



RAPORTTEJA 200

VOIKO MAAN KASVUKUNTOA KEHITTÄÄ? KOKEMUKSIA 8 KOELOHKOLTA NELJÄLTÄ VUODELTA

TUOMAS J. MATTILA JA JUKKA RAJALA



Pintamaan maalaji a)		HeS	HeS	HeS
Multavuus a)		rm	rm	rm
Johtoluku	10xmS/cm	1,5	2,1	1,8
Happamuus	pH	■ 6,7	■ 6,7	■ 6,8
Kalsium (Ca) a)	mg/l	■ 3300	■ 3800	■ 3600
Fosfori (P) a)	mg/l	□ 9,3	○ 5,9	□ 8,9
Kallium (K) a)	mg/l	○ 190	□ 220	□ 210
Magnesium (Mg) a)	mg/l	■ 420	■ 850	■ 750
Rikki (S) a)	mg/l	■ 16,4	■ 49,8	■ 38,5
Boori (B) a)	mg/l	□ 1,0	□ 1,2	■ 1,8
Kupari (Cu) a)	mg/l	■ 5,8	■ 6,9	■ 6,8
Mangaani (Mn) a)		○ 24	□ 26	○ 17
Sinkki (Zn) a)	mg/l	□ 2,3	□ 2,0	□ 2,2
KVK, kationin vaihtokapasiteet	cmol+/kgka	23	29	27

VOIKO MAAN KASVUKUNTOA KEHITTÄÄ?

KOKEMUKSIA 8 KOELOHKOLTA NELJÄLTÄ VUODELTA

TUOMAS J. MATTILA JA JUKKA RAJALA



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin



Elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus



2019

OSMO - Osaamista ja työkaluja resurssitehokkaaseen maan kasvukunnon hoitoon yhteistyöllä -hanketta rahoittavat Varsinais-Suomen ELY-keskus / Manner-Suomen maaseudun kehittämissuunnitelma 2014–2020 / Vesienpuhdistuksen ja ravinteiden kierrätyksen erillisrahoitus, yritykset, viljelijät ja säätiöt.

Julkaisija	Helsingin yliopisto Ruralia-instituutti www.helsinki.fi/fi/ruralia-instituutti	
	Kampusranta 9 C 60320 SEINÄJOKI	Lönnrotinkatu 7 50100 MIKKELI
Sarja	Raportteja 200	
Kansikuva	Jukka Rajala	
ISBN	978-951-51-3784-5 (pdf)	
ISSN	1796-0630 (pdf)	

ESIPUHE

Maatalouden tärkeimmät resurssit ovat viljelijän osaaminen ja peltomaan kasvukunto. Maan kasvukunto vaikuttaa ratkaisevasti saavutettuihin satotasoihin ja edelleen käytettävien tuotantopanosten hyötysuhteisiin, viljelyn kannattavuuteen ja ympäristövaikutuksiin. Peltomaa on monimutkainen järjestelmä, jonka kokonaisvaltainen hallinta vaatii uudenlaista osaamista sekä uusia työkaluja ja käytäntöjä. Viljelijöitä askarruttaa monen lohkon kohdalla, miksi tällä lohkoilla sato jää huomattavasti pienemmäksi kuin muilla lohkoilla. Maan kasvukunto on monipuolinen ja vaikeasti mitattava kokonaisuus, joka kattaa biologisia, kemiallisia ja fysikaalisia osatekijöitä.

Nyt julkaistava raportti ”*Voiko maan kasvukuntoa kehittää? Kokemuksia 8 koelohkolta neljältä vuodelta*” on tuotettu osana OSMO - Osaamista ja työkaluja resurssitehokkaaseen maan kasvukunnon hoitoon yhteistyöllä-hanketta.

Tässä raportissa tarkastellaan maan kasvukunnon hoitoa 8 tilakokeen tulosten perusteella. Koelohkot valittiin edustamaan erilaisia kasvukunnon ongelmia. Tutkimuksen alkuvaiheessa niitä verrattiin hyväkasvuisiin verrokkilohkoihin tilalla ja pyrittiin tunnistamaan, miten heikkokasvuiset lohkot poikkeavat hyväkasvuisista. Tämän jälkeen lohkoille tehtiin vuosittainen kasvukunnon hoitosuunnitelma, jonka avulla niiden kuntoa kehitettiin vuosien 2016-2018 välillä. Tässä raportissa kuvataan lohkoilla aikaansaadut muutokset lähtötilanteen ja lopputilan välillä. Raportin tarkoituksena on koota yhteen hankkeen aikana saadut tulokset ja selvittää voiko maan kasvukuntoa kehittää ja mitä kehittäminen vaatii.

Toivomme *Voiko maan kasvukuntoa kehittää? Kokemuksia 8 koelohkolta neljältä vuodelta* -raportin palvelevan suomalaisia viljelijöitä maan kasvukunnon parantamisessa.

OSMO - Osaamista ja työkaluja resurssitehokkaaseen maan kasvukunnon hoitoon yhteistyöllä-hanketta toteuttavat Helsingin yliopiston Ruralia-instituutti, ProAgria Etelä-Pohjanmaa ja ProAgria Länsi-Suomi.

Hanketta rahoittivat Varsinais-Suomen ELY-keskus Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelmasta 2014-2020 Vesiensuojelun ja ravinteiden kierrätyksen erillisrahoituksella, Eurofins Viljavuuspalvelu Oy, Soilfood Oy, Tyynelän Maanparannus Oy, Ecolan Oy, viljelijät sekä Luomusäätiö ja Rikalan Säätiö. Kiitämme rahoittajia tämän työn mahdollistamisesta.

Kiitämme OSMO-tilakokeen viljelijöitä koelohkojen antamisesta tutkimuksen käyttöön ja koelohkojen viljelytöiden suorittamisesta ja tutkimustulosten saamisesta. Raportin taitosta ja ulkoasusta kiitämme graafinen suunnittelija Jaana Huhtalaa.

Mikkelissä joulukuussa 2019

Tekijät

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	7
ABSTRACT	8
SAMMANFATTNING	9
1 JOHDANTO	11
2 TILAKOKEIDEN LOHKOKOHTAISET TULOKSET	13
2.1 He: Peltokortteen valtaama savimaa	13
2.2 Hy: Tiivistynyt, märkä savimaa	14
2.3 Ju: Tiivistynyt ja epätasainen savimaa	16
2.4 Kä: Hapan ja ravinneköyhä uudismaa	17
2.5 Lu: Vähämultainen ja tiivis hietamaa	18
2.6 Ha: Vettä läpäisemätön multamaa	19
2.7 Pa: Syvätiivistynyt perunapello	21
2.8 Sa: Märkä ja heikkorakenteinen hietainen hiesu	23
3 TULOSTEN TARKASTELUA	25
3.1 Useita kasvukuntotekijöitä saatiin korjattua	25
3.2 Ongelmien korjausyritykset voivat heikentää murukestävyyttä	27
3.3 Kuinka hyvin kasvukuntoa voidaan seurata yksittäisellä mittarilla?	28
4 KANNATTAAKO PELLON KORJAAMINEN? KOETILAVILJELIJÖIDEN NÄKEMYKSIÄ	31
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	32
6 KIRJALLISUUS	33

TIIVISTELMÄ

Peltojen välillä on selviä eroja niiden tuottavuudessa ja kestävyudessa sään ääri-ilmiöitä vastaan. Osalta pelloista saadaan samoilla tuotantopanoksilla selvästi parempi sato kuin toisilta. Toisaalta samat ”hyvät pellot” ovat yleensä satovarmoja myös ääressä sääolosuhteissa. Peltojen tuottavuuden ja satovarmuuden kehittäminen on tärkeää muuttuvissa ilmasto-olosuhteissa, mutta syyt tuottavuuserojen taustalla ovat edelleen epäselviä.

Maan kasvukunto (*soil health*) on uusi tapa tarkastella pellon tuottavuutta aiempaa kokonaisvaltaisemmin. Siinä peltolohkoa tarkastellaan ekosysteeminä, jossa vuorovaikuttavat biologiset, kemialliset ja fyysiset tekijät. Hyvä ekosysteemin toiminta näkyy vesitaloutena, ravinnekiertona, yhteyksenä ja tautien säätelynä. OSMO-hankkeessa (2015–2019) testattiin, miten maan kasvukunnon lähestymistapa toimisi ongelmalohkojen kehittämisessä nelivuotisen peltokokeen kautta. Tutkimuskohteena oli kahdeksan koelohkoa Varsinais-Suomessa, Satakunnassa ja Etelä-Pohjanmaalla. Lohkoiksi valittiin ”ongelmalohkoja”, jotka olivat jostain tuntemattomasta syystä heikkotuottoisia. Lohkot jaettiin lohkopareiksi (käsittely, verrokki), lisäksi lohkoille etsittiin tilalta hyväkasvuinen verrokki. OSMO-hankkeessa pyrittiin kehittämään ongelmalohkojen tuottavuutta viljelijöiden, neuvonnan ja tutkimuksen yhteistyönä.

Tutkimus aloitettiin 2015-2016 laajalla alkukartoituksella, jossa yhdistettiin laboratorio-, havainto- ja kaukokartoitusmenetelmiä (62 kemiallista, 7 fyysikaalista ja 13 biologista muuttujaa). Sen avulla pyrittiin tunnistamaan lohkon kasvukunnon ongelmat. Tulosten perusteella lohkot olivat ”moniongelmaisia”. Kasvukunnon ongelmat ilmenivät heikkona kuivatuksena, rakenteena, ravinnepuutteina ja

lierojen vähäisyytenä. Ongelmien syiden analyysin jälkeen kullekin lohkolle laadittiin hoitosuunnitelma, jonka vaikutuksia seurattiin vuosittain maaja kasvianalyysin sekä havaintomenetelmin (38 seurantamuuttujaa). Vuonna 2018 laaja kartoitus toistettiin ja tulosten perusteella arvioitiin lohkojen kasvukunnon tilan muutoksia.

Tässä raportissa esitetään yhteenveto tutkimuksen pääkysymykseen ”voiko maan kasvukuntoa kehittää?” Tulosten perusteella kasvukunnon kehittäminen on mahdollista ja melko yksinkertaista useissa tapauksissa, mutta kaikkien kasvukunto-ongelmien korjaaminen ei ole välttämättä edes mahdollista. Yksinkertaisesti korjattavia kasvukunto-ongelmia ovat esimerkiksi salaojituksen toimintahäiriöiden korjaaminen, boorin tai fosforin alhaisten pitoisuuksien nosto lannoituksella tai maan rakenteen kunnostus nurmikasvien ja syväkuohkeutuksen yhdistelmällä. Toisaalta hyvin monimutkaisesti ratkottavia ongelmia ovat mangaanin saatavuuden parantaminen, hietamaiden kaliumpitoisuuksien nosto ja vähämultaisten hietamaiden ongelmien korjaaminen ilman multa-
vuuden nostoa. Tulokset tukevat lohko-kohtaista lähestymistapaa, jossa kasvukunnon kehittäminen pohjautuu yksittäisten lohkojen kasvukunnon tilan tarkasteluun ja lohkolle räätälöityyn kasvukunnon hoitosuunnitelmaan.

Raportin tavoitteena on herättää keskustelua peltojen tuottavuuden kehittämisestä ja tarjota keskustelun pohjaksi laaja tutkimusaineisto ongelmalohkojen tilasta ja kehityksestä eri hoitotoimien seurauksena.

Asiasanat: viljavuus, maaperäeliöt, tiivistyminen, kasvulosuhteet

ABSTRACT

IS IT POSSIBLE TO IMPROVE SOIL HEALTH? EXPERIENCES FROM EIGHT FARM TEST FIELDS OVER FOUR YEARS

Agricultural fields have clear differences in productivity and resilience towards extreme weather events. “Good fields” produce better yields than other fields even with the same level of inputs. On the other hand, the same “good fields” are usually productive in rainy and dry years. Developing field resilience is important in changing climate conditions, but the reasons behind the differences and the methods of developing productivity are still unclear.

Soil health is a novel approach for describing field productivity. In that approach a field is thought as an ecosystem with interacting biological, chemical and physical factors, which contribute to water balance, primary productivity, nutrient cycling and disease suppression. The OSMO project tested how the approach of soil health would work in improving the productivity of “problem fields”. The test was arranged as a four year field plot study focusing on 8 test fields in different parts of Finland. The test plots were chosen as they had low productivity, but the reason for the low productivity was unclear for farmers and advisors. The test fields were compared to an adjacent well growing field and also a part of the test field was left as an untreated control for the duration of the study. The test fields were subjected to soil health management practices based on annual planning.

