

Juuso Karhumaa

## **Lietekalustojen vaikutus maan tiivistymiseen**

Vertailu pohjois-pohjalaisella karkealla kivennäismaalla

## **Lietekalustojen vaikutus maan tiivistymiseen**

Vertailu pohjois-pohjalaisella karkealla kivennäismaalla

Juuso Karhumaa  
Opinnäytetyö  
Kevät 2019  
Maaseutuelinkeinot  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Luonnonvara-ala, Agrologi

---

Tekijä: Juuso Karhumaa

Opinnäytetyön nimi: Lietekalustojen vaikutus maan tiivistymiseen

Työn ohjaaja: Raija Suomela

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2018

Sivumäärä: 46

---

Maatalouden rakennemuutos on ajanut maatilat hankkimaan yhä suurempia ja tehokkaampia työkoneita. Raskaat koneet ja sesonkikiireet ovat lisänneet hyvän peltomaan kasvukunnon ylläpitämisessä haasteita. Raskaat koneet lisäävät maan tiivistymisriskiä. Riski on suuri erityisesti keväällä ja syksyllä, kun maa on yleensä märkä. Karjatiloilta lietalanta on saatava levitettyä lantasiiloista pelloille joka kasvukausi, vaikka olosuhteet eivät olisi levitykseen optimaaliset. Viimevuosien sateiset kesät ovat tuoneet esille peltojen vesitalouden ongelmia. Yksi suurimmista huonontuneen vesitalouden syistä on ollut maan tiivistyminen. Maan tiivistyminen mm. alentaa satoa, vähentää ravinteiden hyväksikäyttöä ja lisää työn tarvetta pellolla. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli vertailla lietalannanlevityskalustojen aiheuttamaa maan tiivistymistä Pohjois-Pohjanmaalle tyypillisellä karkealla kivennäismaalla ja lisätä maatalousyrittäjien ja urakoitsijoiden tietoa maan tiivistymisriskeistä.

Työn teoriaosuudessa selvitettiin maan tiivistymisen syitä ja ennaltaehkäisyä. Selvitystyön käytännön osuudessa verrattiin Suomessa yleisten lietteenlevityskalustojen tiivistämisriskejä karkealla kivennäismaalla. Työn toimeksiantajana oli Oulun ammattikorkeakoulun hallinnoima OmaNauta-hanke. Työn teoriaosan tietopohjana on käytetty aiheen kirjallisuutta, tutkimustietoa ja ajankohtaisia lähteitä internetistä ja lehdistä. Teoria-aineiston lisäksi työssä tehtiin vertailu monimenetelmän avulla. Varsinainen testiaineisto koostui useista penetrometrimittauksista, jotka koottiin Excel taulukko-ohjelmaan analysoitavaksi. Tuloksia kuvailtiin sanallisesti sekä havainnollistettiin kuvioin. Lisäksi vertailua tehtiin Terranimo-työkalan mallinnuksilla.

Vertailun keskeisimpiä tuloksia olivat kalustojen suuret erot kokonais-, akseli- ja rengaspainoissa sekä Terranimo-mallinnusten ja penetrometrimittausten tulokset kalustojen maan kuormitusvaikutuksista. Terranimo-mallinnuksien ja penetrometrimittausten mukaan pienimmän kuormituksen maahan aiheutti vetoletkukalusto. Seuraavaksi pienintä kuormitusta aiheutti 14 m<sup>3</sup>:n lietevaunukalusto. Tuloksien mukaan suurinta kuormitusta maahan aiheutti 18 m<sup>3</sup>:n lietevaunukalusto ja seuraavaksi suurinta kuormitusta aiheutti itsekulkeva Vredo. 18 m<sup>3</sup> lietevaunukaluston ja Vredon renkaiden tallomassa pinta-alassa suhteessa levitettyyn pinta-alaan oli kuitenkin merkittävä ero. Vredolla tallottu pinta-ala oli 50 % ja 18 m<sup>3</sup>:n lietevaunukalustolla se oli vain 9 % levitetystä pinta-alasta. Penetrometrimittausten mukaan tiivistymät eivät olleet millään kalustolla haitallisia, koska maan esikuormitusjännitys oli pohjamaassa hyvin suuri. Terranimo-tulosten ja yleisen teorian perusteella maan tiivistymisriskin minimoimiseksi voidaan suositella mahdollisimman vähän maata kuormittavan kaluston kuten vetoletkukaluston tai muun alle 8 tn akselipainon omaavan kaluston käyttöä.

---

Asiasanat: maan tiivistyminen, penetrometri, akselipaino, rengaspaine, pintapaine, lietevaunu

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree programme, option

---

Author: Juuso Karhumaa

Title of thesis: The Impact of Slurry Equipment to the Soil Compaction

Supervisor: Raija Suomela

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2018    Number of pages: 46

---

Agricultural restructuring has driven farms to acquire ever larger and more efficient machinery. Heavy machinery and high seasonal stresses have increased the challenge of maintaining good plant growth. Heavy machinery increases the risk of soil compaction. The risk is great especially in spring and autumn when the soil is generally wet. On livestock farms, the slurry must be applied from the fleece to the fields every growing season, even if the conditions are not optimal for the slurry spreading. Rainy summers of recent years have raised problems with the water management of the fields. One of the worst factors in water management has been the soil compaction. The purpose of this thesis was to compare the soil compaction caused by slurry spreading equipment in the rough mineral soil typical of North Ostrobothnia and to increase the knowledge of soil compaction hazards for landowners and contractors.

The theoretical part of the thesis investigated the causes and prevention of soil compaction. In the practical part of the survey, comparisons were made in Finland with the risk of condensation of general slurry spreading facilities in the rough mineral soil. The work was ordered by the Oulu University of Applied Sciences project Omanauta. The theoretical part of the thesis is based on literature, research information and current sources on the Internet and magazines. In addition to the theoretical material, a multi-method comparison was performed. The actual test material consisted of several penetrometer measurements, which were compiled into the Excel spreadsheet program for analysis. The results were described verbatim and illustrated with figures. In addition, comparisons were made with the Terranimo tool malfunctions.

The most important results of the comparison were the large differences in equipment in the overall, axle and tire weight as well as the results of Terranimo modeling and penetrometer measurements on the impact of the equipment in the country. According to Terranimo modeling and penetrometer measurements, the smallest load in the ground caused the umbilical slurry system. Next, the lowest load was caused by a 14 m<sup>3</sup> slurry vehicle. According to the results, the largest load on the ground caused 18 m<sup>3</sup> slurry equipment and after that, the largest load was caused by Self-Propelled Vredo. According to the Penetrometer measurements, the soil compaction was not harmful to any vehicles, as the preload tension was very high in the subsoil. Based on Terranimo results and general theoretical knowledge, minimizing the risk of soil compaction can be recommended to minimize land-burdening equipment, such as the use of the umbilical slurry system or other equipment with an axle of less than 8 tn.

---

Keywords: soil compaction, penetrometer, axle load, tire-pressure, ground contact pressure, slurry tanker

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	NYKYISET LIETELANNAN LEVITYSKALUSTOT .....	9
2.1	Lietelogistiikan neljä erilaista menetelmää .....	9
2.2	Maan tiivistymiseen vaikuttavat koneen ominaisuudet .....	10
2.2.1	Akselipaino ja rengaspaino .....	10
2.2.2	Pintapaine .....	10
2.2.3	Rengaspaine .....	11
3	PELTOMAAN TIIVISTYMINEN JA SEN VÄLTÄMINEN .....	12
3.1	Luonnollisen ja mekaanisen kuormituksen aiheuttama maan tiivistyminen .....	12
3.2	Maan tiivistymisen haitat .....	13
3.3	Maan tiivistymisen välttäminen pellolla .....	14
3.3.1	Märkä maa tiivistyy herkästi .....	15
3.3.2	Rengaskuorman pienentäminen .....	15
3.3.3	Rengaspaineiden optimointi .....	16
3.3.4	Ajokertojen ja tallaamisen vähentäminen .....	17
3.4	Tiivistymien korjaaminen .....	18
4	ERI LIETEKALUSTOJEN VAIKUTUS MAAN TIIVISTYMISEEN – VERTAILU KARKEALLA KIVENNÄISMAALLA .....	20
4.1	Vertailun taustatietoa .....	21
4.1.1	Vertailun lietteenlevityskalustot .....	21
4.1.2	Kalustojen akselipainot ja rengaspaineet .....	24
4.1.3	Havaintokenttä .....	25
4.1.4	Tiiveysmittaukset .....	26
4.1.5	Maalaji ja maan kosteus .....	27
4.2	Tulokset .....	29
4.2.1	Kalustojen suuret painoerot .....	29
4.2.2	Maan tiivistymistulokset penetrometrimittauksista .....	32
4.2.3	Terranimon tulokset maan tiivistymisestä .....	35
4.3	Johtopäätökset .....	37
4.3.1	Esikuormitusjännitys merkinä aiemmasta pohjamaan tiivistymisestä .....	37
4.3.2	Kuormittavuuksien suuret erot .....	39

4.3.3	Penetrometrin ja Terranimon samansuuntaiset tulokset .....	39
5	POHDINTA.....	41
	LÄHTEET.....	43

# 1 JOHDANTO

Suomessa maatilojen lukumäärä on jatkanut laskuaan jo pitkään. Tilastokeskuksen (2016, viitattu 31.20.2018) mukaan vuodesta 2004 vuoteen 2016 aktiivisten tilojen määrä on laskenut 31 prosenttia. Samalla tilojen kasvu on nopeaa, 50–100 hehtaarin maatilat ovat lisääntyneet 2004–2012 neljä prosenttia ja samaan aikaan yli 100 hehtaarin tilat ovat lisääntyneet 74 %. Maatilojen väheneminen ja pinta-alojen kasvu on pakottanut tiloja siirtymään suurempiin traktoreihin ja työkoneisiin, jotta suuremmat peltopinta-alat saadaan viljeltyä ajallaan. Maatilojen traktoreiden tehontarve on kasvanut vajaan puolen vuosisadan aikana jopa viisinkertaiseksi ja kasvaa edelleen (Ylivakeri 2015, 27). Suomessakin on jo käytössä yli 500 hevosvoiman traktoreita (Pentti 2017, viitattu 7.11.2018), joiden paino ylittää 14 tonnia (Konedata 2018, viitattu 7.11.2018). Koneiden suurentuessa pellolla ajo aiheuttaa suurempia kuormia maaperään. Suurempien kuormien alla erityisesti märkä maa altistuu tiivistymiselle.

