

Loppuraportti

Orgaaninen aines maaperän tuottokyvyn kulmakivenä

ORANKI

Loppuraportti 09.12.2019



Tutkimusryhmä:

Tapio Salo (vastuullinen tutkija)

Luonnonvarakeskus (Luke), Luonnonvarat ja biotuotanto, Jokioinen

Tietotie 4, 31600 Jokioinen

Puh: 029 532 6516

E-mail: tapio.salo@luke.fi

Riikka Keskinen, Helena Soinne, Visa Nuutinen ja Eila Turtola

Luke, Luonnonvarat ja biotuotanto, Jokioinen

Mari Rätty

Luke, Vihreä teknologia, Maaninka

Sanna Kanerva ja Asko Simojoki

Helsingin yliopisto, Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos, Helsinki

Matti Sihvonen, Sampo Pihlainen ja Kari Hyytiäinen

Helsingin yliopisto, Taloustieteen laitos, Helsinki

Jose Cano Bernal, Pirkko Kortelainen, ja Katri Rankinen

Suomen ympäristökeskus Syke, Ekosysteemien toiminta, Helsinki

1. Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen päätavoitteena oli tuottaa tietoa orgaanisen aineksen merkityksestä maan kasvukunnolle sekä ympäröivän vesistön laadulle. MYTVAS-aineiston, yhteistyökomppanian hankkeiden ja Luken tutkimusasemien viljelytietojen avulla valittiin tarkasteluun hyvän ja huonon kasvukunnan lohkoja. Näiden lohkojen ominaisuuksia tutkimalla ja mallintamalla pyrittiin selvittämään orgaanisen aineksen yhteyttä maan rakenteeseen ja peltojen lannoitustarpeeseen. Kentällä tehtävin mittauksin oli tavoitteena selvittää keskeisimmät maaperän sadontuottokykyä määrittävät tekijät. Kirjallisuusselvityksen ja viljelijäkyselyiden avulla pyrittiin tunnistamaan maan orgaanista ainesta säästäviä viljelymenetelmiä. Työssä oli tavoitteena myös huomioida orgaanisen hiilen merkitys ruuantuotannon taloudelliselle kannattavuudelle laskemalla orgaanisen aineksen hävikistä alentuneen pellon kasvukunnan ja lannoitteiden käytön lisääntymisen myötä aiheutuvat kustannukset sekä orgaanisen aineksen pitoisuuden kasvattamiseen tähtäävien toimenpiteiden kustannukset ja kannattavuus.

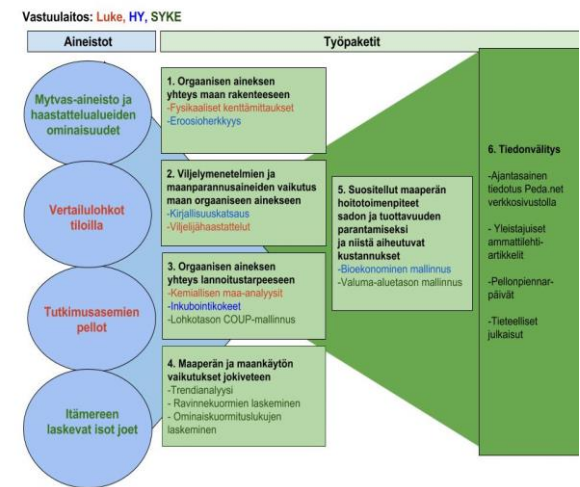
Tutkimuksen tulosten perusteella oli tavoitteena laatia suositukset maaperän hoitotoimenpiteistä, joilla viljelijä voi saavuttaa mahdollisimman suuren tuoton mahdollisimman pienillä tuotantopanoksilla samalla minimoiden viljelystä aiheutuvat negatiiviset ympäristövaikutukset. Tutkimuksen toteutuksessa ja tiedotuksessa suunniteltiin hyödynnettävän työn alussa luotavaa interaktiivista tiedotuskanavaa (peda.net/oranki).

Hankkeen viidessä toisiaan tukevassa osakokonaisuudessa oli tavoitteena selvittää:

- 1) Orgaanisen aineksen yhteys maan rakenteeseen ja eroosioherkkyyteen
- 2) Orgaanisen aineksen yhteys lannoitustarpeeseen
- 3) Viljelymenetelmien vaikutus maan orgaaniseen ainekseen
- 4) Maankäytön ja maaperän rehevyyden heijastuminen isojen jokien veden laatuun
- 5) Suositellut maaperän hoitotoimenpiteet sadon ja tuottavuuden parantamiseksi ja niistä aiheutuvat kustannukset

Kuudennen osakokonaisuuden hankkeessa muodosti

- 6) Tiedonvälitys, jota pyrittiin koko hankkeen ajan tekemään sekä verkko- että perinteistä painettua mediaa hyödyntäen



Kuva 1. Hankkeen aineistot ja työpaketit.

2. Tutkimusosapuolet ja yhteistyö

Luonnonvarakeskus (Luke) vastasi hankkeen johdosta ja hankkeen aikana tehdyistä peltolohkojen valinnoista, näytteenotoista ja määrittelyksistä lohkojen ominaisuuksiin liittyen. Luken tutkijat myös analysoivat ja käsittelivät tilastollisesti sekä raportoivat tähän liittyvät tulokset. Luken puolelta konsultoitiin Helsingin yliopistoa Coup-simulointimallin käytössä ja parametrisoinnissa. Hankkeen viestintä oli myös pääosin Luken tutkijoiden vastuulla. Hankkeeseen osallistuivat Lukesta: Tapio Salo, Riikka Keskinen, Mari Rätty, Helena Soinne (3/2018 alkaen), Visa Nuutinen, Eila Turtola, Janne Kaseva sekä useat kenttä- ja laboratoriohenkilökuntaan kuuluvat.

Helsingin yliopiston Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos vastasi hankkeen alkupuolella typen ja hiilen kiertoon liittyvistä laboratoriomäärittelyksistä ja tulosten käsittelystä. Myös viljelymenetelmiin liittyvä kirjallisuuskatsaus oli hankkeen alussa Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitoksen työnä. Tältä laitokselta hankkeeseen osallistuivat Helena Soinne, Asko Simojoki ja Sanna Kanerva. Helena Sointeen siirryttyä 3/2018 Luken palvelukseen hiilen ja typen kiertoon liittyvien tulosten käsittely, julkaisu sekä viljelymenetelmien kirjallisuuskatsaus siirtyivät Lukessa tehtäväksi työksi.

Helsingin yliopiston Taloustieteen laitos vastasi taloudellisesta tarkastelusta ja bioekonomisen mallin rakentamisesta. Taloustieteen laitoksella työhön osallistuivat Matti Sihvonen, Sampo Pihlainen, Tin-Yu Lai ja Kari Hyytiäinen. Taloustieteen laitos suoritti Coup-mallinnuksen ja tuotti aineiston maan orgaanisen aineksen määrän, typpilannoituksen ja karjanlannan käytön vaikutuksista satoon, huuhtoutumiseen, kasvihuonekaasupäästöihin ja maan hiilen sekä typen varastoihin. Tämän jälkeen laitokset tutkijat ohjelmoivat taloudellisen optimointimallin, joka pyrki etsimään kannattavimman ratkaisun maataloussektorin ja yhteiskunnan kannalta typpilannoituksen ja karjanlannan käyttöön.

Suomen ympäristökeskus (Syke) vastasi hiilen vesistökuormituksen aineistoista ja aineistojen mallintamisesta. Sykestä työhön osallistuivat Katri Rankinen, Pirkko Kortelainen, Jose Cano Bernal ja Juha Grönroos. Katri Rankinen osallistui myös Coup-mallin käytön suunnitteluun ja neuvontaan yhdessä Tapio Salon ja Helsingin yliopiston Taloustieteen laitoksen tutkijoiden kanssa. Mytvas-aineistojen käytöstä tilojen valinnassa jouduttiin luopumaan, koska aineistot olivat hankalasti käsiteltävissä muodossa tähän käyttötarkoitukseen.

Jyväskylän yliopisto, Koulutuksen tutkimuslaitos, Jouko Jokinen tarjosi neuvontaa peda.net verkkosivuston käytössä.

Yhteistyö kaikkien toimijoiden kanssa oli sujuvaa ja avointa. Valmisteluvaiheen suunnitelmista osaa ei pystytty toteuttamaan, koska käytettäväksi suunnitellut aineistot olisivat vaatineet liiaksi muutostöitä, ja käyttökelpoisia vaihtoehtoja oli saatavilla. Näytteenottojen ja määritysten yhdistäminen Luken ja Helsingin yliopiston välillä toimi hyvin hankkeen alkuvaiheessa. Loppuvaiheessa Helena Sointeen siirtyminen Lukeen helpotti edelleen aineistojen käsittelyä. Coup-mallin avulla onnistuttiin tuottamaan suuri tausta-aineisto talousmallinnuksen käyttöön, mikä vaati kaikkien osallistuvien tahojen yhteistyötä. Aikataulu tässä venyi kuitenkin varsin myöhään, ja mallituksissa jouduttiin suunnitellusta turvemaan käytöstä luopumaan, koska turvemaan simuloinnit osoittautuivat selvästi ennakoitua vaikeammiksi. Hankkeen loppuvaiheessa tutkijoiden aikaa veivät runsaasti muut hankkeet, ja siksi raportointi on viivästynyt. Julkaisut ovat kuitenkin edenneet viivästyksistä huolimatta, vaikka siirtyvätkin vuoden 2020 puolella lähetettäväksi.