At the beginning of the study (2015-2016), the condition of the fields was mapped through a combination of soil laboratory analyses, field observations and remote sensing (62 chemical, 7 physical and 13 biological variables). Based on the survey the fields had multiple problems, which were shown as poor drainage, poor structure, nutrient deficiencies

and low numbers of earthworms. After identifying the causes of the problems, a soil management plan was designed for each field and the improvement in soil conditions was monitored through soil- and plant testing and field observations (38 monitoring variables). In the year 2018 the extensive beginning survey was repeated in order to check the changes in soil condition.

Various aspects of managing for soil health have been presented in previous reports. This report presents a conclusion to the main question of the study: “can soil health be improved?” Based on the results improving soil health is relatively easy in many cases, but all soil health problems may not be fixable. Examples of simple soil health solutions would be repairing failed drainage systems, fertilizing low boron or phosphorus levels or improving soil structure through grass crops and subsoiling. Examples of hard soil problems are increasing manganese availability, increasing potassium levels in sandy soils and improving low organic-matter sands without the possibility of increasing organic matter levels. The results support a field-by-field approach, where soil health development is based on a plan which is based on the individual properties of the field.

The aim of the report is to provide examples on improving soil productivity and offer case studies on the influence of management to soil health. The report is published along with the dataset available at: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.3589102>

Keywords: soil fertility, soil organisms, compaction, crop productivity, agricultural management

SAMMANFATTNING

ÄR DET MÖJLIGT ATT FÖRBÄTTRA JORDHÄLSAN? ERFARENHETER FRÅN 8 FÖRSÖKSFÄLT UNDER FYRA ÅR

Det finns klara skillnader mellan olika fält och deras produktivitet och förmåga att tåla olika extrema väderförhållanden. Av en del fält får man mera skörd än andra med samma produktionsinsatser. Samtidigt de samma ”goda” fälten ger oftast bättre skörd i varierande väderförhållanden. Utvecklandet av fältens produktivitet och skördesäkerhet är viktigt i förändrande klimatförhållanden, men orsakerna för skillnaderna i produktiviteten är dock oklara.

Jordhälsa (Soil health) är ett nytt sätt att undersöka fältets produktivitet på ett mera omfattande sätt. På detta sätt ser man på fältet som ett ekosystem, där det sker en korrelation mellan biologiska, kemiska och fysikaliska faktorer. Ett bra ekosystem syns som ett fungerande dränering, näringskretslopp, växternas assimilation och begränsade växtsjukdomar. Under OSMO-projektet (2015-2019) testades, hur problemfälten utvecklades under de fyra åren då man närmade sig problemen med jordhälsa som synvinkel. Forskningsobjekten bestod av åtta försöksfält i Egentliga Finland, Satakunta och Södra Österbotten. För forskning valdes ”problemfält”, som för någon okänd orsak hade låg produktivitet. Fältet delades i två olika skift (behandlad och obehandlad), dessutom valdes från gården ett välväxande fält som jämfördes med dessa. Under OSMO-projektet strävade man att utveckla dessa problemfälts produktivitet i samarbete med jordbrukare, rådgivning och forskning.

Forskningen börjades 2015-2016 med en bred kartering, där med hjälp av laboratorium-, observation- och fjärranalysmetoder (62 kemiska, 7 fysikaliska och 13 biologiska variabler) identifierades fältens problem med jordhälsa. Resultaten visade att fältens problem var mångfacetterade. Problem med jordhälsa framkom som dålig torrläggning,

jordstruktur, brister i näringsämnen och endast små mängder av maskar. Efter att man analyserat orsakerna för problemen, gjordes en plan för skötsel av jordhälsa, vars effekt följdes upp årligen med jord- och växtanalyser samt observationsmetoder (38 olika variabler). År 2018 gjordes en bred kartering på nytt och baserat på resultaten värderades förändringen i fältens jordhälsa.

I denna rapport presenteras en sammanfattning av forskningens huvudfråga ”kan man förbättra jordhälsan?” På basen av resultaten går det att förbättra jordhälsan och ganska enkelt i de flesta fall, men det finns situationer där det möjligtvis inte går att förbättra jordhälsan. Saker som är enkla att förbättra i jordhälsan är t.ex. reparera fel i dräneringssystemet, höja låga koncentrationer av bor och fosfor med gödsel eller förbättra dålig markstruktur med en kombination av vall och djupluckring. Mer komplicerade problem att lösa är hur man förbättrar tillgängligheten av mangan, hur man höjer koncentrationen av kalium i mojordar och hur man löser problem i mojordar med låg mullhalt utan att höja mullhalten. Resultaten stöder en fältspecifik inriktning, där utvecklingen av jordhälsan grundar sig på en analys av det specifika fältets tillstånd och en skräddarsydd plan för skötsel av jordhälsa som är specifikt gjort för fältet.

Meningen med rapporten är att väcka diskussion om utvecklingen av fältens produktivitet och erbjuda ett brett forskningsmaterial om problemfältens utgångspunkt och utveckling med olika skötselmetoder som en grund för diskussion.

Nyckelord: jordens bördighet, organismer i jorden, packning, växtförhållanden

1 JOHDANTO

Maan kasvukunnolla tarkoitetaan maaperän toiminnallista laatua (Weil ja Brady 2016). Sadontuotokyvyn lisäksi hyväkuntoinen maaperä kykenee varastoimaan vettä, hiiltä ja ravinteita sekä ylläpitämään monipuolista eliöyhteisöä. Kasvukunto on seurausta maaperäeliöiden toiminnasta (Kibblewhite, Ritz, ja Swift 2008) ja sitä voidaan seurata erilisillä indikaattoreilla (Lal 2016) tai erilaisilla yhdistelmäindikaattoreilla (de Paul Obade ja Lal 2016). Maan kasvukunto on myös herkkä erilaisille muutoksille viljelytoimissa, joten kasvukuntoa voidaan kehittää viljelykäytäntöjä muuttamalla (Williams, Colombi, ja Keller 2020).

Maan kasvukunto voi olla monella tapaa heikentynyt (”rikki”). Kasvukunnon osatekijöinä tarkastellaan usein maan fysikaalista, kemiallista ja biologista laatua (”viljavuutta”) (Lal 2016). Suuret poikkeamat tavoitetasoista ravinteissa, maan tiheydessä tai biologisessa toiminnassa heikentävät pellon satoisuutta ja maaperän toimintaa. OSMO-hankkeessa tutkittiin peltojen kasvukunnon ongelmia 8 koelohkolla syksystä 2015 syksyyn 2018. Hankkeeseen osallistuneet viljelijät valitsivat ongelmalohkon ja tälle hyväkasvuisen verrokin. Ongelmalohko jaettiin lisäksi kahtia koesuunnittelua varten, joten tarkastelussa oli yhteensä 24 koelohkoa. Tavoitteena oli tunnistaa kasvukuntoa heikentäviä tekijöitä ja korjata havaittuja kasvukunto-ongelmia

viljelytekniikkaa muuttamalla. Lohkoilta havaittiin hyvin erilaisia ongelmia liittyen esimerkiksi kuivatukseen, rakenteeseen, ravinnepuutteisiin ja alhaiseen murukestävyyteen (Mattila ja Rajala 2017). Ongelmaryppäiden perusteella kullekin lohkolle räätälöitiin lohkoittainen hoitosuunnitelma (Mattila ym. 2018), jonka onnistumista seurattiin vuosittain maaperä- ja kasvustoanalyysien sekä aistinvaraisin havainnointikeinoin (Mattila, Rajala, ja Mynttinen 2019). Lohkoilla testattiin erilaisia kasvukunnon hoitotoimenpiteitä ja useimmilla lohkoilla testattiin useita menetelmiä samanaikaisesti (Taulukko 1).

Tässä raportissa esitetään yhteenveto lohkoilla tehdyistä toimenpiteistä ja niiden vaikutuksista. Useampivuotinen seuranta mahdollisti tulosten pitkäaikaisuuden varmistamisen. Tulokset esitetään ensin koelohko kerrallaan, minkä jälkeen tarkastellaan yleisemmin tuloksia ja niiden yleistettävyyttä. Aiemmista raporteista poiketen, koko aineistoa ei julkaista raportin yhteydessä vaan tulostiedostot julkaistaan erikseen CERN tutkimuslaitoksen Zenodo-datapalvelimella, jossa ne säilyvät käytettävissä hankkeen päättymisen jälkeen: osoite <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.3589102>. Raportissa esitetään myös hankkeeseen osallistuneiden viljelijöiden näkemyksiä siitä, kannattaako kasvukunnon korjaaminen.

12 VOIKO MAAN KASVUKUNTOA KEHITTÄÄ? KOKEMUKSIA 8 KOELOHKOLTA NELJÄLTÄ VUODELTA
TUOMAS J. MATTILA JA JUKKA RAJALA

Taulukko 1. OSMO koelohkoilla tehdyt toimenpiteet ja niiden oletetut vaikutukset (Mattila ym. 2018).

Table 1. The soil health management actions on OSMO research plots and their supposed influences (Mattila et al. 2018)

Tabell 1. De behandlingarna gjorda på OSMO försöksfälten och deras förväntade inverkan (Mattila mm. 2018).

Tyyppi	Toimenpiteet	Lohkot	Oletetut vaikutukset
Kemiallinen	Ammoniumsulfaatti	Sa	Alempi pH, korkeampi Mn ja S
	Mangaanipeittäys	Sa, Hy	Mn saatavuus
	Lannoiteboraatti	Ju, Hy, He, Lu, Pa, Ha, Sa	B pitoisuus maassa
	Kaliumsulfaatti	Pa, Ha	K ja S lannoitus
	Biotiitti	Ha	K ja Mg lannoitus
	Kipsi	Sa, Hy, Ju, He	Ca lisää, Mg poisto, rikkilannoitus, rakenteen paraneminen
	Kalkitus	Kä	pH nousu, P nousu, murukestävyys
Fysikaalinen	Laskuaukkojen paikannus ja huolto	Ju, Lu, Pa, He	Kuivatustila parempi, Rakenne parempi
	Syväkuohkeutus ja juuristo-vaikutus	Hy, Ju, He, Ha, Sa	Rakenne parempi
	Sekoittava muokkaus	Hy, Ju, Sa, Kä	Pintatiivistymien poisto
	Pinnanmuotoilu laserohjatulla lanalla	Pa, Sa	Vesitalouden korjaus, vettymisen ehkäisy
	Salaojien huuhtelu	Hy, Ju, He, Pa	Kuivatustila paremmaksi
Biologinen	Naudan- tai kananlanta	Kä, Ha, Ju, Hy	Org. typen lisää, mikrobiaktiivisuus, P, K
	Biohiili	Lu	Kationinvaihtokapasiteetin lisää, K lisää, murukestävyys
	Monilajinen viherlannoitus	Hy, Ju, He, Sa	Murukestävyys ja maan rakenne

2 TILAKOKEIDEN LOHKOKOHTAISET TULOKSET

2.1 HE: PELTOKORTTEEN VALTAAMA SAVIMAA

Lähtötilanteessa He- lohko oli tiivis ja märkä. Rakenne oli nurmipainotteisesta viljelykierrosta huolimatta heikko. Pohjaveden pinta oli syksyllä 2015 lähes pellon pinnassa. Pellolla oli runsaasti peltokortetta. Magnesiumin osuus kationinvaihtokapasiteetista oli lähtötilanteessa huomattavan korkea (Mg > 30%, Mg pitoisuus yli 860 mg/l), minkä epäiltiin heikentävän rakennetta. Pellolla oli lisäksi rikin ja boorin puutetta, minkä epäiltiin heikentävän palkokasvien kasvua ja siten niiden kilpailukykyä kortetta vastaan.

Lohkolle laadittiin hoitosuunnitelma, jossa maaperän ylimääräistä magnesiumia poistettiin kipsikäsitteilyllä, joka yhdistettiin pikakesantoon ja yksivuotiseen viherlannoitusnurmeen. Lohko syväkuohkeutettiin vuonna 2017. Boorin puutetta korjattiin hidaslukuoisella boorilannoitteella (uleksiitti).

Kipsikäsitteily vuonna 2016 vähensi maaperän magnesium- ja kaliumpitoisuuksia. Kaliumpitoisuudet palautettiin hyvälle tasolle kaliumsulfaattilannoituksella 2017. Kipsikäsitteily nosti rikkipitoisuudet korkealle tasolle, joka säilyi korkeana syksyyn 2018 (yli 120 mg/l).