Märkä maa tiivistyy herkästi, ja märkyys onkin yksi suurimmista tiivistymiseen vaikuttavista tekijöistä. Maan tiivistymisriski on suurin, kun pellolla ajetaan raskailla koneilla suurilla rengaspaineilla maan ollessa märkää. (Alakukku 2002, 73.) Tiivistyminen heikentää pellolta saatavaa satomäärää. Ruotsalaisessa tutkimuksessa tiivistyminen alensi keskimääräistä kuiva-ainesatoa 9 tonnista 6,6 tonniin, samalla kun maan huokosten määrä väheni maassa 12–7 % (Hansen 1996). Luken tutkimuksessa nurmen 1. niiton sato aleni 16,5 m<sup>3</sup> lietevaunun ajourassa 30 % hiesuvaltaisella maalla (Räty, Järvenranta, Hartikainen & Virkajärvi 2018, viitattu 12.12.2018). Huokosten määrän väheneminen huonontaa pellon vesitaloutta, kasvien juurten kasvua ja hapen saantia (Alakukku & Pietola 2002, 6–7; Heinonen, Hartikainen, Aura, Jaakkola & Kempainen 2001, 137–138). Lisäksi maan tiivistyminen vaikeuttaa maan muokkausta. Tiivis maa vaatii suuremman vetovoiman, mikä lisää pyörien luistoa. Myös muokkaustulos huononee, joten muokkauskertoja joudutaan lisäämään, mikä johtaa negatiiviseen kierteseen maan tiivistymisessä. (Heinonen ym. 2001, 138.) Maan tiivistymisen haittojen kesto aika riippuu siitä, kuinka syvälle maa on tiivistynyt (Paasonen-Kivekäs, Peltomaa, Vakkilainen & Äijö 2009, 66). Tiivistymisriski kasvaa pohjamaassa akselipainojen ollessa suuria sekä maan ollessa märkää. Maan muokkauskerroksessa ja pohjamaan yläosassa riski kasvaa, kun pintapaine on suuri. Maan tiivistyminen syvältä korostuu maan ollessa märkää. Pienentämällä akselipainoja ja rengaspaineita, voidaan välttää haitallinen maan tiivistyminen. (Alakukku 2002, 75.)

Opinnäytetyön tarkoituksena oli vertailla erilaisten lietteenlevityskalustojen vaikutusta maan tiivistymiseen karkealla kivennäismaalla. Koska tutkimuksia karkealta maalta Suomessa on hyvin vähän, tiivistymisen riskeistäkään ei ole niin tarkkaa tietoa kuin esimerkiksi savimailta. Liettelevityskalustoja on monenlaisia, joten niitä on hyvä verrata ja kertoa tilallisille sekä urakoitsijoille puolueetonta tietoa kalustojen ominaisuuksista ja riskeistä.

Tavoitteena oli saada vertailussa sellaisia tuloksia, joilla on tulevaisuudessa merkitystä tilallisten ja urakoitsijoiden lietekaluston hankinnassa tai urakoitsijan valinnassa. Huolellisella suunnittelulla peltojen kuormitusta voidaan vähentää ja edelleen vähentää peltomaan tiivistymistä ja eheyttää jo tiivistyneet maat hyvään kuntoon.

## 2 NYKYISET LIETELANNAN LEVITYSKALUSTOT

Lietelannan levitykseen on nykyään runsas valikoima erilaisia kalustoja erilaisiin tarpeisiin. Koneet ovat kehittyneet ja kasvaneet suuremmiksi, jolloin levityskapasiteettia on saatu lisää suurenevien tilojen tarpeisiin.

### 2.1 Lietelogistiikan neljä erilaista menetelmää

Käytännössä lietteenlevitys voidaan jakaa neljään eri logistiseen menetelmään sen mukaan, miten lietelanta siirretään lantavarastosta pellolle:

1. Perinteinen lietevaunu, jolla liete kuljetetaan lietesäiliöstä pellolle ja levitetään samalla kalustolla. Kuljetuskapasiteettia voidaan parantaa ainoastaan kasvattamalla vaunun kokoa. Menetelmän suurenevat akselipainot lisäävät maan tiivistymisriskiä.
2. Siirron ja levityksen jakaminen kahteen kalustoon, jossa levityskalusto voidaan pitää pienempänä ja erillistä lietteen siirtokalustoa voidaan suurentaa tehokkuuden parantamiseksi.
3. Vuosituhannen vaihteessa Suomen markkinoille tulleet itsekulkevat lietevaunut toivat lietteen levitykseen huomattavaa tehokkuutta. Yleensä niiden kanssa käytetään erillistä siirtokalustoa tehokkuuden lisäämiseksi.
4. Uusimpia levityskalustoja Suomessa ovat vetoletkujärjestelmät, joissa lietesäiliötä ei kuljeteta pellolla lainkaan, vaan liete pumpataan lietteen levittimelle letkua pitkin. (Palva 2009, 71–72.)

Varsinainen lietteen levittäminen peltoon tehdään joko hajalevityksenä, letkulevityksenä tai erilaisilla multaimilla sijoittamalla (Palva 2009, 75–78). Levittimen työlevydellä on huomattava merkitys koko pellon tiivistymisriskiin, koska leveällä levittimellä tiivistynyttä maata tulee vähemmän suhteessa levitettyyn alaan. Keveitä letkulevittämiä voidaan valmistaa leveinä helpommin kuin raskaita kiekkomultaimia. Koneiden aiheuttaman kuorman lisäksi lietteen sijoittamisessa maahan voi tapahtua pintamaan tiivistymistä, joka huonontaa kasvien olosuhteita maassa. Toisaalta etenkin keväällä käytettävillä multaimilla voidaan kuohkeuttaa maan pintaa muokkaamalla sitä. Luken tutkimuksessa sijoittamalla levitys ei vaikuttanut merkityksellisesti nurmen satoon (Räty ym. 2018, viitattu 12.12.2018).

Hyvällä levitysmenetelmällä ja harkituilla valinnoilla voidaan parantaa ravinteiden hyötykäyttöä ja vähentää ravinteista aiheutuvia ympäristöhaittoja. Ajankohtaan sopiva ja kasvilajille oikea levitystapa vähentää maan tiivistymisen riskiä. Lannan levitystä on tarkasteltava koko ketjuna kuormauksesta pellolle saakka. Erityisesti urakointipalvelua käytettäessä tarkastelu on tärkeää, jotta liete saadaan levitettyä oikea-aikaisesti, pellon rakennetta vahingoittamatta ja mahdollisimman vähin kustannuksin. (Palva 2009, 71–78.)

## **2.2 Maan tiivistymiseen vaikuttavat koneen ominaisuudet**

Maan tiivistymisen kannalta olennaisia peltotöissä käytettävien maatalouskoneiden ominaisuuksia ovat akselipaino, rengaspaino, pintapaine ja rengaspaine. Akselipaino ja rengaspaino ovat sidoksissa toisiinsa, eli akselipainon kasvaessa rengaspainokin kasvaa, jos renkaita ei lisätä. Rengaspaine ja pintapaine ovat myös yhteydessä toisiinsa. Niiden eroavaisuuksiin vaikuttavat rengasmalli ja joustavuus.

### **2.2.1 Akselipaino ja rengaspaino**

Akselipaino tarkoittaa yksinkertaisesti koneen kullekin akselille kohdistuvaa massaa. Työkoneiden suurentuessa akselipainot voivat olla suurissa korjuukoneissa jopa 20 tonnia (Lessiter 2015, viitattu 16.10.2018). Pelto-olosuhteissa akselipainon tulisi olla alle 6 tonnia ja teliakseliston alle 8 tonnia, jotta jankkoon ei välity merkittäviä kuormia (Heinonen ym. 2001, 133).

Akselipainoa merkittävämpi maan tiivistymisessä on kuitenkin rengaspaino, sillä yhdelle renkaalle tuleva kuorma määrää maan kuormituksen suuruuden (Lessiter 2015, viitattu 16.10.2018). Akselipainojen ollessa suuret rengaskuormaa voidaan alentaa lisäämällä renkaita paripyörillä ja väli-  
pyörillä (Mattila & Rajala 2018, 20).

### **2.2.2 Pintapaine**

Akselipaino ja rengaspaino vaikuttavat työkoneen aiheuttamaan pintapaineeseen maassa. Pintapaine eli maahan kohdistuva paine lasketaan jakamalla renkaalle kohdistuva paine renkaan kosketuspinta-alalla maahan. Keskimääräinen pintapaine on yleensä 0–0,5 baaria suurempi kuin

rengaspaine. Mitä joustavimmat renkaan kyljet ovat, sitä lähempänä pintapaine on rengaspainetta. Pintapaine koostuu siis rengaspaineesta ja renkaan runkopaineesta. Vyörenkaissa runkopaine on pienempi kuin ristikudosrenkaissa. Käytännössä renkaan alla maahan kohdistuva pintapaine on hyvin vaihteleva. (Elonen, Alakukku & Koskinen 1995, 5.) Renkaan ripojen alla pintapaine voi olla jopa neljä kertaa suurempi kuin keskimääräinen pintapaine (Alakukku, Aura, Pöyhönen & Sampo 1999, 9).

### **2.2.3 Rengaspaine**

Yleisesti sanoen pintapaine vaikuttaa kyntökerroksen ja jankon yläosan tiivistymiseen. Rengaskuorma määrää sen, kuinka syvään maa voi tiivistyä.

Renkaan tarkoitus on pitää sisällään ilmaa, jotta sen sisältämä ilmanpaine kantaa akselilta tulevan kuorman. Renkaan kantama kuorma ja ajonopeus määräävät tarvittavan rengaspaineen. Vahvakudoksiset renkaat kestävät suurempia ilmanpaineita ja täten myös suurempia rengaskuormia. Renkaan pidon ja maan tiivistymisriskin vähentämiseksi tulisi käyttää renkaissa matalia ilmanpaineita sekä joustavia renkaita. (Ahokas 2014, 9.) Vyörenkaat ovat syrjäyttäneet perinteiset ristikudosrenkaat niiden paremman kantavuuden ja joustavuuden ansiosta. Viime vuosina ovat yleistyneet erityisen joustavat IF- ja VF- renkaat. Näissä renkaissa rengaspainetta voidaan alen-  
taa 20 % (IF, increased flexion) tai 40 % (VF, very high flexion), jotta saavutetaan sama kantavuus kuin perinteisissä rengastyypeissä. Rengaspainesuosituksien on huomioitava, sillä rengasmerkeissä ja malleissa on suuriakin eroja, jokaisen renkaan omat suositukset löytyvät renkaan käsikirjasta. (Mattila & Rajala 2018, 22.)

### 3 PELTOMAAN TIIVISTYMINEN JA SEN VÄLTÄMINEN

Maan tiivistymistä tapahtuu aina pellolla liikuttaessa, mutta yleensä se ei ole haitallista kasvien kasvulle tai sadon muodostukselle. Märkä maa tiivistyy kuitenkin helposti pohjamaahan saakka, mikä on haitallista jo samalla kasvukaudella. Näistä syistä peltoliikennettä tulisi välttää maan ollessa märkää etenkin savimailla, koska savimaat tiivistyvät märkänä herkemmin kuin karkeat maat (Heinonen ym. 2001, 135). Liikenteen rajoittaminen onkin helpoin tapa vähentää maan tiivistymistä. Muita keinoja välttää maan tiivistymistä ovat rengaspainon ja pintapaineen pienentäminen sekä siirtyminen raideviljelyyn.

#### 3.1 Luonnollisen ja mekaanisen kuormituksen aiheuttama maan tiivistyminen

Maan tiivistymistä tapahtuu monella eri tavalla, joko mekaanisen kuormituksen alla tai luonnollisesti sateiden ja kuivuuden aiheuttamana. Liikkuvan kuorman aiheuttamaa tiivistymää tapahtuu silloin, kun pellolla liikutaan työkoneella, mikä puristaa maan ilmatilaa pienemmäksi. Veden määrä maan painoyksikössä ei tiivistymisessä muutu, mutta kuitenkin tilavuusprosentteina ilmoitettuna vesipitoisuus kasvaa. Pitkäaikaisessa kuormituksessa hienojakoisista maalajeista poistuu vähitellen vettä, tätä tiivistymistä voidaan kutsua konsolidaatioksi. Luonnollista tiivistymistä tapahtuu muokkauksen jälkeen maan oman painon ja sateiden vaikutuksesta. Luonnollista tiivistymistä tapahtuu myös maan kuivuessa, jolloin maa niin sanotusti kutistuu. Savimaa voi tällöin tiivistyä tiiviimmäksi kuin raskaimmankaan koneen alla. Tämä tiivistyminen on kuitenkin peltomaalle hyödyksi, sillä maa halkeilee ja se parantaa maan vedenläpäisykykyä. (Heinonen ym. 2001, 130.)