Hankkeen ohjausryhmä

Sini Wallenius, MMM, puheenjohtaja

Pirjo Salminen, MMM

Marja-Liisa Tapio-Biström, MMM

Eero Pehkonen, MMM

Airi Kulmala, MTK

Markku Ollikainen, HY

Annalea Lohila, IL

Jukka Horppila, HY

Pekka Heikkilä, ETL

3. Tulokset

3.1 Menetelmät ja aineisto

Hankkeen tutkimuskysymyksiä selvitettiin viidessä työpaketissa.

Työpaketissa 1 (TP1) **”Orgaanisen aineksen yhteys maan rakenteeseen”** valittiin 17 peltolohkoa Luken Jokioisten ja Maanangan tutkimuspaikoilta vuonna 2016. Tavoitteena oli valita tuottokyvyltään hyviä ja huonoja lohkoja. Jotta aineisto olisi riittävän yhtenäinen, päätettiin valita mukaan vain kivennäismaita (orgaaninen aines <20 %) ja lohkoja, joilla viljeltiin kevätiljää vuonna 2016. Lohkoilta otettiin kesällä maanäytteet 0–60 cm syvyyteen. Näytteistä määritettiin hiili- ja typpipitoisuus, juurten lukumäärä ja maan tilavuuspaino 10 cm kerroksista. Syksyllä lohkoilta kerättiin satonäytteet ja otettiin maanäytteet 0–20 cm ja 20–40 cm kerroksista maan lajitekoostumuksen ja viljavuuden määrittämistä varten. Syksyllä otettiin myös maan pinnasta 5 cm paksuiset lieriönäytteet maan pinnan murujen kestävyuden määrittämiseksi. Vuonna 2017 toistettiin satonäytteiden otto vuoden 2016 lohkoilta. Uusina lohkoina maa- ja satonäytteiden ottoon valittiin maatilojen lohkoja, joita saatiin 19 kpl eteläisestä Suomesta ja 9 kpl Itä-Suomesta Maanangan läheltä. Eteläisen Suomen yhteistyötilat tavoitettiin MTK:n, OPAL-Life- ja OSMO-hankkeen sekä Mytvas-tutkimuksen kautta. Luken ja viljelijöiden käyttämät koivuoden viljelymenetelmät ja lohkon viljelyhistoria noin 10 vuoden ajalta selvitettiin viljelijähaastattelujen ja kyselylomakkeen avulla.

Peltolohkojen maa- ja satonäytteiden tuloksia sekä käytettyjä viljelymenetelmiä käsiteltiin tilastollisesti monimuuttujamenetelmän avulla, jolla haettiin etenkin sadonmuodostukseen vaikuttavia tekijöitä.

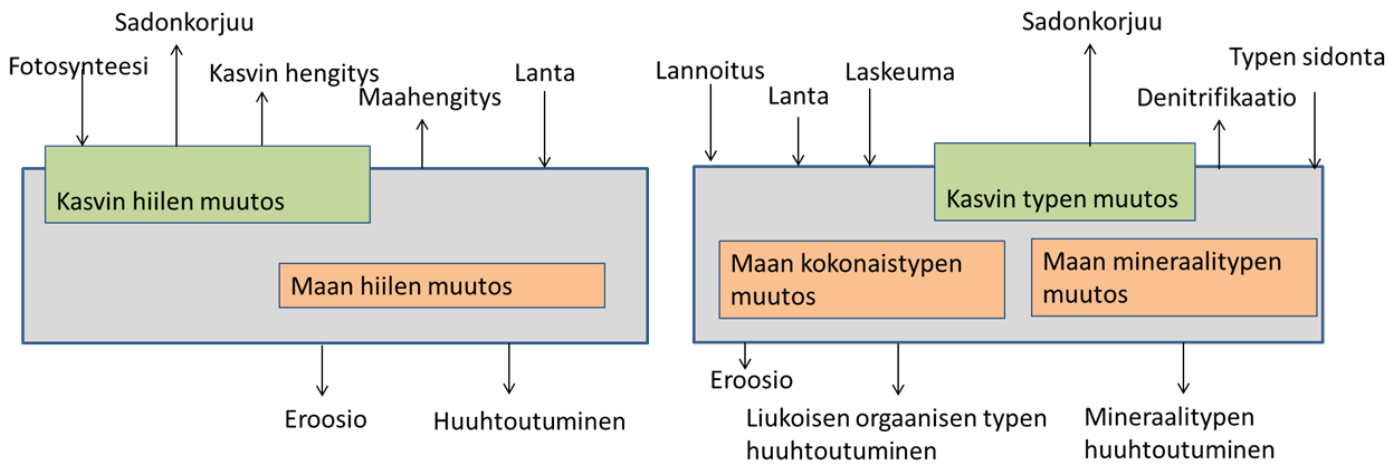
Työpaketissa 2 (TP2) **”Orgaanisen aineksen yhteys lannoitustarpeeseen”** pyydettiin peltolohkojen viljelijöitä jättämään valituille lohkoille lannoittamaton alue. Vuonna 2016 lannoittamattomia alueita jätettiin 13 kpl ja vuonna 2017 34 kpl. Lohkoilta otetuista maanäytteistä analysoitiin perusviljavuustiedot sekä hiili- ja typpipitoisuudet. Lannoittamattomilta sekä lannoitetuilta alueilta kerättiin satonäytteet, jolloin voitiin määrittää lohkon sadontuottokyky ilman koivuoden lannoitusta sekä lannoitetyypellä saatu sadonlisä.

Vuonna 2016 tutkittiin 15 maanäytteen avulla laboratoriossa typen nettomineralisaatiota ja mikrobiaktiivisuutta Typen ja hiilen kiertoa tarkasteltiin kaikkien ominaisuustietojen avulla tarkemmin näiltä 15 lohkolta.

Työpaketissa 3 (TP3) **”Viljelymenetelmien vaikutus maan orgaaniseen ainekseen”** koottiin kirjallisuutta aiheesta ja koottu kirjallisuuskatsaus on toiminut pohjana julkaisujen kirjoittamisessa.

Työpaketissa 4 (TP4) **”Maankäytön ja maaperän rehevyyden heijastuminen isojen jokien veden laatuun”** käytettiin SYKE:n jokivesiaineistojen hiilipitoisuuksia ja virtaamatietoja, jotka yhdistettiin valuma-alueiden maankäyttöön. Lisäksi käytettiin Ruokaviraston tilastoja viljelykasveista ja muokkausmenetelmistä valuma-alueilla sekä Ilmatieteen laitoksen tietokantoja lämpötilasta ja rikkilaskeumasta. Orgaanisen aineksen huuhtoutumista arvioitiin tilastollisilla malleilla, joiden avulla määritettiin virtaamalla korjattu ravinnekuorma. MESAW-mallin avulla laskettiin ominaiskuormitusluvut, jolloin valuma-alueelta tuleva ravinnekuorma voitiin jakaa maankäytön mukaisiin lähteisiinsä. Lisäksi aineistojen käsittelyssä hyödynnettiin yleistettyjä lineaarisia malleja (GLM) ja regressiomalleja (Boosted regression trees) sekä Dredge-analyyysiä.

Työpaketissa 5 (TP5) **”Suositellut maaperän hoitotoimenpiteet sadon ja tuottavuuden parantamiseksi ja niistä aiheutuvat kustannukset”** tehtiin ensiksi teoreettinen malli typpilannoituksen, lannan käytön ja maan muokkauksen vaikutuksesta satotasoon, hiilen ja typen määrään maassa, sekä hiilen ja typen hävikkeihin. Sen jälkeen Coup-simulointimallilla tehtiin ajot savi- ja hietamaille käyttäen erilaisia typpilannoitustasoja ja korvaamalla osa typpilannoituksesta karjanlannan liukoisella tyypellä. Karjanlanta mallinnettiin kuivikelantana, jossa lisättiin enimmillään 235 kg/ha kokonaistyppeä. Maan muokkauksella ei saatu mallissa vaikutuksia, joten muokkauksen käytöstä tutkittavana muuttujana luovuttiin. Coup-mallissa muokkaus ainoastaan sekoittaa kasvinjätteet ja lannan tasaisesti annettuun muokkauskerrokseen, joten sen tarkkuus muokkausmenetelmien erojen osoittamiseen on heikko. Tavoitteena oli tehdä simulointiajot myös turvemaille, mutta niiltä saadut simulointitulokset eivät vaikuttaneet vertailuaineistoihin nähden riittävän luotettavilta. Turvemailta on olemassa Suomen oloissa hyvin vähän kalibrointiaineistoa simulointimalleja varten verrattuna savi- ja hietamaihin, joten turvemaiden simulointien epäonnistumista ei voida pitää suurena yllätyksenä. Coup-mallin tulosten avulla tehtiin taloudellinen optimointimalli, joka estimoi yhteiskunnan ja maatalouden kannalta parhaan taloudellisen tuloksen. Yhteiskunnan taloudelliseen tulokseen vaikuttivat satotason lisäksi typen ja hiilen huuhtoutuminen sekä kasvihuonekaasujen päästöt.



