

**MAANPARANNUSAINEIDEN VAIKUTUS MAAN FYSIKAALISIIN  
OMINAISUUKSIIN**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Lepaa, puutarhatalous

kevät, 2020

Michaela Kontu

Puutarhatalous  
Lepaa

---

<b>Tekijä</b>	Michaela Kontu	<b>Vuosi</b> 2020
<b>Työn nimi</b>	Maanparannusaineiden vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin	
<b>Työn ohjaaja</b>	Teo Kannianen	

---

## TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin maanparannusaineiden vaikutusta maan fysikaalisiin ominaisuuksiin. Tavoitteena oli selvittää, onko peltokokeessa tehdyillä orgaanisilla maanparannusainelisyksillä ollut vaikutusta maan vedenläpäisykykyyn kokeen kuudennella tutkimuskaudella. Tutkimus oli osa Humuspehtoori Oy:n HAMK Lepaan yksikköön vuonna 2014 perustamaa kymmenvuotista peltokoetta ja jatkumoa peltokokeen aikaisempina vuosina tehdyille tutkimuksille.

Peltokokeessa oli kahdeksan eri käsittelyä ja kerranteita neljä. Pinta-alataan 345 m<sup>2</sup>:n koeruutuja oli yhteensä 32 kappaletta ja koealueen kokonaispinta-ala yhteensä 1,1 ha. Käsittelyt koostuivat maanparannusainelisyksistä, väkilannoituksesta ja jankkuroinnista. Jokaisessa kerranteessa oli yksi kontrolliruutu.

Koeruutujen vedenläpäisykykyä tutkittiin infiltraatiomittausten avulla syksyllä 2019. Mittaukset suoritettiin tensioinfiltrometrin avulla, käyttäen painekorkeuksina -3 cm ja -1 cm. Mittaustulosten tilavuusvirtojen keskiarvoista laskettiin hydrauliset johtavuudet molemmille painekorkeuksille, joita käsiteltiin tilastonkäsittelyohjelmalla.

Vedenjohtavuuksissa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja eri käsittelyjen välillä. Eri kerranteiden välillä löydettiin tilastollisesti suuntaa antavia eroja painekorkeudella -1 cm. Tilastollisesti merkitseviä eroja ei löytynyt maanparannusainekäsittelyjen vs. käsittelemättömien, jankkuroitujen vs. jankkuroimattomien eikä voimakkaasti muokattujen vs. muokkaamattomien koeruutujen välillä.

**Avainsanat** Maanparannus, vedenläpäisykyky, hydraulinen johtavuus

**Sivut** 51 sivua, joista liitteitä 5 sivua

Degree Programme in Horticulture

Lepaa

---

<b>Author</b>	Michaela Kontu	<b>Year</b> 2020
<b>Subject</b>	Effects of soil improvement materials on physical properties of soil	
<b>Supervisor</b>	Teo Kanniainen	

---

ABSTRACT

The aim of the thesis was to study the effects of soil improvement materials on physical properties of soil. The goal of this research was to find out if added organic soil improvements in the field experiment was affected on soil water infiltration properties on the sixth research season. This research was a part of Humuspehtoori Oy's ten-year field experiment that was established in 2014 to HAMK University of Applied Sciences in Lepaa campus. This experiment was continuation for the earlier researches in the same field experiment.

The field experiment consisted of eight different treatments and four replicates of each treatment. Each experimental plot was size of 345 m<sup>2</sup> and total area of 32 experimental plots were 1,1 hectares. Treatments consisted of added soil improvement materials, chemical fertilization and subsoil ploughing. There was one control plot in every replicate.

Soil water infiltration properties were measured by infiltration tests in September 2019. Measurements were performed with tension infiltrometer, using -3 cm and -1 cm pressure heads. Hydraulic conductivities were calculated from average of flow rates for both pressure heads and analyzed with statistical program after that.

Statistical differences were not found in hydraulic conductivity between different treatments. Statistical approximate differences were shown between four replicates with pressure head -1cm. There were no statistical differences between using soil improvers vs. not using soil improvers, subsoil ploughing vs. no subsoil ploughing and neither hard-tilling vs. no hard-tilling experimental plots.

**Keywords** Soil enrichment, infiltration, hydraulic conductivity

**Pages** 51 pages including appendices 5 pages

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	MAAN RAKENNE JA KASVUKUNTO.....	2
2.1	Maalaji, multavuus ja ominaispinta-ala .....	2
2.1.1	Maalaji .....	2
2.1.2	Multavuus.....	5
2.1.3	Maan ominaispinta-ala.....	5
2.2	Maan huokos- ja mururakenne.....	6
2.2.1	Huokosrakenne.....	6
2.2.2	Mururakenne.....	7
2.3	Eloperäinen aines .....	8
2.4	Viljelykierto ja kasvilajivalinta .....	10
2.5	Orgaaniset lannoitteet ja maanparannusaineet .....	10
2.6	Maan muokkaus ja syväkuohkeutus .....	12
2.7	Peltoliikenne ja maan tiivistyminen .....	13
2.8	Ojitus ja vesitalous .....	15
3	MAAN VEDENLÄPÄISYKYKY .....	16
3.1	Käsitteiden määrittely.....	16
3.2	Maaperän vesivyöhykkeet ja veden liikkeet .....	16
3.3	Vedenjohtavuuden mittaussmenetelmiä .....	19
4	AINEISTO JA MENETELMÄT .....	22
4.1	Humuspehtoorin peltokoe .....	22
4.1.1	Peltokokeen toimenpiteet vuosina 2014–2019 .....	22
4.1.2	Peltokokeen viljavuustutkimus ja multavuusmäärittely.....	24
4.2	Koealueen vedenläpäisykyvyn mittaukset.....	25
4.2.1	Mittausten toteutus .....	25
4.2.2	Aineiston tilastollinen käsittely .....	27
4.3	Muut havainnot kasvukaudella 2019 .....	28
4.3.1	Kasvukauden aikaiset säähavainnot.....	28
4.3.2	Koealueen drone-kuvaukset.....	28
5	TULOKSET .....	29
5.1	Hydrauliset johtavuudet K(-1cm).....	29
5.2	Hydrauliset johtavuudet K(-3cm).....	32
6	TULOSTEN TARKASTELU .....	34
6.1	Vedenläpäisykyky mittaukset .....	34
6.2	Muut havainnot.....	37
7	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	39
	LÄHTEET.....	41

Liitteet

- Liite 1 Peltokokeen koeruudut
- Liite 2 Peltokokeen viljelytekniikka
- Liite 3 Koerutukohtaiset viljavuustutkimukset vuodelta 2013
- Liite 4 Koerutujen multavuuden määrittäminen hehkutuskevennyksellä
- Liite 5 Peltokoealueen drone-kuvaukset syksyllä 2019

## 1 JOHDANTO

Maan kasvukuntoon vaikuttavat niin fysikaaliset-, kemialliset- kuin myös biologiset tekijät. Nämä kolme osa-aluetta yhdessä luovat perusedellytykset hyväkuntoiselle maalle (Peltonen, 2017, s.7) ja ne toimivat vahvassa vuorovaikutuksessa keskenään, jolloin eri tekijöiden vaikutusta tai merkitystä ei voida tarkasti erottaa (Hartikainen, 2016a, s.40). Hyväkuntonen maa kestää hyvin vettä, muokkautuu helposti ja sen kantavuus sekä vedenläpäisykyky ovat riittävät. (Heinonen, 1992, s.92)

Maan fysikaalisia tekijöitä ovat rakenne, maalaji, vesitalous, ilmavuus, huokoisuus ja muruisuus. Näihin fysikaalisiin tekijöihin voidaan vaikuttaa kiinnittämällä huomiota peltomaan ojitukseen ja vesitalouteen, maan huokoisuuteen ja mururakenteeseen, sopivien muokkausmenetelmien valinnalle maalajien mukaan, syväkuohkeutukseen ja myös käytettävään konekalustoon (koneketjut, rengaspaineet ja rengaskuormat). (Peltonen, 2017, s.7)

Suomessa toteutetun pitkäaikaisen tutkimuksen (1974–2009) mukaan peltomaiden pintakerroksen (0–15 cm) hiilipitoisuus on laskenut kivennäismailla vuosittain 0,4 % suhteutettuna edellisen vuoden tasoon (Palojärvi, Salo & Mylly, 2015, s. 23). Orgaanisen aineksen väheneminen heikentää mikrobien elinoloja sekä ravinteiden- ja vedensitomiskykyä (Peltonen, 2019a, s.26).

Maan hiilivarastoja voidaan merkittävästi kasvattaa lisäämällä maahan hiilipitoisia orgaanisia materiaaleja (Peltonen, 2019a, s.26), kuten esimerkiksi maanparannusaineita ja orgaanisia lannoitteita (Joona, Heinonsalo & Haggelberg, 2019, s.42). Maat, joiden orgaanisen aineksen pitoisuus on suuri, ovat usein hyvin tuottoisia. Suurin syy tähän on se, että orgaaninen aines parantaa maan vedenläpäisy- ja pidätyskykyä, jolloin kasvit pystyvät hyödyntämään maassa olevan veden tehokkaasti. (Brady & Weil, 2017, s.570)

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin maanparannusaineiden vaikutusta maan fysikaalisiin ominaisuuksiin. Tavoitteena oli selvittää, onko peltokokeessa tehdyillä orgaanisilla maan-parannusainelisäyksillä ollut vaikutusta maan vedenläpäisykykyyn kokeen kuudennella tutkimuskaudella.

Tutkimus oli osa Humuspehtoori Oy:n HAMK Lepaan yksikköön vuonna 2014 perustamaa kymmenvuotista peltokoetta. Peltokokeessa tutkitaan Humuspehtoori Oy:n maanparannusaineiden vaikutuksia peltomaan ominaisuuksiin. Peltokokeessa on aiemmin tehty tutkimuksia maan mikrobiologiasta kokeen kolmantena ja kuudentena vuotena. Maan fysikaalisia ominaisuuksia on tutkittu vedenläpäisykykymittausten avulla kokeen kolmantena ja neljäntenä tutkimuskautena. Peltokokeen avulla pyritään saamaan uutta tietoa maanparannusaineiden pitkäaikaisvaikutuksista maan ominaisuuksiin.

## 2 MAAN RAKENNE JA KASVUKUNTO

Maan kasvukuntoon vaikuttavat niin fysikaaliset, biologiset kuin myös kemialliset tekijät, jotka yhtenä kokonaisuutena luovat perusedellytykset hyväkuntoiselle maalle. Maan fysikaalisia tekijöitä ovat mm. maalaji, rakenne, huokoisuus, ilmavuus, muruisuus ja vesitalous. Biologisiin tekijöihin kuuluvat juurieritteet, juuret, orgaaninen aines, pieneliöt ja maaperäeläimet. Kemiallisia tekijöitä ovat puolestaan ravinteet, ravinteiden varastointikyky, maan happamuus (pH), suolapitoisuus ja haitta-aineet. (Peltonen, 2017, s.7)

Maan fysikaaliset, kemialliset ja biologiset ominaisuudet muodostavat kokonaisuuden, jossa kaikki kolme osa-aluetta ovat vuorovaikutuksissa keskenään. Yhden osa-alueen muutokset ja häiriöt vaikuttavat koko järjestelmän toimintaan. Mikrobiologiset prosessit ohjaavat usein kemiallisia reaktioita ja vastaavasti taas kemialliset- ja fysikaaliset ominaisuudet vaikuttavat biologisiin prosesseihin. Kemialliset ja biologiset (mm. mikrobiaktiivisuus) tekijät yhdessä peltomaan mineraalien kanssa vaikuttavat maan fysikaalisiin ominaisuuksiin. (Hartikainen, 2019, s.3)

Esimerkkinä maan happamuus kemiallisena tekijänä vaikuttaa maamikrobiston ja maaeliöiden aktiivisuuteen ja laatuun (=biologinen tekijä). Maan ollessa sopivan hapanta bakteerit hajottavat orgaanista ainesta tehokkaasti vapauttaen ravinteita ja tuottaen lima-aineita, jotka sitovat maamuruja yhteen. Näin ollen maan mururakenne vahvistuu ja tämä heijastuu peltomaan fysikaalisiin ominaisuuksiin. Toisaalta maan fysikaaliset ominaisuudet, kuten maan vedenläpäisyominaisuudet ja maan mururakenteen huokoisuus, vaikuttavat maan happitalouteen. Maan happitalous säätelee mikrobiston lajikoostumusta ja vaikuttaa biologiseen aktiivisuuteen sekä kemiallisiin reaktioihin. (Hartikainen, 2016a, s.40)

Maan fysikaalisiin tekijöihin voidaan vaikuttaa kiinnittämällä huomiota mm. peltomaan mururakenteeseen, huokoisuuteen ja vesitalouteen. Tärkeää on myös valita oikeanlaiset muokkausmenetelmät maalajien mukaan ja arvioida syväkuohkeutuksen tarvetta. Myös koneketjun suunnitteluun sekä rengaspaineisiin- ja kuormiin tulee kiinnittää huomiota. (Peltonen, 2017, s.7)

### 2.1 Maalaji, multavuus ja ominaispinta-ala

#### 2.1.1 Maalaji

Samanlaisilla mailla on pääsääntöisesti samanlaiset ominaisuudet ja tämän vuoksi ne pyritään luokittelemaan. Suomessa tärkein luokitteluperuste on maalaji. Kivennäismaiksi luokitellaan maat, joiden orgaanisen aineksen pitoisuus on alle 20%. Kivennäismaalajit jaetaan edelleen lajittumattomiin

(moreenimaat) ja lajittuneisiin maalajeihin (sedimentit) ja niiden luokittelu tehdään lajittekoostumuksen eli raekoon perusteella. (Hartikainen, 2016b, s.23) Eloperäisiksi maiksi luokitellaan ne maat, joiden orgaanisen aineksen pitoisuus on yli 20 %. Poikkeuksena ovat liejumaat, jotka kuuluvat eloperäisiin maihin, jos niiden orgaanisen aineksen osuus on yli 6%. Orgaanisten maalajien luokittelu perustuu orgaanisen aineksen määrään, laatuun ja syntytapaan. Eloperäisiä maita ovat multamaat (orgaanista ainesta 20–40 %) ja turvemaat (orgaanista ainesta yli 40%). (Hartikainen, 1992, s. 24,25,31)

Kivennäismaiden maatalouden luokituksen mukaisia maalajitteita ovat saves, hieno/karkea hiesu, hieno/karkea hieta, hieno/karkea hiekka, hieno/karkea sora ja pienet kivet. Maalajitteiden raekoot on esitetty Taulukossa 1.

Taulukko 1. Maatalousluokituksen mukaiset maalajitteet. Mukailleen (Hartikainen, 2017, s.24) taulukkoa.

Rakeiden läpimittamitta [mm]	Nimitys	Lyhenne	Englanninkielinen nimi
-0,002	saves	S	clay
0,002–0,006	hieno hiesu	HHs	silt
0,006–0,02	karkea hiesu	KHs	
0,02–0,06	hieno hieta	HHT	fine sand
0,06–0,2	karkea hieta	KHT	
0,2–0,6	hieno hiekka	HHk	coarse sand
0,6–2	karkea hiekka	KHk	
2–6	hieno sora	HSr	gravel
6–20	karkea sora	Ksr	
20–60	pienet kivet	Ki	

Lajittumattomissa maalajeissa (moreenimaissa) tavataan monia eri maalajitteita. Moreenimaita nimetään vallitsevan lajitteen mukaan edelleen sora-, hiekka-, hieta-, hiesu ja savimoreeneiksi. Lajittuneissa maalajeissa on runsaammin tiettyä maalajitetta kuin muita. Lajittuneet maalajit nimetään maalajikolmion avulla, jossa huomioidaan maanäytteen saveksen, hiesun, hiedan ja hiekan osuudet. (Hartikainen, 2016b, s.25) Lajittuneiden maalajien nimi määräytyy vallitsevan maalajitteen mukaisesti (Yli-Halla, 2017a, s.16)

Savet jaetaan kolmeen eri ryhmään: aitosaveen (AS), hiesusaveen (HsS) ja hietasaveen (HtS). Aitosavessa savesta on yli 60 %, hiesusavessa 30–60 % ja hietasavessa 30–60 %. Hiesusavessa hietaa ja hiekkaa on alle 20 % ja hietasavessa yli 20%. Hietasavesta erotetaan omaksi maalajikseen edelleen hiuesavi (HeS), jossa hiesua on 20–50% ja hietaa 20–50%. (Hartikainen, 2016b, s.25) Mitä suurempi tietyn maalajitteen osuus maalajissa on,



sitä enemmän lajitteelle tyypilliset ominaisuudet vaikuttavat maalajin ominaisuuksiin (Hartikainen, 1992, s. 28).

Savimaat (S) ovat tyypillisesti kosteina muovailtavia ja sitkeitä, kuivina halkeilevia ja kovia. Savimaiden muokkaaminen on raskasta ja ne muokkautuvat hyvin ainoastaan sopivissa olosuhteissa. Routa murustaa savimaita ja edesauttaa saven muokkautuvuutta. Savet sitovat vettä hyvin, mutta vedestä vain pieni osa on kasveille käyttökelpoisessa muodossa. Raskas pelto liikenne voi tiivistää savimaita haitallisesti. (Yli-Halla, 2017a, s.16) Savimailla tiivistymisriski on suuri maan hitaan kuivumisen vuoksi, mutta kuivana savi kestää tiivistämistä hyvin (Alakukku & Pietola, 2002, s.9) Savimaiden murustuminen ja halkeilu parantavat maan vedenläpäisykykyä (Hartikainen, 1992, s. 29)

Hietamaat (Ht) ovat tyypillisesti hikeviä, eli niissä tapahtuu kapillaarista veden nousua. Kapillaarinen vedennousu karkeassa hiedassa on heikompaa kuin hienossa hiedassa. Hieno hieta on rakenteeltaan pehmeää, löyhästi kokkareista, ilmavaa ja sopivasti kosteaa. Hienohieta muodostaa voimakkaasti roustetta. (Hartikainen, 1992, s. 28) Hienohieta pysyy hikevyytensä vuoksi kylmänä melko pitkään ja tasaisilla mailla tulee kiinnittää huomiota maan kuivatukseen (Alakukku & Pietola, 2002, s.9).

Hiesumaat (Hs) ovat kuivina pölyävän jauhomaisia. Kosteana hiesu ei ole sitkeää eikä se ole muovailtavissa. Hiesumaan vedenläpäisykyky on heikko, jonka vuoksi se liettyy helposti ja jää liian märäksi. Kuivuessaan liettynyt pinta muodostaa kovan kuoren. Vähämultaisia hiesumaita on vaikea viljellä ja runsasmultaisinakin ne ovat vain kohtalaisia. (Hartikainen, 1992, s. 29) Hiesumaan mururakenne on usein heikko ja se ei halkeile (Alakukku & Pietola, 2002, s.9). Hiesumaat ovat tiiviitä (Yli-Halla, 2017a, s.16).

Hiue (He) sijoittuu lajitekoostumuksensa perusteella hiedan (Ht) ja hiesun (Hs) väliin. Ominaisuudet määräytyvät joko hiedan tai hiesun mukaan riippuen siitä, kumpaa maalajia näyte enemmän edustaa. Pääsääntöisesti hiue on altis rousteen muodostukselle ja se yleensä kuorettuu helposti. (Hartikainen, 1992, s. 29) Hiuemaat on aiemmin luokiteltu hiesuiksi tai hienoiksi hiedoiksi (Yli-Halla, 2017a, s.16).

Suomessa yleisimpiä savimaita ovat hiuesavet (HeS). Myös hietasavet (HtS) ja hiesusavet (HsS) ovat yleisiä. (Yli-Halla, 2017a, s.16) Hietasavet on hyviä viljelymaita ravinne- ja vesitalouden kannalta. Viljelyominaisuuksissa on kuitenkin paljon alueellista vaihtelua. Hiesusavet ovat savimaista kaikkein vaikeimmin viljeltäviä, sillä niiden hiesulle tyypilliset liettymisominaisuudet aiheuttavat usein kuorettomia sateiden jälkeen. Hiuesavet sijoittuvat hietta- ja hiesusavien väliin ja niiden ominaisuudet määräytyvät hiesupitoisuuden perusteella. (Hartikainen, 1992, s. 29)

### 2.1.2 Multavuus

Kivennäismailla orgaanisen aineksen pitoisuus huomioidaan lisämäärällä vähämultainen (orgaanisen aineksen pitoisuus alle 3%), multava (3–6%), runsasmultainen (6–12 %) ja erittäin runsasmultainen (12–20 %). (Hartikainen, 2016b, s.26) Multavuusluokkien lyhenteet ovat vm, m, rm ja erm (Eurofins, n.d.).

Viljavuustutkimuksessa maalajin ja multavuusluokan määrittäminen tehdään aistinvaraisin menetelmin. Hyvässä kasvukunnossa olevan ja helposti murustuvan maan maalaji ja multavuusluokan määrittäminen voi mennä väärin. Runsa multaiseksi hiuesaveksi määritetty maa-aines voikin olla multava hiesu tai hiue. Viljavuustutkimusta voidaan täydentää erillisellä hehkutuskevennyksellä, jolla saadaan määritettyä multavuus tarkasti. Joissain tilanteissa tarkan multavuusluokan määrittäminen voi vaikuttaa myös maalajimäärittämiseen. (Mattila, 2015, s. 40–41) Hehkutuskevennyksessä maata kuumennetaan n. 500 C°:n, jolloin maa-aineksessa oleva orgaaninen aine palaa pois. Maanäytteen painon aleneminen kuvastaa maan multavuutta. (Yli-Halla, 2017b, s.35)

### 2.1.3 Maan ominaispinta-ala

Maan ominaispinta-ala ( $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$  kuivaa maata) kuvaa ”maan ja neste- tai kaasufraasin rajapinta-alojen summaa” (Hartikainen, 2016c, s. 39) eli hiukkasmassan pinta-alaa (Brady & Weil, 2017, s.153).