Peltoviljelytöissä pellolla ajettavan kaluston renkaista välittyvä maahan voima, joka voi rikkoa maan rakenteen, kun pystysuora jännitys puristaa ja vaakasuorat jännitykset leikkaavat maata. Maan murtolujuus kuvaa maan kantavuutta eli kykyä vastustaa tiivistymistä. Maan rakenteessa tapahtuu muutoksia, kun siihen kohdistuva ulkoinen voima on suurempi kuin sitä vastustava maan sisäinen murtolujuus. Eri maalajeilla on omat murtolujuudet, joten osa maalajeista tiivistyy herkemmin kuin toiset. Maan tiivistymiseen vaikuttavista tekijöistä merkittävin on kuitenkin maan kosteus. Saman painoinen kone tiivistää märkää maata enemmän ja syvemmältä kuin kuivaa maata. (Paasonen-Kivekäs ym. 2009, 63–65.)

Maan tiiveyttä voidaan mitata tarkasti sen tilavuuspainona ja verrata sitä vakioarvoihin. Suhteellinen tiiveysaste vaihtelee 80 ja 95 välillä. Optimaalinen tiiveysaste on esimerkiksi viljoilla 85–88 ja se alenee sademäärän kasvaessa. Eloperäisillä maalajeilla suhteellinen tiiveysasteen määrittäminen ei toimi moitteettomasti, koska ne ovat hyvin elastisia. Maan tiiveyttä voidaan arvioida myös maan kokonaishuokoisuuden avulla. Maan kokonaishuokoisuus voidaan laskea, kun tunnetaan maan tilavuuspaino ja maa-aineksen ominaispaino. Lisäksi saadaan selville huokostilan vesi- ja ilmatilan jakautuminen, jos maasta on määritetty vesipitoisuus. Yleensä maassa on riittävän hyvä hapensaanti, kun maassa on ilmatilaa vähintään 10 % kenttäkapasiteettikosteudessa. (Heinonen ym. 2001, 131.)

Yksinkertaisimmin maan tiiveyttä voidaan mitata tiiveysmittaukseen kehitetyllä laitteella, penetrometrillä, joka suhteuttaa maan vastuksen maahan työnnettävään, tietyn pinta-alan omaavaan anturiin. Penetrometri ilmoittaa tuloksen paineena (Megapascal, MPa). Mittarin antamasta tuloksesta ei kuitenkaan voi tehdä suoraa johtopäätöstä maan tiiveydestä. Maalaji ja kosteus vaikuttavat olennaisesti penetrometrin tuloksiin. Eri maalajit vastustavat eri tavalla anturin painamista maahan, joten maalaji ja kosteusolot täytyy huomioida tuloksia tulkitessa. Yleisesti voidaan sanoa, että maa on liian kovaa kasvien juurille, jos maan tiiveys ylittää 2 MPa (Dexter 1987; Dickey-john 2005; Wells, Stombaugh & Shearer 2005). Penetrometri ei kuitenkaan anna täysin oikeaa kuvaa kasvien juurten olosuhteista, sillä kovassakin maassa voi olla juurten mentäviä halkeamia.

### **3.2 Maan tiivistymisen haitat**

Maan tiivistymisen vaikutus vesitalouteen on merkittävä, sillä liiallinen tiivistyminen johtaa kasvuolosuhteiden huononemiseen. Satotasojen alenemiset tulevat esille erityisesti märkinä kesinä tiivistyneissä maissa. Maan kuohkeutus lisää ja tiivistäminen vähentää makrohuokosia, joissa vesi ja kaasut liikkuvat helposti (Alakukku & Pietola 2002, 6). Tiivistyminen pienentää myös makrohuokosten tilavuutta. Tämä voi johtaa huonompaan viljeltävyyteen ja viljelyn lisääntyviin ympäristöpäästöihin. Karkeilla mailla vähäinen maan tiivistyminen voi lisätä sen vedenpidätyskykyä, mikä parantaa kasvualustaominaisuuksia. Makrohuokosten tilavuuden ruokamultakerroksessa tulee olla alle 10 tilavuusprosentin, muuten tiiveys haittaa kasvien kasvua merkittävästi. Maassa on oltava makrohuokosten verkosto yli metrin syvyyteen saakka. Huokokset edistävät hyvää maan vedenläpäisyyttä ja kasveille käyttökelpoisen veden saantia hyötykäyttöön. (Paasonen-Kivekäs ym. 2009, 63–65.)

Märkä maa tiivistyy helposti, jolloin tiivistymistä tapahtuu myös syvällä jo alle 8 tonnin akselipainolla. Pohjamaan tiivistymistä on vaikea poistaa, se voi pysyä ongelmana jopa kymmeniä vuosia. Se pysyy piilevänä suotuisina vuosina, mutta tulee esille märkinä kasvukausina. Savipitoisilla maalajeilla ongelmia tulee herkemmin kuin karkeilla mailla, koska tiivistymän poistaminen ei onnistu syyskynnön avulla. Karkeilla mailla mahdollinen sadonalennus saadaan rajattua yhteen kasvukauteen kynnön avulla. Kansainvälisessä tutkimuksessa, jossa selvitettiin pohjamaan tiivistymisen pitkäaikaisia vaikutuksia, myös karkeilla mailla todettiin vaurioita. Satoalentumat tiivistetyssä maassa olivat 2–3 %, mutta yksittäisissä tapauksissa jopa 15 %. Niissä pohjamaan tiivistymiset saattoivat olla jopa pysyviä. (Heinonen ym. 2001, 134–136.) Pohjamaan tiivistyminen vaikuttaa lähes kaikkiin maan fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin ominaisuuksiin ja prosesseihin.

Yksinkertaistettuna tiivistynyt maa haittaa juurien ja muiden maanalaisten kasvinosien kasvua, joten kasvit eivät saa kaikkea tarvitsemiaan ravinteita. Toki asiaa voidaan korjata lisäämällä peltoon ravinteita, mutta se heikentää viljelyn kannattavuutta ja lisää ympäristöhaittoja. Maa on myös vaikeampi muokata, vetovoiman tarve ja pyörien luisto kasvavat kynnössä. Äestyksessä ajokertoja joudutaan lisäämään huonosti muokkautuvassa maassa. Joudutaan kierteeseen, joka lisää tiivistymistä entisestään. Tiivistynyt maa ei kuivu enää yhtä hyvin, joten sekin lisää tiivistymisen riskiä epäsuotuisina vuosina. (Heinonen ym. 2001, 137, 138.)

### **3.3 Maan tiivistymisen välttäminen pellolla**

Maan tiivistymisen ennalta ehkäiseminen on erittäin tärkeää tuotannon kannattavuuden, mielekkyyden ja ympäristövaikutusten takia (Paasonen-Kivekäs 2009, 66). Tiivistymistä voidaan ehkäistä ensisijaisesti kiinnittämällä huomio renkaiden kautta tapahtuvaan kuormitukseen. Merkittävin tiivistymiseen vaikuttava tekijä on kuitenkin maan kosteus. Aina märällä maalla ajoa ei voida kuitenkaan välttää, joten rengaskuormien tulee olla kohtuullisia ja rengaspaineiden riittävän alhaiset.

Nykyaikaisilla lietteen levitysmenetelmillä pyritään vähentämään maan tiivistymistä, sillä lannanlevitys on yksi kuormittavimpia peltotöitä maaperän kannalta. Rengaskoon kasvu sekä matalapainerenkaat sallivat ajon matalammilla ilmanpaineilla. Koska vaunujen koot ovat kasvaneet samalla kun esim. akselien määrää on lisätty, ovat rengaskuormat edelleen suuret, eikä varsinaista parannusta maan tiivistymisvaikutukseen ole tapahtunut. Uusia ratkaisuja lietteenlevityksen saral-

la ovat olleet mm. leveät levittimet, joilla päästään pieneen tiivistymisalaa pellolla, erityisesti jos leveys sovitetaan muiden työkoneiden leveyteen. Tällöin tiivistymistä tapahtuu vain samojen ajourien kohdalla, joten niiden ulkopuolella on koskematonta maata. Jakamalla levitysketju kuljetus- ja levityskalustoon levitys voidaan tehdä pienemmällä kalustolla ja rengaskuormat alenevat huomattavasti. Suurin kehitys rengaskuormien alentamisen saralla on kuitenkin vetoletkulevitys, jolla voidaan alentaa rengaskuorma jopa kolmasosaan täyden 18 m<sup>3</sup> vaunun rengaskuormaan verrattuna.

### **3.3.1 Märkä maa tiivistyy herkästi**

Märkä maa tiivistyy erittäin helposti, joten välttämällä ajoa märällä maalla voidaan maan tiivistyminen suurilta osin välttää. Märällä maalla renkaiden pintapaine ei saa ylittää 50 kPa, kun taas kuivassa maassa se saa olla jopa 200 kPa. Jotta maa kuivuu nopeasti ja tasaisesti, ojituksen tulee olla kunnossa. Töiden ajoituksella, konekannan mitoituksella sekä viljelymenetelmien valinnalla voidaan parantaa ajankäyttöä niin, että peltotyöt ehditään tehdä hyvissä oloissa. Pellolla ajoa tulisi välttää, joten ajoja tulisi suunnitella. Esimerkiksi myöhään syksyllä märässä maassa ajoa voidaan vähentää valitsemalla viljelyyn aikaisemmin tuleentuvia viljalajikkeita. (Alakukku 2002, 76–79.)

Märässä maassa renkaan vetokyky on huonompi, mikä lisää pyörän luistoa. Luisto hiertää mururakennetta sekä katkoo mikrohuokosia. Kyntäessä vakopyörän luisto on hyvin haitallista, mutta sitä voidaan vähentää kuivilla olosuhteilla tai maalta kynnöllä (on land). Traktori ei kuitenkaan pysty vetämään työkoneita ilman luistoa. Normaalioloissa luisto ei saisi ylittää 20 %, mutta nurmi vahingoittuu jo 10 %:n luistolla. (Alakukku 2002, 75.)

### **3.3.2 Rengaskuorman pienentäminen**

Peltoon kohdistuvan rengaskuorman pienentämisessä täytyy suunnitella kokonaisuutta, jossa rengaskuormaan vaikuttavat konekaluston tarve ja koko, viljelykierto ja tilan peltojen ominaisuudet. Koneketjun mitoittaminen oikein tilan peltomäärään ja viljelykiertoon nähden on oleellista. Sopivalla kalustolla tarvittavat työt saadaan tehtyä oikeaan aikaan. Hyvillä viljelykierron valinnoilla voidaan kasvattaa koneiden käyttöaikaa kasvukauden aikana, joten pienempi kalusto riittää suuremman pinta-alan viljelyyn. Toisaalta kaluston tulee olla niin tehokas, että peltotöitä ei tarvitse

tehdä huonoissa olosuhteissa. Traktoreissa on myös suuria painoeroja tehoonsa nähden. Keveää konetta voi painottaa raskaampia töitä tehtäessä ja tehdä vähemmän raskaat työt keveällä traktorilla. (Mattila & Rajala 2018, 18–19.)