Pellon kemiallinen tila muuttui korjaustoimenpiteiden seurauksena. Maan pH laski tasolta 7,0 tasolle 6,2 ja magnesiumipitoisuudet laskivat tasolta 860 mg/l tasolle 640 mg/l (noin 21 % kationinvaihtokapasiteetista). Muutokset näkyivät myös pohjamaanäytteissä. Boorikäsitteily kaksinkertaisti booripitoisuudet pinta- ja pohjamaassa (tasolta 0,7 mg/l tasolle 1,4 mg/l ja tasolta 0,5 mg/l tasolle 1,0 mg/l).

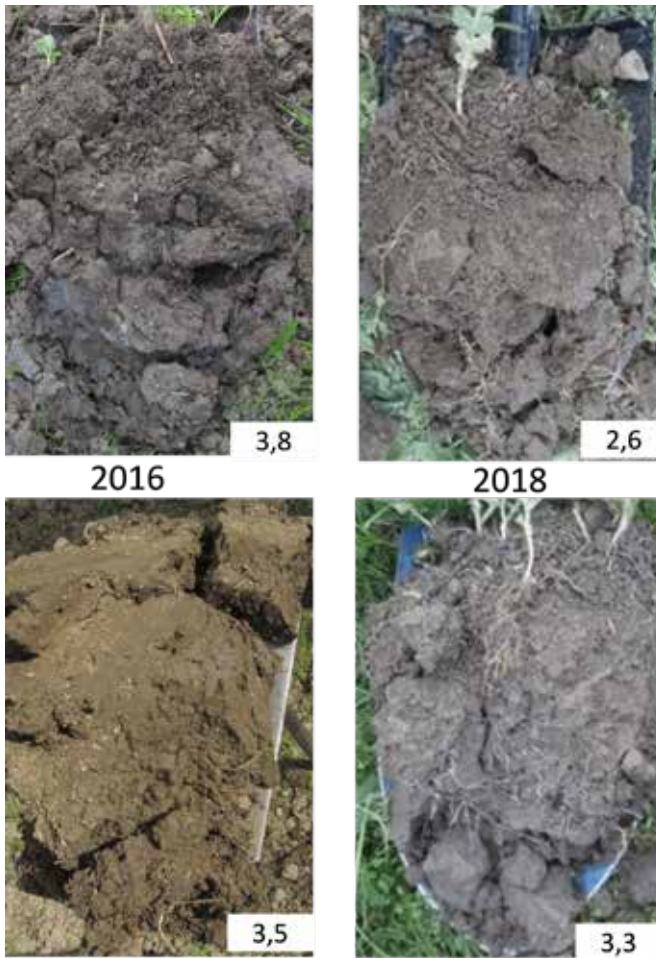
Verrokkilohkolla booripitoisuudet pysyivät matalina molemmilla syvyyksillä. (Muiden ravinteiden pitoisuudet pysyivät melko samoina mittausvuosien välillä kaikilla lohkoilla, joten näytteenottoa voidaan pitää luotettavana.)

Pellon rakenne kehittyi huomattavasti paremmaksi koelohkolla ja pysyi ennallaan käsittelemättömällä lohkon osalla (Kuva 1). Molemmilla lohkon osilla noudatettiin samaa viljelykiertoa ja muokkautusta, joten muutokset ovat peräisin kipsikäsitteilyn aiheuttamasta paremmasta muokkautuvuudesta, lannoituksen parantamasta kasvusta sekä syväkuohkeutuksen poistamasta tiivistymisestä. Veden imeytymisnopeus oli kuitenkin alhaisempi koelohkolla, sillä heikkorakenteisessa maassa vesi imeytyi nopeasti halkeamia pitkin ruokamultakerroksen ohi oikovirtauksena.

He-lohkoilla saatiin korjattua kasvukunnon fyysikaalisia ja kemiallisia osioita. Rakenne ja juuriston kasvu oli käsitteilyjen seurauksena parempaa, samoin ravinnepuutteet saatiin pääpiirteittäin korjattua.

Kipsikäsitteily ei kuitenkaan poistanut riittävästi magnesiumia suositustavoitetasoihin nähden (alle 20% Mg, (NRCS 2015)). Alentuneen pH:n seurauksena lohkolla voitaisiin käyttää kalsiittikalkkia ylimääräisen magnesiumin syrjäyttämiseen, mikä oletettavasti kehittäisi maan rakennetta edelleen.

Salaojajärjestelmän kunnon tarkastelussa keväällä 2018 havaittiin, että pohjamaan rakenne on hyvin tiivis ja nykyinen salaojajärjestelmä ei kerää riittävästi vettä ympäröivästä maasta. Salaojajärjestelmän täydentäminen ja runsas sorastus parantaisi veden poistumista maasta ja ylläpitäisi rakenteen kehittymistä.



Kuva 1. Maan rakenne parani käsitellyllä He-lohkolla selvästi paremmin kuin käsittelemättömällä (pisteluvut VESS-pisteitä, yksityiskohdat raportissa (Mattila, Rajala, ja Mynttinen 2019).

Figure 1. Soil structure improved on the treated He-plot (above) much better than on the untreated control plot (scores are VESS scores).

Figur 1. Jordstrukturen på det behandlade He-fältet förbättrades betydligt jämfört med det obehandlade fältet (poängsättning med VESS-poäng, (detaljer i rapporten Mattila, Rajala, Mynttinen 2019).

2.2 HY: TIIVISTYNYT, MÄRKÄ SAVIMAA

Hy-lohko oli tarkastelun alussa hyvin märkä ja tiivis hiesuinen savimaa. Pelto oli ollut pitkään matalamuokkauksessa ja suorakylvössä ja sillä oli viljelty kevätkylvöisiä kasveja, sillä syyskylvöiset kasvit eivät ole talvehtineet. Pellolla oli runsaasti magnesiumia sekä alhaiset rikki-, kalsium- ja mangaanipitoisuudet.

Kasvukuntoa lähdettiin kehittämään kasvien, muokkauksen ja maanparannusaineiden yhteistyöllä. Pellolle kylvettiin yksivuotinen viherlannoitus, joka syväkuohkeutettiin, annettiin juuriston stabiloida maa, levitettiin kipsiä ja nurmi muokat-

tiin syysviljalle kultivaattorilla. Lisäksi huollettiin lohkon kuivatusjärjestelmä perkaamalla reunaojat ja avaamalla yläpuolisen salaojaston laskuaukko. Kipsilisäyksen vaikutuksia boorin saatavuuteen ennaltaehkäistiin boorilannoituksella. Vuoteen 2017 mennessä lohkon pH laski, joten vuonna 2018 lohkolle levitettiin kalkkia.

Kipsikäsitteilyn tulokset olivat päinvastaisia kuin He-lohkoilla: magnesiumipitoisuus nousi koelohkolla ruokamultakerroksessa selvästi (tasolta 640 mg/l tasolle 820 mg/l). Pohjamaan Mg-pitoisuudet sen sijaan laskivat tasolta 1100 mg/l tasolle 740 mg/l. Magnesiumia saattoi siis siirtyä syvemmältä pintaan, kun muokkausta syvennettiin ja tiivistymää

poistettiin. Virnavaltainen viherlannoitus saattoi nostaa myös magnesiumia pintamaahan. Rikki-pitoisuudet nousivat hetkellisesti korkeiksi, mutta palasivat tasolle 26 mg/l kokeen loppuun (noin kolminkertainen pitoisuus lähtötasoon verrattuna, hyvä viljavuus). Erot käsittelyn ja käsittelemättömän lohkon välillä vähenivät kokeen edetessä, mikä viittaa siihen, että rikkipitoisuudet tasaantuivat loh-kolla määrissä olosuhteissa.

Booripitoisuus nousi lohkokalla käsittelyn seurauksena (1,2 mg/l tasosta 1,8 mg/l) ja vaikutus ulottui pohjamaahan saakka.

Maan rakenne kehittyi suotuisasti käsittelyn seurauksena (Kuva 2). Rakenne oli vuonna 2017 hyvä koelohkolla, mutta se heikkeni vuoteen 2018 määrän talven jälkeen. Rakenne oli kuitenkin edel-

leen muruinen ja juuriston kasvu oli voimakasta. Käsittelemättömällä lohkon osalla rakenne pysyi entisellään kokeen aikana. Häirityn näytteen irtoti-heys laski hieman koelohkolla (1,04 kg/l tasosta ta-soon 1,01 kg/l), mutta pysyi ennallaan käsittelemät-tömällä, mikä voi viitata huokoisempiin muruihin.

Korjaustoimenpiteillä saatiin hyviä vaikutuksia syysviljojen talvehtimiseen ja härkäpavun satoisuuteen. Syysvehnä talvehti hyvin 2016-2017 käsitel-lyllä lohkon osalla ja heikosti käsittelemättömällä. Vuonna 2018 härkäpapu oli rivistä poimittujen osanäytteiden perusteella noin 40% satoisampi käsitellyllä lohkon osalla kuin käsittelemättömällä (lohkotasolla puituna sadossa ei kuitenkaan havait-tu eroa, sillä koelohkolla oli painanteita, joissa sato jäi huonoksi).



Kuva 2. Hy-lohkoilla toimenpiteet paransivat rakennetta käsitellyllä lohkokalla (ylhäällä), käsittelemättömällä lohkokalla rakenne jopa heikkeni hiukan.

Figure 2. On the Hy-site the actions improved the soil structure (top) compared to the untreated plot (bottom).

Figur 2. På det behandlade Hy-fältet förbättrades jordstrukturen (ovan), på det obehandlade fältet försämrades jordstrukturen en aning.

Lohkon rakenne kehittyi suotuisaan suuntaan, mutta pellon tiivis pohjamaa altistaa sen vettymiselle sateisina ajanjaksoina. Pohjamaan heikon läpäisevyyden vuoksi täydennyssalaoitus runsaalla sora-täytöllä varmistaisi pellon kuivatuksen ja rakenteen säilymisen hyvänä myös märempinä vuosina.

2.3 JU: TIIVISTYNYT JA EPÄTASAINEN SAVIMAA

Lähtötilanteessa Ju-lohkot olivat tiiviitä ja märkiä. Pellolla oli painanteita, joissa kevätilja ei ollut menestynyt sateisena vuotena 2015. Pinnassa oli hy-

värakenteinen pintakerros, jonka alapuolella maan rakenne oli huono. pH oli korkea (6,9-7,0), magnesiumia oli runsaasti (yli 29% KVK:sta ja 890-1000 mg/l), fosforista ja rikistä oli puutetta.

Maan kasvukuntoa kehitettiin yhdistelmällä viherlannoitusnurmea, kipsiä, syväkuohkeutusta, kananlantaa ja syysviljoja. Tukkeutuneet laskuaukot paikannettiin vuonna 2016 ja vuoden 2018 keväällä peltoon tehtiin täydennyssalaoitus.

Toimenpiteillä saatiin maan rakennetta parannettua selvästi (Kuva 3). Ennen kokeen alkua vesi imeytyi halkeamia pitkin noin 10-12 cm syvyydessä olevaan tiiviiseen kerrokseen saakka, mutta vuonna 2018 vesi imeytyi kastelukokeessa jo 23 cm syvyyteen melko tasaisesti.



Kuva 3. Ju-lohkoilla käsittelyt paransivat rakennetta selvästi (yläkuvat), käsittelemätön lohkon osa (alakuvat) hyötyi myös viljelykierron monipuolistamisesta.

Figure 3. On the Ju-site the treatment improved soil structure considerably (top), but also the untreated plot benefited from the cover crops (bottom).

Figur 3. På Ju-fältet förbättrade behandlingarna jordstrukturen avsevärt (bilderna ovan), men den obehandlade delen av fältet (bilderna nedan) också nyttjades av den månsidigare växtföljden.

Lantakäsittely nosti fosforitasot tyydyttävälle tasolle ja noin kaksinkertaisti pintamaan varastofosforipitoisuudet. Myös Mehlich-3 fosfori kaksinkertaistui tasolle 40 mg/l. Muutos näkyi samalla fosforikyllästysasteessa, joka nousi erittäin alhaiselta 2 % tasolta tasolle 4 %. Fosforikyllästysaste oli kuitenkin vielä selvästi alle 10 % riskirajan.

Muokkauksen lisääntymisestä huolimatta maan murukestävyys säilyi koelohkolla (38 %), mutta laski merkittävästi käsittelemättömällä lohkolla (55 % tasosta 29 % murukestävyystasolle). Erot murukestävyyyden muutoksessa korostavat ”murutaseajateltua”, jossa muokkauksen muruja rikkovaa vaikutusta voidaan kompensoida lisäämällä murujen muodostumista. Hyväkuntoisessa maassa muodostuu enemmän hyvärakenteisia muruja.

