina ovat Etelä- ja

Pohjois-Suomi), voidaan hankkeen tulosten pohjalta arvioida, että nykyisen laajuinen tai hiukan täydennetty näytealaverkosto on useimpien muuttujien osalta riittävä metsä- ja peltomaille.

2.2. Metsämaan LUCAS Soil -aineisto: luotettavuus ja vertailu kansalliseen aineistoon (Juha Mikola)

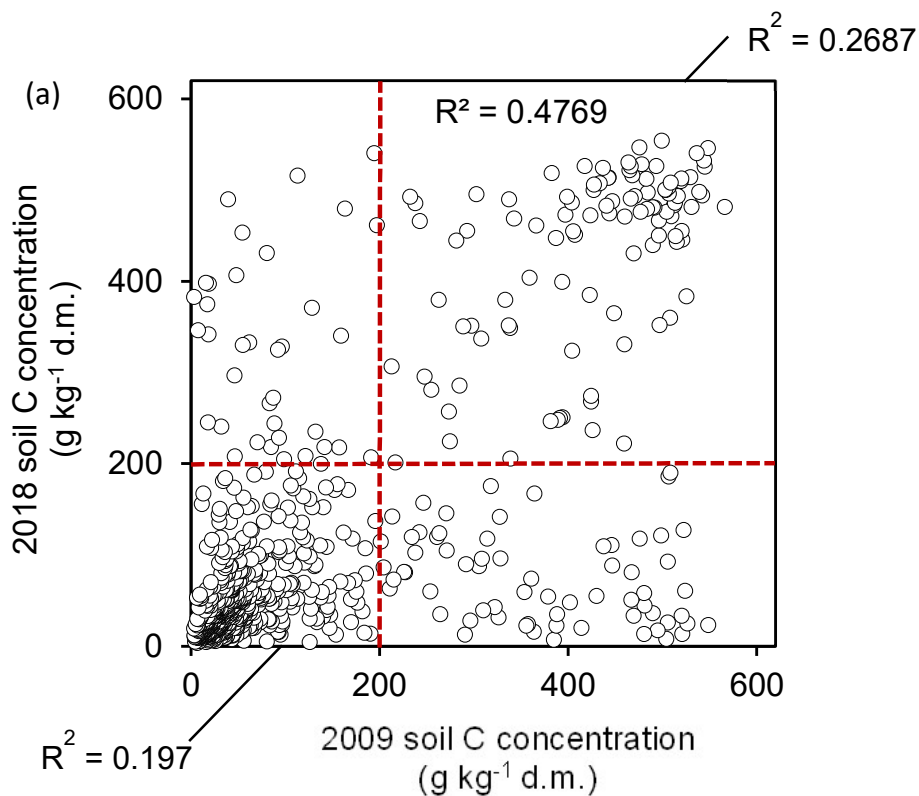
2.2.1. Näytteiden keruumenetelmä ja aineiston sisältö

Tarkastelussa mukana olleet **LUCAS Soil -maanäytteet** oli kerätty vuosina 2009, 2015 ja 2018. Kultakin kohteelta oli kerätty viisi 20 cm syvää osanäytettä. Osanäytteet oli yhdistetty, sekoitettu ja 0,5 kg maata oli käytetty analyysihin. Kasvikarike (*residues and litter*) oli poistettu ennen näytteen ottoa.

Tarkastelussa olivat mukana kaikki kohteet, jotka vuoden 2018 näytteenotossa oli luokiteltu metsämaaksi (*woodland*, puiden peittävyys $\geq 10\%$). Kohteet jaettiin IPCC-kriteerillä **orgaanisiin maihin** ($\geq 200\text{ g C kg}^{-1}$ kuiva-ainetta) ja **kivennäismaihin** ($< 200\text{ g C kg}^{-1}$ kuiva-ainetta), kunakin vuonna erikseen. Vuosien välisissä vertailuissa ovat mukana kohteet, jotka luokituvat molempina vuosina samaan maatyyppiin.