Lisäämällä koneeseen renkaita voidaan alentaa kullekin renkaalle kohdistuvaa painoa. Helpoin tapa lisätä renkaiden määrää on lisätä koneeseen paripyörät. Teoriassa ne puolittavat renkaalle kohdistuvan painon, mutta käytännössä niiden kantavuus arvioidaan olevan 1,76-kertainen varsinaisiin ajopyöriin verrattuna. Paripyörien väliin jäävä alue vaikuttaa positiivisesti maan kantopinta-alan jakautumisessa. Paripyöriä lisättäessä rengaspaineita tulisi laskea samalla, jotta niistä saadaan suurin hyöty. Työkoneisiin voidaan paripyörien lisäksi lisätä teli- tai lisäakseleita, myös pyörävälilyrä on oiva väline kuorman jakamisessa. (Mattila & Rajala 2018, 20–21.)

Mattilan (2017) tekemän laskurin mukaan nostolaitteikiinnitteisen työkoneen muuttaminen hinattavaksi vähentää traktorin takapyörille tulevaa kuormaa merkittävästi. Nostolaittekonetta käytettäessä traktorin tasapainotuksella saadaan pienennettyä rengaskuormaa helposti lisäämällä lisäpainoja painavan työkoneen vastakkaiselle puolelle. Koneen painon lisäksi työkoneen vetäminen vähentää painoa traktorin etuakselilta. Työkoneen ja lisäpainon etäisyydellä traktorin akselistasta on suuri merkitys. Keulapainoksi riittää pienempi paino, jos se asetetaan kauemmas traktorin etuakselista. Esimerkiksi voidaan ottaa 7200 kg painava traktori, jossa akseliväli on 2,82 m, viisisiipinen paluuaura takanostolaitteessa, jonka paino on 1900 kg, sen painopisteen keskikohta on 3 m:n etäisyydellä traktorin taka-akselista. Traktorin etunostolaitteessa on 800 kg painoinen etupaino 1,2 m:n etäisyydellä etuakselista. Näillä tiedoilla laskettu taka-akselin kuormitettu paino on 7901 kg. Jos etupainoa ei käytetä, taka-akselin kuormitettu paino nousee 340 kg.

### **3.3.3 Rengaspaineiden optimointi**

Suurilla renkailla, paripyörillä, useilla akseleilla sekä alhaisilla rengaspaineilla voidaan vähentää maahan kohdistuvaa pintapainetta (Rajala 2006, 88). Rengastuksen tulisi olla sellainen, että rengaspaine voidaan laskea huonoissa olosuhteissa suurimmilla akselipainoilla 40–50 kPa:iin. Hyvissä olosuhteissa rengaspaine voi olla 100 kPa. (Alakukku 1999, 341.)

Nykyaikaisia VF- renkaita ja rengaspaineensäätöjärjestelmää käyttämällä päästään jo hyvin alhaisiin rengaspaineisiin peltokäytössä. Paineet voidaan laskea matalaksi muutamassa minuutissa

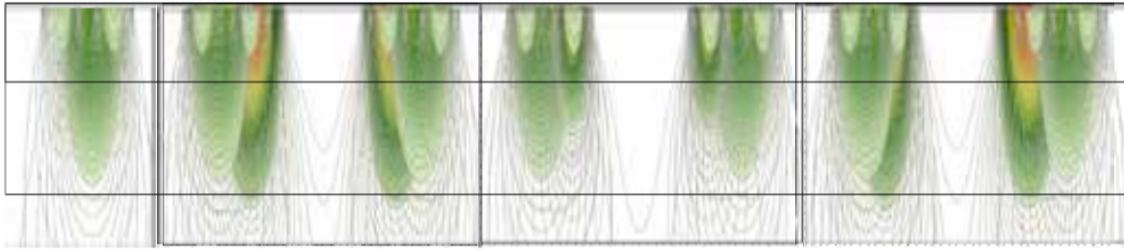
automaattia käyttämällä siirryttäessä tieajosta pellolle. Ja päinvastoin pellolta poistuttaessa voidaan lisätä renkaisiin ilmaa renkaiden kestävyuden vuoksi. Kun koneessa on paineensäätöjärjestelmä, voidaan pellolla pitää jopa 30 % alhaisempia rengaspaineita kuin ilman säätöjärjestelmää. (Koivisto 2016, viitattu 16.10.2018; Mattila & Rajala. 2018, 22.)

Rengaspaineiden säädöillä ei voida välttää tiivistymistä kokonaan. Tiivistyminen vähenee matalia rengaspaineita käytettäessä kyntökerroksessa ja pohjamaan yläosassa. Pohjamaan alaosa tiivistyy kuitenkin pienilläkin rengaspaineilla, jos rengaskuorma ylittää maan lujuuden. Ruotsalaisessa tutkimuksessa käytettiin 8 tn:n akselipainoa ja rengaskokoa suurennettiin niin, että rengaspaine voitiin laskea 150 kPa:sta 50 kPa:iin. Paineen alentaminen ei vähentänyt tiivistymistä 40–50 cm:n syvyydessä. (Danfors 1994.)

### **3.3.4 Ajokertojen ja tallaamisen vähentäminen**

Ajokertojen lisääminen lisää tiivistymisriskiä pellolla. Mitä suurempi ala pellostä jää peltoajossa renkaan alle, sitä huonompi se on maan kasvukunnolle. Työkone tulisi mitoittaa vetokoneeseen nähden sopivaksi ja työleveys tulisi käyttää tehokkaasti. Työvaiheita yhdistämällä ja oikeilla töiden ajoituksella vähennetään ajokertoja pellolla. Turhaa kuormien siirtoa pellolla tulee välttää. Esimerkiksi säilörehun esikuivatuksella voidaan vähentää veden kuljetusta pellolla. (Alakukku 2002, 79.)

Siirtyminen raideviljelyyn on myös tehokas tapa vähentää koko pellon tiivistymisen ongelmaa. Raideviljelyssä työkoneiden työleveydet mitoitetaan toisten kanssa sopiviksi niin, että koneilla ajetaan samoissa ajourissa joka työvaiheessa. Esimerkiksi käyttämällä 4 m:n kevytkuokkainta, 8 m:n lietevaunua, 4 m:n puimuria, 4 m:n kylvökonetta, 6 m:n äestä ja 16 m:n ruiskua voidaan vähentää koko peltomaan tiivistymistä. Erityisesti raskailla koneilla ajo samoissa ajourissa parantaa pellon sadontuottokykyä. Tällöin suurin osa pellostä jää tiivistymättä kuten kuviossa 1, jossa yli 150 kPa:n jännitys kohdistuu vain samoille ajourille. (Mattila & Rajala. 2018, 26–27.)



*KUVIO 1. Esimerkin koneketjun aiheuttamat kuormitukset maaperään. Vaalean vihreä alue kuvaa 50 kPa:n jännitystä ja keltainen alue kuvaa 150 kPa:n jännitystä. Vaakaviivat kuvaavat 35 cm:n ja 80 cm:n maakerroksia (Mattila & Rajala. 2018, 26.)*

CTF-viljelyssä (Controlled Track Farming) ajourat pidetään kiinteinä vuodesta toiseen, näin maa pysyy koskemattomana ajourien ulkopuolella ja pysyy hyvänä viljelykasveille. Ajourien määrittämiseen käytetään yleensä satelliittijärjestelmää. Ajourat voidaan suunnitella järkeviksi ja lyhyiksi tietokoneohjelmalla, jonka jälkeen automaattiohjaus hoitaa traktorin ohjaamisen ajouralla. CTF-viljelyssä on saavutettu sadon lisäystä ja polttoainesäästöjä maan rakenteen paranemisen myötä. CTF-viljely ei kuitenkaan ole yleistynyt Euroopassa. Suomessa sen kannattavuutta heikentää peltojen pieni koko. (Alakukku & Kaila 2017, 58.)

### **3.4 Tiivistymien korjaaminen**

Karkeilla mailla kyntö ja luonnon prosessit kuohkeuttavat maata nopeasti muokkauskerroksessa, mutta savimailla se voi kestää 3–5 vuotta. Muokkauskerroksen alapuolella maan tiivistymisongelma voi olla pitkäaikainen. (Alakukku & Mattila 2017, 82.) Ensisijaisesti ongelmaa voidaan korjata syväjuurisilla kasveilla ja maan biologisen aktiivisuuden voimin. Suomessa on saatu hyviä tuloksia puna-apilalla, sinimailasella ja nurminadalla maan kuohkeutuksessa. (Heinonen ym. 2001, 140.)

Mekaaninen rikkominen voi olla ainoa keino parantaa maan viljelyominaisuuksia, jos ongelmat ovat ennättäneet niin vaikeiksi, että syväjuuristen kasvien juuretkaan eivät pysty läpäisemään tiivistynyttä kohtaa. Mekaanista syväkuohkeutusta voidaan tehdä jankkurilla, joka kuohkeuttaa jankkoa ja pohjamaata. Jankkurointi on rajusti maata muokkaava toimenpide, joten se tulee tehdä vain äärimmäisessä pakkotilanteessa, jos syväjuuriset kasvit eivät pysty tunkeutumaan tiivistymän läpi. Jankkurointi vaatii kuivat olosuhteet ja monivuotisen syväjuurisen kasvuston, joka on

perustettu ennen toimenpidettä. Syväjuuriset kasvit kasvattavat juuriaan kuohkeutettuun maahan hyvin ja jatkavat maan kuohkeuttamista kasvaessaan. (Alakukku & Mattila 2017, 82–85.)

Mattila (2017, 85) kirjoittaa jankkuroinnin tuloksista hietamaalla. Peltolohko oli tiivistynyt liian suurilla rengaspaineilla (150 kPa) kosteissa olosuhteissa, minkä seurauksena pellolta löytyi tiivis kerros 13–18 cm:n syvyydestä. Vuonna 2010 pellolla syväkuohkeutettiin koeala 20 cm:n syvyyteen. Peltolohkolla kasvoi tuolloin monivuotinen apilanurmi. Vuonna 2011 nurmi rikottiin ja pellolle kylvettiin ruis. Syväkuohkeutuksen vaikutukset rukiin satoon vuonna 2012 olivat selkeät. Juuret ulottuivat käsitellyllä alueella 35 cm:iin saakka, kun käsittelemättömässä ne olivat vain 7–15 cm:n syvyydessä. Lisäksi jankkurointi paransi maan vesitaloutta selvästi.

Syväkuohkeutuksen edut menetetään nopeasti, jos maan tiivistymisen syyhyn ei puututa. Kuohkeutettu maa tiivistyy entistä helpommin syvälle, koska se ei ole yhtä kantava kuin kuohkeuttamaton. Rengaspaineita ja -kuormia tulee siis laskea kuohkeuttamisen jälkeen, jotta maan rakenne pysyy hyvänä. (Alakukku & Mattila 2017, 82.)