Kun maalajitteen raekoko kasvaa, pienenee maan ominaispinta-ala. Vastaavasti raekoon pienentyessä ominaispinta-ala suurenee. Ominaispinta-ala kasvaa myös maalajitteen savimineraalien ja humuksen osuuden kasvaessa. Esimerkiksi raekoon ollessa 1 mm (KHT), maan ominaispinta-ala ( $\text{m}^2\text{g}^{-1}$ ) on 0,00231, raekoolla 0,01 mm (KHs) 0,231 ja raekoolla 0,1  $\mu\text{m}$  (karkea save) 23,1. Kun edelleen saveksen koko pienenee (<0,2  $\mu\text{m}$ ), kasvaa ominaispinta-ala huomattavasti. Riippuen savimineraalista, ominaispinta-ala vaihtelee 5–800  $\text{m}^2\text{g}^{-1}$  välillä. Humuksen ominaispinta-ala on >600  $\text{m}^2\text{g}^{-1}$ . (Hartikainen, 2016b&c, s. 24, 39–40)

Maassa tapahtuvat maapartikkelien ja maanesteen väliset reaktiot ovat pintareaktioita. Mitä suurempi on kiinteän aineksen kokonaispinta-ala, sitä tehokkaammin reaktiot tapahtuvat. Tällaisia reaktioita ovat mm. ionien sitoutuminen ja veden adsorptio. (Hartikainen, 2016c, s. 39)

Hiekkahiukkaset ovat kooltaan melko suuria ja tämän vuoksi myös huokokset hiukkasten välillä ovat melko suuret. Hiekkamaiden suuret huokokset eivät pysty pidättämään vettä kovin hyvin maanvetovoimaa vastaan, joten hiekkamaa kuivuu nopeasti ja huokostila täyttyy ilmalla. Hiekkamaiden ominaispinta-ala on pieni ja tämän vuoksi hiekkahiukkasten veden- ja ravinteidenpidätyskapasiteetti on pieni ja hiukkaset eivät takerru toisiinsa yhtenäiseksi massaksi. Edellä kerrottujen ominaisuuksien perusteella

hiekkapitoiset maat ovat ilmavia ja löyhiä, mutta samalla ravinnepitoisuuksiltaan karuja ja alttiita kuivuudelle. (Brady & Weil, 2017, s.153).

Savihiukkasten ominaispinta-ala on erittäin suuri, joten niillä on valtava veden- ja muiden aineiden pidätyskapasiteetti. Yhden saveslusikallisen ominaispinta-ala on jalkapallokentän pinta-alan suuruinen. Tämä suuri ominaispinta-ala mahdollistaa savihiukkasten tarrautumisen kovaksi ja tiiviiksi massaksi kuivumisen jälkeen. Kun saves on märkää, se on helposti muovailtavaa suuren plastisuutensa vuoksi. Pienet savipartikkelit toimivat kuten kolloidit, eli veden kanssa reagoidessaan ne eivät mielellään irtoa toisistaan. Toisin kuin hiekka- ja silttipartikkelit, savihiukkasilla on tapana lohkeilla pieniksi murusiksi. Savihiukkasten ympärillä olevat huokokset ovat erittäin pieniä ja mutkikkaita, joten veden- ja ilman liikkuminen savimaassa on erittäin hidasta. Vaikka savisessa maaperässä huokosten koko on pieni, niin niiden lukumäärä suuri, jolloin vesi pidättyy hyvin maaperään. Vesi pidättyy tosin maaperään niin hyvin, että siitä kaikki ei ole kasveille käyttökelpoisessa muodossa. Savimaan ominaisuudet, kuten kutistuminen ja turpoaminen, plastisuus, vedenpidätyskyky ja kemialliset sidokset riippuvat sekä saveksen laadusta että sen määrästä. (Brady & Weil, 2017, s.154–156).

## 2.2 Maan huokos- ja mururakenne

### 2.2.1 Huokosrakenne

Kivennäismaan rakenne koostuu huokostilasta (50%) ja kiinteästä aineesta (50%). Huokostila on kiinteän aineen väliin jäävä osa, joka koostuu vedestä ja ilmasta. (Alakukku, Soinnie & Mylly, 2017, s. 20) Kiinteä aines muodostuu kivennäisaineesta (45 %) ja eloperäisestä aineksesta (5%) (Nuutinen & Palojärvi, 2002, s. 25). Hyvärakenteisen maan huokostilassa olevan veden ja ilman suhde on 1:1 (Brady & Weil, 2017, s.190).

Maan huokostilavuus kasvaa saveksen ja orgaanisen aineksen pitoisuuden kasvaessa. Hiekka- ja hietamaan huokostilavuus on 45–50 %, savimaan 45–70 %, multamaan 65–75 % ja turvemaan jopa 80–90 %. (Alakukku ym., 2017, s. 20)

Huokokset jaetaan kolmeen eri kokoluokkaan niiden halkaisijan perustella: suuriin makrohuokosiin (halkaisija >0,03 mm), keskisuuriin huokosiin (0,03-0,0002 mm) ja pieniin huokosiin (<0,0002 mm). (Alakukku ym., 2017, s. 20) Maan huokoskokojakauma vaikuttaa erityisesti maan vesitalouteen. Hienojakoisissa maissa on enemmän pieniä- ja karkearakenteisissa maissa enemmän suuria huokosia. (Alakukku, 2016, s. 54)

Makrohuokokset vaikuttavat lähes kaikkiin maan kemiallisiin, fysikaalisiin ja biologisiin prosesseihin ja ominaisuuksiin (Alakukku, 2016, s. 56). Makrohuokosilla on keskeinen rooli erityisesti maan vesi- ja ilmatalouden

kannalta. Märässä maassa ilma ja vesi liikkuvat suurissa huokosissa ja kivennäismailla tavoitellaankin suurten huokosten verkostoa. Suurten huokosten kautta vesi liikkuu nopeasti maan syvempiin kerroksiin, ja maan kiuuessa nämä huokokset tyhjenevät ensimmäisinä. Savi- ja hiesumaissa on luonnostaan vähemmän suuria huokosia kuin karkeimmissa maissa. (Alakukku ym., 2017, s. 21)

Mekaanisella muokkauksella saadaan tuotettua maahan hetkellisesti makrohuokosia. Maan tiivistäminen taas vähentää ja rikkoo näitä huokosia. (Alakukku ym., 2017, s. 21) Juuret, lierot ja muut organismit synnyttävät maahan makrohuokosia ja tällä tavalla syntyneitä huokosia kutsutaan biohuokosiksi. Ne ovat usein putkimaisia muodoltaan ja niiden pituus voi olla yli metrin. Joillakin savimailla makrohuokokset koostuvat pääasiassa biohuokosista, jotka ovat kasvien juurten aikaansaamia. (Brady & Weil, 2017, s.191).

Keskisuuria huokosia on hiekkamaissa alle 10%, multa- ja hienohietamaissa 20–30 % ja savimaissa 15–20 %. Kasveille käyttökelpoinen vesi on pidättynyt juuri näihin huokosiin ja vesi kulkee kapillaarisesti näissä huokosissa. Savimaissa kapillaarinen vedenousu on hyvin hidasta, kun taas hiet- ja hiesumaissa vesi nousee kapillaaristen voimien avulla kasvien juurten ulottuville. (Alakukku ym., 2017, s. 21)

Pieniä huokosia on hietamaissa alle 10% ja savimaissa jopa yli 30%. Näissä huokosissa oleva vesi on kasveille käyttökelttomassa muodossa, eli kasvit eivät pysty hyödyntämään näiden huokosten vettä. (Alakukku ym., 2017, s. 21)

Huokokset, joiden koko on alle 0,08 mm (keskisuuret- ja pienet huokokset), ovat usein veden täyttämiä. Vaikka ne eivät olisikaan veden täyttämiä, ne ovat liian pieniä tehokkaalle ilmanvaihdolle. Vesi liikkuu näissä huokosissa hitaasti. (Brady & Weil, 2017, s.191–192).

### 2.2.2 Mururakenne

Karkeiden kivennäismaiden (KHt, Hk ja Mr) maan rakennetta kutsutaan hiukkasrakenteeksi. Hiukkasrakenteisessa maassa maahiukkaset (=primäärihiukkaset) ovat usein erillään toisistaan tai vain kevyesti muruiksi (=aggregaateiksi) ryhmittyneinä. Toisessa ääripäässä ovat runsasmultaiset aitosavimaat (AS), joihin kehittyy suotuisissa olosuhteissa kestävä mururakenne. Mururakenne muodostuu pyöreähköistä, 1–10 mm läpimittaisista aggregaateista. (Heinonen, 1992, s. 90) Savespitoisuuden tulee olla vähintään 15 %, jotta maahan voi syntyä mururakenne (Alakukku, Soinne & Mylly, 2017, s. 20).

Mikroaggregaatit ovat alle 0,5 mm halkaisijaltaan olevia mikromuruja, jotka ovat hyvin kestäviä ja joiksi isommat murut hajoavat esimerkiksi runsaan sateen myötä. Savimaassa murut hajoavat suurista murusista

pienemmiksi ja vain hyvin pieni osa hajoaa savihiukkasiksi (primäärihiukkasiksi). (Heinonen, 1992, s. 92)

Mururakenteen synty on monimuotoinen prosessi, joka pitää sisällään eri vaihteita. Rakenteen muodostuminen alkaa, kun primäärihiukkaset ja koviksi iskostuneet mikroaggregaatit koaguloituvat löyhäksi ja kevyeksi flokkirakenteeksi. Koagulaatiossa hiukkaset yhdistyvät reunoiltaan toisiinsa. Flokkirakenteen sidokset ovat heikkoja ja tässä vaiheessa olevan murun rakenne voi hajota takaisin alkumuotoonsa esimerkiksi kovan rankkasateen vuoksi. (Heinonen, 1992, s. 93)

Löyhän flokkirakenteen kehittyminen vedenkestäväksi mururakenteeksi vaatii monta vaihetta. Flokkirakenteen kiinteytyminen vaatii aina kuivumisprosessin, jossa maahiukkaset puristuvat lähemmäksi toisiaan vesikalvon pintajännityksen avulla. Mikäli kuivuminen on epätasaista, esim. roudan tai kasvin juurten vedenoton vuoksi, seurauksena on flokkirakenteen muuttuminen muruiseksi rakenteeksi. Jos kuivuminen tapahtuu haihtamalla, flokkirakenteesta syntyy massiivisia kokkareita. (Heinonen, 1992, s. 94)

Flokkirakenteesta muodostuneista muruista ja kokkareista tulee mekaanisesti muodostuneita aggregaatteja erilaisten mekaanisten tekijöiden avulla. Mekaanisia tekijöitä ovat routa, maan muokkaus, kasvinjuuret, maaeläimet ja kosteusvaihtelut. Mekaanisesti muodostuneista aggregaateista muodostuu lopulta vedenkestävä mururakenne mikrobitoiminnan avulla, kun mikrobien erittämä lima-aines ja rihmakudos lujittavat ja stabilisoivat muruja. Lepovaihe mekaanisen murustumisen jälkeen parantaa murujen vedenkestävyyttä. (Heinonen, 1992, s. 94)

Roudan murustava vaikutus on erittäin tärkeä savimaan rakenteelle. Savimaa kutistuu ja halkeilee jäätyessään, kun vesi siirtyy jääkerroksiin. Halkeilu johtaa jäälinsien syntymiseen ja jäälinsit jakavat maan kokkareiksi. Kokkareet ovat särmiikkäitä, halkaisijaltaan 1–2 cm (5–15 cm syvyydessä). Keväällä roudan sulaessa näkyy maan rakenteessa jäälinsien jättämät halkeamat ja näiden halkeamien kautta kasvin juurten on helpompi tunkeutua maahan. Vaikutus on suurin pintakerroksissa, joissa tapahtuu usein nopeaa ja moneen kertaan tapahtuvaa jäätymistä. Parhaimmillaan pintakerrokseen syntyy n. 5 cm paksuinen kylvöalusta, joissa murut ovat 1–3 cm halkaisijaltaan. (Heinonen, 1992, s. 103–104)

### 2.3 Eloperäinen aines

Maan orgaaninen aines vaikuttaa moniin maan ominaisuuksiin ja prosesseihin. Brady & Weil:n (2017, s.571) mukaan eloperäisen aineksen lisäys maahan:

- parantaa maan mikrobiologista aktiivisuutta, maanpinnan veden- ja auringonsietokykyä, maan vedenpidätys- ja läpäisykykyä, maapartikkelien kestävyyttä ja kaasujen vaihtoa.

- lisää makrohuokosten ja käytävien lukumäärää, humuksen määrää sekä kasvien vedensaatavuutta.
- vähentää veden haihtumista ja maan eroosiota.

Maassa oleva eloperäinen aines voidaan luokitella kolmeen pääluokkaan: hajaantumattomana olevaan karikeainekseen, eri hajaantumisasteiseen ainekseen ja uudelleen syntetisoituneeseen ainekseen eli humukseen. Humus on väriltään tummaa ja rakenteeltaan ”monimutkainen orgaanisten ainesten seos”, joka säätelee maan pintakerrosten reaktioita. Humus kestää erittäin hyvin mikrobiologista hajotustoimintaa. Humuksesta ei vapaudu juurikaan ravinteita kasvin käyttöön ja se ei siis toimi kasvinravinnevarastona. Sen sijaan humuksella on tärkeä merkitys maan fysikaalis-kemiallisiin ominaisuuksiin. Humuksella on positiivinen vaikutus maan vesitalouteen ja rakenteeseen, sillä se voi imeä oman painonsa verran vettä. Näin ollen maan vedenimeytyminen paranee ja vedenpidätyskyky kasvaa. Myös ravinteiden huuhtoutuminen vähenee eroosioriskin pienentyessä ja liettyminen vähenee. Humus osallistuu aktiivisesti erilaisiin kemiallisiin reaktioihin suuren ominaispinta-alansa ja kemiallisesti radioaktiivisten ryhmien avulla. (Hartikainen, 2016c, s.31 ja s.38)

Hajoava eloperäinen aines (mm. karikkeet ja juurimassa) ylläpitää mikrobiologista aktiivisuutta ja toimii kasviravinnevarastona. Mineralisaatiossa mikrobit hajottavat orgaanisen aineksen hiilidioksidiksi, vedeksi ja epäorgaanisiksi suoloiksi. Ainoastaan pieni osa eloperäisestä aineksesta käytetään humuksen raaka-aineeksi. Eloperäisen aineksen hajotusprosessissa hajottajamikrobit tuottavat lima-aineita, jotka stabiloivat maahiukkasten aggregaatteja ja huokosrakennetta. Tämän seurauksen maan rakenne ja vesitalous paranevat. (Hartikainen, 2016c, s.31–32)

Humuksen vaikutus on pitkäaikainen, koska se hajoaa hyvin hitaasti. Sen sijaan helposti ja nopeasti ja hajoavan eloperäisen aineksen vaikutus on lyhytkestoinen. (Hartikainen, 2016c, s.32) Mikromurujen lujittajina toimivat mikrobien ja juurten lima-aineet säilyvät maassa viikoista kuukausiin, kun taas makromuruja sitovien sienirihmojen ja juurten vaikutus on pidempiaikainen (Alakukku, 2016, s. 63).

Orgaaninen aines toimii sidosaineena maan murujen muodostumisessa ja lujittaa mururakennetta. Karkeilla kivennäismailla, joilla saveksen osuus on pieni, eloperäisen aineksen merkitys murunmuodostuksessa on suuri. Eloperäinen aines lisää maamurujen lujutta, joustavuutta ja veden hylkivyyttä, jolloin murujen vedenkestävyys paranee. (Alakukku, 2016, s. 63) Samalla maan muokkautuvuus paranee (Brady & Weil, 2017, s.570).

Paras ratkaisu maan rakenteen kannalta on lisätä maahan karjanlantaa tai tuoretta kasvinjätettä, jolla saadaan vilkastettua maan mikrobitoimintaa ja kasvatettua maan humusvarastoa. Maahan lisätty pitkälle maatunut turve toimii myös kuten humus, mutta tuoreena lisätty ja mikrobien hajottama

eloperäisen aines parantaa maan rakennetta tehokkaammin. (Alakukku, 2016, s. 63)

#### 2.4 Viljelykierto ja kasvilajivalinta

Syväjuurinen ja rehevä kasvusto ylläpitää ja muokkaa maata tehokkaasti. Paksujuuriset kasvit pystyvät kasvamaan tiiviissä maassa ohutjuurisia kasveja paremmin. Savimailla juurten ottama vesi kuivattaa maata, joka kuivessaan murustuu ja halkeilee. Juuret erittävät lima-aineita, jotka vilkastuttavat mikrobitoimintaa ja vahvistavat maan mururakennetta. Juurikarvat auttavat myös maan rakenteen mekaanisessa lujittumisessa sitomalla pienempiä muruja toisiinsa muodostaen makromuruja. (Alakukku, 2016, s. 63)

Maan orgaanisen aineksen pitoisuutta saadaan kasvatettua viljelemällä nurmea ja syväjuurisia kasveja. Näiden kasvien viljelyllä saadaan rikottua maan tiivistymiä ja parannettua maan vedenläpäisykykyä. Nurmipeitteiselle peltolohkolle saadaan lisäksi tehtyä helposti ojituksen kunnostustöidenpiteitä ja lisättyä maanparannusaineita, jolloin multavuus lisääntyy ja vedenpidätyskyky paranee. Nurmen sisällyttäminen viljelykiertoon parantaa pellon kasvukuntoa, mutta myös samalla hillitsee ilmastonmuutosta. (Peltonen, 2019b, s. 36)

Monipuolisella viljelykierrolla saadaan ylläpidettyä maan hyvää rakennetta. Viljelykierron tarkoituksena on viljellä erityyppisiä kasveja peräkkäisinä vuosina. Vain vähän eloperäistä ainesta jättävän kasvilajin (esim. viljan tai perunan) jälkeen olisi hyvä viljellä runsaasti kasvimassaa tuottavia lajeja, kuten apila- ja viherlannoitusnurmia. (Keskitalo, Peltonen & Alakukku, 2017, s. 39)

Monipuoliseen viljelykiertoon sopivia kasvilajeja ovat mm. valkomesikkä, sinimailanen, muokkausretiisi, eri lupiinit, heinä- ja siemennurmi, kumina, ruokonata ja erilaiset viherlannoitusnurmet. (Keskitalo ym., s. 39–40)

#### 2.5 Orgaaniset lannoitteet ja maanparannusaineet

Maanparannusaineilla ja orgaanisilla lannoitteilla saadaan nopeasti kasvatettua maan hiilivarastoja. Hiilivarastojen kasvattaminen vaatii usein monia orgaanisen aineksen lisäämiskertoja yhdessä kevennetyn muokkauksen ja monipuolisen viljelykierron kanssa. (Joonas, Heinonsalo & Hagelberg, 2019, s.42) Kiinteillä eloperäisillä lannoite- ja maanparannusaineilla saadaan nostettua vähämultaisen maan multavuutta (Peltonen, Känkänen, Salo & Joonas, 2017, s.53).

Orgaanisen lannoitteen ja maanparannusaineen luokittelu perustuu hiilen ja typen (C/N) suhteeseen. Kun hiili-typisuhde on tuotteessa alle 25, luokitellaan se lannoitteeksi ja kun se on yli 25, luokitellaan tuote

maanparannusaineeksi. (Joonas ym., 2019, s.42) Hiilen ja typen suhde vaikuttaa typen vapautumiseen eli mineralisaatioon ja eloperäisen aineksen hajoamisnopeuteen (Keskitalo, Peltonen & Alakukku, 2017, s. 42). C/N-suhteen ollessa alle 25, vapautuu typpi nopeasti. C/N suhteen ollessa yli 25, vapautuu typpi hitaasti, sillä pieneliöt varastoivat typpeä käyttöönsä. (Järki Lannoite 2017, n.d.) Palkokasveilla kasvustotähteiden C/N suhde on keskimäärin 30, viljoilla/viljantyyppisillä 89 ja öljykasveilla 79. Tuore hajomaton tai vähän hajonnut eloperäinen aines hajoaa mikrobien vaikutuksesta maassa muutamassa kuukaudessa, kun taas kompostoituneet tai pitkälle hajonneet materiaalit hajoavat hitaasti sienten vaikutuksesta. Ligniiniä sisältävät materiaalit, kuten olki ja puupohjaiset materiaalit, sisältävät runsaasti hitaasti hajoavaa ainesta (Keskitalo ym., 2017 s. 42.). Eri orgaanisten lannoitteiden ja maanparannusaineiden ominaisuuksia on esitelty Taulukossa 2.

Orgaaninen maanparannusaine on olomuodoltaan kiinteää ja se sisältää runsaasti orgaanista ainesta, jossa voi olla mukana esimerkiksi metsäteollisuuden kuituja. Sitä käytetään nimensä mukaisesti maanparannukseen. (Järki Lannoite 2017, n.d.) Myös karjanlanta on maanparannusaine, joka lisää maan humuspitoisuutta ja pieneliötoimintaa (Kempainen, 1992, s.255)

Orgaaninen lannoite voi olla nestemäistä tai kiinteää ja se sisältää myös orgaanista ainesta, joka voi olla lantaa tai esimerkiksi raaka-aineita elintarviketuotannon ketjuista. Eri tuotteiden ravinnepitoisuudet voivat erota suuresti toisistaan ja ne soveltuvat lannoitukseen, jotkin tuotteet myös maanparannukseen. Orgaaniset lannoitteet sisältävät usein kasvien käyttöön hitaasti vapautuvia ravinteita. Orgaanisia lannoitevalmisteita käytettäessä vaarana voi olla, että kasvilla ei ole kasvukaudesta käytössä tarpeeksi typpeä ja loppukaudesta vapautuva typpi on altis huuhtoutumaan vesistöihin. (Järki Lannoite 2017, n.d.)

Vähäravinteisia maanparannusaineita, kuten puukuituja ja metsäteollisuuden kuitulietteitä, käytetään maan peruskunnostukseen. Niillä saadaan lisättyä maan eloperäisen aineksen määrää, jotta pieneliöillä olisi energiaa vapauttaa ravinteita viljelykasvien käyttöön. Puukuidut ovat usein ravintosisällöltään niukkaravinteisia ja niitä levitetään kerrallaan suuria määriä. Puukuitu hajoaa maassa hitaasti ja osa siitä muuttuu lopulta kestäväksi, vettä ja ravinteita erinomaisesti pidättäväksi humukseksi. Maanparannusvaikutus on siis pitkäaikainen. Puukuitujen käytössä tulee huomioida oikea levitysjankkohta: ne sitovat helposti maan typpivarantoja itseensä. (Järki Lannoite 2017, n.d.) Viljelykasvit voivat tämän vuoksi kärsiä typenpuutteesta ja niitä ei suositella typpeä runsaasti tarvitseville kasveille (Keskitalo ym., 2017 s. 46.).