2.4 KÄ: HAPAN JA RAVINNEKÖYHÄ UUDISMAA

Lähtötilanteessa Kä-lohko oli uudispelto, joka oli raivausjyrsitty ja salaajitettu vuonna 2014. Tavoitteena oli saada pellostä sipulinviljelyyn sopiva pelto. Viljavuusanalyysin perusteella puutetta oli lähes kaikista muista ravinteista paitsi mangaanista ja sinkistä. Peltomaa oli erittäin hapan (pH 4,2-4,5). Maan rakenne oli kypsymätön, pellossa vuorotteli hajoamaton turve ja karkea hieta ja sora. Maanäytteen perusteella mitattu keskimääräinen multaavuus oli 36-40%, eli kyseessä oli multa/turvemaa. Syvemmällä maassa oli hyvin tiiviitä hietakerroksia.

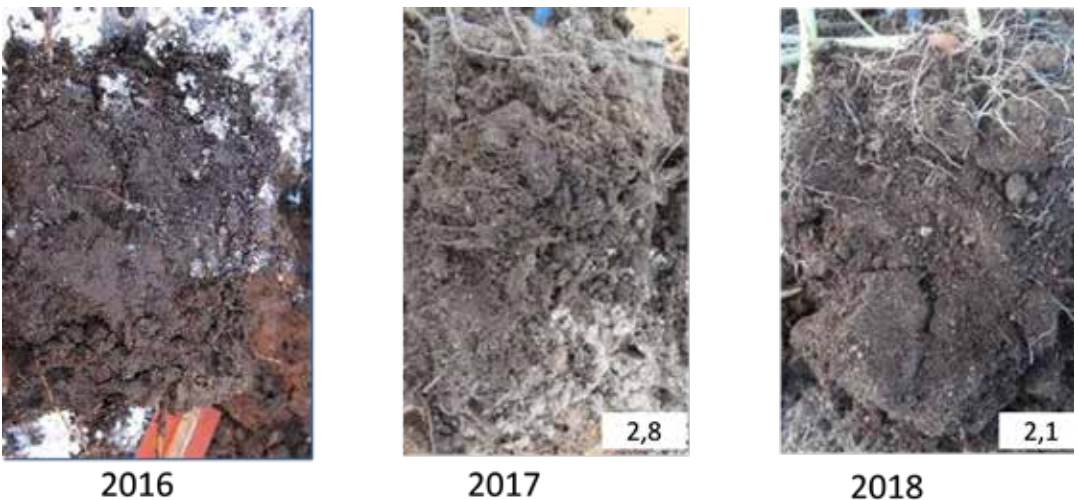
Pellon hoitosuunnitelman tavoitteeksi asetettiin pH:n nosto viljelyn kannalta riittävälle tasolle, tasapainoinen ravinnepitoisuus ja hyvä rakenne. Pellolle lisättiin 5 t/ha poltettua kalkkia ja 40 t/ha naudan kuivikelantaa vuonna 2016 ja vuonna 2017 8 t/ha dolomiittikalkkia sekä 40 t/ha naudan kuivikelantaa. Pellolla viljeltiin pääosin italian raiheinää sisältävää kasvustoa. Rakennetta yhdenmukaistettiin muokkaamalla peltoa lautasmuokkaimella, kyn-töauralla ja äkeellä. Vuonna 2018 pellolla viljeltiin kokeeksi sipulia.

Muokkaukset, lanta ja kalkitus muokkasivat pellon rakennetta yhdenmukaisemmaksi (kuva).

Pellon kemiallinen tila parani kalkituksen ja lannan myötä. pH nousi ensin tasolle 5,5-5,9, mutta laski tasolle 4,9-5,5 (välttävä-hyvä maalajista riip-puen). Vuoteen 2018 mennessä puutetta pellolla oli enää boorista, kuparista ja kalsiumista. Kaliumin, fosforin, rikin ja magnesiumin puutokset saatiin korjattua. Viljavuusfosforin taso nousi pitoisuudesta 2,2 mg/l tasoon 8,0 mg/l (tydyttävä), Mehlich-3 fosforin pitoisuus kaksinkertaistui tasoon 102 mg/l ja varastofosforin pitoisuus pysyi ennallaan. Fosforikyllästysaste nousi tasolle 8-11 %, mikä on jo lähellä ravinnepäästöjen kannalta riskitasoa.

Kasvianalyysin perusteella sipulilla oli vuonna 2018 puutetta tpestä, fosforista, kaliumista, kuparista ja sinkistä. Tämä poikkesi viljavuusanalyysin tulkinnaasta fosforin, kaliumin ja sinkin osalta.

Lannoitus alensi maaperän liukoisen C:N suhdetta (lähtötilanne 24:1, lopussa 3:1) ja kiihdytti mikrobiaktiivisuutta. Vesiliukoisen hiilen pitoisuus laski kokeen aikana rajusti, tasosta 1200-2300



Kuva 4. Kä-lohkolla rakenne yhtenäistyi muokkauksen, kalkituksen ja lannoituksen seurauksena.

Figure 4. On the Kä-site the structure across the topsoil layer was homogenized through tillage, manure and liming.

Figure 4. På Kä-fältet homogeniserades strukturen till följd av bearbetning, kalkning och gödsling.

mg/l tasoon 400 mg/l. Samalla aminotyypen määrä puolittui tasoon 125 mg/l. Kokeen aikana lohkon multavuus laski tasosta 36-40 % (multa/turvemaa) tasoon 16 % (erm). Pohjamaassa multavuus laski tasosta 24 % tasoon 10-14 %. Muutos näkyi myös irtotiheyden nousuna tasosta 0,7 kg/l tasoon 0,9 kg/l. Hiilivaraston muutokseksi muutettuna tämä tarkoittaisi ruokamultakerroksessa noin 122 t C/ha eli noin 40 t C/ha/vuosi.

Lannoituksella, kalkituksella ja muokkauksella uudispellosta saatiin kohtalainen sipulimaa. Hap-pamuus saatiin välttävälle tasolle ilman suuria epäsuhtia ravinteisiin. Fosforin ja kaliumin tasoja voisi sipulin kannalta nostaa, sekä täydentää puuttuvat hivenravinteet maaperän kautta. Kalsiumin tasoja voisi nostaa maltillisella kalkituksella tai esimerkiksi biotiittikäsitelyllä, jolla saataisiin samalla maaperään pidempiaikaisesti magnesiumia ja kaliumia.

Pellon kunnostus aiheutti kuitenkin huomattavan hiilivaraston vähenemisen. Tulos voi olla osin seurausta maan rakenteen epätasaisuudesta kokeen alussa, mutta hiilivaraston hupeneminen lähtötilanteessa, jossa runsaasti liukoisia hiilyhdisteitä kerännyt hapan ja märkä pelto ojitetaan ja kalkitaan, on myös melko todennäköistä tutkimuskirjallisuuden perusteella. Keskimäärin hiilivaraston arvioidaan hupenevan 9 t C/ha/vuosi eloperäisillä pelloilla. Koepellon korkean orgaanisen aineen pitoisuuden ja lyhyen aikaa sitten tapahtuneen raivauksen huomioon ottaen 40 t C/ha/vuosi hiilikato on mahdollisuuksien rajoissa.

2.5 LU: VÄHÄMULTAINEN JA TIIVIS HIETAMA

Lähtötilanteessa 2015 lohko oli tiivis ja märkä karkea hietamaa. Maan pintaosa oli melko hyvärakenteinen, mutta syvemmällä rakenne oli tiivis hietä, joka muuttui perusmuokkauskerroksen alapuolella erittäin tiiviiksi. Multavuus oli alle 3 % (vähämullainen) ja kationinvaihtokapasiteetti 5-6 cmol/l eli erittäin alhainen. Murukestävyys oli myös erittäin alhainen (15-20%) ja vesiliukoisen hiilen määrät olivat alhaisimmat koelohkoilla mitatut (alle 150 mg/l). Pellon liukoinen C:N -suhde oli alhainen (7-10:1) mikä viittasi siihen, että eloperäinen aines hajoaa lohkolle nopeasti. Kastelukokeessa vesi imeytyi vain 1-4 cm syvyyteen huomattavan hitaasti. Viljavuusanalyysin perusteella puutetta oli rikistä, magnesiumista, kalsiumista, boorista ja mangaanista. Fosforipitoisuudet olivat korkeat mitattuna viljavuusfosforina, Mehlich-3 fosforina ja varastofosforina. Lisäksi fosforikyllästysaste oli korkea (yli

15-18%), mikä lisäsi liukoisen fosforin huuhtoumariskiä.

Lohkon kasvukunnon hoitosuunnitelmassa asetettiin tavoitteeksi pellon multavuuden, murukestävyuden ja kationinvaihtokapasiteetin nosto. Orgaanisen aineen lisääminen oli haastavaa erittäin korkean fosforipitoisuuden ja intensiivisen viljelykierron vuoksi (tyypen immobilisaatoriskit). Lohkolla käytettiin 2016 boorilannoitetta ja vuonna 2017 8 t/ha biohiiltä. Alhaisen vedenläpäisykyvyn korjaamiseksi lohkolle kokeiltiin vuonna 2018 pintajännityksen alentajaa (Panbuster, Biotechnica, UK). Vuonna 2018 salaajajärjestelmän huollon yhteydessä lohkolta löytyi kateissa ollut laskuaukko. Lohko oli kalkittu vuonna 2015.

Vuoteen 2018 mennessä KVK nousi koelohkolla tasosta 8 cmol/l tasoon 10 cmol/l. Toisaalta KVK nousi myös käsittelemättömällä puolella (+1,5 cmol/l ja +6 cmol/l), mikä viittaa siihen, että näytteenotto ei ollut luotettavaa ja että pellon maalajivaihtelut olivat suuria. Tähän viittaa myös maan irtotiheyden lasku tasosta 1,7 kg/l tasoon 1,3 kg/l. Alempi irtotiheys aiheuttaa myös sitä, että näytteenottosyvyys edustaa matalampaa maaprofilia. (Sama näytteenottosyvyys edustaa noin neljänneksen pienempää maamassaa.) Toisaalta multavuus ei muuttunut näytteenottovuosien välillä (2,9%), joten korkeampi KVK viittaa siihen, että maassa oli kationinvaihtopinnoille varastoitumatonta reagoimatonta kalkkia kalkituksesta. (Verrokkilohkolla kalsiumpitoisuus oli kaksinkertaistunut vuoteen 2018 tasolle 2400 mg/l, koelohkolla tasosta 590 mg/l tasoon 1000 mg/l.) Kokeen päättyessä pellossa oli välttävä kalsiumin taso, tyydyttävä magnesium ja hyvä kalium. Rikin, boorin ja mangaanin puitteita ei saatu korjattua. Ilmeisesti karkealla hietamaalla boori huuhtoutui nopeasti pellostä. Fosforipitoisuudet nousivat kokeen aikana sekä viljavuusfosfori että Mehlich-3 fosforimäärityksillä mitattuna. Fosforikyllästysaste nousi tasolle 28%, mikä muodostaa suuren riskin liukoisen fosforin huuhtoumalle. Fosforikyllästysaste nousi sekä koelohkolla, käsittelemättömällä jäsenellä että hyväkasvuisella verrokillä, joten se ei johtunut koelohkolla tehdyistä toimenpiteistä.

Maan havainnoitu rakenne kehittyi kokeen aikana sekä koelohkolla että käsittelemättömällä jäsenellä (Kuva 5). Osin muutos johtui muokkaus-syvyyden lisäämisestä (Imants lapiomuokkain) ja toisaalta viljelykierron vaiheesta (peruna vs. ohra). Murukestävyys säilyi kuitenkin alhaisella tasolla (12-13%) ja veden imeytyminen maahan oli hidasta (5-6 mm/h). Liukoisen hiilen määrät laskivat kokeen edetessä alle tason 115 mg/l.



Kuva 5. Lu-loholla rakenne parani sekä käsitellyllä että käsittelemättömällä loholla johtuen muutoksista viljelykierron vaiheessa sekä muokkauksessa.

Figure 5. On the Lu-site soil structure improved on both treated (top) and untreated (bottom) plots due to changes in crop rotation and tillage.

Figur 5. På Lu-fältet förbättrades strukturen på både den behandlade (ovan) och obehandlade (nedan) delen av fältet, på grund av förändringarna i växtföljden och bearbetningen.