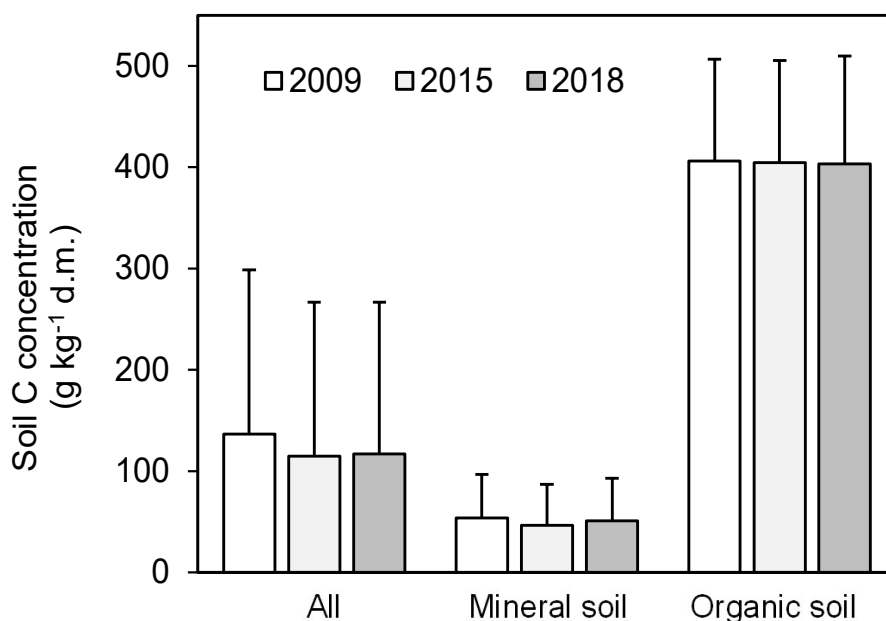
2.2.2. LUCAS Soil -näytteiden hiilipitoisuus

Yksittäisten näytealojen **kahden näytteenottovuoden väliset erot maan hiilipitoisuudessa ovat suuria** (Kuva 2) ja osassa näytealoja maatyyppi vaihtuu vuosien välillä: esim. Kuvan 2 pistekuvaajan ylävasemmalla olevalla alueella näytealojen maaperä on 2009 luokitunut kivennäismaaksi, mutta 2018 orgaaniseksi maaksi. Selitysasteet (R^2) ovat pieniä, eli menneen näytteenoton hiilipitoisuudet ennustavat huonosti tulevan näytteenoton hiilipitoisuuksia. Nämä huomiot kertovat siitä, että **näytealojen kohdennus on epätarkkaa**.



Kuva 2. Metsämaan LUCAS Soil -maaperänäytteiden vuoden 2009 ja 2018 hiilipitoisuudet ja hiilipitoisuuksien välinen yhteys. Punaiset katkoviivat osoittavat kivennäismaan ja orgaanisen maan raja-arvon. Pistekuvaajan sisällä oleva selitysaste (R^2) kertoo, paljonko vuoden 2009 hiilipitoisuuden vaihtelu näytealojen välillä selittää vuoden 2018 hiilipitoisuuden kokonaishajonnasta (n. 48 %). Kuvaajan ulkopuolella olevat selitysasteet kertovat saman asian molempina vuosina kivennäismaiksi luokituttavalla aineistolla (alavasemmalla oleva alue) ja molempina vuosina orgaanisiksi maiksi luokituttavalla aineistolla (yläoikealla oleva alue).

Maaperän hiilipitoisuuden keskiarvot ja keskihajonnat pysyvät vuosien välillä vakaina maaperätyyppien sisällä (Kuva 3). Tämä kertoo siitä, että näytteenotto kuvaa samaa metsämaiden kohdejoukkoa, vaikka kohdennus on epätarkkaa, ja että menetelmä pysyy vuodesta toiseen samana.