Taulukko 2. Eri orgaanisten lannoitteiden ja maanparannusaineiden ominaisuuksia. (Peltonen ym., 2017, s.53)

	C/N-suhde	Kuiva-aine [%]	Käyttömäärä [t/ha] tuorepainona
Puhdistamolietekompostit	10–20	25–35	15–25
Biojätekompostit	10–20	30–45	15–25
Mädätteiden kuivaosat	10–20	20–30	15–30
Kasvijäte- ja lantakompostit	20–30	25–40	20–40
Ravinteikkaat maanparannuskuidut	30–50	30–40	30–50
Ravinneriukat maanparannuskuidut	>1000	30–40	50–100

Orgaaniset lannoite- ja maanparannusaineet kannattaa levityksen jälkeen muokata enintään 15 cm:n syvyyteen, jotta niistä olisi mahdollisimman suuri hyöty satokasvin kannalta. Satokasvia ei kannata kylvää heti levityksen ja multauksen perään, vaan odottaa päivästä muutama viikkoon, jotta levityksestä aiheutunut kiihtynyt mikrobiologinen aktiivisuus ei haittaisi kasvien kasvuun lähtöä. (Peltonen ym., 2017, s.51–52)

## 2.6 Maan muokkaus ja syväkuohkeutus

Mekaaninen maanmuokkaus rikkoo maakokkareita pienemmiksi muruiksi ja synnyttää maahan makrohuokosia. Kuitenkin maanmuokkaus rikkoo jo olemassa olevia maahuokosia ja muuttaa maaperäeliöstön elinolosuhteita. Maanmuokkauksella voidaan saavuttaa hetkellisesti oikeanlainen rakenne. Jäykällä mailla (esim. jäykät savimaat) rakenne säilyy paremmin kuin kevyemmällä mailla (esim. hiesumaat, kevyet savimaat) ja eloperäisellä aineksella on erittäin suuri merkitys mururakenteen kestävyydelle. (Alakukku, 2016, s. 67)

Voimakas muokkaus heikentää maan rakennetta. Helposti hajoavan orgaanisen aineksen hajotustoiminta nopeutuu ja tämä johtaa mururakenteen huononemiseen. Liian hienoksi muokattu mururakenne aiheuttaa helposti maanpinnan liettymistä, joka kuivuessaan kovettuu kovaksi kuorettumaksi. Voimakkaasti muokatuilla lohkoilla lierokanta on usein yksipuolinen ja peltomaassa saattaa esiintyä vain peltolieroja. Kun muokkausta kevenetään, lisääntyvät usein onki- ja kastelierojen määrät. (Alakukku, 2016, s. 67)

Muokkausta keventämällä saadaan lisättyä pintamaan kasvustojätteen määrää ja tällä saadaan nostettua sen orgaanisen aineksen pitoisuutta. Pintamaan murujen vedenkestävyys paranee, jolloin eroosion, liettymisen ja kuorettumisen riskit vähenevät. (Alakukku, 2016, s. 67)

Muokkaamatta viljely (suorakylvö) lisää hiilen kertymistä pintakerrokseen, kun taas maata muokkaamalla saadaan hiilen määrää lisättyä maaperän syvempiin kerrokseen. (Peltonen, 2019c, s.39)

Luonnonprosessit ja kyntö kuohkeuttavat muokkauskerroksen maata tehokkaasti. Kynnöllä saadaan nopeasti kuohkeutettua karkeiden- ja eloperäisten maiden muokkauskerroksen tiivistymiä, mutta savimailla palautuminen voimakkaasta tiivistymisestä voi kestää jokavuotisista syyskynnoistä huolimatta 3–5 vuotta. (Alakukku & Mattila, 2017, s.82)

Syväkuohkeutuksella tarkoitetaan jankon ja pohjamaan kuohkeutusta jankkuroimalla. Jankkuroinnilla voidaan yrittää palauttaa maan rakennetta silloin, kun kasvien juuristo ei pysty tunkeutumaan pahasti tiivistyneen maakerroksen läpi. Syväkuohkeutus parantaa juurten kasvua, maan vedenläpäisykykyä ja ilmatilaa. Pidempiaikainen hyöty saavutetaan silloin, kun juuristo saadaan kasvamaan koko kuohkeutetun kerroksen syvyydeltä. Jankkurointi olisi suositeltavaa tehdä lohkolle, jossa kasvaa monivuotinen kasvusto (esim. nurmi). Tällä varmistetaan maan oikea kuivuus ennen toimenpidettä ja samalla saadaan monivuotisen kasvuston avulla maan rakenne vakiintumaan toimenpiteen jälkeen. (Alakukku & Mattila, 2017, s.82–84)

Paras tulos jankkuroinnilla saavutetaan silloin, kun maan muokkauskerros on murustuvaa ja työsyvyys oikea. Liian märissä olosuhteissa maa ei kuohkeudu, eikä lohkeile ja jankkurin piikin ympärille muodostuu ainoastaan tiivis vako. Myös liian kuivissa olosuhteissa jankkurointi ei kunnolla onnistu, sillä maa lohkeaa suuriin palasiin murustumatta. Syväkuohkeutus tulisi tehdä muutama cm tiivistyneen kerroksen alapuolelta, jotta ylimääräistä energiaa ei kuluisi ja uutta tiivistymää ei pääsisi syntymään vanhan tiivistymän pohjalle. Sopivissa olosuhteissa oikein tehdyllä jankkuroinnilla saadaan muodostumaan biologisten murujen, kahvinpurumainen verkosto. (Alakukku & Mattila, 2017, s.83–84)

## 2.7 Peltoliikenne ja maan tiivistyminen

Maan tiivistymiseen vaikuttavat mm. maan ominaisuudet, viljelyyn käytyt koneet koneketjuineen, pellon ojitus, viljelykierto ja töiden ajoitus. Suuri riski maan tiivistymiseen on, kun märissä olosuhteissa tehdään viljelytöitä raskailla koneilla, joiden rengaspaine ja -kuorma on suuri. Myös ajokertojen lisääminen suurentaa tiivistymisen riskiä. (Alakukku, 2016, s. 69)

Rengaspaineen tulisi olla alle 50 kPa märissä olosuhteissa työskenneltäessä. Rengaskuormaa saadaan vähennettyä teli- ja tripla-akselien avulla ja paripyörien käytöllä. Raskas ajo tulisi keskittää kiinteille ajourille ja koneen painoa vähentää pienentämällä kuormakokoa. Ajokertojen pienentäminen on mahdollista, kun pellolla on riittävästi liittymiä ja peltolohko muoltaan säännöllinen. On myös huolehdittava, että vetävän koneen

renkaat eivät pääse luistamaan, jolloin vaarana on maan huokosrakenteen rikkoutuminen. (Alakukku & Kaila, 2017, s. 56–57)

Tiivistymisen kannalta kriittisiä työvaiheita ovat lannan levitys ja maanmuokkaus myöhään syksyllä tai aikaisin keväällä. Myös myöhäinen sadonkorjuu kosteissa olosuhteissa on riski maan tiivistymiselle. (Alakukku, 2016, s. 69–70) Orgaanisten lannoite- ja maanparannusaineiden levitystyö vaatii usein suurien massojen liikuttamista pellolla. Tällöin tulee kiinnittää huomiota maan tiivistymisen välttämiseen. Levitystyötä kannattaa välttää myöhään syksyllä ja aikaisin keväällä. (Peltonen, Känkänen, Salo & Joonas, 2017, s.51)

Mitä lujempi maan rakenne on, sitä paremmin se kestää tiivistämistä. Vastamuokatun maan murut ovat irtonaisia ja se tiivistyy herkästi. Maan kosteus on yksi tärkeimmistä tiivistymiseen vaikuttavista tekijöistä. Maan kostuessa sen lujuus heikkenee nopeasti, ellei maa ole jo valmiiksi vedellä kylästetty. Märän maan kuormitus kulkeutuu myös kuivaa maata syvemmälle. (Alakukku, 2016, s. 69–70)

Maan tiivistyminen katkoo jatkuvia huokosia ja pienentää makrohuokosten (halkaisija  $>0,030$  mm) tilavuutta. Karkeilla mailla tiivistäminen voi olla edullista, jolloin esim. sen vedenpidätyskyky paranee. Savi- ja hiesumailla tiivistyminen on usein haitallista, sillä niissä on suhteessa vähemmän makrohuokosia kuin karkeilla mailla. Ruokamultakerroksessa kasvien kasvun kannalta kriittinen makrohuokosten tilavuus on 10% maan tilavuudesta. (Alakukku, 2016, s. 70)

Tiivistymä jankossa ja pohjamaassa voi haitata viljelyä pitkään. Esimerkkinä on suomalainen savimaalla tehty pitkäaikainen kenttäkoe, jossa maa tiivistettiin 50 cm syvyyteen. Tällöin syntynyt tiivistymä kyntökerroksen alapuolelle voitiin mitata vielä 30 vuotta tiivistymisen jälkeen. Kokeen aikana tiivistymän havaittiin haittaavan kasvien kasvua eniten kasvukausien ollessa sateisia. 20 vuoden koejakson aikana kevätiljojen sato pieneni kesiarvoltaan 2% ja viljojen typpisato 5%. (Alakukku, 2016, s. 70) Ruotsalaisessa tutkimuksessa pohjamaan tiivistymän vaikutus havaittiin vielä 14 vuotta tiivistymisen jälkeen karkeassa maassa (Alakukku & Kaila, 2017, s. 56)

Tiivistymiä voidaan korjata jonkin verran viljelemällä syväjuurisia kasveja ja syväkuohkeuttamalla maata. On kuitenkin kustannustehokkaampaa ennaltaehkäistä tiivistymien muodostumista. Nykyaikaisten maatalouskone renkaiden avulla saadaan kannettua suuria kuormia pienillä rengaspaineilla, jolloin riski tiivistymien syntyyn pienenee. Rengaskuormat ja paineet tulisi suurimman tiivistymisriskin aiheuttaville työvaiheille laskea tasolle, jossa tiivistymistä ei tapahdu. Yksi vaihtoehto tiivistymien minimoimiseksi on kiinteiden ajourien käyttö, jolloin raskas kalusto (esim. puimuri, lietevaunut) kulkevat pelloilla aina samoilla urilla. (Mattila & Rajala, 2018a, s. 11)

OSMO- hankkeessa on Tuomas Mattila suunnitellut erilaisia laskureita maan tiivistymisriskien välttämiseen, joita on kehitetty edelleen hankkeeseen osallistujien viljelijöiden kanssa. Excel-pohjaisilla laskureilla voidaan määrittää traktoreiden akselipainot ja maan tiivistymisriskit. (luomu.fi, 2017a)

Kosteille savimaille kehitetyssä tiivistyslaskurissa syötetään Excel-taulukkoon koneen kokonaispaino, painon jakautuminen, renkaan paine ja leveys, työkoneen leveys ja tieto, onko paripyöriä vai ei. Laskurin avulla pyritään hakemaan koneelle sopiva rengaspaine vihreältä alueelta. Yleisesti ottaen alle 50 kPa rengaspaineella tiivistymisriski on vähäinen, 50–100 kPa paineella tiivistymisriski on olemassa kostealla maalla, 100–200 kPa painetta voidaan käyttää vain rutikuivissa olosuhteissa ja yli 200 kPa paineilla suositellaan siirtymään pysyville ajourille tai pois pelloilta. Tiivistymisriski suurenee mitä suurempi on käytetty rengaspaine ja -kuorma. (luomu.fi, 2017b) Paineen yksiköissä 100 kPa vastaa 1 bar:n painetta (Alakukku, 2002, s. 75).

Jos koneen olemassa olevilla renkailla, koneen tasapainotuksella ja paripyörillä ei päästä maan rakenteen kannalta riittävän alhaisiin rengaspaineisiin, vaihtoehtona on päivittää ne matalapainerenkaisiin. Suositellut rengaspaineet vaihtelevat valmistajakohtaisesti. Pääsääntöisesti alle 0,5 bar:n rengaspaineita ei kuitenkaan suositella käytettäväksi. (Mattila & Rajala, 2018a, s. 24–25)

## 2.8 Ojitus ja vesitalous

Viljelyn kannalta erittäin tärkeässä asemassa on maan kosteuden säätö. Kuivatuksen ja kastelun avulla pyritään saamaan kasville aikaiseksi optimaaliset kasvuolosuhteet ja samalla pitämään maan rakenne ja kantavuus hyvinä. (Paasonen-Kivekäs, Peltomaa, Vakkilainen & Äijö, 2016, s. 217)

Kuivatusjärjestelmään kuuluvat peltoa kiertävien avonaisten valta- ja piiriojien lisäksi peltomaan salaojasto, joka koostuu imu- ja kokoojaojista. Vesi johdetaan pellolta pois salaojien ja piiriojien kautta valtaojiin, josta ne matkaavat edelleen kohti järveä tai merta. (Äijö, 2017, s. 13) Kriittisin ajankohta salaojaston toiminnalle on kevät ja kostean kesän jälkeinen syksy. Haihdunta on vähäistä ja etenkin savimaa on paisuneessa tilassa, jolloin maan vedenläpäisykyky on pieni. (Aura, 1992, s. 161)

Savimailla maan kuivuminen on perusedellytys huokos- ja murunrakenteen muodostumiseksi. Savimaiden ojitus on parantanut savimaiden rakennetta ja mm. kastelierojen esiintymistä maassa. (Alakukku, 2016, s. 66)

Pellon märkyys voi johtua puutteellisesta kuivatuksesta. Maan vedenläpäisykyky voi olla estynyt aina pintamaasta syvemmälle maan kerroksiin,

jolloin vesi ei tavoita salaojaputkea. Myös salaojaputken tukos voi olla syynä maan liialliseen kosteuteen. (Äijö, 2017, s. 14)

Maalaji, maanrakenne ja myös maan tiivistyminen voi hidastaa veden virtausnopeutta. Tiivistyneen maan vedenläpäisykyvyn heikentyessä kasvaa riski maan tiivistymiselle entisestään. Tiivistymiä voi löytyä niin maan pinta- kuin myös syvemmistä kerroksista ja jo ohutkin tiivistymäkerros hidastaa ja jopa estää veden pääsyn salaojaputkistoihin. (Äijö, 2017, s. 14)

Kasvilajivalinta ja käytetty maan muokkausmenetelmä vaikuttavat maan vedenläpäisykykyyn ja maan pinnan vedenvirtausnopeuteen. Peltolohkon kaltevuus ja pinnan tasaisuus vaikuttavat lisäksi pintavaluntaan. (Äijö, 2017, s. 14)

### 3 MAAN VEDENLÄPÄISYKYKY

#### 3.1 Käsitteiden määrittely

Hydraulinen johtavuus (engl. hydraulic conductivity) eli vedenläpäisevyys on suure, joka kuvaa nesteen virtaamisen helppoutta huokoisessa väliaineessa (Tieteen termipankki, 2020). Hydraulinen johtavuus kuvaa maan vedenläpäisykykyä (Leppäranta, Virta & Huttula, 2017, s.151). Hydraulista johtavuutta kuvataan K-arvolla (Vakkilainen, 2016, s.103).

Imeyntä, imeytymisnopeus ja infiltraationopeus (engl. infiltration rate) kuvaa maanpinnan läpi imeytyneen nestemäärän pinta-alayksikköä kohti, esim. mm/h. (Vesihallitus, 1976, s. 27).

Infiltraatio (engl. infiltration) eli imeytyminen kuvaa veden imeytymistä rajapinnan lävitse (Vesihallitus, 1976, s. 28). Imeytyminen eli infiltraatio on yksi veden siirtymistä kuvaavista käsitteistä ja hydrologiassa tarkoittaa sadeveden tunkeutumista maaperään maan pinnan läpi (Leppäranta ym., 2017, s. 57 ja 143). Sadeveden imeytymisen lisäksi voi kyseessä olla myös pintaveden imeytyminen maaperään (Vesihallitus, 1976, s. 28).

Infiltrometri eli imeyntämittari (engl. infiltrometer) on ”mittalaite, jolla mitataan veden tunkeutumista maaperään” (Vesihallitus, 1976, s. 27).

Maan hydraulisia ominaisuuksia ovat maan vedenpidätyskyky ja vedenjohtavuus (Heiskanen, 2016, s.4).

#### 3.2 Maaperän vesivyöhykkeet ja veden liikkeet

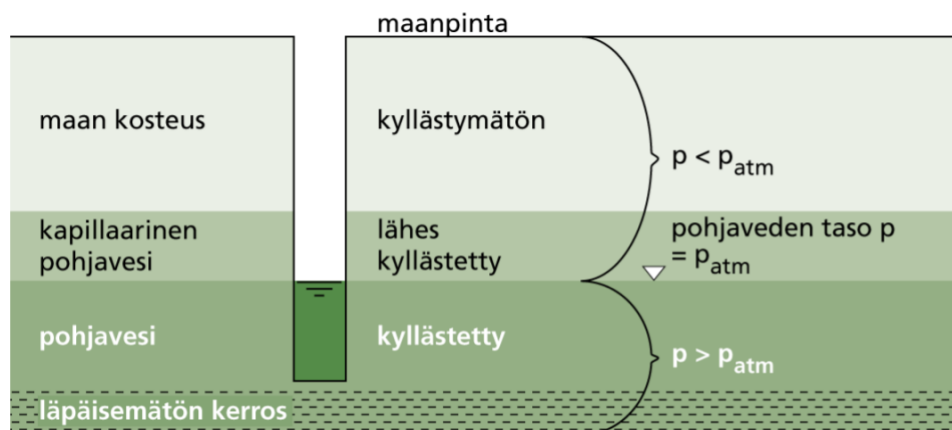
Maaperässä esiintyvät vedet voidaan jakaa kahteen eri vyöhykkeeseen: vedellä kyllästymättömään kerrokseen ja vedellä kyllästyneeseen kerrokseen (Vakkilainen, 2016, s. 73). Vyöhykkeistä ylin on maavesivyöhyke ja

alimpana pohjavesivyöhyke (Kuva 1). Maavesivyöhykkeessä maahiukkasten väleissä on ilmaa ja vettä, kun taas pohjavesivyöhyke on täysin veden kyllästämä. Maavesivyöhykkeessä oleva vesi painuu alaspäin painovoiman vaikutuksesta kohti pohjavesivyöhykettä. Pohjavesi virtaa edelleen kohti matalampaa painetta. (Leppäranta ym., 2017, s. 57)

Tarkasteltaessa veden pystysuuntaista liikettä, sekä maan painovoima että imuero vaikuttavat veden liikkeeseen maaprofiilissa. Keskusteltaessa painovoimasta ja veden imusta, käytetään usein termiä potentiaalienergia: vesi virtaa korkeamman potentiaalienergian tasosta kohti matalamman potentiaalienergian tasoa. (Gregory & Northcliff, 2013, s. 279)

Kyllästymättömän kerroksen vesi vaikuttaa maan fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin reaktioihin. Tässä kerroksessa oleva vesi vaikuttaa niin kasvien kasvuun kuin myös maan kaasutalouteen, lämpötalouteen ja roudan muodostumiseen. Maavesivyöhykkeen vesitalous vaikuttaa ravinteiden ja muiden aineiden kulkeutumiseen niin pinta- kuin pohjavesiin ja myös ilma-kehään. (Vakkilainen, 2016, s. 73)

Pohjaveden pinnan tasolla vedenpaine on yhtä suuri kuin samalla tasolla oleva ilmakehän paine (Kuva 1). Karkearakeisessa maassa, jossa ei ole kapillaarista vedennousua, pohjaveden pinta toimii kyllästymättömän ja kyllästyneen vyöhykkeen rajapintana. Maaperän ollessa hienorakeista, vedellä kyllästyneen vyöhykkeen raja on ylempänä pohjavedenpinnan tasoa. Pohjavedenpinta on usein Suomessa lähellä maanpinnan tasoa. (Vakkilainen, 2016, s. 90)



Kuva 1. Maaperän vesivyöhykkeet. Alimpana on pohjavesivyöhyke (vedellä kyllästetty kerros) ja ylimpänä maavesivyöhyke (vedellä kyllästymätön kerros). Pohjaveden tasolla vedenpaine ( $p$ ) on yhtä suuri kuin ilmakehän paine ( $p_{atm}$ ). (Vakkilainen, 2016, s. 90)

Joissain olosuhteissa normaalisti vedellä kyllästymätön kerros voi olla kokonaan vedellä kyllästetty. Silloin kaikki maahuokokset (niin suuret kuin pienet) ovat veden täyttämiä. Tällainen tilanne voi olla huonosti ojitetuilla

mailla tai hyvin kuivatuilla maa-alueilla, joissa on vettä pidättävä savikerros. Usein myös kovan sateen aikana maan ylimmät kerrokset ovat kokonaan vedellä kyllästettyjä. (Brady & Weil, 2017, s. 225)

Vesi liikkuu maaperässä maarakeiden välisissä huokosissa, joiden koko riippuu niin maan tiiviysasteesta kuin myös maalajin ominaisuuksista. Tiiviillä maalajeilla kasvien juurten sekä matojen tekemät reiät vaikuttavat merkittävästi maan vedenjohtavuuteen. Etenkin savimailla kuivuushalkeamat voivat muodostaa suoria vedenvirtausreittejä maan pintakerroksista aina syvempiin maakerroksiin. (Vakkilainen, 2016, s. 101)

Maalajien raekoostumus vaikuttaa eri maalajien hydraulisiin johtavuuksiin (Taulukko 3.). Hiekka- ja soramailla vesi imeytyy nopeasti, kun taas savimailla pienikin sade voi aiheuttaa lammikoitumista. Savimailla hydraulisen johtavuuden arvot ovat hyvin pieniä ja pelkästään hydraulisen johtavuuden arvoilla tarkasteltuna vesi imeytyy maaperään niin hitaasti, että peltoviljely ei savimailla ole mahdollista. Käytännössä savi- ja hiesumailla makrohuokokset vaikuttavat maan hydrauliseen johtavuuteen parantavasti. Makrohuokosten kautta veden liike maassa on nopeampaa. Makrohuokosia syntyy fysikaalisten tapahtumien, kuten roudan ja maan halkeilun myötä ja biologisten tapahtumien, kuten matojen ja juurien tekemien reikien avulla. (Vakkilainen, 2016, s. 101 - 102)

Taulukko 3. Eri maalajien hydrauliset johtavuudet. (Vakkilainen, 2016, s. 103)

Maalaji	Hydraulinen johtavuus K [m/s]
Sora	0,1 ... 0,001
Karkea hiekka	0,01 ... 0,0001
Hiekka	0,01 ... 0,00001
Karkea hieta	0,0001 ... 0,000001
Hieno hieta	0,00001 ... 0,0000001
Hiesu	0,000001 ... 0,00000001
Savi	<0,000000001

Karkearakenteisissa maissa (esim. hiekka- ja hietamaat) vesi imeytyy nopeasti suurten huokosten kautta maaperään ja jatkaa matkaansa suoraan alaspäin, ohittaen kasvien juurivyöhykkeen nopeasti. Hienorakenteisissa maissa, erityisesti savimaissa, vesi imeytyy maaperään hitaasti pienten huokosten kautta. Maaperässä kulkevan veden pisarakoko on hienorakenteisissa maissa karkearakenteisia maita pienempi, johtuen maahuokosten koosta. Maan vetovoima ei vaikuta niin vahvasti pienikokoisiin pisaroihin, jolloin vesi imeytyy maaperään laajemmin myös sivusuunnassa ja kostuttaa tilavuudeltaan suuremman alueen. (Finley, 2016, s.30)

Vedenläpäisykyky tehostuu, kun maan rakenne koostuu sekä karkea- että hienojakeisesta aineksesta (mm. savi, siltti, hiekka). Hiekkaiset maat

johtavat vettä erittäin nopeasti, koska ne sisältävät vain pienen osa hienojakoista maa-ainesta. Toisaalta nämä maat ovat alttiita pintamaan tiivistymille, joka huonontaa vedenjohtavuutta. Eloperäisellä aineksella voidaan parantaa karkean maan vedenpidätyskykyä ja hienojakoisen maan vedenläpäisykykyä. Koska eloperäinen aines on heterogeenistä, se luo maaperään sekä pieniä, että suuria huokosia, mikä parantaa sekä vedenläpäisyettä vedenpidätyskykyä. (Finley, 2016, s.31)

Veden imeytymiseen vaikuttaa maalajin- ja rakenteen lisäksi maan kosteusolosuhteet, kaltevuus ja kasvipeitteisyys. Sateen alkaessa imeytyskyky on usein melko suuri ja se tasaantuu sateen jatkuessa vakiotasolle. Rankkasateella maan vedenimeytymiskyky voi kuitenkin ylittyä ja maanpinnalle muodostua vesilammikoita sekä pintavaluntaa. Myös maapartikkelit voivat joutua lähemmäksi toisiaan ja maan pinnalle voi syntyä kuorettuma. Kasvipeitteisyys suojaa maanpintaa kuorettumiselta ja parantaa vedenimeytymistä. Kasvit myös pidättävät pinnoilleen osan sadevedestä, jolloin maanpinnalle tulee vähemmän vettä. (Vakkilainen, 2016, s. 102)

Useimmiten sadevesi kasvattaa maaperän vesivarastoja. Jos pohjavesi on kovin syvällä juuristoalueen alapuolella, kasvien käytössä oleva vesi tulee pääsääntöisesti maanpinnan yläpuolelta. Jotta kasveilla on riittävästi vettä, veden tulee imeytyä maanpinnalta juuristoalueelle. Vesi ei saa imeytyä liian nopeasti eikä myöskään liian hitaasti, jotta taataan kasvin kasvulle sopivat vesiolosuhteet. Maanpinnalle tuleva vesi ei myöskään saa paeta pintavaluntana pois, jolloin se ei saavuta juuristovyöhykettä. Mitä enemmän maan ominaisuudet estävät veden imeytymistä, sitä enemmän optimaalisen vesitilanteen saavuttamiseksi tulee tehdä töitä. (Ehlers & Goss, 2016, s. 260)

### 3.3 Vedenjohtavuuden mittausmenetelmiä

Vedenläpäisykyvyn määrittämiseen on olemassa useita eri menetelmiä. Hydraulinen johtavuus voidaan määrittää laboratoriossa esim. käyttämällä vakiopaine- tai muuttuvan paineen korkeutta (Vakkilainen, 2016, s. 104, 110). Vedenjohtavuusmittaukset voidaan suorittaa myös maastossa esim. erilaisten infiltraatiorenkaiden, kairanreiän ja tensioinfiltrometrillä avulla.