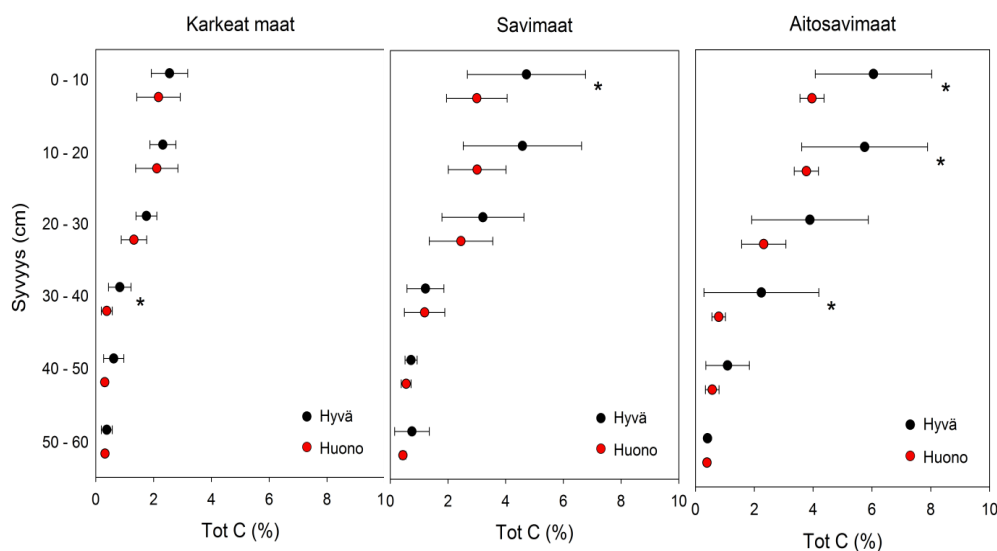
Kuva 2. Maaperän hiilen ja typen taseeseen liittyvät tekijät.

3.2 Tulokset

Työpaketissa 1 verrattiin ensiksi peltolohkojen maaperän ominaisuuksia suhteessa maalajiin (savesta < 30 %, 30–60 % ja yli 60 %) ja pellon arvioituun tuottokykyyn. Viljelijöiden käsitykset pellon tuottokyvystä näkyivät myös vuosien 2016 ja 2017 sadoissa (Taulukko 1). **Hiilen ja samalla orgaanisen aineksen määrä oli tuottokyvyltään hyvillä savi- ja aitosavimailla suurempi kuin heikommin tuottavilla lohkoilla** (Kuva 3).

Taulukko 1. Vuosien 2016 ja 2017 satojen keskiarvot maalajien ja tuottokyvyn mukaan jaoteltuna.

Maalaji	Tuottokyky	n	Sato (kg/ha)
Karkea	Hyvä	12	5920 ± 1309
	Huono	8	4206 ± 749
Savi	Hyvä	12	5767 ± 1760
	Huono	9	4561 ± 2078
Aitosavi	Hyvä	7	4257 ± 1060
	Huono	12	3094 ± 1174



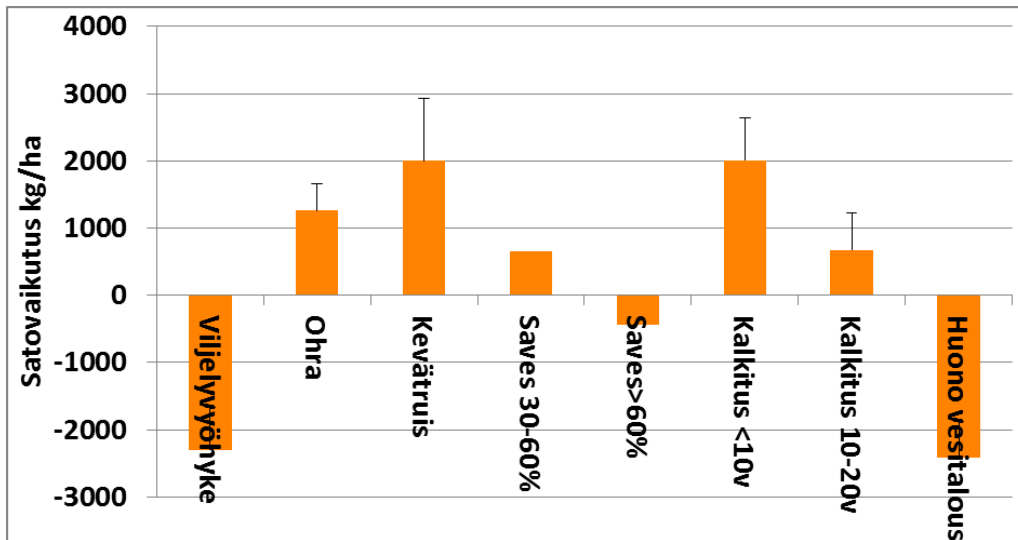
Kuva 3. Koelohkojen kokonaishiilen pitoisuudet jaettuna saveksen määrän ja lohkon arvioidun tuottokyvyn perusteella.

Hyvätuottoisten maiden juurten lukumäärä oli keskimäärin suurempi kuin huonotuottoisilla mailla. Huonosti tuottavien savimaiden tilavuuspaino oli suurempi kuin hyvin tuottavien. Aitosavimaiden korkea Mg-pitoisuus näytti liittyvän alentuneeseen sadontuottokykyyn. Karkeiden maiden alhainen K-pitoisuus vähensi satotasoa. Maaperän ominaisuuksien keskinäistä korrelaatiota ja korrelaatiota mitattuihin satoihin tarkasteltiin ennen tilastollisia monimuuttuja-analyyskejä. Savespitoisuus korreloi vahvasti kationinvaihtokapasiteetin ja viljavuusanalyysin kationien kanssa. Maan hiilipitoisuus pienensi tilavuuspainoa, pH:ta ja liukoisen fosforin pitoisuutta, ja puolestaan nosti kationinvaihtokapasiteettia. Saveksen ja hiilipitoisuuden välillä erottui myös selkeä vuorovaikutus, koska saves tunnetusti suojaa hiiliyhdisteitä mikrobien hajotukselta. Voimakkaasti keskenään korreloivista tekijöistä valittiin vuorollaan vain yksi edustaja monimuuttuja-analyysiin. Satoon vaikuttavia korrelaatiota analysoitiin myös viljelymenetelmien osalta (Taulukko 2).

Taulukko 2. Satoon vaikuttavien maan ominaisuuksien ja viljelymenetelmien korrelaatio ja havaittu merkitsevyystaso (p).

	Sato (kg ha ⁻¹)	
	Korrelaatio	p
Saves %	-0.38	0.011
Hiesu %	0.48	0.001
Viljavuus Mg (mg l ⁻¹)	-0.41	0.005
Viljavuus K (mg l ⁻¹)	-0.46	0.001
KVK (mekv 100 g ⁻¹)	-0.34	0.022
Mg KVK (meq 100 g ⁻¹)	-0.43	0.004
K KVK (meq 100 g ⁻¹)	-0.46	0.002
Vettä kestävät murut	-0.51	0.000
Typpilannoitus, yhteensä (kg ha ⁻¹)	0.70	<0.001
Jaettu typpilannoitus (kg ha ⁻¹)	0.65	<0.001
Orgaanisen typen määrä (kg ha ⁻¹)	-0.29	0.050
Satoarvio (kg ha ⁻¹)	0.45	0.002

Monimuuttuja-analyysissä valittiin luokitteleviksi tekijöiksi viljelyalue (Länsi-Suomi, Kanta-Häme, Itä-Suomi), satokasvi, savesluokka (<30 %, 30–60 %, >60 %), näytteenottovuosi, viljelykierto (viljan monokulttuuri, muu), maan muokkaus (kyntö, muu), kalkitus (<10 vuotta, 10–20 vuotta, > 20 vuotta), orgaanisten lannoitteiden aikaisempi käyttö (kyllä, ei > 10 vuoteen), ja vesitalous (hyvä, huono). Jatkuvina muuttujina testattiin hiilipitoisuus, saves/hiilisuhde, viljavuus-P, viljavuuskationit (Ca, Mg, K), johtoluku, pH, kationinvaihtokapasiteetti ja siihen vaikuttavat kationit (Ca, Mg, K), maan tilavuuspaino ja juurten lukumäärä. Maan ominaisuuksista käytettiin 0–20 cm syvyydelle määritettyä pitoisuutta lukuun ottamatta tilavuuspainoa ja juurten lukumäärää, joista valittiin 20–40 cm tulokset. Monimuuttuja-analyysissä päädyttiin kahteen erilaiseen selittävien tekijöiden jakoon, joista ensimmäisessä maan hiilipitoisuus ja toisessa maan saves/hiili-suhde olivat selittävänä tekijänä. Luokkamuuttujien vaikutukset sadonmuodostukseen estimoitiin ja maan hiilipitoisuuden sisältävässä mallissa niiden vaikutukset näkyvät kuvassa 4. Viljelyvyöhykkeen ja kasvilajien satovaikutukset kuvaavat todennäköisesti enemmän aineiston ominaisuuksia kuin yleisempiä vaikutuksia. Sen sijaan aitosavien (saves >60 %) hieman muita savesluokkia alhaisemmat sadot kuvaavat aitosavien viljelyn haastavuutta. **Kalkituksen positiivinen vaikutus ja huonon vesitalouden satoa voimakkaasti laskeva vaikutus ovat myös todennäköisesti selvästi yleistettävissä olevia ominaisuuksia.**