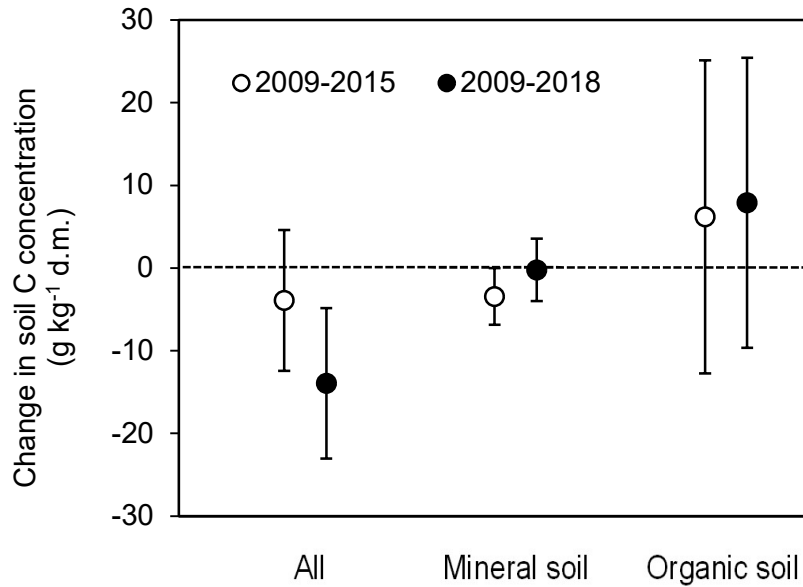


Kuva 3. LUCAS Soil -näytteenotossa eri vuosina kerättyjen metsämaan maaperänäytteiden hiilipitoisuus, kun mukana ovat kaikki näytteet (*All*), kussakin näytteenotossa kivennäismaaksi luokituneet näytteet (*Mineral Soil*; $< 200 \text{ g C kg}^{-1}$ kuiva-ainetta) ja kussakin näytteenotossa orgaaniseksi maaksi luokituneet näytteet (*Organic Soil*; $\geq 200 \text{ g C kg}^{-1}$ kuiva-ainetta).

LUCAS Soil -aineiston mukaan metsämaan maaperän **hiilipitoisuus ei muuttunut näytevuosien 2009–2015 ja 2009–2018 välillä** tilastollisesti merkitsevästi (95 %:n luottamusvälit risteävät nollan kanssa, Kuva 4), kun tarkastellaan muutosta niiden näytealojen kohdalla, jotka molemmissa näytteenotoissa ovat luokituneet samaan maatyypin *Mineral soil* tai *Organic soil* (Kuva 4).

Koko aineistossa (*All*) hiilipitoisuus pieneni tilastollisesti merkitsevästi vuosien 2009–2018 välillä (Kuva 4). Tämä muutos on kuitenkin huonon näytealakohdennuksen aiheuttama artefakti, joka pääasiassa syntyy siitä, että vuosien välillä orgaanisesta maasta kivennäismaaksi ”muuntuneita” näytealoja (Kuvan 2 alaoikealla oleva alue) on enemmän kuin kivennäismaasta orgaaniseksi maaksi muuntuneita näytealoja (Kuvan 2 ylävasemmalla oleva alue).

Kaiken kaikkiaan tuloksista voidaan päätellä, että **näytteenoton huono kohdentuminen haittaa LUCAS Soil -aineiston käyttöä maaperän hiilipitoisuuden ajallisten muutosten seurannassa.**