Peltomaan laatutestin täydentäviin mittauksiin kuuluvat pinta- ja pohjamaan vedenjohtavuusmittaukset. Pintamaan vedenjohtavuusmittaus suoritetaan infiltraatiorenkkaan avulla. Infiltraatiorenkkaan toimii 20 cm halkaisijaltaan oleva rengas (esim. muoviämpäri, josta pohja on leikattu pois). Maan pinnasta leikataan kasvillisuus pois, jonka jälkeen infiltraatiorengas painetaan n. 3cm:n syvyyteen ja renkaan sisälle kaadetaan n. 1,5 litraa vettä. Maan annetaan kostua n. tunnin verran, jonka jälkeen mittaviivain asetetaan renkaan sisälle ja renkaaseen kaadetaan vettä n. 1,5 litraa (5cm). Sekuntikello käynnistetään ja vedenkorkeus luetaan viivoittimesta. Toinen



mittauslukema otetaan ennen kuin vesi on kokonaan vajonnut maahan tai kun aikaa on kulunut 15 minuuttia. (Agronet.fi, n.d.)

Pohjamaan vedenjohtavuusmittauksiin tarvitaan kaira. Kairalla tehdään maahan mittauspäivän aamuna n. 100 cm syvä reikä. Laudanpätkä asetetaan mittausreiän vierelle (toimii mittausten nollapisteinä) ja reiän syvyys mitataan nollapisteestä. Pohjaveden annetaan nousta reikään päivän aikana ja päivän loppupuolella tehdään mittaus, jolla määritellään pohjaveden korkeus nollapisteestä. Tämän jälkeen reikä tyhjennetään esimerkiksi tynnyripumpulla, mitataan veden syvyys mittanauhalla ja käynnistetään sekuntikello. Uudet lukemat (aika ja korkeus) otetaan, kun vedenpinnan taso on reiässä noussut muutaman senttimetrin tai aikaa on kulunut 10–20 minuuttia. (Agronet.fi, n.d.) Menetelmää kutsutaan myös kairanreikämenetelmäksi tai Auger-hole menetelmäksi. Menetelmää voidaan käyttää sekä pohjaveden ala- että yläpuolisiin mittauksiin. Menetelmä on yksi yleisimmistä hydraulisen johtavuuden kenttäolosuhteissa käytetyistä mittausmenetelmistä. (Vakkilainen, 2016, s. 106)

Pintamaan vedenjohtavuutta voidaan mitata yksittäisrenkaan lisäksi myös kaksoisrenkaalla (engl. double ring infiltrometer). Mittausmenetelmässä käytetään kahta metallirengasta, joista toinen on halkaisijaltaan pienempi kuin toinen. Molemmat renkaat painetaan maahan ja pienempi rengas asetetaan suuremman renkaan sisälle. Maanpinnan häiriöitä ehkäistään asettamalla renkaiden sisälle harsokangas maata vasten. Vesi kaadetaan molempien renkaiden sisälle. Ajanmittaus aloitetaan ja kirjataan ylös vedenpinnan korkeus. Seuraava mittaus tehdään, kun vedenpinta on laskenut renkaassa. Mittaukset tehdään pienemmän renkaan kohdalta. Uloimmalla renkaalla varmistetaan, että mittauskohdan ulkopuolinen alue on kostea ja sisemmästä renkaasta vesi liikkuu suoraan alaspäin eikä sivusuuntaan. (Brady & Weil, 2017, s. 231–232)

Kolmas keino selvittää pintamaan vedenjohtavuus on käyttää mittaamiseen tensioinfiltrometriä. Soil Measurement Systemsin (SMS) valmistama tensioinfiltrometri (engl. tension infiltrometer) on mittalaite, joka on suunniteltu vedellä kyllästymättömän (engl. unsaturated) maan hydraulisten ominaisuuksien mittaamiseen. Tensioinfiltrimetrin avulla vesi saadaan infiltroitua maahan niin pienellä nopeudella, että vesi ei ehdi lammikoitua maan pinnalle. Tämä on mahdollista käyttämällä pientä negatiivista painetta veden liikkeessä infiltrometrissä levyn/diskin kautta maaperään. (Soil Measurement Systems, n.d.)

Yksi- ja kaksirengas infiltrometreillä määritetään vedellä kyllästyneen (engl. saturated) maan hydraulinen johtavuus. Näillä menetelmillä veden annetaan imeytyä maahan ilmakehän paineen avulla. Vesi imeytyy maaperään aluksi nopeammin ja myöhemmin hitaammin, kun maaperän avoimet tilat tulevat veden kyllästämiksi. Imeytymisnopeuden vakiinnuttua suoritetaan mittaus ja mittaustulosten avulla saadaan laskettua kyllästyneen

maan hydraulinen johtavuus. Menetelmän heikkoutena on, että renkaiden sisällä oleva vesi on lammikkona maanpinnalla ja tämän vuoksi suurin osa vedestä voi kulkeutua maaperään madonreikien ja maaperän halkeamien kautta ja vain pieni osa infiltroituu itse maakerroksen läpi. Tensioinfiltrometrillä vesi imeytetään pienellä paineella maaperään, jolloin vain pieni osa vedestä kulkeutuu madonreikiin ja halkeamiin ja suurin osa imeytyy itse maakerroksen läpi. Mitä suurempi veteen kohdistuva negatiivinen paine on, sitä enemmän maaperän huokosista on ilman vettä ja maasta tulee vedellä kyllästymätön. Tensioinfiltrometrillä saadaan määritettyä kyllästymättömän maan hydraulinen johtavuus. (Soil Measurement Systems, n.d.)

SMS tensioinfiltrometrillä voidaan lisätä vettä maaperään halutulla paineella. Laitteen vedenpaine voidaan asettaa välille 0 cm ja -30 cm. Asettamalla paine lähelle nollaa tai nollaan, saadaan selville infiltraationopeus, joka on lähellä kyllästetyn (engl. saturated) maan hydraulista johtavuutta. (Soil Measurement Systems, n.d.) Tästä voidaan tehdä johtopäätös, että mitä pienempi on asetettu painekorkeus (-30 cm), sitä vedellä kyllästymättömämpi maa on ja tällöin saadaan määriteltyä vedellä kyllästymättömän maan hydraulinen johtavuus. Mitä suurempi on painekorkeus, sitä vedellä kyllästyneempi maa on ja saadaan määritettyä kyllästetyn maan hydraulinen johtavuus (kun painekorkeus on 0 cm).

Mitä pienempi on painekorkeus, sitä pienemmät maahuokokset täyttyvät vedellä (esim. -6 cm). Paineekorkeutta suurentaessa mukaan tulee suurempia maahuokosia (esim. -3 cm). Paineekorkeutta yhä kasvattaessa tulee mukaan yhä suurempia maahuokosia (esim. -1 cm). Jos paine asetettaisiin nolnaan (0 cm), vesi kulkisi kaiken kokoisista maahuokosista. Mittausten tekeminen 0 cm painekorkeudella ei kuitenkaan ole käytännössä mahdollista, vaan tensioinfiltrometri tarvitsee toimiakseen aina pienen miinusmerkkisen painekorkeuden. Useimmiten mittauksissa käytetään -6 cm, -3 cm ja -1 cm painekorkeuksia. Käytettävät painekorkeudet määräytyvät usein myös tutkittavan maalajin mukaan. Pienten maahuukosten savimailla ei useinkaan ole perusteltua käyttää suurta painekorkeutta, kun taas karkeilla kivennäismailla (esim. KHt) painekorkeutena voidaan käyttää jopa -15 cm. (Hyväluoma, 2019)

Tensioinfiltraatiomittausten avulla tehdyissä maan hydraulisten johtavuuksien tutkimuksissa käytetään usein termiä near-saturated (suom. lähes kyllästetty). Tutkimuksissa käytetyt painekorkeudet ovat usein -6 cm, -3 cm ja -1 cm, jotka ovat lähellä nollaa. Tässä kappaleessa esitettyjen asioiden perusteella voidaan tehdä johtopäätös, että termi near-saturated tarkoittaa sitä, että ollaan hyvin lähellä vedellä kyllästetyn maan hydraulista johtavuutta (joka saataisiin painekorkeudella 0 cm), eli kyseessä on vedellä lähes kyllästetyn maan hydraulinen johtavuus.

## 4 AINEISTO JA MENETELMÄT

### 4.1 Humuspehtoorin peltokoe

Humuspehtoori Oy:n tilaama kymmenvuotinen peltokoe on perustettu vuoden 2014 keväällä HAMK Lepaan yksikön Pieniparolanpelto ja Niittymäki nimisille peruslohkoille. Peruslohkot sijaitsevat Lepaantien varrella, tien molemmin puolin. Molemmista peruslohkoista on erotettu omaksi kasvulohkokseen 1,0 ha (Pieniparolanpelto) ja 1,07 ha (Niittymäki) kokoiset alat. Peltokokeen koealueiksi on molemmista kasvulohkoista varattu 0,55 ha kokoiset ala ja peltokokeen kokonaispinta-ala on yhteensä 1,1 ha.

Peltokokeessa on koeruutuja yhteensä 32 ja yksittäisen koeruudun koko on 345 m<sup>2</sup>. Koeruutujen kulmapisteet on merkitty paikoilleen Trimblen R2 GNSS-vastaanottimen avulla. Kokeessa on kahdeksan (8) erilaista käsittelyä ja kerranteita neljä (4). Jokainen kerranne sisältää yhden kontrolliruudun (=0-käsittely), jolle ei tehdä toimenpiteitä. Koemallina on täydellisesti satunnaistettujen lohkojen koe. Käsittelyt on esitetty Taulukossa 4.

Taulukko 4. Peltokokeen käsittelyt

Käsittelyno.	Käsittely
1.	Maanparannusaine 1 (MP1)
2.	Maanparannusaine 2 (MP2)
3.	Maanparannusaine 1 (MP1) + jankkurointi
4.	Maanparannusaine 1 (MP2) + jankkurointi
5.	Väkilannoitus
6.	Väkilannoitus + jankkurointi
7.	Jankkurointi
8.	Kontrolli (=0-ruutu)

Tarkemmat tiedot peltokokeen koeruutujen asettelusta on esitetty Liitteessä 1.

#### 4.1.1 Peltokokeen toimenpiteet vuosina 2014–2019

Lohkokohtaisten muistiinpanojen mukaan vuosina 2014-2019 peltokokeessa viljeltyt kasvilajit ovat olleet sinimailanen (kaksi ensimmäistä vuotta), kaura, kevätvehnä, nurmi perustettuna suojaviljaan (ohra) ja ohra + aluskasvina italianraiheinä (Taulukko 5). Vuonna 2018 oli tarkoituksena perustaa monivuotinen nurmi, mutta nurmen perustaminen epäonnistui kasvukauden aikana vallinneiden kuivien olosuhteiden vuoksi.

Koepeltolohkoja on viljelty tavanomaisin viljelymenetelmin. Viljakasvien kohdalla on käytetty perinteistä viljelytapaa: äestys (2 kertaa), kylvö, kasvinsuojelu, puinti ja kyntö. Sinimailaskasvuston perustamisvuonna

viljelytoimenpiteinä on ollut äestys (2 kertaa) ja kylvä. Ensimmäisenä sato-vuonna kasvusto on murskattu kelamurkaimella ennen kyntöä. Lohkokoh-taisten muistiinpanojen mukaan monivuotiset rikkakasvit on torjuttu kas-vukausina 2016–2018 Ariane S- kasvinsuojeluaineella (käyttömäärä 2l/ha ja vesimäärä 200 l/ha). Kokeen kuudentena vuotena (2019) monivuotiset rikkakasvit on torjuttu Primus XL – kasvinsuojeluaineella (käyttömäärä 1l/ha, vesimäärä 200 l/ha). Samassa tankkiseoksessa ollut mukana Moddus M-valmiste ohran kasvunsäätöön (käyttömäärä 0,2 l/ha, vesi-määrä 200 l/ha).

Peltokokeessa koeruuturuutukohtaisia toimenpiteitä ovat olleet väkilan-noitus, orgaaninen lannoitus, jankkurointi, maanparannusainelisäys ja puukuidun (nollakuitu) levitys.

Väkilannoituksen koeruutuihin on kokeen jokaisena vuotena levitetty kä-sin YaraBela SUOMENSALPIETARia. Lannoitteen ravinnesisältö (N-P-K) on 27–0–1 (Yara, n.d.). Levitysmäärä on ollut 10 kg/ruutu ja ruutukohtainen typen (N) määrä näin ollen 2,7 kg/ruutu.

Orgaaninen lannoitus on tehty kokeen kuudentena vuotena (v.2019) Hu-muspehtoorin Broilerhyvä-lannoitteella maanparannusaineruutuihin. Loh-kokohtaisten muistiinpanojen mukaan levitysmäärä on ollut 1,5 tn/ha. Le-ivitys on tehty Humuspehtoorin kalustolla. Humuspehtoorin (n.d.) mukaan Broilerhyvä- lannoite sisältää liukoista typpeä ( $N_{liuk}$ ) 7,6-, liukoista fosforia ( $P_{liuk}$ ) 2,7 ja kaliumia (K) 14 kg/tn. Kokonaistyyppimäärä ( $N_{kok}$ ) on 22- ja kokonaisfosforimäärä ( $P_{kok}$ ) 6,3 kg/tn. Pääravinteiden lisäksi tuotteen mu-kana tulee sivuravinteita: kalsiumia (Ca) 8,3, magnesiumia (Mg) 3,6 ja rikkiä (S) 3,33 kg/tn sekä hivenravinteita: mangaania (Mn) 0,3, booria (B) 0,017, sinkkiä (Zn) 0,24 ja kuparia (Cu) 0,043 kg/tn. Seleenimäärä on 0,001 kg/tn ja tuotteen pH 6,3. Tuotteen tilavuuspaino on 483 kg/m<sup>3</sup>.

Jankkurointi on tehty kokeen ensimmäisen vuoden (v.2014) loppu-kesänä/alkusyksynä niille koeruuduille, joille jankkurointi on merkitty kä-sittelyksi. Jankkurointi on tehty Humuspehtoorin kalustolla. Jankkurointi-ajankohtana maa on ollut hyvin tiivistynyttä ja toimenpide suoritettu mä-rissä olosuhteissa. Jankkurointi suunniteltiin tehtäväksi uudelleen kokeen kuudennen vuoden (v.2019) syksynä, mutta liiallinen märkyys esti toimen-piteen toteuttamisen.

Maanparannusainelisäykset on tehty maanparannusainekäsittely-koeruu-duille. Maanparannusaineita on kokeessa kahta erilaista ja niiden lisäksi ruutuihin on levitetty ravinteetonta puukuitua, eli 0-kuitua. Maanparan-nusaineiden tarkempi sisältö on ainoastaan tilaajan tiedossa. Maanparan-nusaineita on levitetty koeruuduille kahdesti, keväällä 2014 (80 tn/ha) ja syksyllä 2016 (80 tn/ha). Puukuitua on levitetty syksyllä 2014 (80 tn/ha) ja syksyllä 2015 (280 tn/ha). Maanparannusaine- ja puukuitulevitys on tehty Humuspehtoorin kalustolla.

Taulukkoon 5 on koottu peltokoelohkolla tehdyt toimenpiteet vuosien 2014–2019 aikana. Kuten jo aiemmin on mainittu, jankkurointi ja maanparannusaine/puukuitu-levitykset on tehty Humuspehtoorin kalustolla. Muut perusviljelytoimenpiteet on tehty HAMK Lepaan yksikön peltoviljelykalustolla. Lepaan viljelykaluston tarkempi kuvaus (laitteet, koneet ja niiden painot) ja viljelytekniikka löytyy Liitteestä 2.

Taulukko 5. Peltokokeen viljelytoimenpiteet vuosina 2014–2019

Viljelytoimenpide	Viljelyvuosi ja viljelykasvi					
	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	Sinimailanen (perustamisvuosi)	Sinimailanen (1. sato-vuosi)	Kaura	Kevätvehnä	Ohra + ns.	Ohra + aluskasvina italianraihena
Äestys (x2)	x		x	x	x	x
Kylvö	x		x	x	x	x
Väkilannoitus <sup>1)</sup>	x	x	x	x	x	x
Orgaaninen lannoitus <sup>2)</sup>						x
Kasvinsuojelu			x <sup>3)</sup>	x <sup>3)</sup>	x <sup>3)</sup>	x <sup>4)</sup>
Niittomurskaus		x				
Puinti			x	x	x	x
Kyntö		x	x	x	x	x
Jankkurointi <sup>5)</sup>	x					
Maanparannusainelisyys <sup>6)</sup>	keväät, 80 tn/ha		syksy, 80 tn/ha			
Puukuidun (nollakuitu) levitys <sup>6)</sup>	syksy, 80 tn/ha	syksy, 280 tn/ha				

<sup>1)</sup> Käsinlannoitus YaraBela SUOMENSALPIETARI (27-0-1) väkilannoituksen koeruutuihin, 10 kg/ruutu (N = 2,7 kg/ruutu)  
<sup>2)</sup> Pehtoorin Broilerhyvän levitys maanparannusaineruutuihin 1,5 tn/ha  
<sup>3)</sup> Monivuotisten rikkakasvien torjunta Ariane S- kasvinsuojeluaineella (käyttömäärä 2l/ha, vesimäärä 200 l/ha).  
<sup>4)</sup> Monivuotisten rikkakasvien torjunta Primus XL – kasvinsuojeluaineella (käyttömäärä 1l/ha, vesimäärä 200 l/ha). Samassa tankkiseoksessa mukana Moddus M-valmiste ohran kasvunsäätöön (käyttömäärä 0,2 l/ha, vesimäärä 200 l/ha).  
<sup>5)</sup> Jankkurointi tehty kokeen jankkurointi-koeruutuihin.  
<sup>6)</sup> Maanparannusaineiden ja puukuidun levitys maanparannusaineruutuihin. Puukuitu ravintetonta nollakuitua.

#### 4.1.2 Peltokokeen viljavuustutkimus ja multavuusmääritys

Peltokoe sijaitsee Pieniparolanpelto ja Niittymäki kasvulohkoilla ja lohkot kuuluvat ympäristökorvausjärjestelmän piiriin. Ympäristökorvausjärjestelmän vaatiman viljavuustutkimusten mukaan lohkojen maalaji on hiesavi (HeS). Niittymäen multavuusluokka multava (m) ja Pieniparolanpellon runsasmultainen (rm).

Koepellon jokaisesta koeruudusta on teetetty vuoden 2013 syksyllä (ennen kokeen alkua) koeruutukohtaiset viljavuustutkimukset. Näiden viljavuustutkimusten mukaan koalueen päämaalaji on hietasavi (HtS) ja toisena

maalajina on hiuesavi (HeS). Hietasavea on 87,5% ja hiuesavea 12,5 %. Multavuusluokka on multava (m). Viljavuustutkimukset löytyvät Liitteestä 3.

Syksyllä 2013 (ennen kokeen alkua) otetuista maanäytteistä on määritetty HAMK Lepaan laboratoriossa koerutukohtaiset multavuudet hehkutuskevennyksellä. Maanäytteet on otettu jokaisesta koeruudusta 10 ja 30 cm syvyydeltä. Hehkutuskevennyksen perusteella jokaisen koeruudun pelto-  
maa on multavuusluokaltaan runsasmultainen (rm). Hehkutuskevennyksen koerutukohtaiset multavuusmääritystulokset löytyvät Liitteestä 4.

## 4.2 Koealueen vedenläpäisykyvyn mittaukset

### 4.2.1 Mittausten toteutus

Koealueen vedenläpäisykyvyn mittaukset (infiltraatiomittaukset) suoritettiin kokeen kuudennen vuoden syksynä, 16.9. – 22.9.2019 välisenä aikana. Mittaukset tehtiin puintien jälkeen, ennen peltolohkojen kyntöä. Jokaisella koeruudulla suoritettiin kaksi eri mittausta samalla mittauspaikalla, käyttäen mittalaitteessa painekorkeutena -3 cm ja -1 cm. Myös painekorkeutta -6 cm kokeiltiin mittausten alussa, mutta veden imeytyminen oli todella hidasta, joten tästä päätettiin luopua.