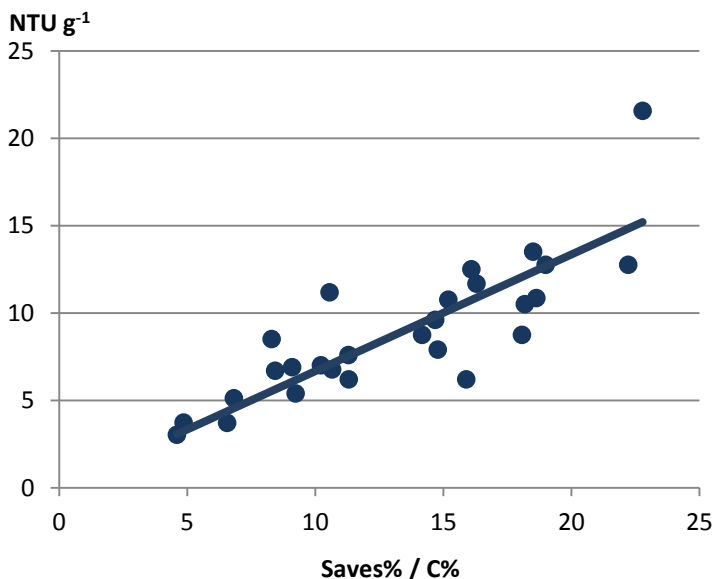


Kuva 4. Luokkamuuttujien vaikutus kevätiljojen satotasoon. Viljelyvyöhyke kuvaa Itä-Suomen alhaisempaa satotasoa muihin alueisiin nähden. Kevättruis ja ohra nostivat satotasoa suhteessa kauraan ja kevätvehnään.

Jatkuvien muuttujien osalta viljelymenetelmiin kuuluva typpilannoitustaso tuotti selkeän satoja nostavan vaikutuksen. Yhden typpikilon vaikutus aineistoissa satoon oli 61 kg/kg N, mikä on selvästi korkeampi luku kuin typpilannoituksen vastemalleissa saadaan. Viljavuusfosfori lisäsi satoa kun savespitoisuus oli 30–60 %. **Hiilipitoisuus lisäsi satoa yhden prosentin lisäystä kohden noin 600 kg/ha.**

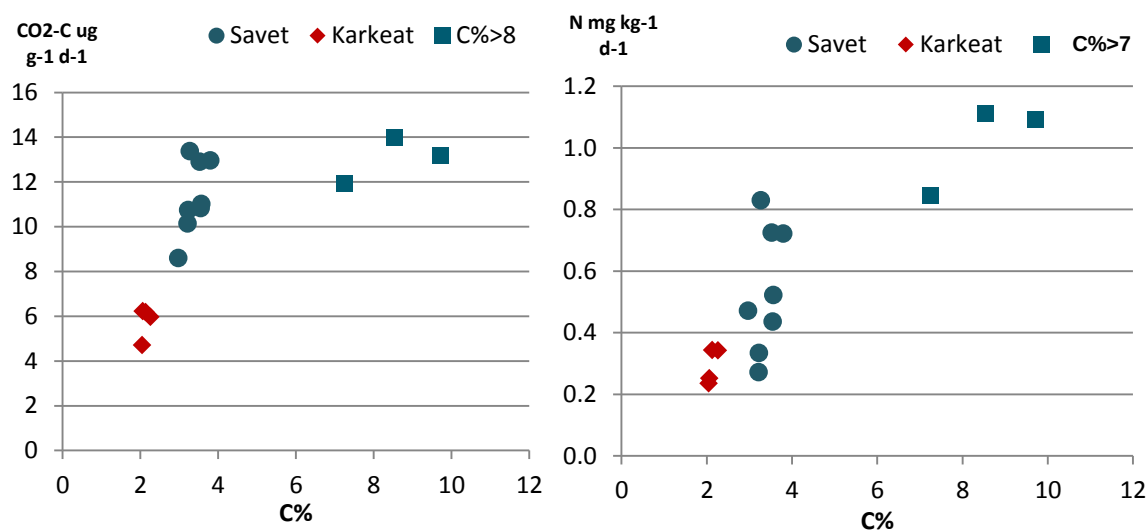
Jos hiilipitoisuuden sijaan mallissa käytettiin saveksen ja hiilen suhdetta, luokkamuuttujista merkittäviksi jäivät vain Itä-Suomen matalammat satotasot, ohran satoa nostava vaikutus ja huonon vesitalouden satoa alentava vaikutus. Saves/hiili-suhteen nouseminen yhdellä yksiköllä alensi satoa 210–230 kg/ha, jos savea oli vähintään 30 %. Karkeilla kivennäismailla saves/hiili-suhteella ei ollut vaikutusta.

Savimailla saves/hiili-suhde liittyi myös maan mururakenteen kestävytyteen ja siten eroosioriskiinkin. Savimaista lähtee liikkeelle kolloidista savesainesta sitä enemmän mitä suurempi on maan saves/hiili –suhde. **Saves/hiili –suhde näytti kuvaavan hyvin maan eroosioalttiutta** (Kuva 5).



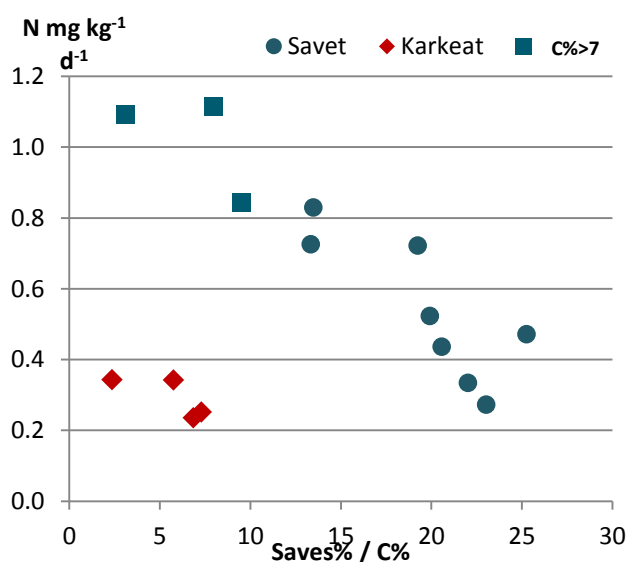
Kuva 5. Saves/hiili –suhteen vaikutus vesiinoton sameuteen.

Työpaketissa 2 (TP2) ”Orgaanisen aineksen yhteys lannoitustarpeeseen” **maan hengitys ja typen mineralisaatio olivat odotetusti riippuvaisia maan hiilipitoisuudesta** (Kuva 6).



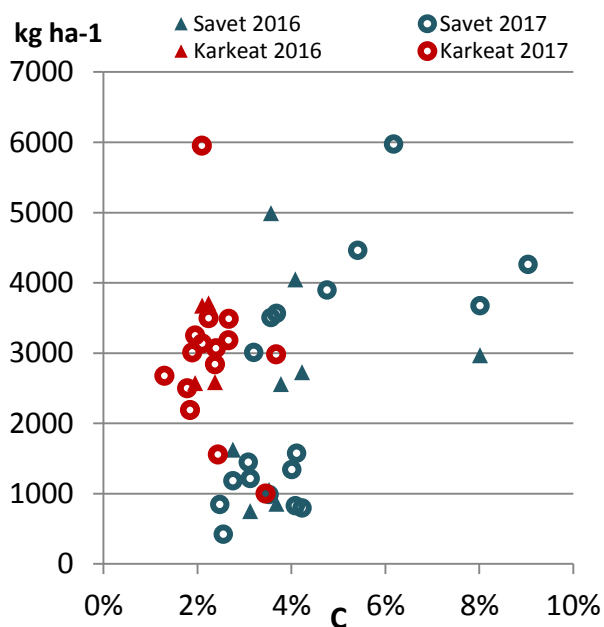
Kuva 6. Maan hengitys (vasemmalla) ja typen vapautuminen (oikealla) hiilipitoisuuden seurauksena.