Kokeen aikana ei saatu korjattua lohkon perusongelmia: alhaista murukestävyyttä ja heikkoa ravinteiden pidätyskykyä. Korkean fosforipitoisuuden ja alhaisen multavuuden pelloille tarvittaisiin kunnostustoimia, joilla voitaisiin lisätä runsaasti orgaanista ainetta rikkomatta ympäristökorvauksen ehtoja tai häiritsemättä erikoiskasvien typpihuoltoa. Eräs tapa parantaa murukestävyyttä olisi käyttää välikasveja tai kerääjäkasveja, joilla on hyvä murustamiskyky. Esimerkiksi ruisvirna, ruis ja hunajakukka on todettu kasveiksi, jotka lisäävät nopeasti maan murukestävyyttä (Bacq-Labreuil ym. 2019; Liu, Ma, ja Bomke 2005).

2.6 HA: VETTÄ LÄPÄISEMÄTÖN MULTAMAA

Kokeen alussa 2015 Ha-koelohko oli nurmipeitteinen. Nurmi oli kuitenkin talvehtinut laikuttaisesti ja pellon alaosassa sekä painanteissa apilat olivat hävinneet. Lohkolla oli kaliumin, fosforin ja boorin puutetta. Fosforikyllästysaste oli alhainen (3 %), mikä viittasi heikkoon fosforin käyttökelpoisuuteen.

Pellolla oli korkea liukoisen hiilen ja orgaanisen typen pitoisuus sekä korkea murukestävyys. Raken-

ne oli aistinvaraisesti havainnoituna hyvä, mutta ruokamultakerroksen pohjaosasta löytyi tiivistymä. Lisäksi vesi ei imeytynyt peltoon juuri lainkaan, vaan jäi pellon pinnalle seisomaan. Yhdistettynä pinnanmuotojen epätasaisuuteen, tämä keskitti vettä painanteisiin, joihin vesi jäi seisomaan. Kasvukaudella 2016 pellolla kasvanut ohra oli selvän raidallinen, kylvötraktorin ajourissa kasvu oli heikkoa.

Lohkon kasvukuntoa lähdettiin kunnostamaan pintamaan vedenläpäisykykyä parantamalla, tiivistä kerrosta kuohkeuttamalla, pintaa tasaamalla sekä fosforin ja kaliumin tasoja nostamalla. Kaliumin ja fosforin lisäämiseksi lohkolle levitettiin naudan lietalantaa ja biotiittia sekä boorinpuutteen korjaamiseksi hidaslukuista boorilannoitetta. Traktorin rengaspainetta alennettiin ja kyntöauraan lisättiin jankkuriterät. Viljojen yhteydessä kylvettiin apilapitoisia aluskasveja. Lohko ajettiin vuonna 2018 myyräauralla syvemmän vettäläpäisevän kerroksen rikkomiseksi.

Kokeen päättyessä maan kaliumtasot olivat noin kaksinkertaistuneet tasolle 130 mg/l (tydyttävä), varastokaliumtasot olivat nousseet tasolle 700-800 mg/l. Viljavuusfosforipitoisuus nousi hie-man, Mehlich-3 -fosfori nousi 37 prosenttia tasolle 74 mg/l ja varastofosforipitoisuudet pysyivät ennallaan. Fosforin kyllästysaste nousi yhdellä prosenttiyksiköllä tasolle 4,3 %. Maan fosforin kyllästysaste oli niin alhainen, että kokeen aikana lisätyt fosforimäärät eivät riittäneet kasville käyttökelpoisen fosforin lisäämiseen. Kasvianalyysin perusteella kasveilla oli edelleen lievää fosforinpuutetta (3,2 g/kg, vertailuarvo 3,5-6,0 g/kg, toinen vertailuarvo 2-5 g/kg). Booripitoisuudet nousivat kokeen aikana vähitellen pitoisuudesta 0,6 mg/l (välttävä-tydyttävä) pitoisuuteen 0,9 mg/l (tydyttävä-hyvä). Pellon

happamuus säilyi multamaalle hyvällä tasolla (pH 5,9) biotiittilisäyksen kalkitusvaikutuksesta huolimatta. Kokeen lopussa pellolla oli edelleen fosforin ja mangaanin puutetta, mutta muuten kemiallinen tila saatiin hyväksi.

Kokeen edetessä siirryttiin nurmivuosisista viljavaiheeseen kierrossa. Tämä näkyi korkean murukestävyuden laskuna tasolta 80 % tasolle 29 %. Liukoisen hiilen määrät laskivat kokeen edetessä ja orgaanisen tyypen määrät kasvoivat. Mikrobiaktiivisuus kasvoi myös tasosta 120 mg/kg tasoon 155 mg/kg. Kiihtynyt mikrobiaktiivisuus ei kuitenkaan alentanut pellon orgaanisen aineen pitoisuutta. Tämä voi olla toisaalta seurausta siitä, että paksukerroksisella multa/turvemaalla hajotustoiminta ohentaa multakerroksen paksuutta enemmän kuin vähentää sen eloperäisen aineen pitoisuutta. Pellon irtotiheys laski 0,74 kg/l tasosta tasoon 0,63 kg/l.

Kokeen aikana koelohkon rakenne parani selvästi. (Kuva 6). Tiivistynyt kyntöantura saatiin rikkottua, mikä paransi juurten kasvua. Veden imeytymisnopeus 10-kertaistui tasolle 10 mm/min ja imeytymissyvyys kasvoi tasolle 10 cm.

Yhteenvetona kokeen aikana saatiin kehitettyä lohkon fysikaalista ja kemiallista tilaa. Rakennetta saatiin paremmaksi sekä kaliumin ja boorin puutokset saatiin korjattua. Fosforipitoisuuksia saatiin nostettua, mutta ne eivät asettuneet vielä viljavuuden kannalta hyvälle tasolle. Samoin vedenläpäisykyky jäi tavoitetasoa alemmaksi. Kokeen aikana alentunut murukestävyys ja liukoisen hiilen määrä kuvaa muutoksia, joita tapahtuu siirryttäessä nurmiviljelystä yksivuotisten kasvien viljelyyn. Tässä tapauksessa vuosittainen kerääjäkasvien käyttö ja lietalanta ei kyennyt kompensoimaan murukestävyuden laskua.



Kuva 6. Maan rakenne parani selvästi kokeen aikana käsitellyllä Ha-lohkoilla (yläkuva) tiivistymän poiston seurauksena. Käsittelemättömällä lohkon osalla rakenne heikkeni hiukan (alakuva).

Figure 6. On the Ha-site the soil structure improved due to removal of compacted layers (top), but deteriorated on the untreated plot.

Figur 6. Jord strukturen förbättrades avsevärt under försöket på det behandlade Ha-fältet (bilden ovan) till följd av avlägsnandet av jordpackning. På det obehandlade delen av fältet försämrades jordstrukturen en aning (bilden nedan).

2.7 PA: SYVÄTIIVISTYNYT PERUNAPELTO

Pa-koelohko oli lähtötilanteessa ruokamultakerrokseltaan hyvärakenteinen hienohietamaa, mutta kerroksen alapuolella oli hyvin tiivistä maata. Lohkolla kasvavassa rukiissa näkyi raitoja, joissa oli kaliumin puutosoireita. Viljavuusanalyysin perusteella pellon kationinvaihtokapasiteetti oli alhainen 8 cmol/l ja pellossa oli kaliumin, rikin, mangaanin ja boorin puutetta. Fosforitasot olivat korkeat kai-

killä käytetyillä tutkimusmenetelmillä mitattuna ja fosforikyllästysaste oli 10 %.

Keväällä 2016 lohkolle levitettiin boorilannoitetta (10 % B) 15 kg/ha sekä kaliumsulfaattia 250 kg/ha. Syksyllä 2016 lohkon salaojien laskuaukut tarkistettiin ja kokoojaojan lietekaivo tyhjennettiin ja reunaoja perattiin. Pelto taseuslanattiin keväällä 2017 pinnanmuotoilun parantamiseksi ja salaojat huuhdeltiin. Vuonna 2017 pellolla viljeltiin perunaa.

Pellon mitattu kationinvaihtokapasiteetti nousi selvästi vuoteen 2018, laskennallinen KVK sen

sijaan pysyi samana. Tämä viittaa siihen, että KVK näytteessä oli reagoimatonta kalkkia. Kaliumin pitoisuudet pysyivät alhaisella tasolla, rikin pitoisuus saatiin hyvälle tasolle ja boorin pitoisuus tyydyttävälle. Boorin ja rikin pitoisuudet kasvoivat myös pohjamaanäytteissä.

Koko maaprofilin tarkastelutasolla maan rakenne parani hieman koelohkolla (Kuva 7). Vuonna 2018 pintamaa oli kuitenkin selvästi kokkareista ja tiivistä edellisvuoden perunannoston seurauksena. Tiivistä rakenteesta huolimatta irtotiheys laski tasosta 1,3 kg/l tasoon 1,1 kg/l. Vedenläpäisykyky laski kuitenkin yli puolet tasolle 3 mm/min. Murukestävyys laski lähtötilanteen 58 % tasosta tasolle 31 % ja

pysyi vakaana vuosina 2016-2018. Liukoisen hiilen pitoisuudet laskivat kokeen aikana ja orgaanisen typen nousivat. Fosforipitoisuudet nousivat tasolle 44 mg/l, Mehlich-3 -fosfori kaksinkertaistui tasolle 200 mg/l ja fosforikyllästysaste nousi tasolle 21 %.

Kokeen aikana onnistuttiin korjaamaan lohkon boorin ja rikin puutteet. Kaliumpitoisuuksia ei saatu nostettua, mahdollisesti johtuen lohkon alhaisesta kationinvaihtokapasiteetista. Maan pintakerroksen rakenne heikkeni kokeen edetessä ja murukestävyys aleni.

Lohkon perusongelmana on sen erittäin tiivis pohjamaa. Suuret akselipainot ja puutteellinen kuivatus ovat tiivistäneet maan syvältä. Pellon kuiva-



Kuva 7. Maan rakenne kehittyi vain vähän Pa-koelohkolla (ylä) ja käsittelemättömällä (ala). Rakenne heikkeni tutkimuksen aikana vuonna 2017, kun lohkolla nostettiin perunaa märissä olosuhteissa.

Figure 7. There were only minor changes in soil structure on the Pa-site (treated = top, untreated = bottom) as potato harvesting in wet conditions at 2017 compacted both sides of the test field.

Figur 7. Strukturen utvecklas bara en aning på behandlade (ovan) och obehandlade (nedan) Pa-fältet. Strukturen försämrades år 2017, när man tog upp potatis i våta förhållanden.

tuksen kannalta olisi hyödyllistä tehdä täydennys-
ojitusta soratäytöllä ja pyrkiä syväkuohkeutuksella
tai myyräojituksella varmistamaan, että vesi pääsee
pinnalta ojaan ja toisaalta että ruokamultakerros
ei pääse vettymään.

2.8 SA: MÄRKÄ JA HEIKKORAKENTEI- NEN HIETAINEN HIESU

Lähtötilanteessa lohko oli tiivisrakenteinen ja mär-
kä. Lohkoa oli muokattu matalaan lautasmuokkai-
mella ja käytetty suorakylvöä. Pintarakenne oli hyvä
ja lieroja oli runsaasti. Muokkaussyvyyden alapuo-
lella juuria ja huokosia oli hyvin vähän. Maassa
oli varsinainen tiivistymä vasta 30 cm syvyydessä,
mutta vesi imeytyi vain 8 cm syvyyteen. Lohkolla
oli viljelty vain kevätkylvöisiä kasveja, sillä puu-
teellinen vesitalous esti syyskylvöisten kasvien tal-
vehtimisen. Lohkon erityispiirteitä oli se, että pel-
lon pinnan taso oli alempana kuin veden korkeus
viereisessä joessa ja vedenpintaa pidettiin alhaalla
pumppaamalla.

Lohkon pH oli korkea hiue/hiesumaaksi ja loh-
kolla oli rikin ja mangaanin puutetta. Liukoinen
C:N suhde oli alhainen (2-9:1), mutta murukestä-
vyys oli hyvin korkea (67-88 %). Fosforia oli maassa
runsaasti (viljavuusfosfori 34 mg/l), mutta korkeas-
ta raudan ja alumiinin pitoisuudesta johtuen fosfo-
rikyllästysaste ei ollut korkea (7 %).