## 4 ERI LIETEKALUSTOJEN VAIKUTUS MAAN TIIVISTYMISEEN – VERTAILU KARKEALLA KIVENNÄISMAALLA

Samoin kuin muun maatalouden konekannan, myös lietekalustojen kehitystyö on johtanut tehokkaampiin mutta myös suurempiin ja painavampiin ratkaisuihin. Raskaat koneet lisäävät tiivistymisriskiä etenkin lietteen kevät- ja syyslevityksessä, kun maa on märkää. Viimevuosien sateiset kesät ovat tuoneet tiivistymisongelmia esille karjatilojen peltolohkoilla, mutta edelleenkin viljelijöiden ja urakoitsijoiden tieto maan tiivistymisriskeistä eri koneilla on melko hataraa. Joillakin koneilla liete kannattaisi levittää ainoastaan hyvissä olosuhteissa, kun taas toisella kalustolla voi päästä jo kohtalaisissa olosuhteissa pellolle.

Tein opinnäytetyössä käytännön vertailun eri lietekalustojen vaikutuksesta maan tiivistymiseen karkealla kivennäismaalla. Vertailuun saatiin neljä erilaista kalustoa, jotka kattavat hyvin Suomessa käytössä olevat kalustot. Vertailu tehtiin Pohjois-Pohjanmaalla Ruukissa Sammalkankaan tilalla. Levitykset tehtiin 17.9. ja maan tiiveysmittaukset 20.9.2018. Olosuhteet olivat vertailulle haastavat, sillä kuivan kesän jälkeen tiiveysmittauksia oli vaikea tehdä. Kuivuustilanne ei kuitenkaan ollut vertailun kannalta liian raju, sillä tutkimusta edeltävinä viikkoina vettä oli satanut noin 30 mm (Ilmatieteen laitos, viitattu 23.10.2018).

Kalustojen käytännön vertailuun otettiin tueksi internetistä löytyvä Terranimo -työkalu, jolla voidaan mallintaa erilaisten kalustojen aiheuttamaa kuormaa maahan. Sillä voidaan helposti simuloida maan herkkyyttä tiivistymisriskiin. (Stettler, Keller, Weisskopf, Lamandé, Lassen & Schjønning 2014, viitattu 5.11.2018)

Vertailun tavoitteena oli saada selville, millä tavoin eri kalustojen vaikutukset karkeassa kivennäismaassa näkyvät. Karkeilla mailla maan tiivistymistä on tutkittu paljon vähemmän kuin savi- mailla, joiden tiedetään olevan hyvin herkkiä tiivistymään suurten rengaspainojen kuormituksesta. Vertailussa haluttiin selvittää, kuinka herkkiä karkeat maat ovat tiivistymään ja millä nykyisin tarjolla olevista kalustoista se voidaan välttää.

## 4.1 Vertailun taustatietoa

Vertailuun haluttiin yleisesti Suomessa käytössä olevia kalustoja, jotka olivat saatavilla Oulun seudulla. Tärkeimpänä kalustona vertailussa pidettiin uutta vetoletkukalustoa, joten havaintopaikaksi määräytyi suurimmaksi osaksi sen sijaintipaikka. Ruukista löytyi sopiva kalusto, ja sinne saatiin muukin kalusto samaan aikaan, sekä sieltä löytyi sopiva havaintokenttä. Kentän maalaji oli hienohieta (HHT), joka on melko yleinen Pohjois-Pohjanmaan alueella. Havaintopaikka oli sopiva, koska siinä oli perustettu nurmi suojaviljalla ja ajokertoja siinä oli vain muutamia muokkauksen jälkeen. Lisäksi nurmesta pystyi tekemään silmämääräisiä havaintoja kasvuston kärsimisestä eri kalustojen ajourissa.

Tutkimuksen aluksi kalustot punnittiin tyhjänä ja sen jälkeen täytenä, lisäksi kalustojen rengastus sekä rengaspaineet mitattiin ja kirjattiin ylös. Tietojen avulla voitiin laskea Terranimo -työkallulla teoreettiset tiivistymisriskit eri kalustoilla, kun tuloksia analysoitiin. Punnituksien jälkeen jokaisella kalustolla levitettiin havaintokentälle lietettä 20 tn hehtaarille yhden ajokaistan verran. Kalustojen ajourista tehtiin tiiveysmittauksia penetrometrillä.

### 4.1.1 Vertailun lietteenlevityskalustot

Vertailun jäsenet koostuivat neljästä eri lietteenlevityksen logistisesta menetelmästä (Kuvio 2). Perinteisen lietteenlevitysmenetelmän veturina oli John Deere 6210R, jonka perässä oli 2-akselinen 18 m<sup>3</sup>:n Kimadan- merkkinen lietevaunu (Kuvio 3). Liete levittyi 20 m leveällä letkulevitimellä. Toinen vertailun kalusto koostui Case MXM 190 traktorista ja omavalmisteisesta lietevaunusta, jonka tilavuus oli vain 14 m<sup>3</sup> (Kuvio 4). Vaunun rengastus oli normaalia suurempi, sillä vaunu on tarkoitettu vain pellolle levityskäyttöön. Vaunun perässä oli 8,6 m:n veitsimultain. Kolmantena menetelmänä vertailussa oli itsekulkeva levitysvaunu. Vertailuun saatiin Vredo VT3936 17 m<sup>3</sup>:n säiliöllä (Kuvio 5). Vredossa oli 2-kiekkoinen 8 m:n multain. Neljäs vertailun kalusto oli vetoletkulevitin (Kuvio 6). Vetokoneena toimi John Deere 6810 ja levittimenä Slootsmidin 10 m:n veitsimultain. Levityksessä lietteen siirtoon käytettiin 4 ja 5 tuuman letkuja yhteensä 700 m. Lietesäiliöllä lietettä pumppasi John Deere 6210R Slurry Mate pumpulla.



*KUVIO 2. Lietteenlevityskalustot järjestyksessä: 18 m<sup>3</sup>:n lietevaunu-, vetoletku-, 14 m<sup>3</sup>:n lietevaununukalusto ja itsekulkeva Vredo*



*KUVIO 3. Perinteinen levitysvaunu 18 m<sup>3</sup>:n säiliöllä levittämässä lietelantaa letkulevittimellä*



*KUVIO 4. Peltoajoon varustettu 14 m<sup>3</sup>:n levitysvaunu levittämässä lietelantaa veitsimultaimella*



*KUVIO 5. Itsekulkeva levitysvaunu Vredo VT3936 levittämässä lietelantaa kiekkomultaimella*



*KUVIO 6. Vetoletkukalusto levittämässä lietelantaa veitsimultaimella*

Vertailuun valituilla kalustoilla saatiin kattavasti näkyviin eri tiivistymisen vähentämiskeinoja. Ensimmäisellä levitysvaunulla pystyi minimoimaan tallattua pinta-alaa pellolla, sillä lietevaunun letkulevitin oli todella leveä, eikä kalustossa käytetty paripyöriä. Kalustolla voisi käyttää kiinteitä ajouria. Toisessa levitysvaunussa oli käytetty suuria renkaita suhteessa vaunun kokoon tiivistymisen vähentämiseksi. Itsekulkevalla vaunulla ajettaessa renkaat eivät kulkeneet samaa ajouraa kuin kerran. Vetoletkukalustossa oli minimoitu koneen akselipaino kuljettamalla liete putkea pitkin levittimelle.

#### **4.1.2 Kalustojen akselipainot ja rengaspaineet**

Koneiden akselipainot mitattiin sekä säiliöt tyhjänä että täynnä. Punnitusvaaka oli Dini argeomerkkinen akselivaaka, jossa oli liikuteltavat punnitusalustat. Punnituspaikka oli tasainen betoni-laatta, jonka päälle punnitusalusta asetettiin koneen raidelevydelle (Kuvio 7). Punnitukset tehtiin multain kuljetusasennossa, joten tarkkoja painoja pellolla työskentelyssä ei tiedetä. Etenkin vetoletkukoneessa taka-akselille voi syntyä suurempia painoja pellolla, kun se vetää lietteen täyttämää ja pitkää letkua perässään.



*KUVIO 7. Kalustojen painot mitattiin akselivaa'alla betonialustalla*

Rengaspaineet mitattiin levityksen jälkeen rengaspaineen mittauskynällä. Kun tiedetään rengaspaineet, voidaan karkeasti arvioida renkaan maahan aiheuttama pintapaine.

#### **4.1.3 Havaintokenttä**

Vertailun havaintoalueena toimi Sammalkankaan tilan pelto Ruukissa. Pellolla oli viljelyksessä koevuotena rehuvehnä, jonka alla kasvoi nurmi. Pelto sijaitsi sopivalla etäisyydellä tilakeskuksesta vertailussa tehtävän lietteen levityksen kannalta. Havaintokentäksi soveltuva alue valittiin pellolta penetrometrimittausten ja näköhavaintojen perusteella. Alueen tuli olla mahdollisimman tasainen, jotta jokaiselle vertailun jäsenelle olosuhteet olisivat samanlaiset.

Pellolle merkittiin mittauskohdat valmiiksi ennen lietteen levityspäivää. Mittausalueen merkitsemiseen käytettiin apuna lasikuituaitatoppia, ne asennettiin mittauslinjojen kohdalle. Kolme mittauslinjaa merkittiin kalustojen ajosuunnassa 10 m:n välein. Liettelevityksen jälkeen merkittiin kaikille kolmelle mittauslinjalle jokaiselle ajokaistalle tarkasti kohdat tiiveysmittauksia varten. Näin saatiin yhteensä 12 mittauspistettä eli neljälle kalustolle kolme toistoa.

#### 4.1.4 Tiiveysmittaukset

Maan tiiveyttä mitattiin Luken Eijkelkamp penetrometrillä (Kuvio 8). Mittauksissa käytettiin läpimitaltaan 1cm<sup>2</sup> olevaa kärkeä, jonka kärkekulma oli 30 astetta. Havaintokentällä pohjamaa oli erittäin kuivaa ja kovaa, joten mittaukset jouduttiin lopettamaan 30 cm:iin. Mittaukset tehtiin ajokaistoittain ennalta määritetyistä kolmesta mittauspisteestä, siten että jokaisesta mittauspisteestä tehtiin 10 mittausta renkaan ajouran sisältä ja toiset 10 renkaan ajouran ulkopuolelta häiriintymättömästä maasta. Mittaukset Vredon ajourasta tehtiin koko ajouran leveydeltä, tasaisin eli noin 40 cm:n välein, koska Vredon polkema alue ei ole täysin symmetrinen. Muiden ajouramittaukset tehtiin vain toisesta ajurasta 8–13 cm:n välein. Ajourien ulkopuolelta ja välistä mittaukset tehtiin 10 cm:n välein. Havaintokentältä tehtiin yhteensä 240 mittausta.



*KUVIO 8. Penetrometri pakattuna säilytyslaatikkoon*

Penetrometri suhteuttaa laitteen kärjen maahan puristamiseen tarvittavan voiman kärjen pinta-alaan ja tulos ilmoitetaan painelukemana (MPa). Joten kun maa on kovempi (tiivimpi), saadaan suurempi painelukema. Mittari tallentaa painelukemat jokaista syvyysenttimetriä kohden mitauskohtaisesti muistiin. Ne voidaan sitten siirtää tietokoneelle tarkempaa analysointia varten.

#### 4.1.5 Maalaji ja maan kosteus

Lietteen levityspäivänä ja maan tiiveyttä mitattaessa otettiin havaintokentältä maanäytteitä maalajiin, maan kosteuden ja hehkutushäviöiden määrittämiseksi (Kuvio 9). Lietteen levityksen yhteydessä otettiin yksi maanäyte jokaisen kaluston ajokaistan kohdalta. Mittauspäivänä maanäytteet otettiin jokaisesta mittauspisteestä, eli kolme näytettä jokaisesta ajokaistasta. Maanäytteet otettiin 0–25 cm:n syvyydestä maanäytekairalla puolen litran näyterasiaan. Näyterasiat pakattiin tiiviisti muovipusseihin myöhempää analysointia varten.