Infiltraatiomittaukset suoritettiin neljällä (4) Soil Measurement Systems:n valmistamalla tensioinfiltrometrillä (engl. tension infiltrometer), jossa vesitorni ja kuplatorni olivat yhdistettyinä letkun kautta 0,2 m halkaisijaltaan olevaan diskiin (Kuva 2).

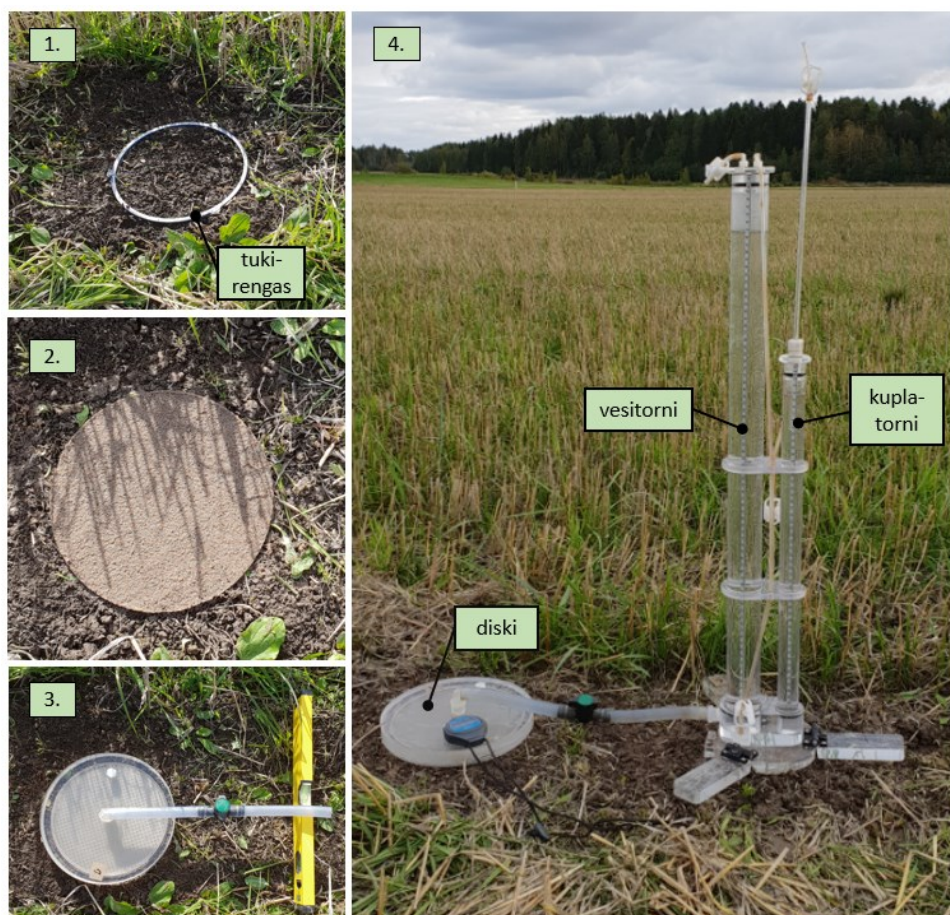
Mittauspaikka valittiin satunnaisesti jokaiselta koeruudulta, mutta kuitenkin välttämällä ruudun lävistäjän aluetta, josta oli aiemmin kerätty maanäytteet sekä kohtia, joissa näkyivät työkoneiden renkaiden jäljet. Pyrittiin myös valitsemaan mahdollisimman tasainen paikka, jotta mittalaitte saatiin asennettua paikoilleen häiritsemällä maata mahdollisimman vähän. Diski asetettiin joko yhden tai kahden viljelyrivin päälle (riviväli 12,5 cm).

Valitun mittauspaikan kohdalta leikattiin saksilla kasvillisuus pois ja tarvittaessa maata tasoitettiin lastan avulla, jotta tukirengas saatiin asennettua suoraan. Maata tasoitettaessa pyrittiin välttämään maanpinnan tasoon nähden vaakasuuntaisia liikkeitä, jotta ylimmät huokoset eivät tukkeutuisi. Tukirengas täytettiin kostealla 0,1–0,6 mm:n raekoon puhallus- ja saumaushiekalla, jotta varmistettiin diskin ja maanpinnan välinen kunnollinen kontakti. Hiekkakerroksesta pyrittiin saamaan mahdollisimman ohut. Tukirengaan suoruus varmistettiin vesivaa'an avulla, jonka jälkeen tukirengas poistettiin. Vedellä täytetty diski asetettiin hiekkakerroksen päälle. Tämän jälkeen mittalaitteiston runko-osa (johon kuuluvat vesi- ja kuplatorni) yhdistettiin letkun avulla diskiin. Runko-osan pystysuuntainen- sekä

vaakasuuntainen suoruus tarkistettiin vesivaa'an avulla. Myös diskin ja runko-osan välinen vaakasuuntainen suoruus tarkistettiin. Vesi- ja kuplatorni täytettiin vedellä, järjestelmä ilmattiin ja kuplatorniin asetettiin haluttu painekorkeus.

Mittaukset aloitettiin -3 cm:n painekorkeudella. Mittauspöytäkirjaan merkittiin vesitornin vedenpinnan taso (mm) ja sekuntikello käynnistettiin. Ensimmäinen mittaus tehtiin, kun vesitornin vedenpinnan taso oli laskenut vähintään 3 mm. Mittauspöytäkirjaan merkittiin kulunut aika ja vedenpinnan korkeus. Mittauksia jatkettiin siihen asti, kunnes tilavuusvirta oli tasaantunut. Tilavuusvirran tasaantumista seurattiin merkitsemällä Excel-tiedostoon mittaustulokset. Tilavuusvirta oli aluksi hidasta ja se kasvoi hiljalleen, kunnes saavutettiin tasainen virtaus. Tilavuusvirran tasaantuminen -3 cm:n painekorkeudella kesti n. 3–4 tuntia.

Toinen mittaus tehtiin -1 cm:n painekorkeudella. Mittausvaiheet olivat vastaavanlaiset kuin -3 cm:n painekorkeudella, joskin tilavuusvirran tasaantuminen saavutettiin huomattavasti nopeammin. Tilavuusvirran tasaantuminen -1 cm:n painekorkeudella kesti n. 0,5–1,5 h.



Kuva 2. Koealueen infiltraatiomittaukset suoritettiin tensioinfiltrimetrim (engl. tension infiltrometer) avulla. Ensimmäiseksi (vasen yläkuva, kohta 1.) kasvillisuus poistettiin saksilla ja tukirengas vaa'itettiin suoraan. Tukirengas täytettiin kostealla hienolla hiekalla ja

rengas poistettiin (kohta 2). Diskki asennettiin hiekkakerroksen päälle (kohta 3). Tensioinfiltrimetrim runko-osa (sis. vesi- ja kuplatornin) yhdistettiin diskkiin letkun avulla ja runko-osa vaa'itettiin pysty- ja vaakasuuntaisesti suoraan. Myös diskin ja runko-osan vaakasuoruus tarkistettiin. Vesi- ja kuplatorni täytettiin vedellä, järjestelmä ilmatettiin ja kuplatorniin asetettiin haluttu painekorkeus (kohta 4). Mittaukset aloitettiin. (Kontu, 2019)

#### 4.2.2 Aineiston tilastollinen käsittely

Kentällä tehtyjen mittausten jälkeen koeruutukohtaiset hydrauliset johtavuudet laskettiin tasaantuneiden tilavuusvirtojen keskiarvoista käyttämällä laskentaan HAMKin tutkijayliopettajan Jari Hyväluoman laatimaa Excel-laskentataulukkoa. Hydrauliset johtavuudet laskettiin molemmille painekorkeuksille (-1 cm ja -3 cm). Laskentaan käytetyt menetit ovat samat kuin Keskisen, Rätyn, Kasevan & Hyväluoman (2019) tekemässä tutkimuksessa.

Lasketut koeruutukohtaiset hydrauliset johtavuudet kerättiin painekorkeuskohtaisesti Excel-laskentataulukoon ja käsiteltiin JMP Pro 14 tilastokäsittelyohjelmalla. Aineiston normaalijakautuneisuus testattiin ja testien perusteella todettiin, että aineisto ei ollut normaalijakautunut. Tämän vuoksi analysoinnissa jouduttiin käyttämään ei-parametrisia menetelmiä. Aineistosta tehtiin ei-parametrisiä varianssianalyysyjä ja parivertailuja/t-testejä käyttämällä Wilcoxon/Kruskall-Wallis testejä. Analysoinnit tehtiin erikseen molempien painekorkeuksien (-1 cm ja -3 cm) aineistolle.

Molempien painekorkeuksien hydraulisten johtavuuksien keskiarvot, mediaanit, alakvartiilit (25%) ja yläkvartiilit (75%) laskettiin Excel-laskentataulukon avulla.

Varianssianalyysin (analysis of variance/ ANOVA) avulla selvitetään, eroavatko tutkittavien ”kahden tai useamman ryhmän keskiarvot tilastollisesti merkitsevästi toisistaan” (KvantiMOTV, 2002). Varianssianalyysin avulla voidaan esimerkiksi selvittää, esiintyykö tulosten keskiarvoissa eroja eri käsittelyjen välillä, kuinka suuria erot ovat ja mikä on saatujen tulosten tilastollinen luotettavuus (Kanniainen, 2015, s.3).

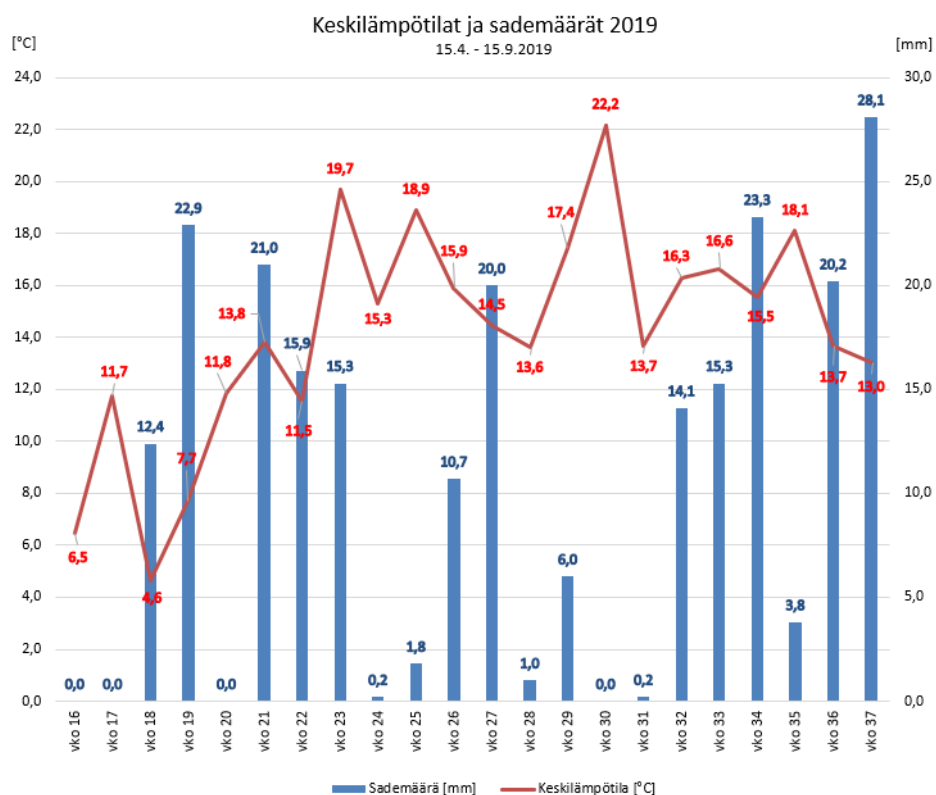
Testatut erot/riippuvuudet ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä, jos p-arvo (probability) on  $\leq 0,001$ . Erot/riippuvuudet ovat tilastollisesti merkitseviä, jos  $0,001 < p \leq 0,01$  ja tilastollisesti melkein merkitseviä, kun  $0,01 < p \leq 0,05$ . Ero tai riippuvuus on tilastollisesti suuntaa antava/oireellinen, jos  $0,05 < p \leq 0,1$ . (Heikkilä, 2014, s.7).



### 4.3 Muut havainnot kasvukaudella 2019

#### 4.3.1 Kasvukauden aikaiset säähavainnot

Kasvukausi alkoi Lepaalla (Hattulassa) 17.4.2019 (Ilmatieteen laitos, n.d.). Lepaan kasvukauden aikaiset säähavainnot ladattiin Ilmatieteen laitoksen (2020) havaintojen lataus- palvelusta. Hakuehtoina olivat havaintoasema Hattula Lepaan vuorokausihavainnot aikavälillä 15.4. – 15.9.2019. Ladattujen säähavaintojen pohjalta laskettiin viikoittaiset keskilämpötilat [°C] ja sademäärät [mm], jotka on esitetty Kuvassa 3.



Kuva 3. Lepaan kasvukauden 2019 aikaiset viikoittaiset keskilämpötilat [°C] ja sademäärät [mm].

#### 4.3.2 Koalueen drone-kuvaukset

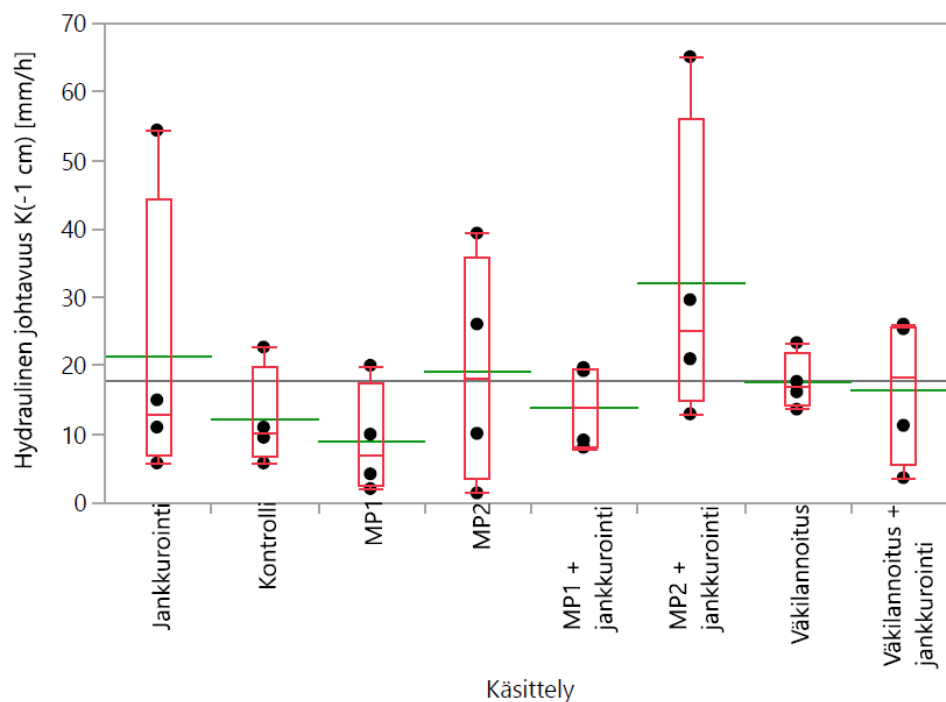
Humuspehtoorin peltokokeen koalueella suoritettiin ilmakuvaukset dronen avulla viikolla 38 (18.9.2019). Kuvaajana toimi HAMK:n lehtori Vesa Vuorinen. Ilmakuvaukset tehtiin koalueen kaikista ruuduista ja lentokorkeutena käytettiin 45 m (Vuorinen, 2019). Kuvat löytyvät opinnäytetyön Liitteestä 5.

## 5 TULOKSET

JMP Pro 14- tilastonkäsittelyohjelmalla käsitellyistä kokeen tuloksista muodostettiin laatikko- jankkuviot eli Box Plot- kuviot. Kuvioissa x akselilla esiintyy selittävä muuttuja (X-factor), jonka suhteen vertailu on tehty. Y- akselilla esiintyy selitettävä/luokitteleva muuttuja. Mustat pisteet kuvaavat yksittäisiä mittaustuloksia. Vihreällä vaakaviivalla on esitetty kunkin joukon selittävän muuttujan keskiarvo ja harmaa vaakaviiva kuvaa koko selittävän muuttajan keskiarvon.

### 5.1 Hydrauliset johtavuudet K(-1cm)

Hydraulisten johtavuuksien välillä ei painekorkeudella -1 cm ilmennyt tilastollisesti merkitseviä eroja eri käsittelyjen välillä. (Kuva 4). Korkeimmat hydraulisten johtavuuksien keskiarvot saatiin käsittelylle 4 (MP2 + jankkurointi), käsittelylle 7 (jankkurointi) ja käsittelylle 2 (MP2). Matalimmat arvot olivat käsittelyllä 1 (MP1).

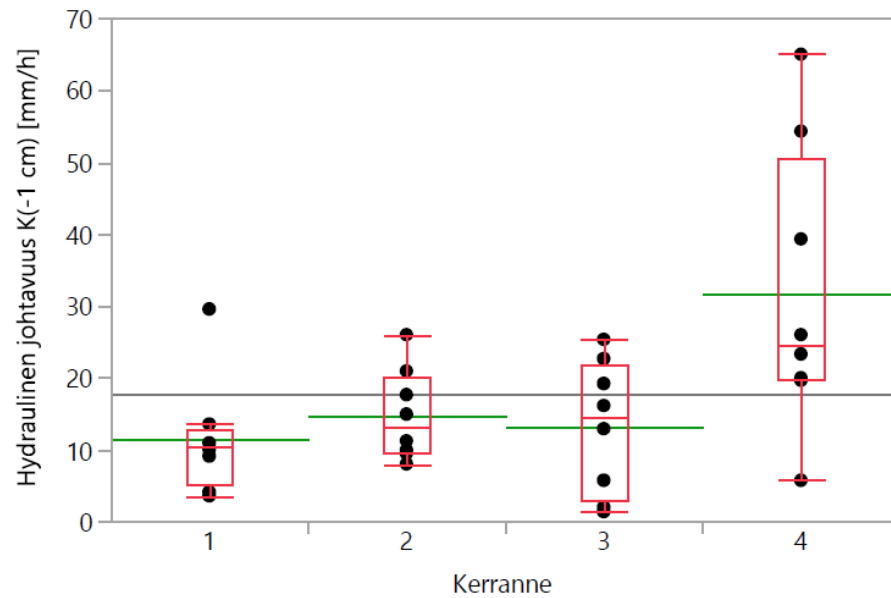


Kuva 4. Hydrauliset johtavuudet K(-1cm) käsittelyittäin.

Neljän kerranteen välillä löytyi tilastollisesti suuntaa antavia eroja (Kuva 5). Parivertailussa tilastollisesti melkein merkitseviä eroja saatiin kerranteille

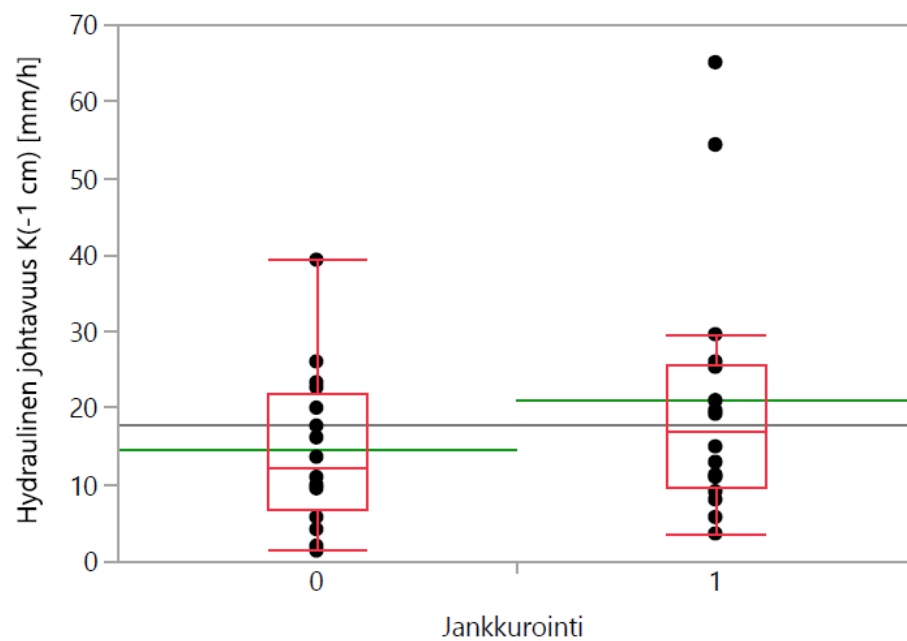
- 1 ja 4
- 3 ja 4

Ja tilastollisesti suuntaa antavia eroja oli kerranteiden 2 ja 4 välillä.



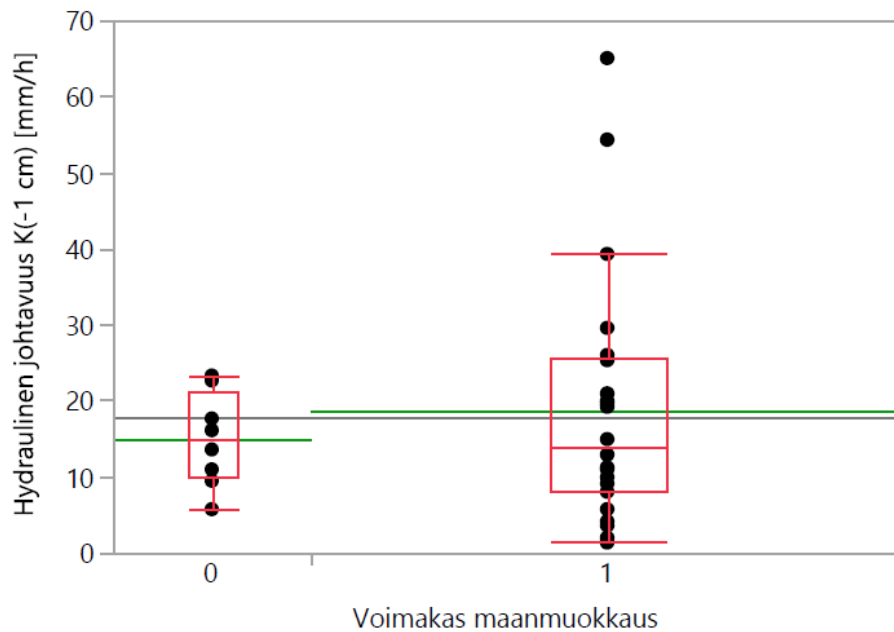
Kuva 5. Hydrauliset johtavuudet K(-1cm) kerranneittain.

Jankkuroitujen vs. jankkuroimattomien koeruutujen välillä ei ilmennyt tilastollisesti merkitseviä eroja (Kuva 6.).