Typen vapautumisessa oli suurta vaihtelua, kun maan hiilipitoisuus oli 3–4 %. Kun nämä maat otettiin tarkasteluun saves/hiili-suhteen perusteella ja karkeat kivennäismaat (saves <30 %) erotettiin muista tutkituista maista, havaittiin **savimaiden kasvavan saves/hiilisuhteen pienentävän selvästi typen vapautumista** (Kuva 7). Jos typen vapautuminen skaalataan 20 cm maan pintakerrokseen, typpeä vapautui inkubaatiossa 0,6–2,0 kg/ha/vrk. Koska laboratorioinkubaation olosuhteet ovat lähellä optimia, pelto-olosuhteissa voidaan arvioida vapautumisen olevan kokeessa mitatusta noin 50 %.

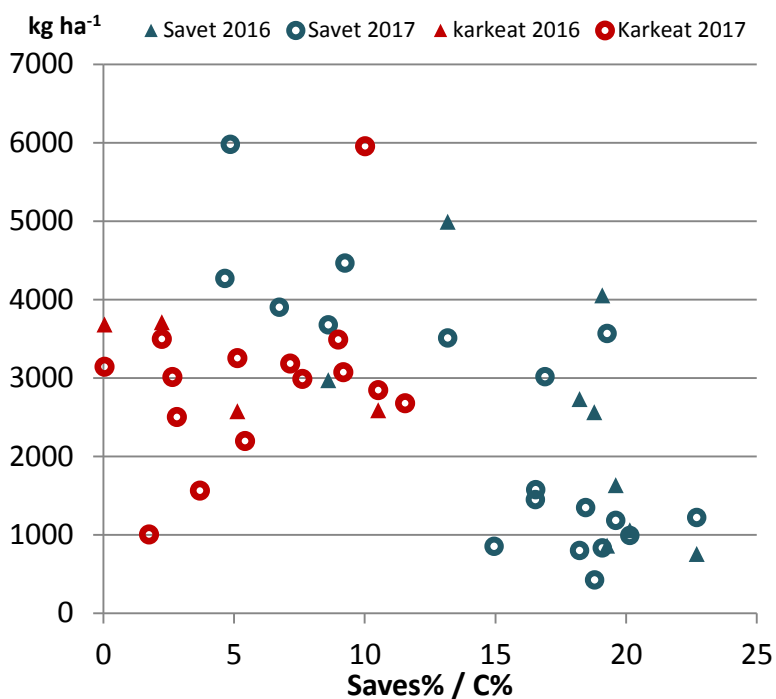


Kuva 7. Typen vapautuminen saves/hiili suhteen vaikutuksesta.

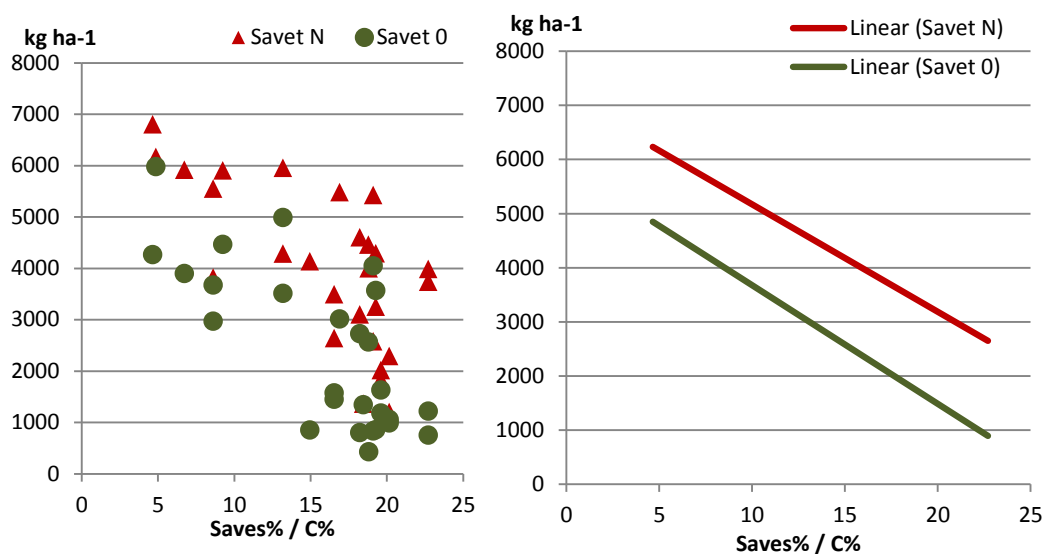
Ilman lannoitusta saadut sadot vaihtelivat paljon, kun maan C-pitoisuus oli 2–3 % (Kuva 8). Sadot olivat korkeita, kun maan hiilipitoisuus oli >5 %, mutta havaintoja oli vähän. **Savimailla pienimpiä satoja saatiin lohkoilla, joissa saves/hiili – suhde oli korkein (Kuva 9). Karkeilla mailla ei vastaavaa trendiä ollut havaittavissa.**



Kuva 8. Lannoittamattomat sadot maan hiilipitoisuuden mukaan. Pisteiden muotoilut erottavat koevuoden ja maalajin.

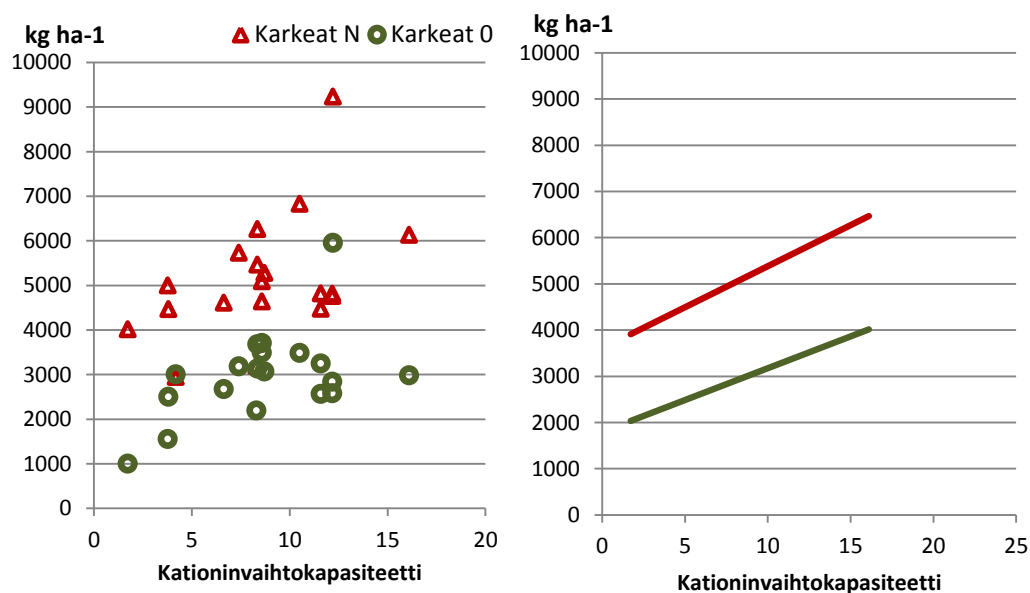


Kuva 9. Lannoittamattomat sadot maan saves/hiili-suhteen mukaan. Pisteiden muotoilut erottavat koevuoden ja maalajin.



Kuva 10. Lannoitettujen (Saves N) ja lannoittamattomien (Savet 0) savimaiden sadot suhteessa maan saves/hiili suhteeseen.

Savimaiden kohdalla havaittiin suuremman saves/hiili-suhteen johtavan huonompaan satotasoon sekä lannoittamattomilla että lannoitetuilla alueilla (Kuva 10). Korkean saves/hiili-suhteen maissa kasvua ei siis rajoita ainoastaan typen puute, vaan myös maan rakenteen ongelmat voivat vaikuttaa lannoitetypen hyväksikäyttöön. Karkeiden kivennäismaiden osalta satotaso vaikutti lisääntyvän, kun maan kationinvaihtokapasiteetti suureni. Saveksen ja orgaanisen aineksen lisääntyminen lisää kationinvaihtokapasiteettia, ja karkeilla kivennäismailla (saves <30 %) saveksen lisääntymisestä on hyötyä (Kuva 11).