Kasvukunnon korjaamisen lähtökohdaksi oteti-
ttiin rakenteen kunnostaminen. Kemiallisella puo-
lella pyrittiin korjaamaan rikin ja mangaanin puu-
tetta. Pelto muokattiin kultivaattorilla noin 15 cm
syvyyteen keväällä 2016. Pellon pH:n laskemiseksi
ja rikin puutteen korjaamiseksi koelohkolla lannoit-
us tehtiin ammoniumsulfaattilla. Lisäksi koelohkol-

le levitettiin 20 kg/ha hidasliukoista boorilannoiteta
(uleksiitti). Kokeen ajaksi kananlantalannoitus
korvattiin koko lohkolle väkilannoituksella (Suomen
salpjetari) ja koelohkolla käytettiin erityisen
paljon happamoittavaa (Harmsen, Loman, ja
Neeteson 1990) ammoniumsulfaattia. Rakenteen
kehittämistä jatkettiin biologis-mekaanisella kuoh-
keutuksella, jossa maan tiivistymät rikottiin me-
kaanisesti syväkuohkeutuksella nurmipeitteisellä
lohkolle ja nurmen juuriston annettiin stabiloida
kuohkeutettu rakenne. Tätä varten lohkolle kylvet-
tiin vuoden 2016 ohran alle apilapitoinen nurmen
siemen. Nurmea korjattiin vuonna 2017 säilörehu-
sato ja lohko syväkuohkeutettiin 35-40 cm sy-
vyyteen Kverneland -jankkurilla. Elokuussa 2017
pellon reunaosat perattiin, pelto tasauslanattiin ja
siihen levitettiin 4 t/ha kipsiä, minkä jälkeen loh-
kolle kylvettiin hybridiruista.

Ruis talvehti lohkolle kohtalaisen hyvin. Loh-
kon rakenne saatiin kehittymään erinomaiseksi
katkaisunurmen, syväkuohkeutuksen ja syysviljan
yhdistelmällä (Kuva 8). Viljelykierron monipuoli-
staminen ja pintakerroksen tiivistymien rikkominen
kehitti rakennetta myös käsittelemättömällä loh-
kon osalla, mutta syväkuohkeutettu lohko kehittyi
paremmin. Hyvästä rakenteesta huolimatta vesi
imeytyi maahan koelohkolla hitaasti (3 mm/min),
mutta lähtötilanteesta poiketen, vesi imeytyi koko
ruokamultakerrokseen. Irtoiheys laski hieman
(1,01 kg/l tasosta tasoon 0,95 kg/l), mutta muru-
kestävyys laski huomattavasti tasolle 42 % (joka oli
edelleen korkeimpia lohkoilta mitattuja).

Lohkon kemiallisessa tilassa rikin puute saatiin
korjattua (rikkitasot nousivat tasolle 95 mg/l kipsi-
käsittelyn jälkeen, mutta olivat nousseet tasolle 18
mg/l jo ammoniumsulfaattilannoituksen avulla).
Korkea pH laski koeruudulla tasosta 7,1 tasoon 6,8
vähitellen kokeen edetessä.



2016



2018



Kuva 8. Sa-lohkoilla rakennetta saatiin kunnostettua tehokkaasti syväkuohkeutuksen ja nurmien avulla (yläkuva), pelkkä nurmi korjasi rakennetta vähemmän (alakuva).

Figure 8. On the Sa-site the structure improved considerably with a combination of subsoiling and grass crop (top). The grass alone improved the soil structure less (bottom).

Figur 8. På Sa-fältet förbättrades strukturen avsevärt på grund av en kombination av djuplucking och vall (ovan). Enbart vall förbättrade strukturen mindre (nedan).

3 TULOSTEN TARKASTELUA

3.1 USEITA KASVUKUNTOTEKIJÖITÄ SAATIIN KORJATTUA

Hankkeen aikana saatiin korjattua useita kasvukunnan ongelmia (Kuva 9; Taulukko 2). Fysikaalisissa kasvutekijöissä yksinkertaisimmat ongelmat liittyivät salaojituksen toimintahäiriöihin (kadonneet laskuaukot, tukkeutuneet lietekaivot, jne.) ja maan rakenteen kunnostukseen. Toisaalta rakenteen kunnostus maan pintakerroksessa ei näkynyt suoraan esimerkiksi pohjamaan tiiviyden vähene-
misenä (maksimipenetrometrilukemat), tai veden imeytymisnopeuden kasvuna.

Kemiallisista kasvutekijöistä kokeen aikana saatiin korjattua tehokkaasti boorin, rikin, fosforin ja kaliumin puutteita. Savimaiden korkean magnesiumin vähentäminen onnistui myös kipsillä tehokkaasti ja pH saatiin useimmilla lohkoilla tavoitetasoon. pH:n nousu vaikutti myös kationinvaihtokapasiteettiin, joka parani kalkitulla happamalla lohkoilla. Kahdella alhaisen KVK:n koelohkolla kationinvaihtokapasiteettia ei saatu nostettua, sillä korkea fosforipitoisuus rajoitti orgaanisen aineen ajamista lohkolle.

Biologisissa kasvukuntotekijöissä liukoisen aminotyypin pitoisuudet saatiin nousuun kokeen aikana ja poikkeavien C:N suhteiden määrät vähenivät. Toisaalta havaitut lieromäärät vähenivät kokeen aikana ja myös murukestävyys laski. Kokeen päätyttyä huolestuttavan alhaisten murukestävyystulosten osuus mittauksista kasvoi.

Toisaalta kaikkia kasvukunto-ongelmia ei saatu korjattua kokeen aikana. Alhaisen KVK:n nostaminen jäi ratkaisemattomaksi haasteeksi, samoin kaliumpitoisuuksien pysyvä nosto hietamailla. Toisaalta biotiitin lisäys nosti kaliumtasoja yhdellä koelohkoista, mikä vaikuttaa lupaavalta menetelmältä myös muille alhaisen KVK:n ja kaliumtason lohkoille.

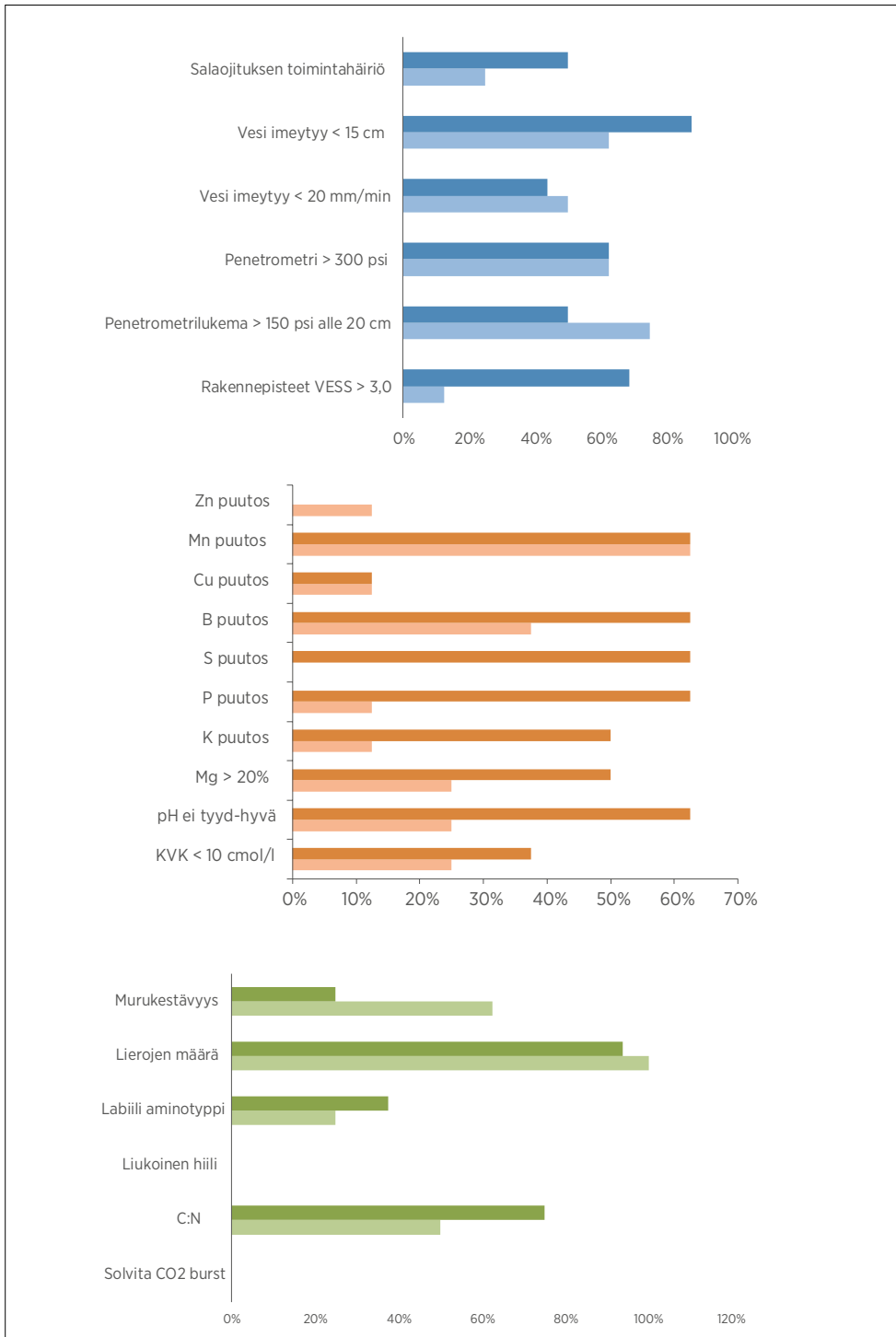
Mangaaninpuutosta ei saatu korjattua maata happamoittavilla maaperäkäsittelyillä. Kasvianalyysituloksissa oli yleisesti mangaaninpuutosta (alle 25 mg/kg) ellei kasvustoa käsitelty lehtilannoituksella. Lehtilannoitetuissa lohkoissa mangaaninpuutos saatiin vältettyä maan alhaisista mangaanipitoisuuksista huolimatta.

Taulukko 2. Muutos kasvukunnossa koelohkoilla vuosien 2015-2018. Merkkien selitteet: ++ = kasvukunto parani huomattavasti, + = kasvukunto parani lievästi, - = kasvukunto heikkeni lievästi, -- = kasvukunto heikkeni huomattavasti.

Table 2. Change in soil health between 2015 - 2018. (++ = considerable improvement, + = improvement, - = deterioration, -- = strong deterioration).

Tabell 2. Förändringarna i jordhälsan på försöksfälten under åren 2015-2018. Symbolerna: +++ = märkbar förbättring i jordhälsan, += liten förbättring i jordhälsan, - = liten försämring i jordhälsan, -- = märkbar försämring i jordhälsan.

	Fysikaalinen	Kemiallinen	Biologinen
He	++	++	-
Hy	++	+	-
Ju	++	++	-
Kä	+	++	--
Lu	+	+	
Ha	++	+	-
Pa	--	+	-
Sa	+++	+	-



Kuva 9. Havaitut kasvukunto-ongelmat kokeen alussa (ylemmät palkit) ja lopussa (alemmat palkit) fysikaalisiin, kemialisiin ja biologisiin kasvutekijöihin jaoteltuna.

Figure 9. Observed problems in soil health in 2015 (top) and 2018 (bottom) divided to physical, chemical and biological factors.

Figur 9. Observerade problem i jordhälsan i början av projektet, 2015, (översta staplarna) och i slutet av projektet, 2018, (nedersta staplarna) fördelade i fysikaliska, kemiska och biologiska faktorer.