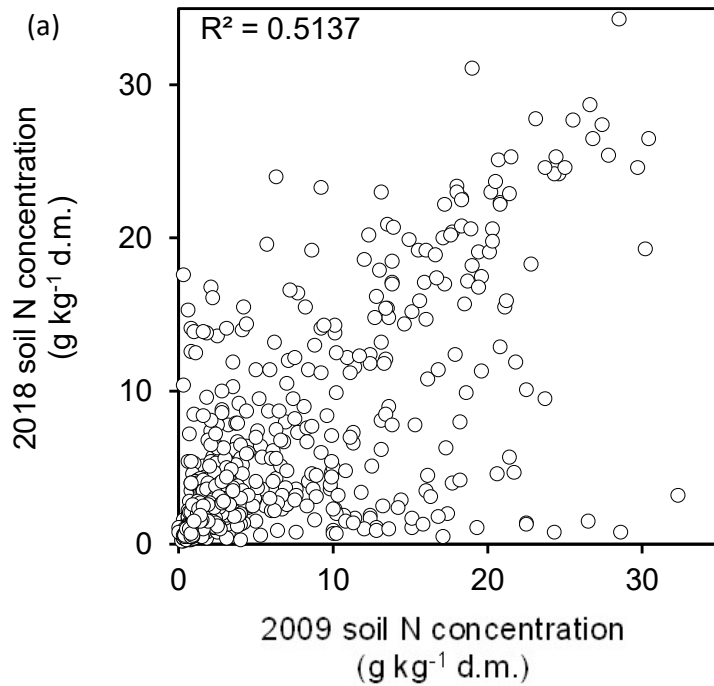


Kuva 4. Metsämaan LUCAS Soil -maaperänäytteiden hiilipitoisuuden muutos vuosien 2009-2015 ja 2009-2018 välillä, kun mukana ovat kaikki näytteet (*All*), molempien verrattavien vuosien näytteenotossa kivennäismaaksi luokituneet näytteet (*Mineral Soil*; $< 200 \text{ g C kg}^{-1}$ kuiva-ainetta) ja molempien verrattavien vuosien näytteenotossa orgaaniseksi maaksi luokituneet näytteet (*Organic Soil*; $\geq 200 \text{ g C kg}^{-1}$ kuiva-ainetta). Hajontapylväät kertovat 95 %:n luottamusvälin: jos luottamusväli risteää nollan kanssa, muutos ei ole tilastollisesti merkitsevä.

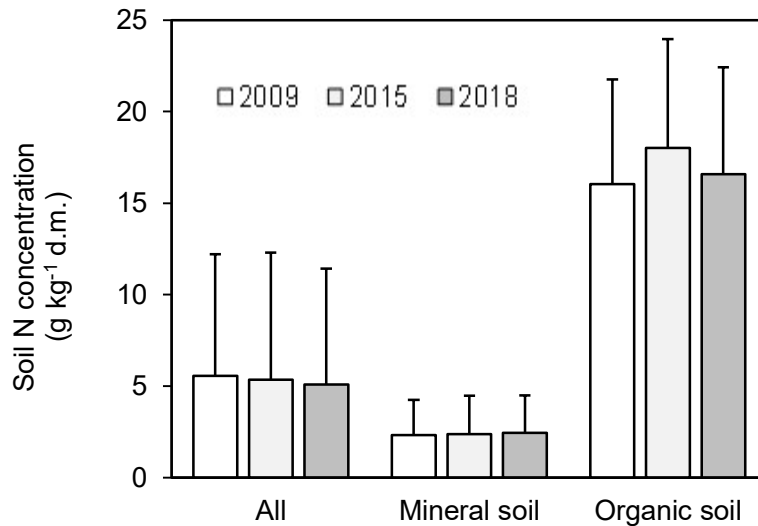
2.2.3. LUCAS Soil -näytteiden typpipitoisuus

Näytealojen heikko kohdistus näkyy myös **typpipitoisuusaineistossa: vuosien väliset erot ovat osalla näytealoista hyvin suuria** ja selitysaste (R^2) jää pieneksi (Kuva 5). Kivennäismaiden ja turvemaiden typpipitoisuuksissa on iso ero (Kuva 6), joten huono kohdistus ja maatyypin vaihtuminen vuosien välillä aiheuttavat isoja eroja vuosien välille.

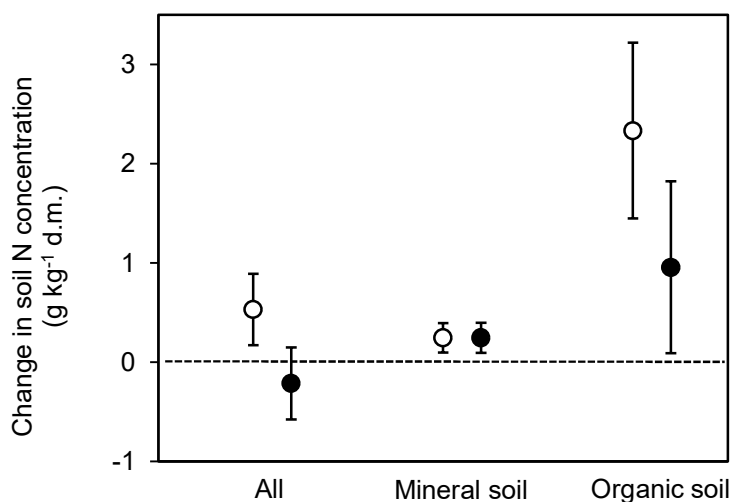
Aineiston mukaan **typpipitoisuus kasvoi näytevuosien 2009–2015 ja 2009–2018 välillä** tilastollisesti merkitsevästi, kun tarkastellaan muutosta niiden näytealojen kohdalla, jotka molemmissa näytteenotoissa ovat luokituneet samaan maatyyppiin *Mineral soil* tai *Organic soil* (Kuva 7).