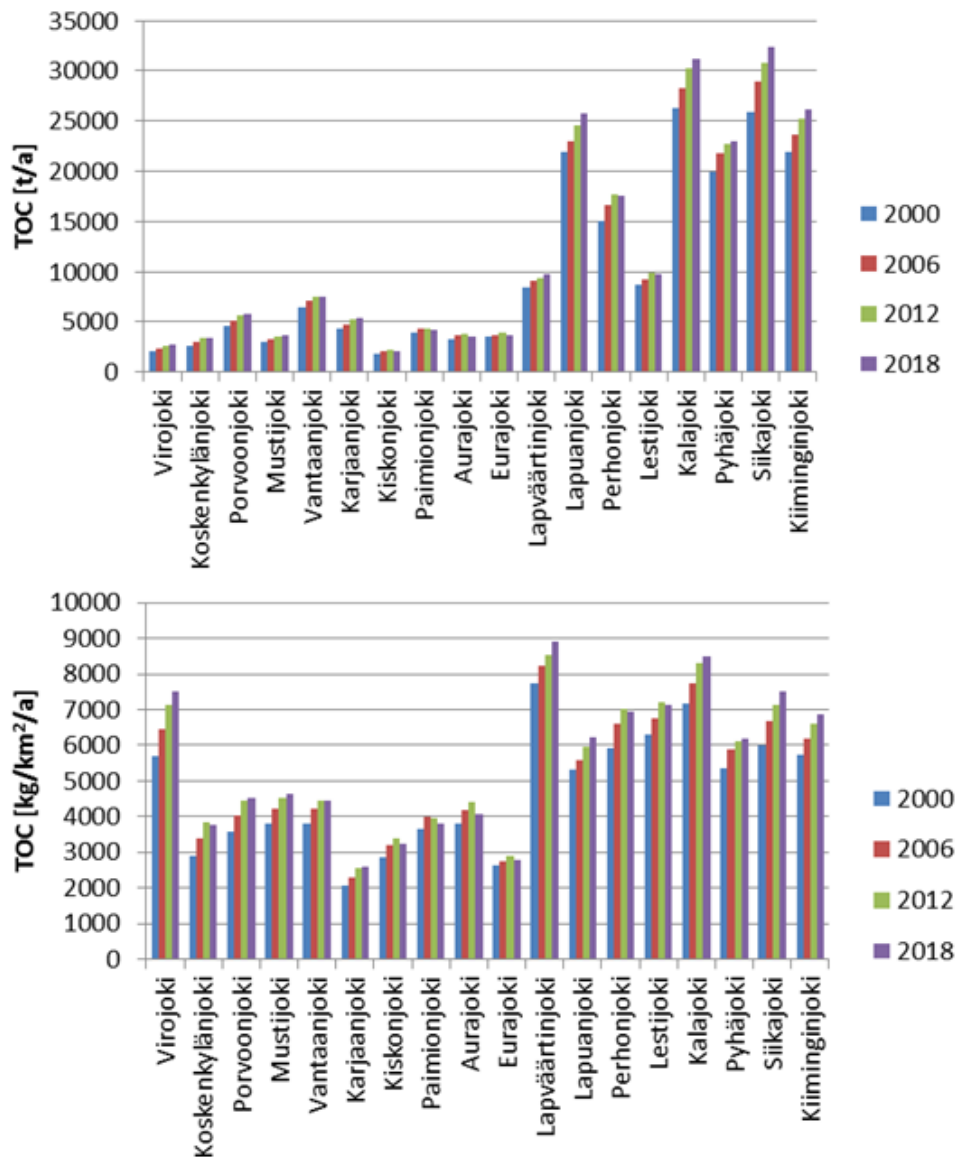


Kuva 11. Lannoittamattomien ja lannoitettujen karkeiden kivennäismaiden sadot suhteessa maan kationinvaihtokapasiteettiin.

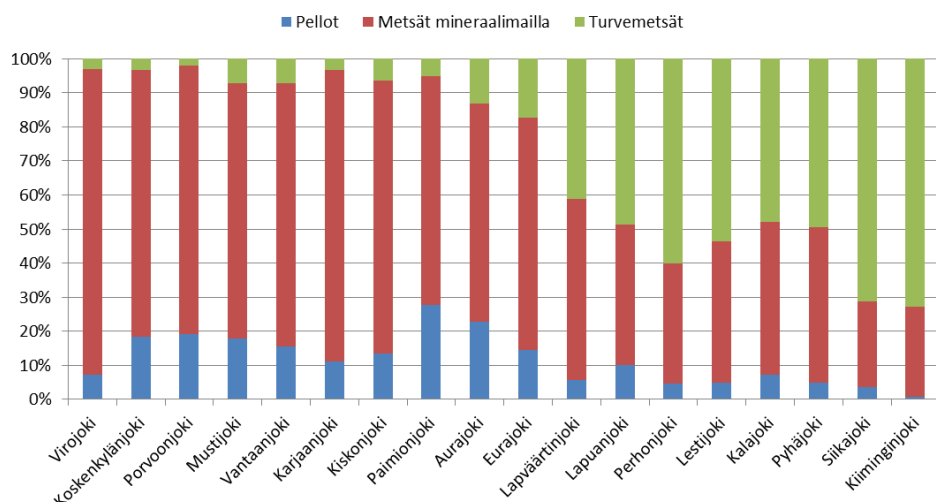
Työpaketissa 3 (TP3) "Viljelymenetelmien vaikutus maan orgaaniseen ainekseen" todettiin orgaanisen aineksen säilyttämisen ja määrän kasvattamisen kannalta olevan tärkeää lisätä yhteyttämällä ilmakehästä sidotun hiilen päätymistä maahan sekä ehkäistä hävikkiä. Hävikin estämiseksi on pyrittävä estämään liiallista orgaanisen aineksen mineralisaatiota ja minimoitava eroosiota sekä liukoisen orgaanisen aineksen huuhtoutumista. **Maan kasvukunnosta huolehtiminen edesauttaa hyvien satotasojen saavuttamista ja siten myös ylläpitää maahan kasvijätteinä ja juurieritteinä päätyvän hiilen määrää.** Yhteyttävän kasvuston säilyttäminen pellolla mahdollisimman pitkään syksyllä tai suuremman maanpäällisen biomassan ja erityisesti juuribiomassan tuottaminen lisäämällä kasvibiodiversiteettiä, kasvattavat mahdollisuuksia sitoa hiiltä ilmakehästä biomassaan. Orgaanisen aineksen palauttamien maahan kasvintähteiden tai lannan mukana ehkäisee orgaanisen aineksen hävikkiä. Kohtuullisella typpilannoituksella voidaan

lisätä biomassan tuotantoa ja siten parantaa hiilen kerryttämismahdollisuuksia. Toisaalta typpilannoitus voi kiihdyttää orgaanisen aineksen hajoamista, sillä hajottajamikrobien kasvua rajoittavien ravinteiden lisäykset tehostavat mikrobitoimintaa. Runsas typpilannoitus voi myös yksipuolistaa mikrobiyhteisöä, millä voi olla negatiivisia vaikutuksia maan orgaanisen aineksen määrään. Lannoituksen vaikutukset maan orgaanisen aineksen määrään riippuvat todennäköisesti maassa jo olevan orgaanisen aineksen määrästä ja laadusta. **Muokkauksen vähentäminen parantaa maan mururakennetta, mikä ehkäisee eroosiota ja eroosion mukana poistuvan hiilen hävikkiä.** Maamurujen sisässä olevat orgaaniset molekyylit ovat myös suojassa mikrobihajotukselta. Toisaalta, **jos muokkauksen vähentäminen vaikuttaa maan kasvukuntoon ja sitä kautta satotasoihin heikentävästi, ei muokkausta vähentämällä edistetä hiilenkertymistä.**

Työpaketissa 4 (TP4) ”Maankäytön ja maaperän rehevyyden heijastuminen isojen jokien veden laatuun” todettiin ensiksi lähtöaineistojen perusteella, että vuoden keskilämpötilat ovat nousseet ja rikkilaskeuma vähentynyt tarkastelujaksolla 1990–2018. **Orgaanisen hiilen pitoisuudet jokivesissä ovat myös lisääntyneet 1990–2018.** Kun tarkastellaan valuma-alueiden jokivesien hiilikuormaa, **suurin kuorma havaitaan sekä kokonaismäärän että ominaiskuormittavuuden (kuorma/valuma-alueen pinta-ala) osalta tulevan Pohjanmaan turvevaltaisilta alueilta** (Kuva 12). Saaristomeren alueella, missä pellon osuus valuma-alueesta on korkea, kuorma näyttää hieman pienentyneen 2012–2018.



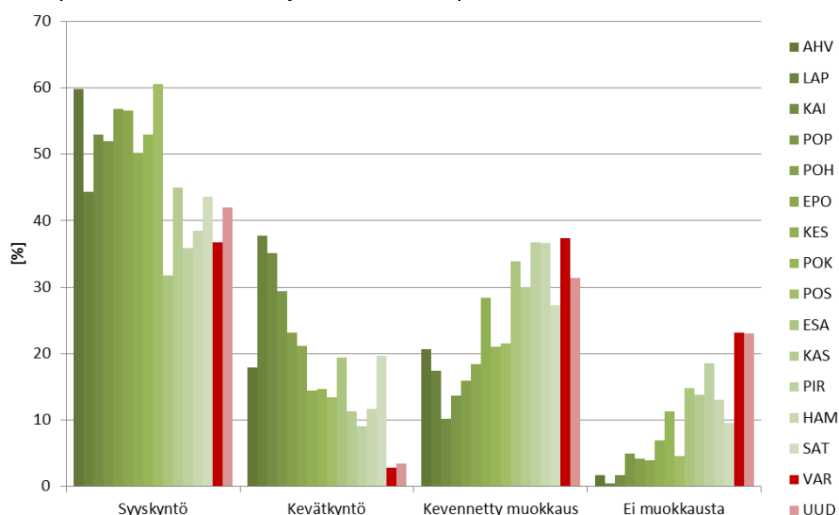
Kuva 12. Orgaanisen hiilen (TOC) kuorma tonneina vuodessa ja skaalattuna valumaa-alueen neliökilometriä kohden.