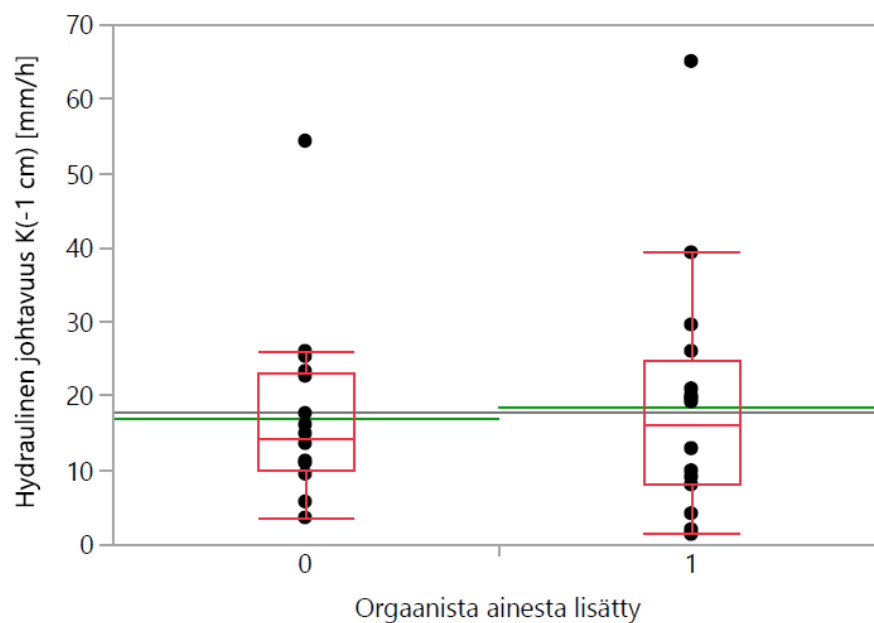
Kuva 6. Hydrauliset johtavuudet K(-1cm). 0 = jankkuroimaton vs. 1 = jankkuroitu koeruutu.

Fyysisesti voimakkaasti muokattujen vs. fyysisesti voimakkaasti muokkamattomien koeruutujen välillä ei ilmennyt tilastollisesti merkitseviä eroja (Kuva 7.)



Kuva 7. Hydrauliset johtavuudet K(-1cm). 0 = fyysisesti voimakkaasti muokkaamaton vs. 1 = fyysisesti voimakkaasti muokattu koeruutu.

Koeruuduista, joille oli lisätty orgaanista ainesta ja koeruuduista, joille ei ollut lisätty orgaanista ainesta ei ilmennyt tilastollisesti merkitseviä eroja (Kuva 8).



Kuva 8. Hydrauliset johtavuudet K(-1cm). 0 = koeruudulle ei lisätty orgaanista ainesta vs. 1 = koeruudulle lisätty orgaanista ainesta.

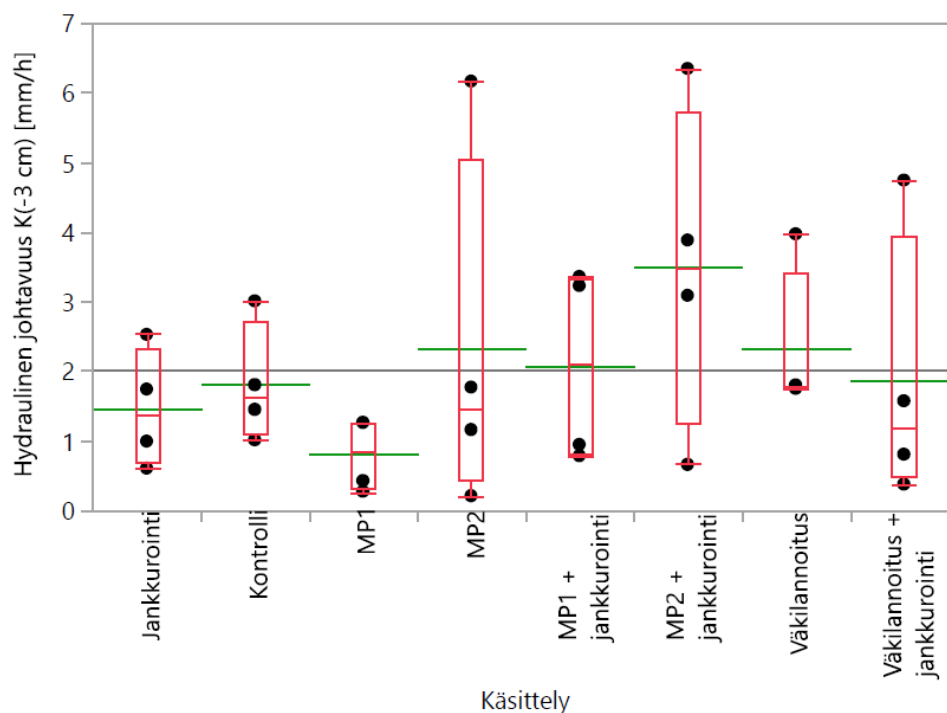
Koko aineiston hydraulisten johtavuuksien K(-1cm) keskiarvoksi saatiin 17,76 mm/h ja mediaaniksi 14,24 mm/h (Taulukko 6).

Taulukko 6. Hydraulisten johtavuuksien arvot painekorkeudella K(-1cm) [mm/h].

min.	Alakvartili (25%)	mediaani	Yläkvartili (75%)	max.	keskiarvo
1,37	9,19	14,24	23,11	64,94	17,76

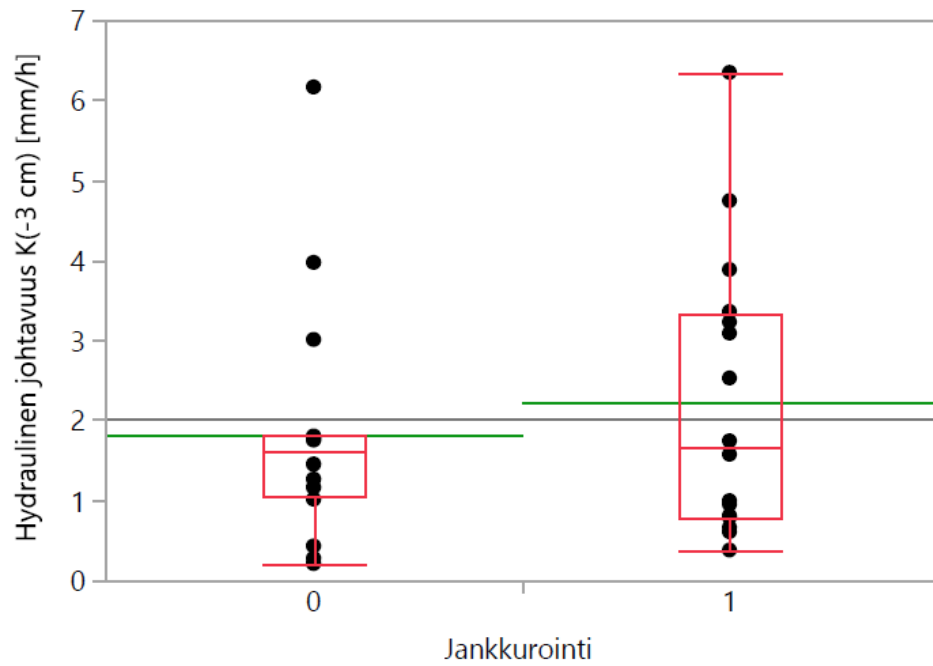
## 5.2 Hydrauliset johtavuudet K(-3cm)

Hydraulisten johtavuuksien välillä ei painekorkeudella -3 cm ilmennyt tilastollisesti merkitseviä eroja eri käsittelyjen välillä. (Kuva 9). Korkeimmat hydraulisten johtavuuksien keskiarvot saatiin käsittelylle 4 (MP2 + jankkurointi), käsittelylle 2 (MP2) ja käsittelylle 5 (Väkilannoitus). Matalimmat arvot olivat käsittelyllä 1 (MP1). Neljän kerranteen välillä ei löytynyt tilastollisesti merkitseviä eroja.



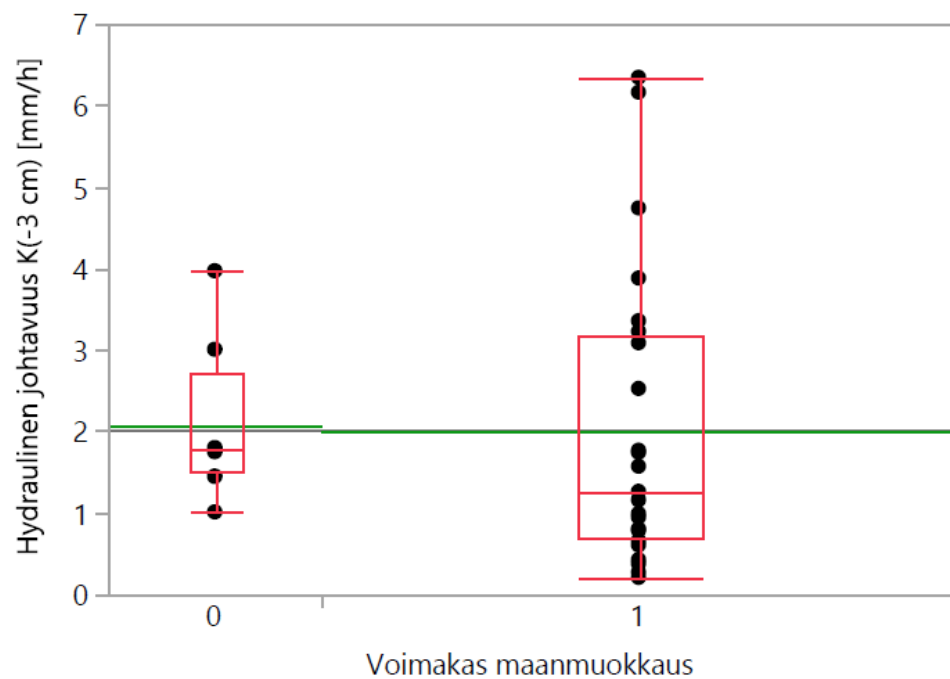
Kuva 9. Hydrauliset johtavuudet K(-3cm) käsittelyittäin.

Jankkuroitujen vs. jankkuroimattomien koeruutujen välillä ei ilmennyt tilastollisesti merkitseviä eroja (Kuva 10.).



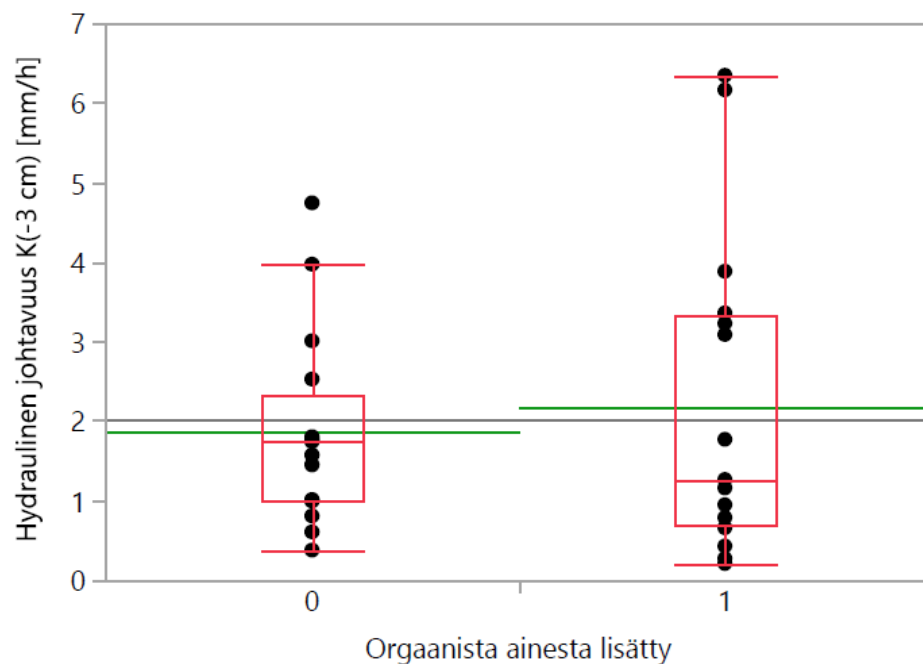
Kuva 10. Hydrauliset johtavuudet K(-3cm). 0 = jankkuroimaton vs. 1 = jankkuroitu koeruutu.

Fyysisesti voimakkaasti muokattujen vs. fyysisesti voimakkaasti muokkaamattomien koeruutujen välillä ei ilmennyt tilastollisesti merkitseviä eroja (Kuva 11.)



Kuva 11. Hydrauliset johtavuudet K(-3cm). 0 = fyysisesti voimakkaasti muokkaamaton vs. 1 = fyysisesti voimakkaasti muokattu koeruutu.

Koeruuduista, joille oli lisätty orgaanista ainesta ja koeruuduista, joille ei ollut lisätty orgaanista ainesta ei ilmennyt tilastollisesti merkitseviä eroja (Kuva 12).



Kuva 12. Hydrauliset johtavuudet K(-3cm). 0 = koeruudulle ei lisätty orgaanista ainesta vs. 1 = koeruudulle lisätty orgaanista ainesta.

Koko aineiston hydraulisten johtavuuksien K(-3cm) keskiarvoksi saatiin 2,02 mm/h ja mediaaniksi 1,66 mm/h (Taulukko 7).

Taulukko 7. Hydraulisten johtavuuksien arvot painekorkeudella K(-3cm) [mm/h].

min.	Alakvartiili (25%)	mediaani	Yläkvartiili (75%)	max.	keskiarvo
0,21	0,84	1,66	3,07	6,34	2,02

## 6 TULOSTEN TARKASTELU

### 6.1 Vedenläpäisykykymittaukset

Vaikka tilastollisesti merkitseviä eroja vedenjohtavuuksissa eri käsittelyjen välillä ei löytynytäkään, eri käsittelyjen hydrauliset johtavuudet erosivat kuitenkin hieman toisistaan. Molemmilla painekorkeuksilla vedenläpäisykyky oli korkein käsittelyllä 4 (MP2 + jankkurointi) ja huonoin käsittelyllä 1

(MP1). Myös jankkuroimattoman ja jankkuroitujen koeruutujen välillä havaittiin olevan pieniä eroja. Maanparannusaineita vertaillen MP2 käsittelyllä (jankkuroinnilla ja ilman) antoi korkeammat vedenjohtavuuden keskiarvot kuin MP1 käsittely (jankkuroinnilla ja ilman). Näiden edellä esitettyjen tulosten perusteella saattaa jankkuroinnilla olleen jonkinlainen merkitys maan vedenläpäisykykyyn, kuten myös eri maanparannusainekäsittelyjen välillä. Koska tilastollisia merkitsevyyksiä ei löytynyt, nämäkin ovat vain arvioita.

Eri kerranteiden välillä löydettiin tilastollisesti suuntaa antavia eroja painekorkeudella -1 cm. Erot eri kerranteiden välillä saattavat selittyä sillä, että maaperä ei ole homogeeninen koko koalueella. Peltosen (2017, s.7) mukaan maan rakennetta arvioitaessa on tärkeää tunnistaa kasvuerot pelto lohkojen eri osissa ja tarkastella heikosti kasvia ja tiivistyneitä kohtia tarkemmin. Koeruuduista vuonna 2013 teetettyjen viljavuusanalyysien (Liite 3) ja hehkuskevennys-määritysten (Liite 4) perusteella voidaan havaita koeruutukohtaisia eroja mm. maalajissa ja multavuudessa. Erot maala-jeissa ja multavuuden arvoissa ovat kuitenkin pieniä eri kerranteiden välillä, joten niillä ei asiaa varmaksi voida perustella. Lisäksi viljavuustutkimukset ja hehkuskevennykset ovat vuodelta 2013 ja tämän jälkeen tilanne on voinut pelto lohkoilla muuttua varsinkin multavuuden suhteen.

Maalajin ja multavuuden vaihtelun lisäksi maassa voi olla erilaisia tiivistymiä pelto lohkon eri puolilla. Näin ollen mittaustuloksiin saattaa vaikuttaa myös mittausta paikan valinta. Jokaisesta koeruudusta on tehty ainoastaan kaksi mittausta yhdeltä mittausta paikalta. Vaikka mittausta paikka on yritetty valita huolella, on eri koeruutujen kohdalla voinut valikoitua toiselle mittaustulokselle edullisempi paikka kuin toiselle. Mittaus on voitu tehdä ruudun tiivistyneimmistä tai ruudun läpäisevimmästä kohdasta.

Koepellolla erilaisten tiivistymien esiintyvyys on hyvin todennäköistä. Koepellolle on vuosien aikana tehty erilaisia toimenpiteitä erilaisilla raskailla kalustoilla. Maanparannusaineiden levitys vaati usein raskasta kalustoa ja märissä olosuhteissa tehty levitystyö saattaa aiheuttaa tiivistymiä (Peltonen, Känkänen, Salo & Jona, 2017, s.51). Myös erilaiset raskaat maanmuokkaustoimenpiteet voivat aiheuttaa tiivistymistä. Laihosolan (2017) mukaan koepellolla tehty jankkurointi on tehty todennäköisesti liian kosteissa olosuhteissa, jolloin maa on tiivistynyt kuohkeutumisen sijaan. Väliheikki (2019) on päättänyt vedenläpäisykyky mittaustulosten tulkinnassa samaan päätelmään, että voimakas fyysinen muokkaus kokeen perustamisen yhteydessä on vaikuttanut vielä kokeen neljännen vuoden tuloksiin. Alakukun & Mattilan (2017, s.83–84) mukaan liian märissä olosuhteissa maa ei kuohkeudu, eikä lohkeile ja jankkurin piikin ympärille muodostuu ainoastaan tiivis vako.

Erillisten raskaiden maanmuokkaustoimenpiteiden lisäksi lohkolla vuosittain käytetty viljelytekniikka (viljelytoimenpiteet, koneet ja laitteet) vaikuttaa maan rakenteeseen ja mahdollisiin tiivistymiin. Koepellolla käytetty



vuosittainen viljelytekniikka sisältää melko monta työvaihetta, jossa koneiden ja laitteiden paino välittyy rengaskuormana maahan (Liite 2). Koneiden painot ovat kohtuullisia, mutta käytetyt rengaspaineet melko isoja (n. 2 barin eli 200 kPa molemmin puolin). Mattilan & Rajalan (2018a, s. 11) mukaan rengaskuormat ja paineet tulisi suurimman tiivistymisriskin aiheuttaville työvaiheille laskea tasolle, jossa tiivistymistä ei tapahdu. Kosteille savimaille kehitetyssä tiivistyslaskurissa (luomu.fi, 2017b.) 100–200 kPa painetta voidaan käyttää vain rutikuivissa olosuhteissa. Koepellolle olisi hyvä tehdä kokonaistarkastelu tiivistyslaskurin avulla.

Mittauksissa käytettyjen tensioinfiltrometrien antamat mittaustulokset voivat erota toisistaan. Mittaukset tehtiin neljällä tensioinfiltrometrillä, jotka olivat eri-ikäisiä ja -kuntoisia, joten niiden välillä saattaa olla mittaustuloksissa eroja. Myös mittaustaikan valmisteleminen on voinut vaikuttaa mittaustuloksiin. Vaikka mittauksille pyrittiin valitsemaan mahdollisimman tasainen paikka ja mittalaite asentamaan paikoilleen häiritsemällä maata mahdollisimman vähän, ovat valmistelutyöt saattaneet aiheuttaa sen, että maanpinnan huokokset ovat diskin alla voineet tukkeutua. Näin ollen joiltain koeruuduilta on voitu saada alhaisempia hydraulisen johtavuuden arvoja, kuin mitä ne todellisuudessa ovat.

Tensioinfiltrometrillä tehtyjen mittausten vahvuutena on se, että vesi imeytetään pienellä paineella maaperään, jolloin vain pieni osa vedestä kulkeutuu madonreikiin ja halkeamiin ja suurin osa imeytyy itse maakerroksen läpi (Soil Measurement Systems, n.d.). Diski tulee tarkasti asentaa hienon hiekkakerroksen päälle, jotta saadaan varmistettua diskin ja maanpinnan välinen kunnollinen kontakti ja näin varmistettua oikeansuuruinen imu maaperään. Jos hiekkakerros on liian paksu tai se pääsee leviämään diskin reunojen ohi, vaarana on, että vesi alkaa kulkeutua maanpinnan suuntaisesti, madonreikiin ja halkeamiin. Tällöin saadut mittaustulokset eivät ole luotettavia ja hydraulisten johtavuuksien arvot voivat olla todellisuutta suurempia.

Koko aineistolle laskettiin hydraulisten johtavuuksien keskiarvot ja mediaanit. Keskiarvoihin ja mediaaneihin peilaten hydrauliset johtavuudet olivat huomattavasti pienempiä kuin Keskisen, Rätyn, Kasevan & Hyväluoman (2019, s.75) tutkimuksessa, jossa savimaille keskiarvoiksi oli saatu 54,1 mm/h (K(-1cm)) ja 7,31 mm/h (K(-3cm)) ja mediaaneiksi 38,1 mm/h (K(-1cm)) ja 2,79 (K(-3cm)). Vaihteluväli aineiston minimi- ja maksimiarvoissa oli pienempi molempien painekorkeuksien kohdalla kuin Keskisen ym. (2019, s. 75) tutkimuksessa, jossa hydraulisten johtavuuksien arvot vaihtelivat välillä 3,28–250 mm/h painekorkeudella -1 cm ja 0,30–85,9 mm/h painekorkeudella -3 cm.

Peltokokeessa on aiemmin tutkittu maan fysikaalisia ominaisuuksia vedenläpäisykykymittausten avulla kokeen kolmantena ja neljäntenä tutkimuskautena. Väliheikin (2019, s11) mukaan kolmannella tutkimuskaudella vuonna 2016 Kokon (2019) tekemissä vedenläpäisykykymittauksissa ei

havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja eri käsittelyjen välillä. Neljännen tutkimuskauden vedenläpäisykykymittauksissa havaittiin vedenläpäisykyvyn olleen heikompi niissä ruuduissa, joissa maata oli muokattu mekaanisesti ja ero muokkaamattomiin oli tilastollisesti erittäin merkitsevä ( $p=0,0056$ ). Orgaanisen aineksen lisäyksen havaittiin heikentävän hieman vedenläpäisykykyä ja eron olleen tilastollisesti melkein merkitsevä ( $p=0,0274$ ). Toistojen välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. (Väliheikki, 2019, s.10–11)

Vuoden 2017 vedenläpäisykykymittaukset tehtiin sadevesiputkista tehtyjen lieriöiden avulla, jotka painettiin maahan ja joihin kaadettiin vettä. Mittaukset tehtiin koeruuduille 1–16 ja jokaisesta koeruudusta tehtiin 10 mittausta. Saatujen vedenläpäisykykyjen yksiköt olivat h.mm.s. (Väliheikki, 2019, s.6–8 ja s.11) Näitä vuonna 2017 tehtyjä mittauksia ei voida suoraan verrata vuoden 2019 mittauksiin, sillä mittalaite on ollut erilainen (yksirengas-infiltrometri). Yksi- ja kaksirengas infiltrometreillä määritetään vedellä kyllästyneen maan hydraulinen johtavuus, kun taas tensioinfiltrometrillä määritetään lähes-kyllästyneen ja kyllästymättömän maan vedenjohtavuus (Soil Measurement Systems, n.d.). Saksassa tehtyjen tutkimusten mukaan kaksirengas-infiltrometreillä saadut mittaustulokset ovat olleet 12–33 kertaa suurempia kuin tensioinfiltrometerillä, jolla on käytetty hiekkaa väliaineena (Köhne, 2011, s.1). Mittalaite-eron lisäksi mittaustulokset on esitetty eri yksikössä, joten tulosten vertailemiseksi tulisi tehdä yksikkömuunnos.