Kuva 5. Metsämaan LUCAS Soil -maaperänäytteiden vuoden 2009 ja 2018 typpipitoisuudet ja typpipitoisuuksien välinen yhteys. Selitysaste (R^2) kertoo, paljonko vuoden 2009 typpipitoisuuden vaihtelu näytealojen välillä selittää vuoden 2018 typpipitoisuuden kokonaishajonnasta (n. 51 %).



Kuva 6. LUCAS Soil -näytteenotossa eri vuosina kerättyjen metsämaan maaperänäytteiden typpipitoisuus, kun mukana ovat kaikki näytteet (*All*), kussakin näytteenotossa kivennäismaaksi luokituneet näytteet (*Mineral Soil*; $< 200 \text{ g C kg}^{-1}$ kuiva-ainetta) ja kussakin näytteenotossa orgaaniseksi maaksi luokituneet näytteet (*Organic Soil*; $\geq 200 \text{ g C kg}^{-1}$ kuiva-ainetta).

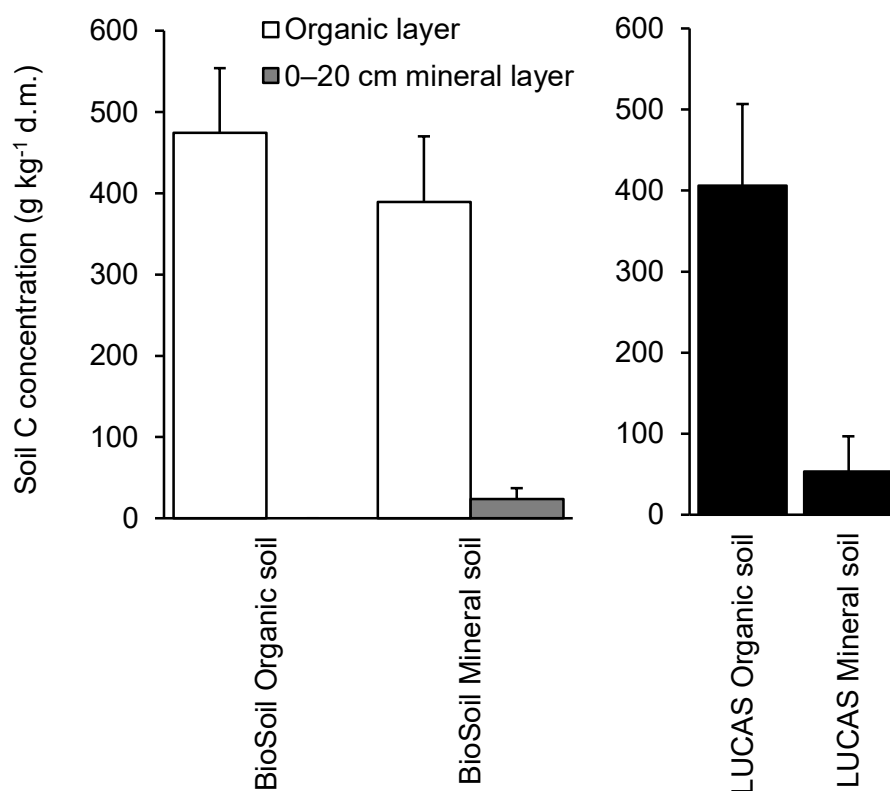


Kuva 7. Metsämaan LUCAS Soil -maaperänäytteiden typpipitoisuuden muutos vuosien 2009-2015 (valkoiset pallot) ja 2009-2018 (mustat pallot) välillä, kun mukana ovat kaikki näytteet (*All*), molempien verrattavien vuosien näytteenotossa kivennäismaaksi luokituneet näytteet (*Mineral Soil*; $< 200 \text{ g C kg}^{-1}$ kuiva-ainetta) ja molempien verrattavien vuosien näytteenotossa orgaaniseksi maaksi luokituneet näytteet (*Organic Soil*; $\geq 200 \text{ g C kg}^{-1}$ kuiva-ainetta). Hajontapylväät kertovat 95 %:n luottamusvälin: jos luottamusväli risteää nollan kanssa, muutos ei ole tilastollisesti merkitsevä.