Kuva 13. Maankäytön vaikutus valuma-alueiden hiilen kuormaan. (7.3.5)

Laskelmien mukaan maatalouden osuus kuormituksesta oli pieni eli $< 30\%$ (Kuva 13). **TOC-kuormitus tuli pääasiassa metsistä, ja erityisesti turvemetsistä.** Turvemaiden osuus on suuri Lapväärtinjoesta pohjoiseen. Turvemaiden ominaiskuormitus oli suurin, ja peltojen ominaiskuormitus oli pienin (Kuva 13). **Sekä maatalouden että turvemetsien ominaiskuormitusluku on kasvanut 2000–2018 jakson aikana.**

Veden TOC-pitoisuutta nostivat yhteisvoimin vuoden keskilämpötila ja turvepeltojen osuus. Samaten vuoden keskilämpötila ja metsäojitusten osuus nostivat yhdessä jokivesien TOC-pitoisuutta. Pohjanmaalla turvepeltojen osuuden lisääntyminen nosti selvästi jokivesien TOC-pitoisuuksia vain silloin, kun nurmen osuus peltoalasta oli alle 45% .



Kuva 14. Muokkausmenetelmien osuudet ELY-keskuksittain. (7.3.8)

‘Ei muokkausta’ on ollut suosittu toimenpide erityisesti Varsinais-Suomen ja Uudenmaan ELY-keskusten alueella (Kuva 14). Tilastollisessa analyysissä tämä toimenpide yhdistyi jokivesien pienentyneeseen TOC pitoisuuteen. **Eroosioherkillä alueilla muokkaamattomuus vähentää kiintoaineksen kulkeutumista vesistöihin.**

Työpaketissa 5 (TP5) ” Suositellut maaperän hoitotoimenpiteet sadon ja tuottavuuden parantamiseksi ja niistä aiheutuvat kustannukset keskityttiin lopulta maaperän hoitotoimenpiteistä vain sadon ja kasvinjätteen määrään vaikuttavaan typpilannoitukseen ja tyypeä sekä orgaanista ainesta maahan tuottavaan karjanlannan käyttöön. Suunnitelmissa ollut muokkausmenetelmien vertailu ei tuottanut COUP-simulointimallissa käytännössä mitään eroja lopputuloksissa, joten sen käytöstä taloustarkastelussa jouduttiin luopumaan. Orgaanisen maan mallintaminen ei myöskään toiminut suunnitellulla tavalla, ja orgaanisen maan tarkastelu jouduttiin jättämään pois.

Mallinnettujen tulosten taloudellinen tulos arvioitiin ottamalla huomioon sadontuoton lisäksi joko huuhtoutumisen (Malli 2) tai kasvihuonekaasupäästöjen (Malli 3) yhteiskunnallinen arvo tai molempien hävikkien (Malli 4) vaikutus tulokseen yhteiskunnan kannalta. Maatalouden toimille optimoitiin typpilannoituksen määrä ja lannan osuus typpilannoituksesta.

Taulukossa 3 on esitetty erilaisten tavoitteiden huomioon ottamisen vaikutukset yhteiskunnan sosiaaliseen tappioon tai viljelijän kuluihin. **Yhteiskunnan kannalta tavoitteena oleva typen huuhtoutumisen ja kasvihuonekaasupäästöjen minimointi (Malli 4) pitäen samalla ruoantuotannon riittävällä tasolla aiheutti viljelijöille taloudelliset tappiot, joiden nykyarvo 150 vuoden ajanjaksolta oli 716 €/ha savimailla ja 2270 €/ha hietamailla. Vastaavasti yhteiskunnalliset taloudelliset tappiot huuhtoutumien ja kasvihuonekaasupäästöjen huomioitta jättämisestä (Malli 1) olivat nykyarvoltaan 2062 €/ha savimailla ja 7220 €/ha hietamailla.** Hietamailla kasvihuonekaasupäästöjen minimointi lisäsi viljelijän kustannuksia, koska hietamaa varastoi heikommin hiiltä kuin savimaa. Savimailla karjanlannan hiili säilyi mallinnuksessa paremmin maassa kuin hietamailla, joten savimailla karjanlantaa oli mahdollista käyttää suhteessa enemmän savi- kuin hietamailla. **Taloudellisessa mallinnuksessa vesistökuormituksen torjuminen (Malli 2) oli yhteiskunnan kannalta selvästi tuottavampaa kuin kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen (Malli 3).** Vastaavasti yksityisen tuottajan kannalta edullisempaa olisi huomioida päätöksenteossa kasvihuonekaasupäästöt kuin vesistökuormitus. **Tulokset olivat kuitenkin herkkiä erityisesti hiilen yhteiskunnallisen hinnan ja diskonttokoron vaihtelulle.**

Taulukko 3. Typpilannoituksen, lannan käytön, maan hiili- ja typpivarastojen (0-150 cm) ja hävikkien, hiiliekvivalenttien haihtumisen ja satojen vuosittaiset keskiarvot neljässä mallitarkastelussa savi- ja hietamaalla. Talouden arvioinnissa on esitetty sosiaalinen hyvinvointitappio (social deadweight loss) ja viljelijän yksityinen kustannus 150 vuoden jakson ajalta.

Malli/ maaperä	Sos. tappio (€ ha ⁻¹)	Viljelijän kulu (€ ha ⁻¹)	N- lannoitus (kg ha ⁻¹ a ⁻¹)	Lannan käyttö (kok-N kg ha ⁻¹ a ⁻¹)	Maan typpi- varat (kg ha ⁻¹ a ⁻¹)	Maan hiili- varat (kg ha ⁻¹ a ⁻¹)	Typen hävikki (kg ha ⁻¹ a ⁻¹)	Hiilen hävikki (kg ha ⁻¹ a ⁻¹)	Haihtu- minen (C-eq kg ha ⁻¹ a ⁻¹)	Sato (kg ha ⁻¹ a ⁻¹)
Savi										
Malli 1	-2062 (15%)	0	54	106	1.68e+04	1.76e+05	31.9	88.5	588	4110
Malli 2	-10 (0.07%)	-803 (3.2%)	52	31	1.43e+04	1.54e+05	20.5	80.5	364	3580
Malli 3	-1076 (8%)	-63 (0.25%)	64	82	1.60e+04	1.69e+05	28.4	85.3	397	4050
Malli 4	0	-716 (2.9%)	56	33	1.44e+04	1.55e+05	20.9	80.6	345	3630
Hieta										
Malli 1	-7220 (358%)	0	112	83	1.53e+04	1.65e+05	77.8	127	3600	4250
Malli 2	-71 (3.5%)	-1990 (8.2%)	49	21	1.37e+04	1.45e+05	45.7	120	915	3230
Malli 3	-1760 (87%)	-609 (2.5%)	96	26	1.36e+04	1.48e+05	58.7	118	1435	3780
Malli 4	0	-2270 (9.3%)	49	16	1.35e+04	1.43e+05	44.5	120	773	3050

3.3 Toteutusvaiheen arviointi

Kokeellisen osan näytteenotossa kerättiin suunnitellun kokoinen aineisto, mutta luonnollisesti aineisto on edelleen suppea otos kasvintuotannossa olevien peltolohkojen ominaisuuksista. Samanlaista näytteidenkeruun menetelmää sovellettiin vuonna 2018 ”Typpitaselaskuri”-hankkeessa, joten aineistoa on mahdollista täydentää meneillään olevissa ja uusissa hankkeissa. Kasvukausien edustavuudeltaan 2016 oli melko tavanomainen vuosi, mutta 2017 oli viileä ja sateinen kasvukausi. Pieniltä ruuduilta tehty näytteenotto toisaalta ohittaa käytännön viljelyn sadonkorjuuseen liittyviä ongelmia, jolloin sateisen vuoden satotasot voivat vastata melko hyvän kasvukauden satotasoja. Syksyllä 2017 kasvuston kehitys myös jatkui myöhään, joten peltolohkojen sadot pystyttiin korjaamaan tuleentuneina. Koelohkojen ominaisuuksien tilastollinen analyysi oli haastavaa, koska tarkasteltavia ominaisuuksia oli runsaasti suhteessa havaintoihin. Ominaisuuksien suhteen voidaankin tulevissa hankkeissa (mm. Typpitaselaskuri) tehdä vielä lisää tarkasteluja varsinkin, jos aineiston kokoa voidaan lisätä tulevina vuosina. Kirjallisuuskatsauksen ongelmana oli runsauden pula, sillä orgaanisen aineksen merkityksen ja määrän lisäämisen osalta julkaistaan kuukausittain kymmeniä artikkeleja. Ajan tasalla pysyminen sekä merkittävien julkaisujen havaitseminen on tässä aihepiirissä tällä hetkellä haastavaa. Jokivesiaineistojen analysointi sujui käytössä olevilla menetelmillä varsin sujuvasti. Aineistojen tarkkuudessa on omat rajoitteensa aikaan ja paikkaan liittyen, mutta kun rajoitteet tiedostetaan, tehtyjen mallitarkastelujen tulokset ovat ilmiötä hyvin kuvaavia ja luotettavia.