Eroa vuoden 2017 mittauksiin on lisäksi se, että mittaukset on tehty vain puolelle koeruuduista, kun nyt mittaukset kattoivat kaikki 32 ruutua. Mittauksia on tehty vuonna 2017 jokaisesta koeruudusta 10 kappaletta, joten yhdelle käsittelylle on saatu 20 eri mittausta, kun vuoden 2019 mittauksissa yhdellä käsittelyllä mittauksia on ainoastaan 4 kpl. Koska mittaustuloksia on ollut vuonna 2017 enemmän kerrannetta kohti, ovat silloin saadut mittaustulokset todennäköisesti luotettavampia. Aineisto on ollut kuitenkin myös silloin ei-parametrinen, joten hajonnassa on todennäköisesti ollut kuitenkin melko paljon eroa.

## 6.2 Muut havainnot

Mittausviikon aikana vallinneet sääolot olivat melko yhtäläiset koko keiken ajan. Jokaisena päivänä oli mahdollisuus sateelle, mutta suuremmilta sateilta vältyttiin. Muutaman kerran jouduttiin suojamaan diskki muovilla, jotta pieni yksittäinen kevyt sadekuuro ei häiritsisi diskin ja maan välistä kontaktia. Vakkilaisen (2016, s12) mukaan veden imeytymiseen vaikuttaa maalajin- ja rakenteen sekä kaltevuuden ja kasvipeitteisyyden lisäksi kosteusolosuhteet. Sateen alkaessa imeytyskyky on usein melko suuri ja se tasaantuu sateen jatkuessa vakiotasolle. Näin oli myös tensioinfiltraatiomittausten kohdalla ja tilavuusvirrat tasaantuivat tietyn ajan kuluessa. Tilavuusvirtojen tasaantuminen vaihteli koeruutujen välillä, mutta pääsääntöisesti kestivät tietyn ajan. Maaperän kosteusolosuhteiden

voidaan olettaa olleen mittausten aikana suurin piirtein samanlaiset. Tensioinfiltrimetrin avulla saatujen mittausten kautta lasketut hydraulisten johtavuuksien laskenta ei ota erikseen huomioon maaperässä mittaushetkellä vallinneita kosteusolosuhteita.

Syksyllä 2019 koepelloilta otetuissa drone-kuvissa (Liite 5) näkyy hyvin selvästi erot koeruutujen kasvuston tiheydessä. Peltosen (2019, s.8) mukaan kopterikuvauksella saadaan helposti ja nopeasti tietoa peltolohkon kasvukuntoeroista. Drone-kuvista tehdyillä havainnoilla ei voida suoraan selittää eri kerranteiden välisiä vedenjohtavuuden eroja. Kerranteen numero neljä vedenjohtavuuden arvot olivat kaikkein suurimmat ja kerranteen numero yksi kaikkein pienimmät. Erot näiden eri kerranteiden välisessä kasvussa ei ole silminnähtävien kovin suurta. Kuten Rantanenkin (2020, s.21) on todennut, kuvista voidaan tulkita, että orgaaniset maanparannusaineet paransivat kasvien kasvua siten, että ne kasvoivat maanparannusaineruuduissa vahvemmin, kuin ruuduissa, joihin maanparannusaineita ei ollut lisätty. Tämä pitäne paikkansa ja erityisesti maanparannusruuduissa kasvu on ollut erittäin hyvä. Väkilannoituksen ruuduissa näkyy myös selvästi lannoituksen vaikutus.

Maanparannusruutuihin on vuonna 2019 levitetty maanparannusaineena orgaanista lannoitetta, Humuspehtoorin Broilerhyvää. Joonan ym. (2019, s.42) mukaan orgaanisen lannoitteen ja maanparannusaineen luokittelu perustuu hiilen ja typen (C/N) suhteeseen. Kun hiili-typpeä suhde on tuotteessa alle 25, luokitellaan se lannoitteeksi ja kun se on yli 25, luokitellaan tuote maanparannusaineeksi. Hiilen ja typen suhde vaikuttaa typen vapautumiseen eli mineralisaatioon ja eloperäisen aineksen hajoamisnopeuteen (Keskitalo, Peltonen & Alakukku, 2017, s. 42). Humuspehtoorin (n.d.) mukaan Broilerhyvä- lannoite sisältää liukoista typpeä ( $N_{liuk}$ ) 7,6 kg/tn ja kokonaistypin määrää ( $N_{kok}$ ) on 22 kg/tn. Liukoisen typen osuus on melko pieni suhteessa kokonaistypin määrään ja tämän perusteella typpi vapautuu pidemmän ajan kuluessa. Todennäköisesti typen vapautuminen loppukasvukaudesta selittää sen, miksi vielä syyskuun alkupuolella kasvu oli hyvin voimakkaan vihreää maanparannusaineruuduissa. Maanparannusaineruutuihin on todennäköisesti päädytty levittämään orgaanista lannoitetta, sillä Laihosolan (2017, s.18) mukaan maanparannusaineruutuihin levitetty maanparannusaineet ja puukuitu ovat kuluttaneet maan typin varat loppuun ja kolmannen vuoden kaurakasvusto on kasvanut ko. ruuduilla heikosti. Tämä pitäne paikkansa, sillä puukuidut sitovat helposti maan typin varantoja itseensä (Järki Lannoite 2017, n.d.) ja viljelykasvit voivat tämän vuoksi kärsiä typenpuutteesta (Keskitalo ym., 2017 s. 46.).

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Maanparannusainelisäyksillä ei infiltraatiomittausten perusteella havaittu olleen vaikutusta maan vedenläpäisykykyyn kokeen kuudentena vuotena. Myöskään maan voimakas fyysinen muokkaus, jankkurointi ja eloperäisen aineksen lisäys eivät vaikuttaneet maan vedenläpäisevyyteen eri koeruu- tujen välillä. Tilastollisesti merkitseviä eroja ei edellä esitetyille tarkaste- luille saatu. Tulosten perusteella kuitenkin havaittiin tilastollisesti suuntaa antavia eroja eri kerranteiden välillä painekorkeudella -1 cm.

Koko aineistolle laskettujen hydraulisten johtavuuksien keskiarvot ja me- diaanit olivat pienempiä kuin Keskinen ym. (2019) tekemässä tutkimuk- sessa ja näihin tuloksiin peilaten vedenläpäisykyky peltokokeen koeloh- koilla oli heikompi kuin tutkimuksessa olleilla suomalaisilla savimailla kes- kimäärin.

Tutkimuksen tuloksissa oli paljon hajontaa, joka vaikeutti tulosten tulkin- taa. Muutamat mittaustulokset poikkesivat muista todella merkittävästi, ja tämän vuoksi aineisto ei ollut normaalijakautunut. Seuraavissa tensioin- filtrometrimittauksissa olisi tärkeää lisätä koeruu- tukohtaisten mittausten lukumäärää. Mittaus on peltokoelohkolla hidasta, joten siihen tulee varata riittävästi aikaa. Myös mittausten huolellisuuteen tulisi kiinnittää erityistä huomiota, jotta mittaustulos olisi luotettava. Mittaustuloksiin saattaa vai- kuttaa merkittävästi mittauspaikan valmistelu- ja mittauslaitteiston asen- nustoimenpiteet.

Vuoden 2017 vedenläpäisykykymittaukset on tehty yksirengas-infiltromet- rillä, jonka mittaustulokset eivät ole suoraan vertailukelpoisia vuoden 2019 tuloksiin. Menetelmä- ja yksikköeron vuoksi peltokokeessa olisi hyvä tehdä uudet mittaukset myös yksirengas-infiltrometrillä, jotta eri vuosina saatu- jen vedenläpäisykykymittausten tulokset olisivat vertailukelpoisia keske- nään. Mittaukset olisi hyvä tehdä vähintään samoille ruuduille kuin vuonna 2017, mutta tarkempia tuloksia saataisiin, kun mittaukset tehtäisiin kaikille koeruu- duille.

Maan fysikaalisia ominaisuuksia olisi hyvä tutkia vedenläpäisykykymittaus- ten lisäksi myös muilla menetelmillä. Maan kasvukunnon kehittymistä on haasteellista seurata yksittäisellä mittarilla ja maan rakenteen parantuessa voi vedenläpäisykyky heikentyä, jos isojen huokosten kautta tapahtuva oi- kovirtaus vähenee (Mattila & Rajala, 2019, s. 33). Vedenläpäisykykymit- tausten rinnalle olisi hyvä ottaa tehtäväksi kuoppahavaintoja. Kuoppaha- vaintojen avulla saadaan luotua hyvä yleiskuva maan fysikaalisista ja bio- logisista ominaisuuksista, kuten mm. maan rakenteesta (tiivistymät, muru- rakenne), multavuudesta, maalajista sekä juurten, lierojen ja pieneliöiden toiminnasta. (Agronet.fi, n.d.)

Maan rakenteeseen vaikuttavat fysikaalisten ja biologisten ominaisuuksien lisäksi kemialliset ominaisuudet. Peltokokeeseen olisi hyvä tehdä kationinvaihtokapasiteetin (KVK) tarkastelu kokeen aloitusvuoden ja viimeistään lopetusvuoden viljavuustutkimuksista. Mattilan & Rajalan (2018b) mukaan maan rakenteen kannalta kalsiumin (Ca), magnesiumin (Mg), kaliumin (K) ja natriumin (Na) väliset suhteet ovat tärkeitä. Erityisesti Ca:Mg välinen suhde on tärkeä savimaalle. Jos maassa on liikaa magnesiumia, kaliumia tai natriumia, maan mururakenne heikkenee. Kalsiumin määrä parantaa mururakennetta, mutta sitä tulee kuitenkin olla muihin ravinteisiin nähden oikeassa suhteessa.

Peltokokeen koeruuduille olisi hyvä teettää uudet viljavuustutkimukset ja multavuuden määrittäminen hehkutuskevennyksellä. Tällöin saataisiin uutta tietoa maan viljavuuden muuttumisesta ja mahdollisesti eloperäisen aineksen lisääntymisestä. Näiden saatujen uusien tutkimustulosten myötä voitaisiin tutkia, löytyykö näistä syistä eri kerranteiden hydraulisten johtavuuksien K(-1 cm) välisille eroille.

Tämän peltokokeen tiimoilta syntyneenä jatkotutkimuskokeena voisi olla vastaavanlainen pitkäaikainen maanparannusainekoe hieman eri tavalla toteutettuna. Kokeessa voitaisiin tutkia, kuinka kauan kestää niukkaravinteisen puukuidun (nollakuidun) tyyppä sitova vaikutus ja missä vaiheessa se alkaa luovuttamaan tyyppä jälleen viljelykasville paremman multavuuden nousun muodossa. Nollakuidun kanssa ei käytettäisi muita orgaanisia maanparannusaineita tai lannoitteita yhtä aikaa. Samassa kokeessa kasvilajeina voisivat olla nurmi ja syväjuuriset kasvit, jotka Peltosen (2019, s36) mukaan kasvattavan maan orgaanisen aineksen pitoisuutta, rikkovat tiivistymiä ja parantavat maan vedenläpäisykykyä. Maanmuokkausta vältettäisiin ja peltoliikenne minimoitaisiin. Jankkurointi tehtäisiin lohkolle, jossa kasvaisi monivuotinen kasvusto (esim. nurmi) ja jolla saataisiin Alakukun & Mattilan (2017, s. s.82–84) mukaan varmistettua maan oikea kuivuus toimenpiteelle ja maan rakenne vakiintumaan toimenpiteen jälkeen.

## LÄHTEET

Agronet. (n.d.). Peltomaan laatutesti-palvelu. Haettu 30.4.2020 osoitteesta [http://www.virtuaali.info/efarmer/peltomaan laatutesti/](http://www.virtuaali.info/efarmer/peltomaan_laautestesti/)

Alakukku, L. (2016). Maan rakenne. Teoksessa M. Paasonen-Kivekäs, R. Peltomaa, P. Vakkilainen & H. Äijö (toim.) *Maan vesi- ja ravinnetalous. Ojitus, kastelu ja ympäristö*. 2. täydennetty painos. Helsinki: Salaojayhdistys ry, ss. 53–72.

Alakukku, L. & Kaila, E. (2017). Maan tiivistämisen välttäminen ja peltoliikenteen suunnittelu. Teoksessa S. Peltonen & S. Anttila(toim.) *Peltojen kunnostus*. Tieto tuottamaan nro 143, ProAgria Keskusten Liiton julkaisuja nro 1153. Vantaa: ProAgria Keskusten liitto, ss. 56–59.

Alakukku, L. & Mattila, T. (2017). Tiivistymien korjaaminen. Teoksessa S. Peltonen & S. Anttila(toim.) *Peltojen kunnostus*. Tieto tuottamaan nro 143, ProAgria Keskusten Liiton julkaisuja nro 1153. Vantaa: ProAgria Keskusten liitto, ss. 82–85.

Alakukku, L., Soinne, H. & Myllys, M. (2017). Tutki maan muru- ja huokosrakennetta. Teoksessa S. Peltonen & S. Anttila(toim.) *Peltojen kunnostus*. Tieto tuottamaan nro 143, ProAgria Keskusten Liiton julkaisuja nro 1153. Vantaa: ProAgria Keskusten liitto, ss. 20–25.

Alakukku, L. (2002). Maan rakenteen ylläpito peltoviljelyssä. Teoksessa L. Alakukku & H. Teräväinen (toim.) *Maan rakenteen hoito*. Tieto tuottamaan nro 98, ProAgria Keskusten Liiton julkaisuja nro 982. Vantaa: ProAgria Keskusten liitto, ss. 63–81.

Alakukku, L. & Peltola, L. (2002). Maan rakenteen vaikutus vesitalouteen. Teoksessa L. Alakukku & H. Teräväinen (toim.) *Maan rakenteen hoito*. Tieto tuottamaan nro 98, ProAgria Keskusten Liiton julkaisuja nro 982. Vantaa: ProAgria Keskusten liitto, ss. 5–10.

Aura, E. (1992). Maan vesitalous. Teoksessa R. Heinonen (toim.) *Maa, viljely ja ympäristö*. Helsinki: WSOY, ss. 142–172.

Brady, N. C. & Weil, R. R. (2017). *The nature and properties of soils* (Fifteenth edition. Global edition.). Harlow: Pearson.

Ehlers, W. & Goss, M. J. (2016). *Water dynamics in plant production*. (2nd edition.). Wallingford: CABI.

Eurofins. (n.d.). Viljavuustutkimuksen tulkinta peltoviljelyssä. Haettu 26.4.2020 osoitteesta [https://cdnmedia.eurofins.com/european-east/media/2849228/viljavuustutkimuksentulkinta\\_01022019.pdf](https://cdnmedia.eurofins.com/european-east/media/2849228/viljavuustutkimuksentulkinta_01022019.pdf)

Finley, S. (2016). *Sustainable water management in smallholder farming: theory and practice*. Wallingford: CABI

Gregory, P. J. & Nortcliff, S. (2013). *Soil conditions and plant growth*. Hoboken [N.J.]: Wiley-Blackwell.

Hartikainen, H. (2019). Maaperän laatu kasvien ravinteiden saantiin ja hyötysuhteeseen vaikuttavana tekijänä. JYMY-hankkeen Maan muokkaus ja rakenne, eroosion torjunta, ravinteiden huuhtoutumisen estäminen - koulutus 19.3.ja 21.3.2019. Haettu 25.4.2020 osoitteesta <http://www.sjt.fi/wp-content/uploads/2019/04/Maaper%C3%A4n-vaikutus-kasvien-ravinteidensaantiin-ja-hy%C3%B6tysuhteeseen.pdf>

Hartikainen, H. (2016a). Maan biologia. Teoksessa M. Paasonen-Kivekäs, R. Peltomaa, P. Vakkilainen & H. Äijö (toim.) *Maan vesi- ja ravinnetalous. Ojitus, kastelu ja ympäristö*.2. täydennetty painos. Helsinki: Salaojayhdistys ry, ss. 40–43.

Hartikainen, H. (2016b). Maalajit. Teoksessa M. Paasonen-Kivekäs, R. Peltomaa, P. Vakkilainen & H. Äijö (toim.) *Maan vesi- ja ravinnetalous. Ojitus, kastelu ja ympäristö*.2. täydennetty painos. Helsinki: Salaojayhdistys ry, ss. 23–30.

Hartikainen, H. (2016c). Maa-aineksen koostumus. Teoksessa M. Paasonen-Kivekäs, R. Peltomaa, P. Vakkilainen & H. Äijö (toim.) *Maan vesi- ja ravinnetalous. Ojitus, kastelu ja ympäristö*.2. täydennetty painos. Helsinki: Salaojayhdistys ry, ss. 31–39.

Hartikainen, H. (1992). Maaperä. Teoksessa R. Heinonen (toim.) *Maa, viljely ja ympäristö*. Helsinki: WSOY, ss. 9–89.

Heikkilä, T. (2014). Muuttujien väliset riippuvuudet – esimerkkejä. Edita Publishing Oy 2014. Haettu 3.5.2020 osoitteesta <http://www.tilastollisentutkimus.fi/5.SPSS/Riippuvuudet.pdf>

Heinonen, R. (1992). Maan rakenne. Teoksessa R. Heinonen (toim.) *Maa, viljely ja ympäristö*. Helsinki: WSOY, ss. 90–141.

Heiskanen, J. (2016). Maan fysikaaliset ominaisuudet. Meolo-workshop, Luke, Vantaa 13.9.2016. Haettu 30.4.2020 osoitteesta <https://juri.luke.fi/bitstream/handle/10024/537332/MeoloWorkshop.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Humuspehtoori. (n.d.). Humuspehtoorin tuotteet. Haettu 28.4.2020 osoitteesta <https://www.humuspehtoori.fi/sites/humuspehtoori/files/file/Tuotteen%20ravinnearvot%20%26%20m%C3%A4%C3%A4r%C3%A4t%2005.02.2020.pdf>

Hyväluoma, J. (2019). Tensioinfiltrometrin käytön opetus HAMK Lepaalla 16.9.-17.9.2020.

Ilmatieteen laitos. (2020). Havaintojen lataus. Hakuehtoina vuorokausihavainnot aikavälillä 15.4. – 15.9.2019, havaintoasemana Hattula Lepaa. Haettu 28.4.2020 osoitteesta <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>

Ilmatieteen laitos. (n.d.). Kasvukausi 2019. Haettu 28.4.2020 osoitteesta <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kasvukausi-2019>

Joona, J., Heinonsalo, J. & Hagelberg, E. (2019). Maan hiilivaraston kasvattaminen orgaanisilla lannoitteilla ja maanparannusaineilla. Teoksessa S. Peltonen, K. Aalto, I. Hennola & S. Anttila (toim.) *Ilmastoviisas maatalayritys*. Tieto tuottamaan nro 145. ProAgria Keskusten Liiton julkaisuja nro 1163. Vantaa: ProAgria Keskusten liitto, ss. 42–47.

Järki Lannoite (2017). Tietokortit ravinnekierrätyksestä ja kierrätyslannoitteista. Tietokortit laadittu Järki-Lannoite hankkeessa 2015–2017. Haettu 4.5.2020 osoitteesta [https://www.bsag.fi/wp-content/uploads/2019/07/tietokortit-jarki-lannoite\\_0.pdf](https://www.bsag.fi/wp-content/uploads/2019/07/tietokortit-jarki-lannoite_0.pdf)

Kanniainen, T. (2015). Varianssianalyysit ja JMP Pro- opetusmoniste. Tutkimus- ja tuotekehitys puutarhataloudessa 2020-moduulin verkkoaineisto. Haettu 22.2.2020 osoitteesta <https://learn.hamk.fi/>

Kemppainen, E. (1992). Karjanlanta ja muut eloperäiset lannoitteet. Teoksessa R. Heinonen (toim.) *Maa, viljely ja ympäristö*. Helsinki: WSOY, ss. 255–294.

Keskinen, R., Rätty, M., Kaseva, J., & Hyväluoma, J. (2019). Variations in near-saturated hydraulic conductivity of arable mineral topsoils in southwestern and central-eastern Finland. *Agricultural and Food Science*, 28(2), 70–83. Haettu 10.2.2020 osoitteesta <https://doi.org/10.23986/afsci.79329>

Keskitalo, M., Peltonen, S. & Alakukku, L. (2017). Kasvinvuorotus osaksi viljelysuunnittelua ja viljelyä. Teoksessa S. Peltonen & S. Anttila(toim.) *Peltojen kunnostus*. Tieto tuottamaan nro 143, ProAgria Keskusten Liiton julkaisuja nro 1153. Vantaa: ProAgria Keskusten liitto, ss. 39–43.

Kontu, M. (2019). Kuvakooste tensioinfiltrometrillä. Kuvat otettu HAMK Lepaan yksikön Humuspehtoorin peltokoealueella 20.09.2019 (vasemmanpuoleiset kuvat) ja 17.09.2019 (oikea kuva). Valokuvaajana Michaela Kontu.



KvantiMOTV. (2002). Varianssianalyysi. Haettu 3.5.2020 osoitteesta <https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/variassi/anova.html>

Köhne, J.M., Alves Júnior, J., Köhne, S., Tiemeyer, B., Lennartz, B. & Kruse, J. (2011). Double-ring and tension infiltrometer measurements of hydraulic conductivity and mobile soil regions. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 41(3), 336–347. <https://doi.org/10.5216/pat.v41i3.11376>

Laihosola, J. (2017). *Maanparannusaineiden vaikutus maan mikrobiologiaan. Case: Humuspehtoorin peltokoe Lepaalla*. Opinnäytetyö. Puutarhatalouden koulutusohjelma. Hämeen ammattikorkeakoulu. Haettu 15.4.2019 osoitteesta <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201705219200>

Leppäranta, M., Virta, J. & Huttula, T. (2017). *Hydrologian perusteet*. Helsinki: Helsingin yliopisto, Fysiikan laitos.