2.2.4. LUCAS Soil ja BioSoil-näytteiden hiilipitoisuuden vertailu

Orgaanisten maiden hiilipitoisuus on LUCAS Soil –aineistossa jonkin verran pienempi kuin BioSoil-aineistossa (*BioSoil Organic soil* vs. *LUCAS Organic soil*, Kuva 8). Tämä johtunee erosta maatyypin määrittelyssä: BioSoil-aineistossa orgaanisen maan luokittelu perustuu kentällä tehtävään turvemaamääritykseen, ei näytteen hiilipitoisuuteen kuten LUCAS Soil -aineistossa.

LUCAS Soil –aineiston kivennäismaiden hiilipitoisuus on yli kaksinkertainen verrattuna BioSoil-aineiston kivennäismaiden 0–20 cm kivennäismaakerroksen hiilipitoisuuteen (*BioSoil Mineral Soil, 0–20 cm mineral layer* vs. *LUCAS Mineral soil*, Kuva 8). Tämä kertoo siitä, että kivennäismaiden LUCAS Soil -näytteissä on mukana osa orgaanisen kerroksen hiilestä, joka BioSoil-näytteissä analysoidaan erikseen.



Kuva 8. BioSoil-näytteiden ja LUCAS Soil -näytteiden hiilipitoisuuden vertailu orgaanisissa maissa ja kivennäismaissa. BioSoil-aineistossa kivennäismaiden näyte on jaettu orgaaniseen kerrokseen ja kivennäismaakerrokseen, joista kuvaan on otettu 0–20 cm kerros. LUCAS Soil -aineistossa kivennäismaiden näyte kuvaa 0–20 cm kivennäismaakerrosta.

2.2.5. LUCAS Soil ja BioSoil-näytteenoton yhdistäminen maaperäseurannassa

LUCAS Soil ja BioSoil-aineistojen vertailu osoittaa, että **nykyisellään näytesarjoja ei voi käyttää rinnakkain metsien maaperäseurannassa** – esim. hiilipitoisuustulokset eivät ole suoraan verrannollisia keskenään. Lisäksi näytealojen huono kohdennus itsessään heikentää LUCAS Soil -aineiston käyttökelpoisuutta ajallisten muutosten seurannassa.

Kivennäismaiden osalta BioSoil- ja LUCAS Soil -aineistojen verrannollisuus on saattanut parantua vuoden 2022 LUCAS Soil -näytteenotossa, jos orgaaninen kerros on näytteissä pystytty erottamaan kivennäismaasta (tulokset vuoden 2022 näytteenotosta eivät ole vielä saatavilla).

2.3. Kivennäismaametsien kansallisen maanäytesarjan täydentäminen: kesän 2024 näytteenotto ja näytteiden käsittely (Hannu Ilvesniemi)

Hankkeen näytteenotto kohdistettiin VMI 8:n pysyvien näytealojen aineistosta valituille kivennäismaakohteille, joilla oli tehty vastaava maanäytteiden keräys ja analysointi vuosina 1986–89 ja 2006 (BioSoil). Näytteenoton valmistelu aloitettiin keväällä 2024 käymällä läpi vuoden 2006 maastotyöohjeet ja kohdistamalla näytteenotto kivennäismaakohteille (486 kohdetta).

Maastotyön toteutukseen valittiin neljä kahden hengen työparia, joille järjestettiin tarvittava koulutus. Ryhmät aloittivat näytteenoton toukokuun lopussa ja viimeiset näytteet kerättiin joulukuun alkupäivinä. Ryhmät toimivat maantieteellisesti jaetuilla alueilla Pohjois-, Länsi-, Itä- ja Etelä-Suomessa. Kohteille suunnistettiin aiemman karttatiedon sekä tarkkuus-GPS:n koordinaattitiedon perusteella. Kohteelta etsittiin aikaisempi keskipaalumerkki. Jos keskipaalua ei löytynyt, toimittiin GPS-tiedon osoittamaa keskipisteen paikkaa käyttäen.