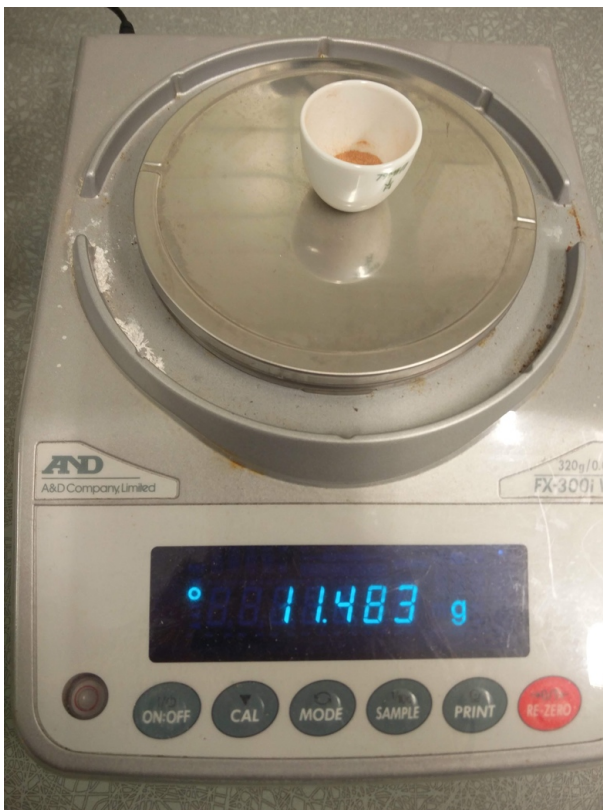


*KUVIO 9. Maanäytteet otettiin maanäytekairalla näyterasiaan*

Maanäytteitä analysoitiin Oulun ammattikorkeakoulun maalaboratoriossa. Kosteus määritettiin kuivaamalla näytteitä kaksi vuorokautta 60 asteessa. Kuivista näytteistä määritettiin kalustokohtaisesti maalaji seulomalla. Maan multavuus määritettiin hehkuttamalla 1–2 g:n näytteitä uunissa 825 asteessa yli tunti (Kuvio 10). Tuloksia määritettäessä tarvittiin tarkkaa vaakaa, maljoja ja upokkaita (Kuvio 11).

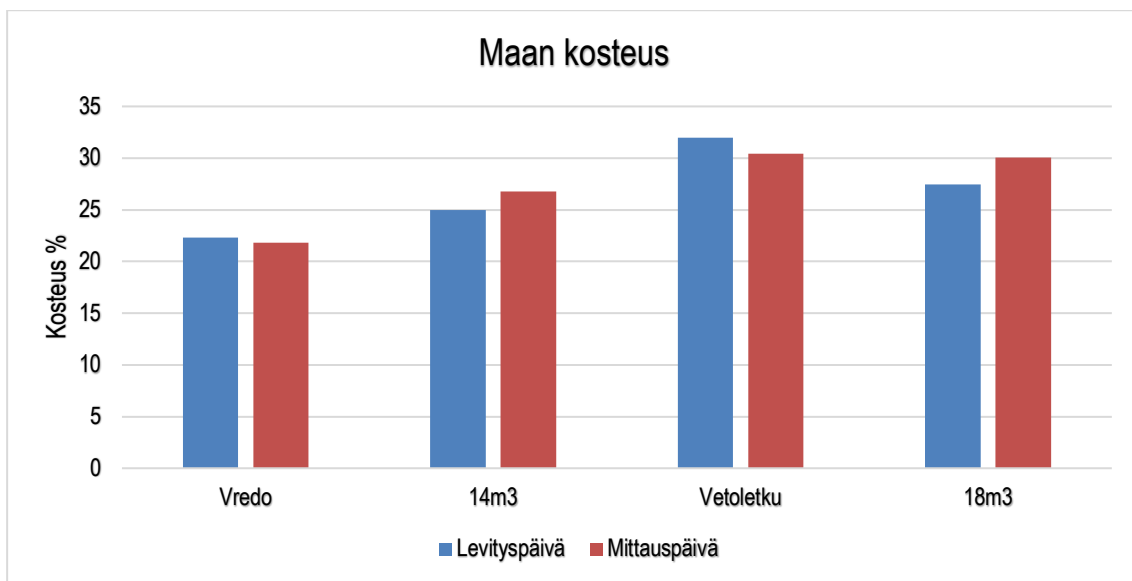


KUVIO 10. Upokkaat hehkutusuunissa.



KUVIO 11. Punnitukseen käytettiin kolmen desimaalin vaaka

Havaintoalue oli tulosten perusteella melko tasainen. Pieniä poikkeamia löytyi maan kosteudessa ja multavuudessa. Tulokset levityspäivänä ja mittauspäivänä olivat hyvin lähellä toisiaan. Koko alueen maalaji oli tulosten perusteella HHT ja multavuus runsasmultainen kaikissa paitsi vetoletkukaluston ajourassa se oli erittäin runsasmultainen. Maan kosteudet olivat yhteydessä sen multavuuteen, sillä vetoletkun ajourasta tehdyissä mittauksissa kosteus oli 10 prosenttiyksikköä suurempi kuin Vredon ajourassa (Kuvio 12).



KUVIO 12. Maan kosteus (% painosta) levitys- ja mittauspäivänä eri kalustojen ajourassa

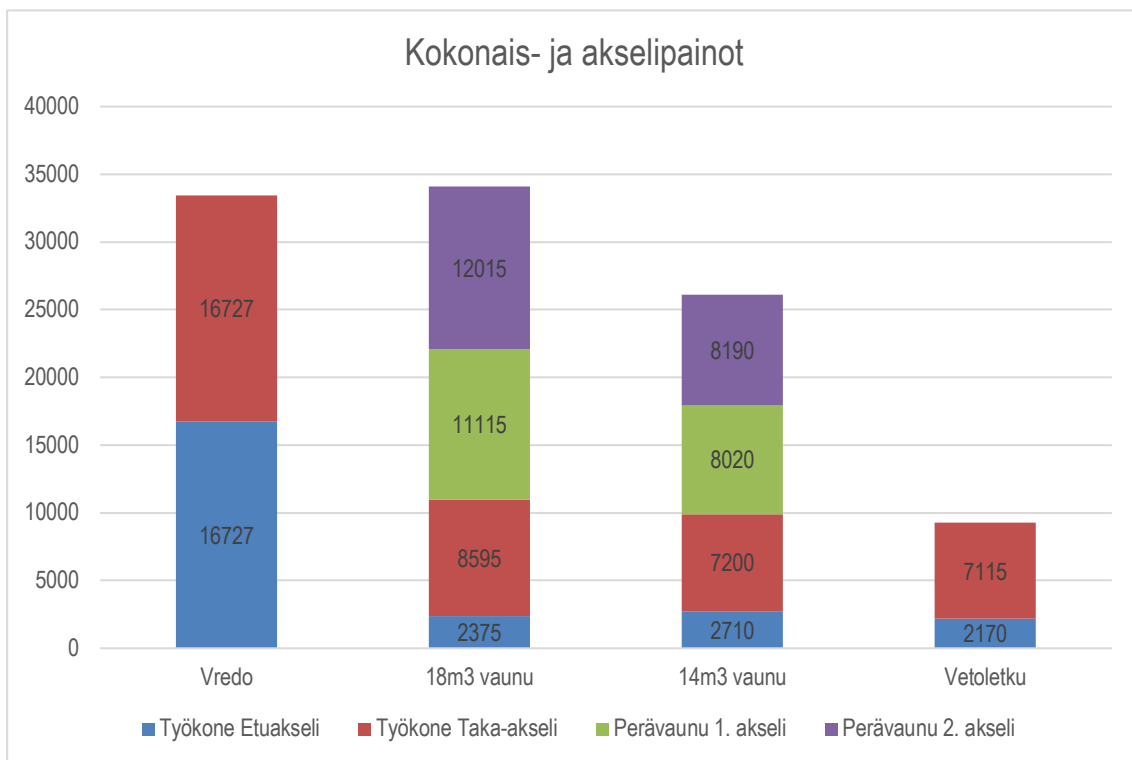
## 4.2 Tulokset

Vertailun keskeisimpiä tuloksia olivat kalustojen suuret erot kokonais-, akseli- ja rengaspainoissa, sekä Terranimon mallinnukset, joiden mukaan Vredo ja 18 m<sup>3</sup>:n lietevaunu aiheuttivat vakavan suurta kuormitusta maan kyntösyvytydessä. Penetrometrimittaukset paljastivat puolestaan erittäin tiiviin pohjamaan havaintolohkolla.

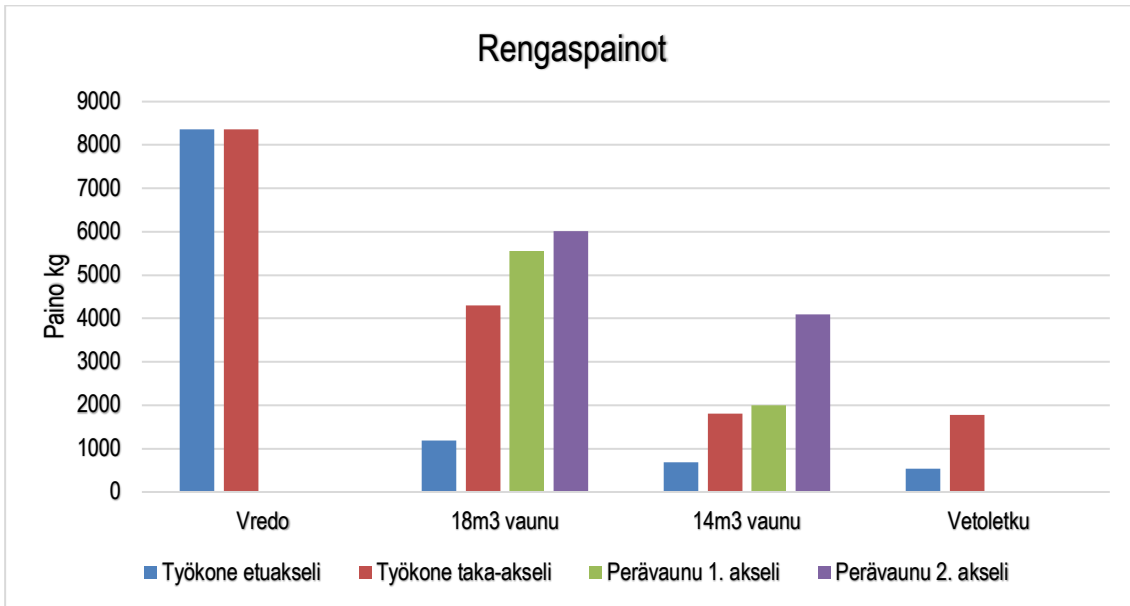
### 4.2.1 Kalustojen suuret painoerot

Kalustojen painoissa oli suuri ero raskaimman ja keveimmän välillä. Painavin kalusto painoi las- teineen 34 tonnia ja kevein 9,3 tonnia. Kalustojen painot on mitattu liikkumattomasta koneesta,

joten koneen levittäessä tapahtuvaa painonsiirtymää ei ole huomioitu. Erityisen paljon painonsiirtoa tapahtuu vetoletkukoneessa taka-akselille, kun vetoletkua on vedettävä pitkästi suurella pelolla. Raskaimmassa kalustossa paino jakautui neljälle akselille, mutta keveimmässä se jakautui kahdelle akselille (Kuvio 13). Yli 10000 kg akselipainoja oli Vredossa ja 18 m<sup>3</sup>:n lietevaunuissa. Akselien lukumäärän lisäksi eroja oli renkaiden määrässä akselilla, sillä vetoletkutraktorissa, 14 m<sup>3</sup>:n vaunussa ja sen vetokoneessa oli käytetty paripyöriä (Kuvio 14). Paripyöriä käytettäessä rengaspaino teoriassa puolittuu, mutta käytännössä siihen ei kuitenkaan päästä (Mattila & Rajala, 2018, 20).