Luomu.fi. (2017a). Laskurit maan tiivistymisriskien määrittämiseen. OSMO-hanke. Haettu 26.4.2020 osoitteesta <https://luomu.fi/tietopankki/laskurit-maan-tiivistymisriskien-maarittamiseen/>

Luomu.fi. (2017b). Koneiden tiivistymisriskien arviointi, Excel-laskentataulukko. OSMO-hanke. Haettu 26.4.2020 osoitteesta [https://drive.google.com/file/d/1PtcAGfqgir\\_RejvOhE07k0ZFRPDIT1xE/view](https://drive.google.com/file/d/1PtcAGfqgir_RejvOhE07k0ZFRPDIT1xE/view)

Mattila, T.J. & Rajala, J. (2019). Voiko maan kasvukuntoa kehittää? Kokeuksia 8 koelohkolta neljältä vuodelta. Helsingin yliopisto, Ruralia Instituutti. Raportteja 200. Haettu 29.4.2020 osoitteesta <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/309062/Raportteja200.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Mattila, T.J. & Rajala, J. (2018a). Miten vältän haitallisen tiivistymisen maatalousrenkaiden avulla. Helsingin yliopisto, Ruralia Instituutti. Raportteja 175. Haettu 7.5.2020 osoitteesta <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/232490/Raportteja175.pdf?sequence=1>

Mattila, T.J. & Rajala, J. (2018b). Kationinvaihtokapasiteetin määrittäminen ja käyttö viljavuusanalyysin tulkinnessa. Helsingin yliopisto, Ruralia Instituutti. Raportteja 179. Haettu 1.5.2020 osoitteesta <https://luomu.fi/wp-content/uploads/sites/4/2018/06/kationinvaihtokapasiteetin-maaritys-ja-kaytto-viljavuusanalyysin-tulkinnassa.-mattila-ja-rajala.-raportteja-179.pdf>

Mattila, T. (2015). Mitä tälle lohkolle pitäisi tehdä? 4 viljavuusanalyysiä vertailussa. *Käytännön Maamies* 4/2015, ss. 38–42.

Nuutinen, V. & Palojärvi, A. (2002). Maaperäeliöstö ja maan rakenne. Teoksessa L. Alakukku & H. Teräväinen (toim.) *Maan rakenteen hoito*. Tieto

tuottamaan nro 98, ProAgria Keskusten Liiton julkaisu nro 982. Vantaa: ProAgria Keskusten liitto, ss. 24–32.

Paasonen-Kivekäs, M., Peltomaa, R., Vakkilainen, P. & Äijö, H. (2016). Maaperän vesitalouden järjestelyn lähtökohdat. Teoksessa M. Paasonen-Kivekäs, R. Peltomaa, P. Vakkilainen & H. Äijö (toim.) *Maan vesi- ja ravinnetalous. Ojitus, kastelu ja ympäristö*.2. täydennetty painos. Helsinki: Sa-laojayhdistys ry, ss. 73–128.

Palojärvi, A., Salo, T. & Mylly, M. (2015). Peltomaan hiilipitoisuus las-kussa- viljelykierto hidastaa muutosta. Teoksessa N. Toukoluoto & Pel-tonen, S. (toim.). *Viljelykiertojen monipuolistaminen*. Tieto tuottamaan nro 141, ProAgria Keskusten Liiton julkaisu nro 1142. Vantaa: ProAgria Kes-kusten liitto, ss. 17–20.

Peltonen, S. (2019a). Pellon tuottokyvyn parantaminen. Teoksessa S. Pel-tonen, K. Aalto, I. Hennola & S. Anttila (toim.) *Ilmastoviisas maatilayritys*. Tieto tuottamaan nro 145. ProAgria Keskusten Liiton julkaisu nro 1163. Vantaa: ProAgria Keskusten liitto, ss. 26–31.

Peltonen, S. (2019b). Viljelykierto ja viljelyn monipuolistaminen. Teok-sessa S. Peltonen, K. Aalto, I. Hennola & S. Anttila (toim.) *Ilmastoviisas maatilayritys*. Tieto tuottamaan nro 145. ProAgria Keskusten Liiton julkai-suja nro 1163. Vantaa: ProAgria Keskusten liitto, ss. 36–38.

Peltonen, S. (2019c). Muokkausmenetelmien vaikutus kasvihuonekaasu-päästöihin. Teoksessa S. Peltonen, K. Aalto, I. Hennola & S. Anttila (toim.) *Ilmastoviisas maatilayritys*. Tieto tuottamaan nro 145. ProAgria Keskus-ten Liiton julkaisu nro 1163. Vantaa: ProAgria Keskusten liitto, ss. 39.

Peltonen, S. (2017) Tunnista peltojesi kasvukunto. Teoksessa S. Peltonen & S. Anttila(toim.) *Peltojen kunnostus*. Tieto tuottamaan nro 143, ProAgria Keskusten Liiton julkaisu nro 1153. Vantaa: ProAgria Keskusten liitto, ss. 6–10.

Peltonen, S., Känkänen, H., Salo, T. & Joona, J. (2017). Orgaanisen ainek-sen lisäys. Teoksessa S. Peltonen & S. Anttila(toim.) *Peltojen kunnostus*. Tieto tuottamaan nro 143, ProAgria Keskusten Liiton julkaisu nro 1153. Vantaa: ProAgria Keskusten liitto, ss. 44–55.

Rantanen, J. (2020). *Orgaanisten maanparannusaineiden vaikutus maa-perän mikrobiaktiivisuuteen*. Opinnäytetyö. Puutarhatalouden koulutus-ohjelma. Hämeen ammattikorkeakoulu. Haettu 26.4.2020 osoitteesta <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202004245830>

Ruokavirasto. (n.d.). Peltomaan laatutesti. Haettu 29.4.2020 osoitteesta <https://www.ruokavirasto.fi/viljelijat/tuet-ja-rahoitus/ymparistokor-vaus/peltomaan-laatutesti/>

Soil Measurement Systems. (n.d.). SMS Tension Infiltrometers. Haettu 30.4.2020 osoitteesta <http://www.soilmeasurement.com/tension-infiltrometer.html>

Tieteen termipankki. (2020). Hydraulinen johtavuus/vedenläpäisevyys. Tieteen termipankki 30.4.2020: Ympäristötieteet: hydraulinen johtavuus. Haettu 30.4.2020 osoitteesta [http://tieteentermi-pankki.fi/wiki/Ymp%C3%A4rist%C3%B6tieteet:hydraulinen\\_johtavuus](http://tieteentermi-pankki.fi/wiki/Ymp%C3%A4rist%C3%B6tieteet:hydraulinen_johtavuus)

Vakkilainen, P. (2016). Hydrologian perusteita. Teoksessa M. Paasonen-Kivekäs, R. Peltomaa, P. Vakkilainen & H. Äijö (toim.) *Maan vesi- ja ravinnetalous. Ojitus, kastelu ja ympäristö*.2. täydennetty painos. Helsinki: Saelojayhdistys ry, ss. 73–128.

Vesihallitus. (1976). *Maa- ja pohjavesisanasto*. Vesihallituksen julkaisuja nro 18. Helsinki: Vesihallitus. Haettu 30.4.2020 [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/155229/VH\\_julkaisuja\\_18.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/155229/VH_julkaisuja_18.pdf?sequence=4&isAllowed=y)

Vuorinen, V. (2019). Koealueen dronekuvaukset 18.9.2019. Kuvausmateriaali sähköpostitse Michaela Kontulle 14.4.2020.

Väliheikki, L. (2019). *Maanparannusainelisäysten vaikutus peltomaan vedenläpäisykykyyn*. Opinnäytetyö. Puutarhatalouden koulutusohjelma. Hämeen ammattikorkeakoulu. Haettu 15.2.2019 osoitteesta <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019121326570>

Yara. (n.d.). Lannoiteopas 2019–2020. Haettu 28.4.2020 osoitteesta <http://ebook.aineisto.fi/Yara/Lannoiteopas2019-2020/#p=1>

Yli-Halla, M. (2017a). Ota huomioon maalajien ominaisuudet. Teoksessa S. Peltonen & S. Anttila(toim.) *Peltojen kunnostus*. Tieto tuottamaan nro 143, ProAgria Keskusten Liiton julkaisuja nro 1153. Vantaa: ProAgria Keskusten liitto, ss. 15–20.

Yli-Halla, M. (2017b). Viljavuus pellon kasvukunnon perustana. Teoksessa S. Peltonen & S. Anttila(toim.) *Peltojen kunnostus*. Tieto tuottamaan nro 143, ProAgria Keskusten Liiton julkaisuja nro 1153. Vantaa: ProAgria Keskusten liitto, ss. 34–38.

Äijö, H. (2017). Tarkista pellon kuivatuksen toimivuus. Teoksessa S. Peltonen & S. Anttila(toim.) *Peltojen kunnostus*. Tieto tuottamaan nro 143, ProAgria Keskusten Liiton julkaisuja nro 1153. Vantaa: ProAgria Keskusten liitto, ss. 13–14.

## Liite 1

PIENIPAROLANPELTO  
(kompositikentän puoli)

RUUTU 1 MP1	RUUTU 2 MP2	RUUTU 3 MP1 + jonkkurointi	RUUTU 4 väkiliannoitus	RUUTU 9 väkiliannoitus + jonkkurointi	RUUTU 10 MP2 + jonkkurointi	RUUTU 11 MP1	RUUTU 12 MP2
RUUTU 5 MP2 + jonkkurointi	RUUTU 6 väkiliannoitus + jonkkurointi	RUUTU 7 jonkkurointi	RUUTU 8 kontrolli	RUUTU 13 jonkkurointi	RUUTU 14 MP1 + jonkkurointi	RUUTU 15 väkiliannoitus	RUUTU 16 kontrolli

← Lepaan kompuksalle

Lepoentie

Viinitilalle →

RUUTU 17 MP1 + jonkkurointi	RUUTU 18 väkiliannoitus + jonkkurointi	RUUTU 19 jonkkurointi	RUUTU 20 MP2 + jonkkurointi	RUUTU 25 MP1	RUUTU 26 jonkkurointi	RUUTU 27 väkiliannoitus	RUUTU 28 väkiliannoitus + jonkkurointi
RUUTU 21 väkiliannoitus	RUUTU 22 MP2	RUUTU 23 kontrolli	RUUTU 24 MP1	RUUTU 29 MP2 + jonkkurointi	RUUTU 30 MP2	RUUTU 31 MP1 + jonkkurointi	RUUTU 32 kontrolli

NIITTYMÄKI  
(viinitilan puoli)

- Koe perustettu HAMK Lepaan yksikön Pieniparolanpelto ja Niittymäki-peruslohkoille
  - Kasvuloikon koko 1,0 ha (Pieniparolanpelto) ja 1,07 ha (Niittymäki)
  - Molemmista kasvuloikoista on varattu koealueeksi ~0,55 ha.
  - Koealueen kokonaispinta-ala on yhteensä 1,1 ha

- 32 koerutua, koeruudun koko 345 m<sup>2</sup>
- 8 käsiteltävää
- 4 kerrannetta (kerranne värikoodattu kartassa)

Kerranne 1

Kerranne 2

Kerranne 3

Kerranne 4

## PELTOKOKEEN KOERUUDUT

## PELTOKOKEEN VIILJELYTEKNIikka

Viiljelytoimenpide	Koneeseen kytkettävä laite	Kone	Koneiden ja muokauslaitteiden painot [kg]	Muuta
Äestys	Tume Nordic 3800 pystytipkki-äes (vm. ~90 luku)	Traktori John Deere 6610 (vm. -99)	John Deere 6610 4900 kg (Konedata, n.d., a.) Tume Nordic 3800 paino 1265 kg.	Ennen kyvöä äestys 2 kertaan
Kyvö	Tume HKL 2500 kyviöannottiin (vm. -13) -laser-vantaat, pyörivät kiekot, piensiemenuoli -2,5 ha/täyttö -sisittää piensiemennyöyksikön	Traktori Valtra N134 (vm. -17)	Tume HKL 2500 koneen paino 850 kg (tyhjänä), säiliöt täynnä vehnää ja lannotetta 2350 kg (Tumeagri, n.d.) Valtra N134 6300 kg (Konedata, n.d., b.)	Viiljojen lisäksi myös sinimallaskasvusto perustettu tällä laitteella
Kasvinsuojelu	Amazon UF 1000 (vm. 05) - nostolaitteellinen kasvinsuojeluruisku - 1100 l, 12 m puomi	Traktori New Holland 4835 (vm. -97) - 70 hp	Amazon UF 1000 paino tyhjänä ~500 kg, sallittu kokonaispaino 2250 kg (Amazon, n.d.) New Holland 4835 paino 3440 kg (Konedata, n.d., c.)	
Niittomurskaus	Kelamurskain Seppi - leveys 1,5 m	Traktori New Holland 4835 (vm. -97) - 70 hp	Kelamurskain Seppi 437 kg (Konevei, n.d.) New Holland 4835 paino 3440 kg (Konedata, n.d., c.)	
Puini	Puimuri Sampo Rosenlew 690 (vm. ~85) Perävaunu Junkkari J10 (10 m3) Perävaunu Tempo/Sarmat (10 m3)		Sampo Rosenlew 690 paino 4800 kg (Konedata, n.d., d.) Junkkari J10 paino perustaidoilla 1830 kg, kantavuus 10 000 kg (Junkkari, n.d.) Tempo omapaino 1950 kg, kantavuus 10 000 kg (Tempo, n.d.)	
Kyntö	Överum XL 4-siipiset paluaurat (vm. ~90 luku)	Traktori Valtra N134 (tai John Deere 6610)	Överumin paino ~1500 kg (Kongskilde, n.d.) John Deere 6610 4900 kg (Konedata, n.d., a.) Valtra N134 6300 kg (Konedata, n.d., b.)	

Taulukko 1. Humuspehtoorin peltokokeen viljelytekniikka. Kone- ja laitetiedot saatu HAMK Leppaan maataloustekniikka Räsäsetä (2020). Käytössä olevat rengaspaineet vaihtelevat 1,8 – 2,2 barin välillä.

Lähteet

- Amazon. (n.d.). Käyttöohjekirja, nostolaitteellinen kasvinsuojeluruisku Amazon UF 6000/800/1000/1200. Haettu 26.4.2020 osoitteesta <https://et.amazon.de/files/pdf/me584.pdf>
- Junkkari. (n.d.). Tuotetietokirja, nostolaitteellinen kasvinsuojeluruisku. Haettu 26.4.2020 osoitteesta <https://www.junkkari.fi/tuotetietailu>
- Konedata. (n.d., a.) John Deere 6510-6910 S. Haettu 26.4.2020 osoitteesta <http://www.konedata.net/Traktori/id6510.htm>
- Konedata. (n.d., b.) Valtra N104-N174 (2015-). Haettu 26.4.2020 osoitteesta <http://konedata.net/Traktori/ValtraN104.htm>
- Konedata. (n.d., c.) New Holland 160-95 / 4635-7635. Haettu 26.4.2020 osoitteesta <https://konedata.net/puimuri/sampo-rosenlew/sampo-rosenlew-580-690/>
- Konedata. (n.d., d.) Sampo Rosenlew 580-690. Haettu 26.4.2020 osoitteesta <https://www.konevei.fi/tyehhoito/seppi-kelamurskain.html>
- Konevei. (n.d.). Kelamurskain Seppi. Haettu 1.5.2020 osoitteesta <https://www.konevei.fi/tyehhoito/seppi-kelamurskain.html>
- Kongskilde. (n.d.). Kyntöaurat Överum VARI FLEX CX-CX-F. Haettu 26.4.2020 osoitteesta <http://www.kongskilde.com/fi-fi-ET/Agriculture/Soil/Fougring/Full%20mounted%20reversible%20plough/VARI%20FLEX%20CX%20CX-F%20F>
- Räsänen, T. (2020). Puhelinhaastattelut 28.2.2020 ja 1.5.2020.
- Tempo. (n.d.). Maansiirtovaunut. Haettu 26.4.2020 osoitteesta <https://www.agrikyymi.fi/tuote/tempo-maansiirtovaunut/>
- Tumeagri. (n.d.). Kyviöannottiin HKL 2500 / 2500 S HKL 3000 HKL 4000. Tumeagri. Haettu 26.4.2020 osoitteesta <https://www.tumeagri.fi/site/wp-content/uploads/HKL-2500-3000-4000-1995-2000-k%C3%A4ytt%C3%B6ohje.pdf>

## KOERUUTUKOHTAISET VIILJAVUUSTUTKIMUKSET VUODELTA 2013

Ruutu	Maalaji	Mutka- vuus	Johtoluku [10 <sup>-4</sup> mS/cm l]	Happamuus [pH]	Kalsium (Ca) [mg/l]	Fosfori (P) [mg/l]	Kalium (K) [mg/l]	Magnesium (Mg) [mg/l]	Rikki (S) [mg/l]	Ca / Mg [mg/l]	Kupari (Cu) [mg/l]	Boori (B) [mg/l]	Mangaani (Mn) [mg/l]	Sinkki (Zn) [mg/l]	Rav.res. K [mg/l]	Rav.res. P [mg/l]	Rav.res. Mg [mg/l]	Rav.res. Ca [mg/l]	
1.	HeS	m	1,4	6,6	3320	13	370	600	57	5,53									
2.	HsS	m	1,2	6,8	3410	14	370	700	25	4,87									
3.	HsS	m	1,3	6,8	3260	14,8	380	640	25	5,09									
4.	HsS	m	1,2	6,6	3260	12,7	350	650	24	5,02	9,4	1,5	38	2,4	6360	470	10550	4910	
5.	HeS	m	1,4	6,2	2100	17,3	360	310	33	6,77	5,8	1,6	19	1,8	5650	590	9260	3840	
6.	HsS	m	1,2	6,5	2620	18,9	400	490	32	5,35									
7.	HsS	m	1,3	6,7	3250	19	420	630	27	5,16									
8.	HsS	m	1,3	6,4	3150	16,2	440	600	34	5,25									
9.	HsS	m	1,2	6,7	3260	15,6	420	600	29	5,43									
10.	HsS	m	1,1	6,7	3050	17,1	430	530	25	5,75									
11.	HsS	m	1,2	6,6	3100	19	500	520	22	5,96	8,3	1,3	52	4,1	5800	800	9740	5080	
12.	HsS	m	1,1	6,7	2960	21,6	440	490	21	6,04									
13.	HsS	m	1,1	6,5	3090	18,3	440	570	27	5,42	9,3	1,5	37	3	6750	690	10740	5120	
14.	HsS	m	1,6	6,4	2830	21,2	510	430	34	6,58									
15.	HsS	m	1,6	6,4	2660	24,4	470	350	43	7,6									
16.	HsS	m	1,5	6,5	3060	24,7	460	430	42	7,12									
17.	HeS	m	1,3	6,7	3200	33,1	360	380	26	8,42									
18.	HeS	m	1,3	6,9	3820	39,8	400	430	22	8,88									
19.	HsS	m	1,3	7,1	4970	44,1	420	690	33	7,2									
20.	HsS	m	1	6,6	4030	25,2	380	650	17	6,2	10	1,6	26	3,4	6400	660	10250	5670	
21.	HsS	m	1,6	6,2	2960	20,3	430	330	48	8,97	6,6	1,2	31	3,7	6060	750	9420	4810	
22.	HsS	m	1,3	6,5	3490	23,7	380	480	29	7,27									
23.	HsS	m	1,2	6,8	4080	24,6	320	630	27	6,48									
24.	HsS	m	1,9	6,8	4090	37,8	380	530	44	7,72									
25.	HsS	m	1,2	7	4590	49,8	390	550	23	8,35									
26.	HeS	m	1,3	6,8	3770	43,1	420	430	26	8,77	6,7	1,4	27	2,9	5900	650	9580	5210	
27.	HsS	m	1,4	6,2	2610	22,7	440	340	30	7,68									
28.	HsS	m	1,3	6,3	2800	23,2	450	370	26	7,57									
29.	HsS	m	1,8	6,7	4460	32,8	430	640	50	6,97									
30.	HsS	m	1,5	7	4580	53	400	580	41	7,9									
31.	HsS	m	1,3	6,3	2890	20,8	440	440	28	6,57	6,1	1,3	23	2,6	6250	800	10260	4910	
32.	HsS	m	1,2	6,2	2580	15,6	470	420	31	6,14									

Taulukko 1. Humuspehtoorin peltokokeen koeruutukohtainen virallinen laboratoriossa teetetty viljavuustutkimus. Tutkimus on tehty syksyllä 2013 ennen kokeen alkua.

## KOERUUTUJEN MULTAVUUDEN MÄÄRITYS HEHKUTUSKEVENNYKSELLÄ

Ruutu	Muokkauskerroksen orgaanisen aineksen pitoisuus [%]	Multavuus
1.	9,0	rm
2.	8,4	rm
3.	8,7	rm
4.	10,0	rm
5.	8,5	rm
6.	9,8	rm
7.	9,8	rm
8.	10,6	rm
9.	10,3	rm
10.	9,3	rm
11.	10,1	rm
12.	10,5	rm
13.	9,4	rm
14.	10,0	rm
15.	8,8	rm
16.	8,6	rm
17.	10,7	rm
18.	8,9	rm
19.	10,0	rm
20.	9,8	rm
21.	9,1	rm
22.	9,1	rm
23.	9,4	rm
24.	9,5	rm
25.	9,6	rm
26.	7,3	rm
27.	8,3	rm
28.	8,6	rm
29.	9,8	rm
30.	10,3	rm
31.	9,8	rm
32.	10,0	rm
Keskiarvo	9,4	rm

## KOERUUTUJEN MULTAVUUDEN MÄÄRITYS

- Syksyllä 2013 (ennen kokeen alkua) otetuista maanäytteistä on määritetty HAMK Lepaan laboratoriossa koeruutukohtaiset multavuudet hehkutuskevennyksellä
- Maanäytteet on otettu jokaisesta koeruudusta 10 ja 30 cm syvyydeltä. Yllä olevaan taulukkoon on koottu näiden kahdelta eri syvyydeltä otetun maanäytteen hehkutuskevennyksen keskiarvo.
- Hehkutuskevennyksen perusteella jokaisen koeruudun peltomaa on multavuusluokaltaan runsasmultainen.
- Kun muokkauskerroksen orgaanisen aineksen pitoisuus on välillä 6 - 11,9, on multavuusluokka runsasmultainen, lyhenne on rm (Eurofins, n.d.).

Taulukko 1. Humuspeptoorin peltokokeen koeruutujen multavuus on määritetty hehkutuskevennyksellä syksyllä 2013 HAMK Lepaan laboratoriossa.

Eurofins. (n.d.). Viljavuustutkimuksen tulkinta peltoviljelyssä. Haettu 26.4.2020 osoitteesta [https://cdnmedia.eurofins.com/european-east/media/2849228/viljavuustutkimuksentulkinta\\_01022019.pdf](https://cdnmedia.eurofins.com/european-east/media/2849228/viljavuustutkimuksentulkinta_01022019.pdf)

## PELTOKOEALUEEN DRONE-KUVAUKSET SYKSYLLÄ 2019