Yhteiskunnallinen ja taloudellinen tarkastelu oli haastavaa COUP-simulointimallin monimutkaisuudesta johtuen. Taloustutkijat tarttuivat rohkeasti ekologiseen mallintamiseen typen ja hiilen kierron osalta, ja vaikka uudelleen simulointeja jouduttiin tekemään havaittujen ongelmien vuoksi, työ saatiin kuitenkin mallin ja aikaisempien testausaineistojen sallimassa puitteissa tehdyksi. Taloudellisen optimointimallin rakentaminen oli vähintäänkin yhtä työläs vaihe kuin ekologinen mallintaminen. Mallintamisen ja aikataulujen paineista johtuen vuoropuhelu muiden työpakettien kanssa jäi suunniteltua vähäisemmäksi. Kuitenkin keskittyminen osin olosuhteiden pakosta typpilannoituksen sadontuottovaikutukseen ja karjanlannan rooliin sekä sadontuotossa että maan hiili – ja typpivaraston ylläpitäjänä vaikuttaa tyydyttävältä ratkaisulta.

3.4 Julkaisut

Tieteelliset julkaisut:

Soinne et al. 2020. Soil organic carbon and clay content as deciding factors for net nitrogen mineralization and cereal yields in boreal mineral soils. (Manuscript)

Salo et al. 2020. Cereal yields in relation to soil properties and management practices (Manuscript)

Sihvonen et al. 2020. Crop production, water pollution or climate mitigation – which drives fertilization management most? (Manuscript)

Cano Bernal et al. 2020. Influence of global (land use, atmospheric deposition and climate) changes in increased TOC concentrations in Finnish rivers. (Käsikirjoitus)

Raportit:

Orgaaninen aines maaperän tuottokyvyn kulmakivenä -ORANKI-hankkeen loppuraportti, Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus X/2020

Ammattilehtijulkaisut:

Hiilellä lisää satoa. Käytännön maamies. 10/2019.

Seminaarit ja muut tilaisuudet:

Esitys Carbon Action-hankkeen verkkoluennolla 10.12.2019. Tapio Salo.

Esitys ProAgrian Kasvintuotannon ajankohtaispäivät. 20.11.2019. Helsinki. Maan orgaanisen aineksen vaikutus sadontuottoon, ORANKI. Tapio Salo

Esitys peltopäivässä Västankvarnissa 27.9.2019. Maan orgaanisen aineksen vaikutus pellon sadontuottoon. Tapio Salo.

https://www.opal.fi/wp-content/uploads/sites/3/2019/09/Salo_Inkoo_20190927.pdf

Esitys. Soinne ym. 2019. Soil organic matter and productivity of boreal clay soils. Understanding Soil Functions. Wageningen Soil Conference 27-30.8.2019.

https://wageningensoilconference.eu/2019/wp-content/uploads/2019/08/WSC2019_Book_of_Abstracts.pdf

Poster. Keskinen ym. 2019. Characteristics of high and low productive mineral soils in Finland. Understanding Soil Functions. Wageningen Soil Conference 27-30.8.2019.

https://wageningensoilconference.eu/2019/wp-content/uploads/2019/08/WSC2019_Book_of_Abstracts.pdf

Oranki-hankkeen loppuseminaari: Peltomaan orgaaninen aines – mitä, missä, milloin? Säätöalo, 25.3.2019.

<https://www.ilmase.fi/site/kutsu-peltomaan-orgaaninen-aines-mita-missa-milloin-seminaariinwebinaariin-25-3-2019/>

ILMASE-hankkeen työpaja: Miten maan kasvukunto auttaa viljelijää selviämään erilaisissa sääoloissa? 4.3.2018 Kokemäki.

Maan eloperäinen aines – miten se auttaa pellon kasvukunnon ylläpitämisessä?, Helena Soinne.

Hankkeen esittely MATO-seminaarissa 'Mato koudessa, saalis haavissa: Tutkimustulosten hyödyntäminen' 13.3.2019. Tapio Salo.

Peltojen hiilensidonta-keskustelu. Maa- ja metsätalousvaliokunta 10.10.2018. Peltomaan eloperäisen aineksen merkitys pellon kasvukunnolle ja vesistöjen ravinkeuormitukselle. Helena Soinne.

https://www.ilmase.fi/site/wp-content/uploads/2018/10/Soinne_EDK-2018-AK-211982.pdf

Hankkeen esittely MATO-vuosiseminaarissa 7.2.2018. Tapio Salo

Osallistuminen MATO-ohjelman työpajaan 28.9.2017. Tapio Salo

Hankkeen esittely Maaperätieteen päivillä 2017. Oranki – Hanke orgaanisen aineksen merkityksestä maaperän tuottokyvylle. Riikka Keskinen ym. Maaperä kiertotalouden perustana. IX Maaperätieteiden päivien abstraktit. s. 76.

http://www.maapera.fi/sites/maapera.fi/files/Pro_Terra_71_2017.pdf

4. Tulosten arviointi

4.1 Tulosten käytännön sovellutuskelpoisuus

Tulokset orgaanisen aineksen vaikutuksesta maan rakenteeseen, typpilannoitustarpeeseen ja satotasoon tuottavat käytäntöön tietoa orgaanisen aineksen määrän muutoksen vaikutuksista. Vaikutusten suuruuden määrittäminen antaa mahdollisuuden arvioida lohkolle tehtävien toimenpiteiden kustannushyötyjä. Hiilen vesistökuormitukseen vaikuttavista tuloksista havaitaan edelleen tarve tukea sekä turvemaiden muokkaamisen vähentämistä että eroosiota torjuvia viljelytoimenpiteitä. Talous- ja yhteiskunnallinen tarkastelu määrittelee erilaisten tavoitteiden vaikutuksia sekä maataloussektorin että yhteiskunnan kannalta. Hiilen säilyttämistä maaperässä lisäävät typpilannoitus ja karjanlannan käyttö joutuvat tarkasteluun myös typen hävikkien pitämiseksi mahdollisimman pienenä.

Tuloksia on mahdollista hyödyntää viranomaisten tekemässä ohjauskeinojen suunnittelussa. Maataloustuottajat saavat tuloksista tietoa orgaanisen aineksen määrän ja lisäyksen merkityksestä erilaisilla maalajeilla ja lisäyksen kustannusten korvautumisesta sadontuotannossa.

4.2 Tulosten tieteellinen merkitys

Tulokset orgaanisen aineksen vaikutuksesta maan rakenteeseen, typpilannoitustarpeeseen ja satotasoon tuottavat tieteellisesti mielenkiintoisen aineiston, jossa useita maaperän ominaisuuksia voidaan verrata toisiinsa ja sadonmuodostukseen. Aineisto muodostaa myös taustan, johon voidaan kerätä muista hankkeista vastaavia tuloksia. Orgaanisen aineksen ja saves/hiili- suhteen vaikutukset kevätiljojen satotasoon ovat ensimmäiset Suomessa tähän saakka esitetyt arviot, joista luultavasti jatkossa kerätään lisää havaintoja.

Hiilen vesistökuormitukseen vaikuttavista tuloksista saadaan arviot maankäytön ja muuttuneiden ympäristötekijöiden vaikutuksesta hiilen kokonaiskuormitukseen ja ominaiskuormitukseen eri maankäyttölajeja kohden. Talous- ja yhteiskunnallinen tarkastelu määrittelee ensimmäistä kertaa erilaisten tavoitteiden yhteiskunnallisen hyödyn/kustannuksen sekä maataloussektorin että yhteiskunnan kannalta. Taloudellisen mallin laskennassa artikkelissa kuvattu herkkyyštarkastelu kuvaa erilaisten toimenpiteiden ja hävikkien arvottamisen vaikutuksen laskennan luotettavuuteen.

Jatkotutkimustarpeiden osalta aineiston laajentaminen tutkittujen maaperän ominaisuuksien vaikutuksesta satotasoon olisi tarpeellista tulevissa hankkeissa. Suurempi aineisto antaisi mahdollisuuden luotettavampaan orgaanisen aineksen vaikutuksen tarkasteluun. Taloudellisessa ja yhteiskunnallisessa tarkastelussa yritettiin mallintaa myös orgaanisten maiden käyttäytyminen, mutta orgaanisten maiden parametrisoinnin vaikeudet Coup-mallissa pysäyttivät etenemistavan. Orgaanisten maiden ekologiseen mallinnukseen pitäisi kerätä saatavilla olevat aineistot, jotta hiilen ja typen kierto pystytään mallintamaan luotettavasti myös multa- ja turvemaidella.

5. Tiivistelmä ja toimintasuositukset ("policy brief")

Tiivistelmä ja toimintasuositukset ovat omina liitteinään.