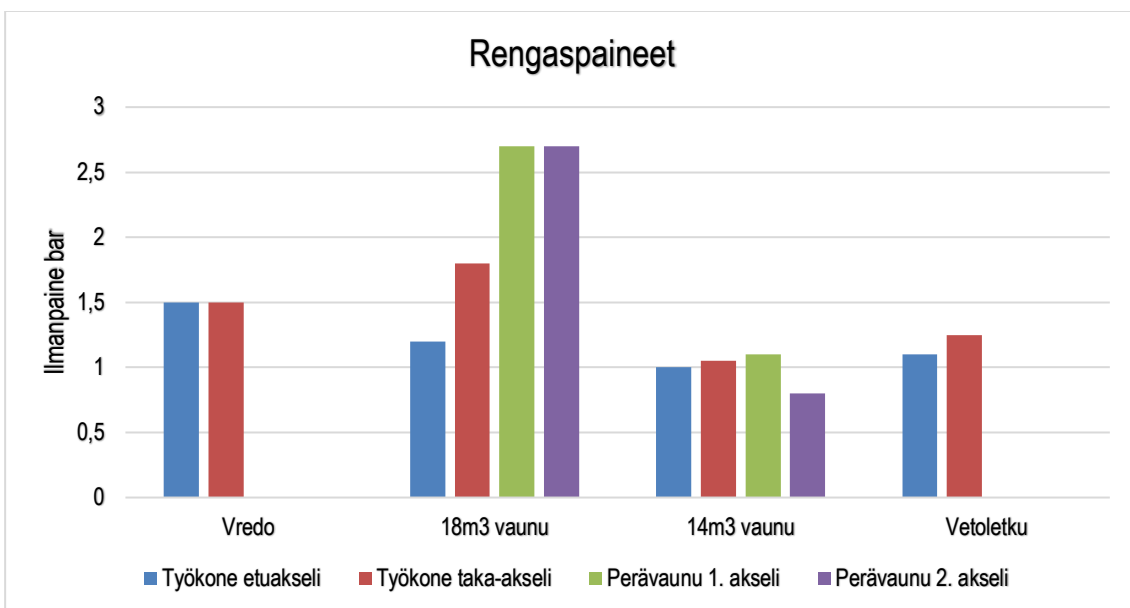


*KUVIO 13. Kalustojen kokonaispainojen muodostuminen lietevaunujen säiliöt täynnä*



KUVIO 14. Kalustojen laskennalliset rengaspainot (kg) lietevaunujen säiliöt täynnä

Rengaspaineisiin ei ollut kiinnitetty huomiota kaikissa kalustoissa. Suurimmat rengaspaineet olivat 18 m<sup>3</sup>:n lietevaunun renkaissa 2,7 baaria. Alhaisimmat paineet (0,9 baaria) olivat 14 m<sup>3</sup> lietevaunun takimmaisena akselin renkaissa (Kuvio 15). Renkaiden ilmanpaineita olisi voinut laskea kaikissa kalustoissa paitsi Vredossa, sillä renkaiden kantavuudet sallisivat matalammat rengaspaineet.



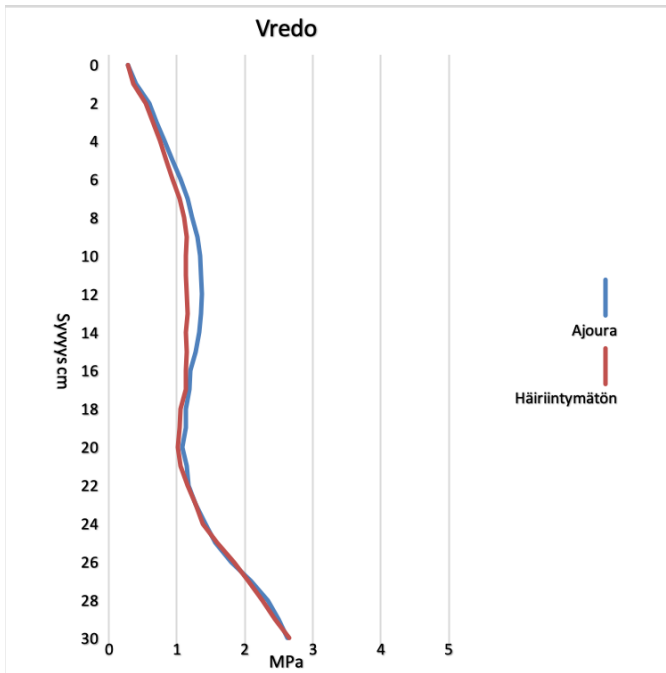
KUVIO 15. Kalustojen renkaiden ilmanpaineet (bar)

Pintapaineen ohella on otettava huomioon myös koneen tallaama pinta-ala levitetystä pinta-alasta. 18 m<sup>3</sup>:n vaunu talloi levittäessään lietettä peltoa vain 9 %:n alalta. Vredo talloi levittämässään alasta 50 %, 14 m<sup>3</sup>:n levityskalusto 31 % ja Vetoletkujärjestelmä 27 %. Vredon suurta pinta-alaa suhteessa levitysleveyyteen selittää se, että Vredo kulkee työajossa vinossa, joten jokainen rengas kulkee eri kohdasta.

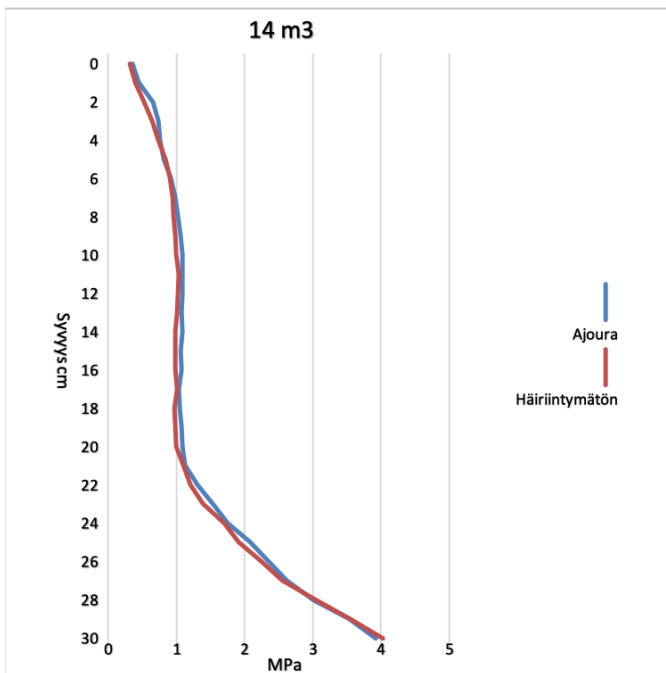
#### **4.2.2 Maan tiivistymistulokset penetrometrimittauksista**

Penetrometrin antamista tuloksista laskettiin jokaisen kaluston ajouralle ja häiriintymättömälle maalle keskiarvot. Toistojen keskiarvot eri kalustojen aiheuttamasta maan tiivistymisestä on esitettyä kuvioissa 16–19. Toistojen perusteella mittaukset olivat luotettavia 20 cm:iin saakka. Tulokset 20–30 cm:ssä olivat toistoissa hyvin vaihtelevia, kuten vetoletkulevityksen tulokset 28–30 cm:ssä ja 18 m<sup>3</sup> vaunun aiheuttama maan kuohkeutuminen 22–30 cm:ssä.

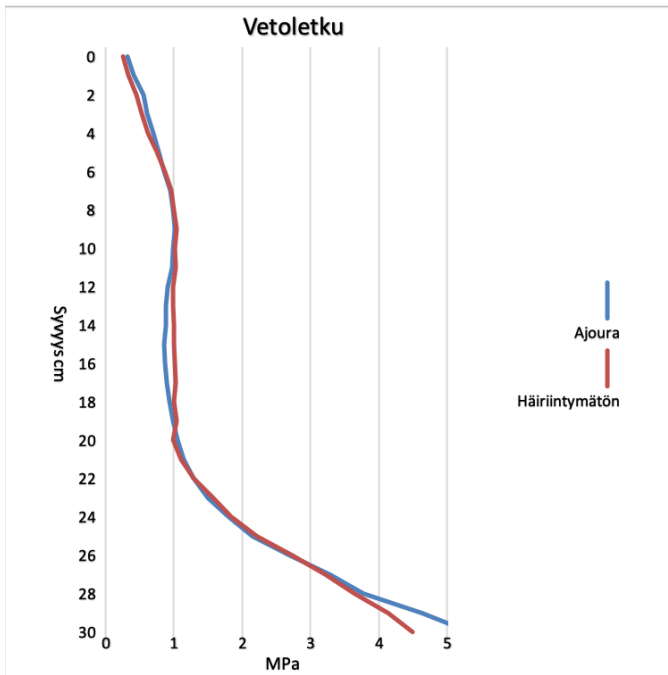
Mittauksien mukaan maan tiiveys muuttui lietteen levityksessä vain vähän, ja erot kalustojen välillä olivat pienet. Vredon aiheuttamaa tiivistymää esiintyi 8–16 cm syvyydessä. 14 m<sup>3</sup> levitysvaunukaluston aiheuttamaa lievää tiivistymistä tapahtui vain maan pinnassa neljään senttimetriin saakka. Vetoletkujärjestelmän ajourassa tiivistymää ei mittauksien mukaan juurikaan tapahtunut, sillä vain viiden senttimetrin syvyyteen asti saattoi havaita pientä muutosta tapahtuneen. 18 m<sup>3</sup>:n levitysvaunulla ajettaessa tiivistymistä ajourassa tapahtui 16 cm:iin saakka, mutta 7–16 cm:ssä tiivistyminen oli lievää. Näissä olosuhteissa ei tapahtunut millään kalustolla maan lisätiivistymistä, joka ei poistuisi kyntäessä.