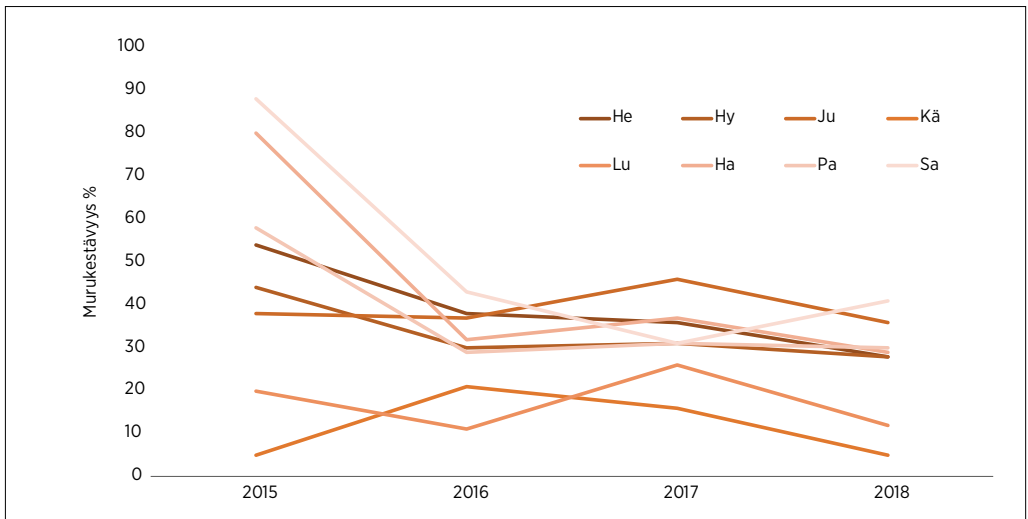
3.2 ONGELMIEN KORJAUSYRITYKSET VOIVAT HEIKENTÄÄ MURU- KESTÄVYYTTÄ

Murukestävyys laski kokeen aikana selvästi (Kuva 10). Toisaalta suurin osa muutoksesta tapahtui vuosien 2015 ja 2016 välillä ja muutos tämän jälkeen oli vähäistä. Hankkeen alussa kerättyjä vuoden 2015 näytteitä varastoititiin pitkään, mikä saattoi lisätä murukestävyyttä. Jos tarkastellaan muutosta vuosien 2016 ja 2018 välillä murukestävyys laski eniten He ja Kä lohkoilla. Näitä lohkoja muokattiin voimakkaasti pellon epätasaisuuksien ja rakenteen tasoittamiseksi, joten tulokset ovat johdonmukaisia. Vuosien 2015 ja 2018 välisiä eroja tarkastellessa murukestävyys heikkeni eniten Ha, Sa ja Pa lohkoilla. Näistä Ha ja Pa lohkoilla siirryttiin tässä vaiheessa monivuotisista nurmista yksivuotisiin kasveihin ja Sa lohkoilla siirryttiin pitkäaikaisesta suorakyl-

vöstä muokkaukseen, joten muutosten suunta on ymmärrettävää.

Kä-lohkoilla murukestävyys kuitenkin ensin nousi vuoden 2015 tasosta ja sen jälkeen laski alaspäin. Lohkolla tehtiin kokeen aikana toimenpiteitä, joiden tiedetään kirjallisuuden perusteella vaikuttavan murukestävyteen eri suuntaisesti. Kalkitus lisää murukestävyyttä, samoin monilajiset kasvutot ja kuivalannan käyttö, toisaalta murukestävyyttä heikentää muokkaus.

Murukestävyys on maan kasvukunnan kannalta keskeinen indikaattori, joten sen heikkeneminen kasvukunnan korjaustoimenpiteiden seurauksena on huolestuttavaa. Jatkossa korjaustoimenpiteiden avuksi voisi suunnitteluun ottaa käyttöön murutseen, joka kuvaa lohkoilla tehtyjen toimenpiteiden arvioitua vaikutusta murukestävyteen. Ajattelua voi havainnollistaa koelohkojen avulla (Taulukko 3).



Kuva 10. Murukestävyys laski kokeen aikana useimmilla lohkoilla.

Figure 10. Aggregate stability decreased during the experiment on most sites (measured as volumetric aggregate stability, Woodsend laboratories).

Figur 10. Aggregatstabilitet sjönk på de flesta fälten under projektet.

Taulukko 3. Lohkoilla tehtyjen toimenpiteiden vaikutuksia ”murutaseen” kautta tarkasteltuna.

Table 3. ”Aggregate balance” as a tool for considering the effect of management on soil aggregate stability.

Tabell 3. ”Aggregat balansen” som ett verktyg för att granska de gjorda behandlingars inverkan.

	Murukestävyttä heikentävät	Murukestävyttä lisäävät	Lopputulokset murukestävyydelle
He	Pikakesanto, syväkuohkeutus, siirtymä yksivuotisiin kasveihin	Kipsi, kerääjäkasvit	Laski voimakkaasti
Hy	Kultivointi, syväkuohkeutus, tasaus	Kipsi, välikasvinurmi, syysviljat, lanta, kalkitus	Laski hieman
Ju	Kultivointi, syväkuohkeutus, tasaus	Kipsi, välikasvinurmi, syysviljat, lanta	Säilyi
Kä	Lautasmuokkaus, kyntö	Kalkitus, lanta, välikasvit	Nousi ja laski
Lu	Lapiomuokkaus	Kalkitus, biohiili	Laski
Ha	Muokkaus, siirtymä nurmesta yksivuotisiin kasveihin	Aluskasvit, lanta	Laski voimakkaasti
Pa	Muokkaus, siirtymä nurmesta yksivuotisiin kasveihin		Laski voimakkaasti
Sa	Muokkaus, suorakylvön lopetus, lannan käytön lopetus	Kalkki, välikasvinurmi, syysviljat, kipsi	Laski voimakkaasti

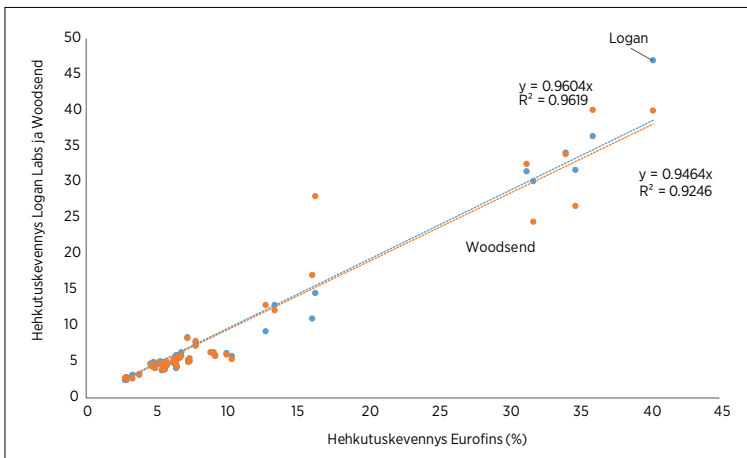
3.3 KUINKA HYVIN KASVUKUNTOA VOIDAAN SEURATA YKSITTÄISELLÄ MITTARILLA?

OSMO-hankkeessa kasvukunnon kehittymistä seurattiin useiden indikaattorien eli mittareiden avulla. Sekä viljelijät että tutkijat pyrkivät etsimään kuitenkin indikaattoreita, joiden avulla voisi arvioida lohkon kasvukuntoa yksinkertaisemmin. Yleisesti kasvukunnon ja pellon tuottavuuden mittarina käytetään esimerkiksi pellon multavuutta. Kationinvaihtokapasiteetin (KVK) on esitetty myös kuvaavan lohkojen tuottavuutta, samoin maan irtotiheyden. Mikrobiaktiivisuuden pohjaavaa Soil

Health Tool-indeksiä on esitetty erääksi kasvukuntoindikaattoriksi. Kuinka hyvin muutokset näissä isomman tason indikaattoreissa kuvasivat lohkoilla havaittuja muutoksia maan kasvukunnossa?

MULTAVUUS

OSMO-hankkeessa määritettiin multavuus kolmessa eri laboratorioissa ja kahdella eri menetelmällä (hehkuskevennys, aistinvarainen arviointi). Laboratorioiden väliset erot hehkuskevennyksessä (hehkuskevennys) samoista näytteistä määritettynä olivat pieniä, vaikka yhdysvaltalaiset määritykset tehtiin alemmassa lämpötilassa (450 C) kuin suomalaiset (550 C) (Kuva 11).



Kuva 11. Erot hehkuskevennyksessä laboratorioiden välillä olivat pieniä vuosien 2015 ja 2018 tuloksissa.

Figure 11. Differences in soil organic matter analyses between laboratories were minor in year 2015 and 2018 results.

Figur 11. Skillnaderna i glödningsförlust mellan olika laboratorier var små i resultatena 2015 och 2018.

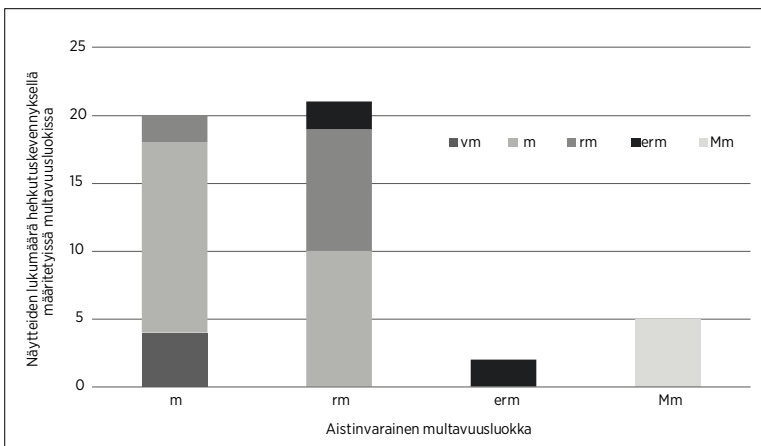
Suomalaisen **aistinvaraisen multavuusluokituksen** tarkkuuden selvittämiseksi verrattiin mitattuja hehkutuskevennyksiä aistinvaraisesti määritetyissä eri multavuusluokissa (Kuva 12). Vertailu tehtiin vuoden 2016 ja 2017 tulosten perusteella. Aistinvarainen määrittely ja hehkutuskevennys määritettiin samasta näytteestä otetusta osanäytteestä eri laboratorioissa. Tulosten perusteella aistinvarainen tarkastelu on tarkka etenkin korkeammassa multavuusluokissa, mutta epätarkka runsasmultaisessa luokassa.

Samoin **aistinvaraisessa maalaajiluokituksessa** ainoastaan 7 lohkoa 24:stä säilytti saman maalaajiluokituksen neljänä perättäisenä tutkimusvuotena. Maalajin ja multavuusluokan aistinvaraisesta määrittämisestä ei siten voida pitää luotettavana pelon kasvukunnon määrittämenetelmänä.

Tulosten perusteella lohkoilla kuitenkin tapahtui multavuuden muutoksia kokeen aikana myös hehkutuskevennyksellä mitattuna (Kuva 13). Suurin muutos tapahtui Kä-lohkoilla, jossa multavuus

väheni 24 %. Kyseessä oli hiljattain raivattu turvepelto, jossa suuri multavuuden muutos oli odotettavissa. Toisaalta Ha-lohkoilla multavuus säilyi noin 36 % tasolla koko kokeen ajan. Suurimmalla osalla lohkoista muutokset olivat kuitenkin alle 0,5 % ja kuvastavat enemmän mittausepävarmuutta. Ju, Lu ja Sa-lohkoilla multavuus vaikuttaisi nousseen. Etenkin Ju-lohkoilla multavuusmuutos on kytköksissä alentuneeseen irtotiheyteen ja sitä kautta matalampaan näytteenottosyvyyteen.

Kokeen aikana maan rakenne parani monella lohkoilla. **Irtotiheyttä** pidetään hyvänä maan mururakenteen mittarina. Periaatteessa irtotiheys pitäisi määrittää häiriytymättömästi maanäytteestä. Tässä hankkeessa irtotiheys määritettiin viljavuusnäytteistä, joten maan oli jo hienonnettu ja seulottu 2 mm seulalla. Irtotiheys pieneni etenkin lohkoilla, joissa irtotiheys oli suurin lähtötilanteessa (Pa ja Lu). Toisaalta irtotiheys kasvoi (eli maan tiiveys kasvoi) lähinnä vain Kä-lohkoilla, jossa lähtötilanteessa maassa oli runsaasti hajoamatonta turvetta.



Kuva 12.

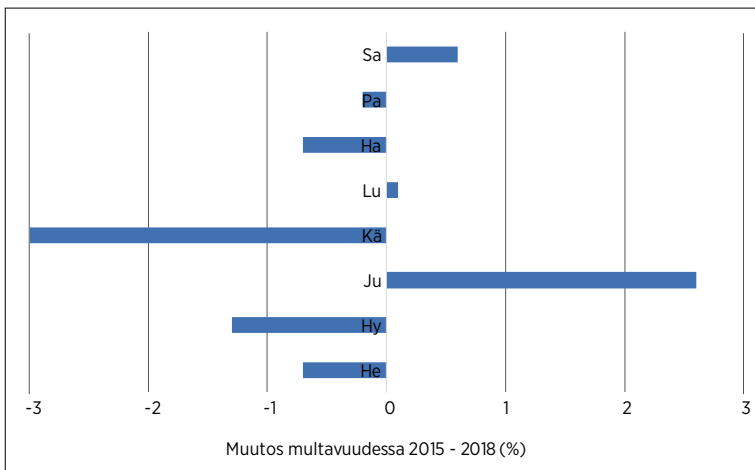
Aistinvarainen multavuuden määrittely vaikuttaisi epätarkalta etenkin runsasmultainen rm multavuusluokassa, jossa noin puolet tähän luokkaan luokitelluista lohkoista oli hehkutuskevennyksen perusteella multavia.