Näytteet kerättiin humuskerroksesta (näytteeseen sisällytettiin myös pintakasvillisuus ja karike), ja 0–10 cm, 10–20 cm, 20–40 cm ja osalla kohteista 40–80 cm kivennäismaakerroksista. Humuskerroksen paksuus mitattiin ja osanäytteitä otettiin 10 tai 20 humuskerroksen paksuudesta riippuen. Humuskerroksen osanäytteet yhdistettiin yhdeksi kokoomanäytteeksi. Mineraalimaanäytteet otettiin tilavuustarkkoina, jos se oli mahdollista, mutta moreenimaiden kivisyydestä johtuen valtaosalla kohteista näytteenotto tehtiin lapiolla. Kivisyyden määrästä ja maakerrosten tilavuuspainosta on tehty arvio aiemmilla näytteenottokerroilla. Näytteet pakattiin maastossa ja postitettiin viiveettä esikäsiteltäviksi Joensuun toimipisteen laboratorioon.

Laboratoriossa humusnäytteistä eroteltiin ensin pintakasvillisuus ja karike omiksi näytteikseen. Sen jälkeen humusnäyte kuivattiin, seulottiin 2 mm seulalla ja seulalle jääneet juuret otettiin talteen omaksi näytteeksi. Ennen kuivatusta humuksesta otettiin mikrobimäärityksiä varten osanäytteet, jotka pakastettiin tuoreina. Mineraalimaanäytteet kuivattiin ja seulottiin 2 mm seulalla. Seulalta otettiin talteen juuret ja yli 2 mm kivennäismaapartikkelit. Kaikkien osanäytteiden kuivapaino punnittiin.

Kaikki punnitut näytteet toimitettiin Jokioisten toimipisteeseen.

2.4. Tulevaa: maanäytteiden laboratorioanalyysit, Yasso-mallin verifiointi ja tieteelliset julkaisut (Juha Mikola)

Kesällä 2024 kerättyjen **maanäytteiden hiili- ja typpipitoisuudet analysoidaan** Luonnonvarakeskuksen Jokioisten ja/tai Viikin laboratorioissa kevään ja kesän 2025 aikana. Kun analyysitulokset ovat käytettävissä, täydennetty kivennäismaametsien kansallinen BioSoil-aineisto analysoidaan ja **maaperän hiili- ja typpivaraston ajallisista muutoksista julkaistaan tieteellinen artikkeli**. Samassa yhteydessä tulokset linkitetään ja niitä verrataan Operaatio Mustikan tuottamiin orgaanisen kerroksen tuloksiin.

Kun artikkeli kivennäismaametsien maaperän hiilivarastomuutoksista on julkaistu, tuloksia voidaan verrata kasvihuonekaasuinventaariorissa raportoituihin hiilivarastomuutoksiin ja näin **verifioida inventaarion käyttämän Yasso-mallinnuksen tuloksia**. Vertailun tuloksista pyritään julkaisemaan tieteellinen artikkeli.

Kevään 2025 aikana valmistellaan **tieteellinen artikkeli LUCAS Soil-aineiston ominaisuuksista** kappaleessa 2.2. kerrottujen tulosten pohjalta.

3. Rahoituksen käyttö

Ministeriön myöntämästä 499 512 euron kokonaisrahoituksesta 227 086 euroa (45 %) kului henkilöstökustannuksiin, 206 648 euroa (41 %) yleiskustannuksiin, 54 352 euroa (11 %) matkakuluihin ja 8 566 euroa (2 %) tarvikkeisiin. Rahoitusta jäi käyttämättä 2 860 euroa.

Työaikaa hankkeelle kohdennettiin kaikkiaan 42,72 htkk. Tästä 92 % kului maaperänäytteiden keräykseen ja näytteiden esikäsittelyyn laboratorioissa.

4. Lähdeviitteet

Ballabio, C., Panagos, P., & Monatanarella, L. 2016. Mapping topsoil physical properties at European scale using the LUCAS database. *Geoderma*, 261, 110-123.

Ballabio, C., Lugato, E., Fernández-Ugalde, O., Orgiazzi, A., Jones, A., Borrelli, P., ... & Panagos, P. 2019. Mapping LUCAS topsoil chemical properties at European scale using Gaussian process regression. *Geoderma*, 355, 113912.

Lilja, H., Uusitalo, R., Yli-Halla, M., Nevalainen, R., Väänänen, T., Tamminen, P. & Tuhtar, J. 2017. Suomen maannostietokanta. Käyttöopas. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 6/2017. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-357-4>