Figure 12.

The Finnish method of classifying soil based on sensory assessment would seem to be inaccurate for high organic matter mineral soils (rm = 6-12 % OM).

Figure 12.

Sinnesmässigt avgörande av mulhalt verkar inte vara noggrann, speciellt i mulhaltklassen mulrik, rm. Ungefär hälften av proven som var sinnesmässigt klassificerad mulrika, var endast mulhaltiga, mätt med glödningsförlust.



Kuva 13.

Multavuuden muutos kokeen aikana hehkutuskevennyksellä määritettynä. Asteikko on katkaistu, sillä Kä-lohkoilla multavuus laski 24 %.

Figure 13.

Soil organic matter changed during the experiment. The largest decrease was on Kä-site, where the OM-% decreased 24%. On most sites the difference between sampling years was less than 1%.

Figure 13.

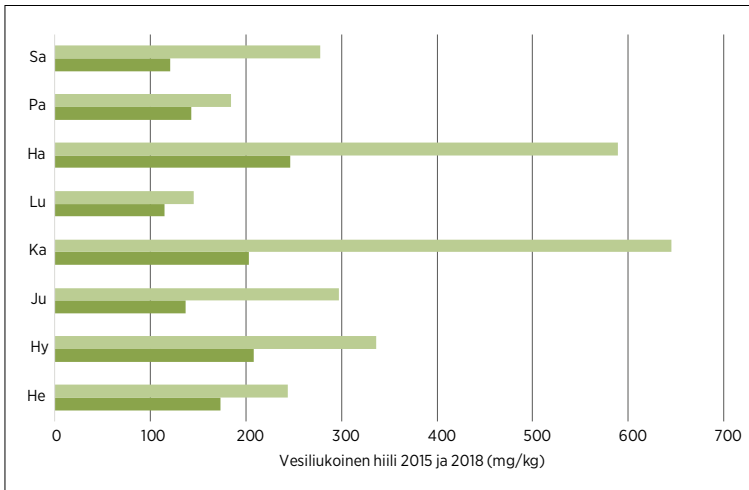
Förändring i mulhalt under projektet, mätt med glödningsförlust. Skalan är avbruten, för att på Kä-fältet sjönk mulhalten 24 %.

Häiritystäkin näytteestä tehty irtotiheysmäärittäminen vaikuttaa toimivan hyvin lohkojen muutosten seurantaan. Toisaalta irtotiheys ei juurikaan muuttunut lohkoilla, joissa rakenne parani eniten (Sa, Hy). Näillä lohkoilla irtotiheys oli jo melko hyvällä tasolla (alle 1,0 kg/l), mikä viittaa niiden huokoiseen mururakenteeseen.

Vesiliukoinen hiili on nopeammin muuttuva indikaattori kuin multavuus, joten sitä on pidetty hyvänä indikaattorina kasvukunnon suunnasta. Koelohkoilla maanäytteiden perusteella vesiliukoisen hiilen määrät laskivat kaikilla koelohkoilla (Kuva 14). Lasku oli yllättävintä lohkoilla, joissa viljelyyn oli lisätty nurmea ja lantaa (Ju, Hy, Sa).

Maaperän mikrobiaktiivisuutta kuvataan usein kastelun jälkeisellä hiilidioksidipulssilla (CO2

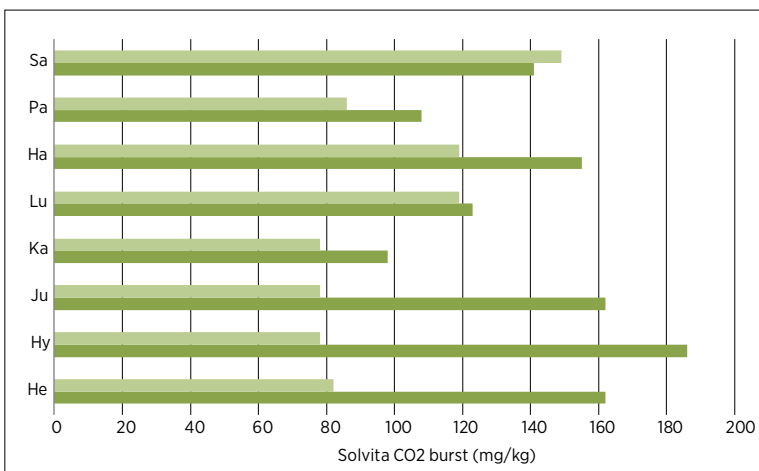
burst). Tämä on perustana viime vuosina yleistyneessä Soil Health Tool-menetelmässä. Tulosten perusteella OSMO- koelohkoilla mikrobiaktiivisuus pysyi samana Sa, Lu ja Kä -lohkoilla ja kasvoi selvästi Pa, Ha, Ju, Hy ja He -lohkoilla (Kuva 15). Lu-lohkolla mikrobiaktiivisuus oli korkealla tasolla 2015, laski vuosina 2016, 2017 perunan viljelyn aikana ja nousi taas 2018 ohran viljelyn aikana. Mikrobiaktiivisuus vaikuttaa mittarilta, joka muuttuu kasvukuntotoimenpiteiden seurauksena, mutta on epäselvää kuinka paljon eri toimenpiteet vaikuttavat sen muutoksiin. Ju, Hy ja He -lohkoilla maan rakenne parani selvästi kokeen aikana ja kierrossa oli viherlannoitusnurmia. Toisaalta Ha-lohkolla syvämpi maan muokkaus ja lannan käyttö ovat voineet lisätä hajotustoimintaa.



Kuva 14. Vesiliukoisen hiilen määrä laski kaikilla koelohkoilla.

Figure 14. Water soluble organic carbon (WSOC) decreased in all sites.

Figur 14. Mängden av vattenlösligt organiskt kol sjönk på alla fält.



Kuva 15. Mikrobiaktiivisuutta kuvaava hiilidioksidipulssi (CO2 burst) oli herkkä lohkoilla tehdyille toimenpiteille ja muutokset olivat samansuuntaisia todettujen kasvukuntokijöiden kanssa.

Figure 15. Solvita CO2 burst, which describes microbial biomass, was sensitive to the management options and soil development, which makes it a promising indicator for tracking soil health.

Figur 15. Solvita CO2 burst, som mäter mikrobiaktiviteten, var känslig för de behandlingar som gjordes på fälten. Förändringarna var parallella med de konstaterade faktorerna som bidrar till god jordhälsa.

4 KANNATTAAKO PELLON KORJAAMINEN? KOETILAVILJELIJÖIDEN NÄKEMYKSIÄ

Tutkimuksen lopuksi kysyttiin koetilaviljelijöiltä kokemuksia lohkon korjaamisesta. Vastaukset voidaan tiivistää seuraavasti:

- Aikaa ei mene erityisen paljon konetyöhön, mutta suunnitteluun kyllä.
- Korjaaminen on ollut pääosin edullista, ostopainoksia tarvitaan vähän.
- Kalleinta on ollut konetyö kaivuutöihin.
- Yksittäisistä tärkeimmistä toimenpiteistä korostuu ojien huolto, pinnan muotoilu ja rakenteen nopea korjaus nurmen ja syväkuohkeutuksen avulla.
- Useimmat viljelijät olivat soveltaneet kasvukuntaa parantavia toimenpiteitä myös muilla lohkoillaan.
- Parantunut kasvukunto näkyy parantuneena maan rakenteena, parempana vesitaloutena ja syysviljojen hyvänä talvehtimisena.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Maan kasvukuntoa voidaan kehittää melko lyhyessäkin ajassa. Kasvukunnan kehittäminen ei vaadi useimmiten suuria taloudellisia investointeja, mutta vaatii panostusta lohkon seurantaan ja toimenpiteiden suunnitteluun.

Kasvukunnan hoidon perustaksi voidaan käyttää lohkon tärkeimmät ominaispiirteet huomioonottavia viljavuusanalyysijä (perustutkimus täydennettynä riittävän kattavalla hivenravinteiden määrityksellä, hehikutushäviöllä sekä varastoravinteiden määrityksellä pinta- ja pohjamaasta, mikäli vaihtuvan ravinteen taso on kriittinen). Riittävän monipuolista viljavuustutkimusta on syytä täydentää maan rakenteen arvioinnilla. Irtotiheys ja maan mikrobiaktiivisuutta kuvaava maahengitys vaikuttavat hyviltä täydentäviltä mittareilta.

Maan kasvukunnan kehittymisen seuraaminen yksittäisillä mittareilla on haastavaa. Esimerkiksi vedenläpäisykyky voi alentua maan rakenteen parantuuessa, jos oikovirtailu vähenee. Esimerkiksi kemiallinen viljavuus voi muutoin olla hyvällä tasolla, mutta maassa on boorin puute. Kemiallinen viljavuus voi olla myös kaikilta osin hyvällä tasolla, mutta maan murukestävyys on erittäin alhainen ja maa on siten hyvin altis eroosiolle. Poutavuosina maan rakenne voi olla pintakerroksessa hyvä, mutta pelto ei kestä runsaampia sateita, koska syvemmällä maassa on heikosti vettä läpäiseviä kerroksia. Kasvukunnan kehittämisen seurannassa kannattaa käyttää yhdistelmää erilaisia analyysi- ja havainnointimenetelmiä, jolloin kasvukunnan kokonaiskuva pysyy selvillä. OSMO-hankkeen aikana testatut menetelmät muodostavat hyvän perustan seurantamenetelmäksi.

6 KIRJALLISUUS

- Bacq-Labreuil, A., J. Crawford, S. J. Mooney, A. L. Neal, ja K. Ritz. 2019. "Phacelia (*Phacelia Tanacetifolia* Benth.) Affects Soil Structure Differently Depending on Soil Texture". *Plant and Soil* 441 (1): 543–54. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04144-4>.
- Harmsen, K., H. Loman, ja J. J. Neeteson. 1990. "A Derivation of the Pierre-Sluijsmans Equation Used in the Netherlands to Estimate the Acidifying Effect of Fertilizers Applied to Agricultural Soils". *Fertilizer Research* 26 (1–3): 319–25. <https://doi.org/10.1007/BF01048770>.
- Kibblewhite, M. G., K. Ritz, ja M. J. Swift. 2008. "Soil Health in Agricultural Systems". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 363 (1492): 685–701. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2178>.
- Lal, Rattan. 2016. "Soil Health and Carbon Management". *Food and Energy Security* 5 (4): 212–22. <https://doi.org/10.1002/fes3.96>.
- Liu, Aiguo, B. L. Ma, ja A. A. Bomke. 2005. "Effects of Cover Crops on Soil Aggregate Stability, Total Organic Carbon, and Polysaccharides". *Soil Science Society of America Journal* 69 (6): 2041–48. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0032>.
- Mattila, Tuomas J., Veera Manka, Jukka Rajala, Heikki Ajosenpää, Jari Luokkakallio, ja Marja Tuononen. 2018. *Kuinka maan kasvukuntoa kehitetään?* Helsingin yliopisto Ruralia-instituutti. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/288213>.
- Mattila, Tuomas J., ja Jukka Rajala. 2017. *Mistä ja miten tunnistaa maan hyvän kasvukunnon?* Helsingin yliopisto Ruralia-instituutti. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/229450>.
- Mattila, Tuomas J., Jukka Rajala, ja Ritva Mynttinen. 2019. *Peltohavaintoja – aistinvarainen tarkastelu maan kasvukunnon mittarina*. Helsingin yliopisto Ruralia-instituutti. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/305223>.
- NRCS. 2015. "Amending soil properties with gypsum products". 333. Conservation Practice Standard. USDA.
- Paul Obade, Vincent de, ja Rattan Lal. 2016. "A standardized soil quality index for diverse field conditions". *Science of The Total Environment* 541: 424–34. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.096>.
- Weil, Ray R., ja Nyle C. Brady. 2016. *The Nature and Properties of Soils, 15th Edition*. 15 edition. Columbus: Pearson.
- Williams, Hanna, Tino Colombi, ja Thomas Keller. 2020. "The Influence of Soil Management on Soil Health: An on-Farm Study in Southern Sweden". *Geoderma* 360 (helmikuuta): 114010. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114010>.

Lisämateriaali:

Hankkeen tilakoeaineiston tulostiedostot
<https://www.doi.org/10.5281/zenodo.3589102>