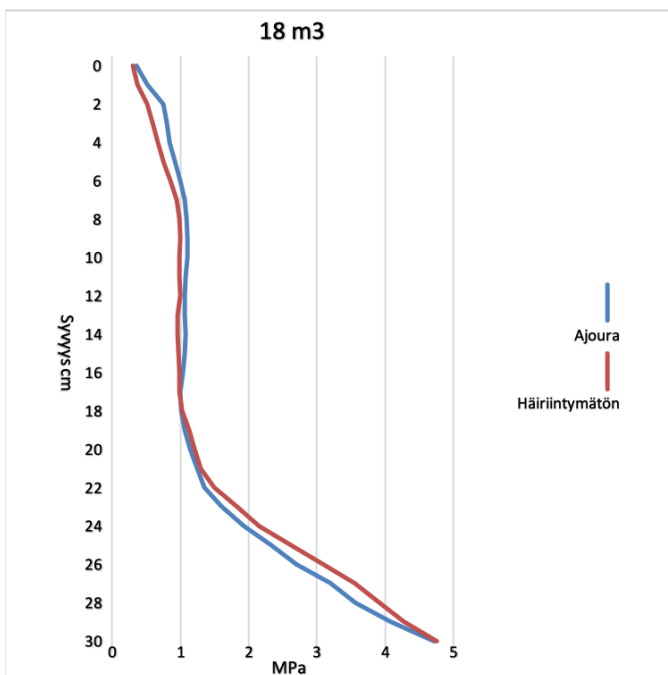
KUVIO 16. Keskimääräiset mittaustulokset Vredon ajourasta ja häiriintymättömästä maasta



KUVIO 17. Keskimääräiset mittaustulokset 14 m<sup>3</sup> levitysvaunun ajourasta ja häiriintymättömästä maasta



KUVIO 18. Keskimääräiset mittaustulokset vetoletkukaluston ajourasta ja häiriintymättömästä maasta

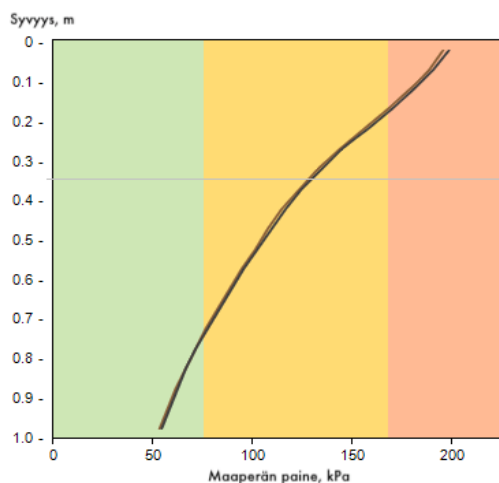


KUVIO 19. Keskimääräiset mittaustulokset 18 m<sup>3</sup> levitysvaunun ajourasta ja häiriintymättömästä maasta

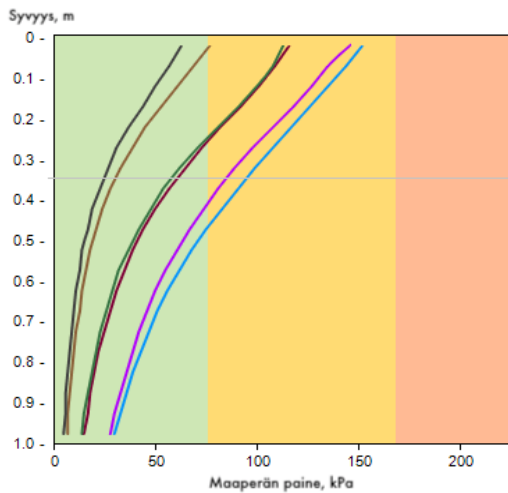
### 4.2.3 Terranimon tulokset maan tiivistymisestä

Terranimo (Stettler ym. 2014) -työkalun avulla saatiin simuloitua kalustojen aiheuttamaa kuormitusta maaperään. Tähän työhön parhaiten soveltuva ohjelman tarjoama maaperäkoostumus oli saveton hieta. Maalajipitoisuudet siinä oli 97 % karkeita ja 3 % hienoja lajitteita. Terranimo työkalun kuvioiden tulkitseminen on helppoa. Kuvioissa 20–23 on näkyvillä jokaisen renkaan aiheuttama kuorma erikseen, joista voidaan erottaa kunkin kaluston ongelmakohdat. Kuvion vihreällä alueella ei ole tiivistymisriskiä, keltaisella alueella kuorma aiheuttaa tiivistymisriskin ja punaisella alueella kuormalla ajoa pellolla on vältettävä.

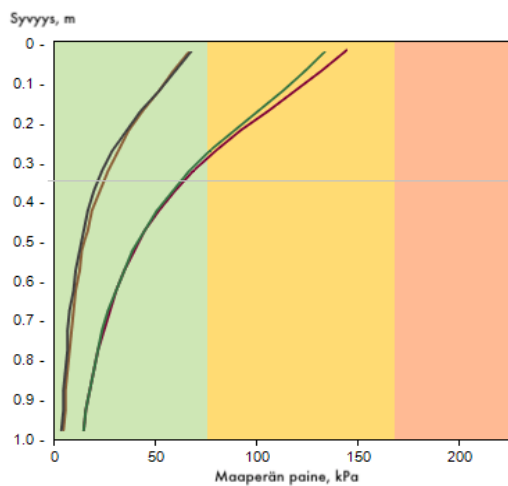
Mallinnuksen mukaan suurimman kuormituksen maaperään aiheutti 18 m<sup>3</sup>:n levitysvaunu, sen kuormitukset ylittivät 30 cm:n syvyyteen saakka suuren maan tiivistymisriskin. Peltoajoa suuren kuormitusriskin kalustolla tulisi välttää. Toiseksi suurimman kuormituksen aiheutti Vredo. Mallin mukaan se aiheutti suurta tiivistymisriskiä 18 cm:n syvyyteen saakka. Edellä mainitut kaksi suurinta kuormituksen aiheuttajaa tuottivat huomattavaa tiivistymisriskiä 70 cm:n syvyyteen saakka. Pienempi 14 m<sup>3</sup>:n levitysvaunu aiheutti simuloinnin mukaan huomattavaa tiivistymistä noin 50 cm:n syvyyteen asti. Vetoletkukalusto aiheutti huomattavaa tiivistymistä vain alle 30 cm:n syvyyteen asti.



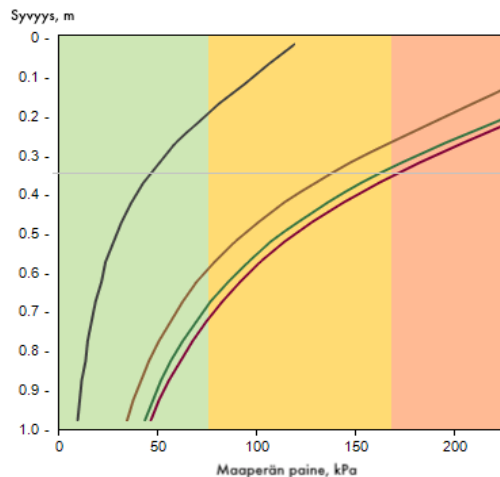
KUVIO 20. Terranimon mallinnus maaperään kohdistuvasta paineesta eri syvyyksissä Vredolla. Kuvion vihreällä alueella eli 75–100 cm syvyydellä ei ole tiivistymisriskiä, keltaisella alueella (20–75 cm syvyydellä) kuorma aiheuttaa tiivistymisriskin ja punaisella alueella (0–20 cm) kuormalla ajoa pellolla tulisi välttää.



KUVIO 21. Terranimon mallinnus maaperään kohdistuvasta paineesta eri syvyyksissä 14 m<sup>3</sup>:n lietevaunulla. Sininen ja violetti käyrä kuvaavat lietevaunun pyöristä kohdistuvaa kuormaa maaperään. Syvyydellä 50–100 cm ei ole tiivistymisriskiä, mutta syvyydellä 0–50 cm kuorma aiheuttaa tiivistymisriskin.



KUVIO 22. Terranimon mallinnus maaperään kohdistuvasta paineesta eri syvyyksissä vetoletkukalustolla. Vihreä ja viininpunainen käyrä kuvaavat takapyöriltä kohdistuvaa kuormaa maaperään. Syvyydellä 30–100 cm ei ole tiivistymisriskiä, mutta syvyydellä 0–30 cm kuorma aiheuttaa tiivistymisriskin.



KUVIO 23. Terranimon mallinnus maaperään kohdistuvasta paineesta eri syvyyksissä 18 m<sup>3</sup>:n lietevaunulla. Vihreä ja viinipunainen käyrä kuvaavat lietevaunun rankaista kohdistuvaa kuormaa maaperään. Syvyydellä 75–100 cm ei ole tiivistymisriskiä, mutta syvyydellä 35–75 cm kuorma aiheuttaa tiivistymisriskin ja syvyydellä 0–35 cm kuormalla ajoa pellolla tulisi välttää.

### 4.3 Johtopäätökset

Lietekalustojen vertailun toteutukseen vaikutti monta asiaa, joilla oli suuret vaikutukset vertailun tuloksiin maan tiiveydestä. Kuiva kesä aiheutti maan kuivumisen erityisen kuivaksi. Vaikka mittauksia ennen satoi, havaintokentän pohjamaa oli mahdollisesti vielä hyvin kuiva. Kuivassa maassa penterometrillä kohdistuu suurempaa kitkaa, joten se antaa suurempia lukemia maan tiiveydestä. Pellon edellisten vuosien työskentelyt vaikuttivat mahdollisesti pohjamaan tiiveyteen. Lisäksi maalajissa ja kosteudessa oli hieman vaihtelua havaintokentän sisällä.

#### 4.3.1 Esikuormitusjännitys merkinä aiemmasta pohjamaan tiivistymisestä

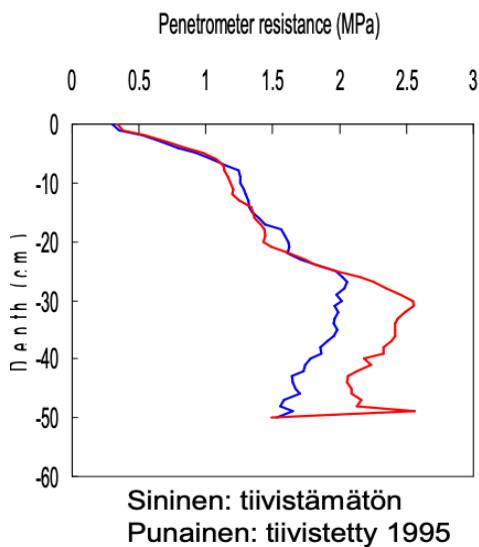
Havaintokentän pohjamaa todettiin hyvin tiiviiksi, joten tiiveyden mittauksia ei voitu tehdä pohjamaasta lainkaan. Siten vertailussa ei saatu selville, miten eri kalustojen kuormitukset vaikuttavat pohjamaan tiivistymiseen. Vertailussa mukana ollut muokkauskerroksen alaosa ja pohjamaan yläosa oli kuitenkin niin kova, että se ei vertailua tehdessä tiivistynyt millään kalustolla lainkaan. Maalla oli tällöin suuri kyky estää maan tiivistymistä. Sitä voidaan kuvata myös maan esikuormitusjännityksellä. Mitä suurempi esikuormitusjännitys on, sitä suurempi voima tarvitaan maan edel-

leen tiivistämiseksi. Esijännityksen ollessa selvästi suurempi kuin ulkoinen kuorma, maan tiivistymistä ei tapahdu (Mattila & Rajala. 2018).

Havaintokentän pohjamaa oli mahdollisesti karkea, kuiva ja vähämultainen. Karkea ja vähämultainen pohjamaa vastustaa penetrometrin painamista maahan enemmän kuin hienojakoinen ja runsasmultainen maa, vaikka tiiveys on sama. Karkeilla kivennäismailla pohjamaa on usein tiivistä, koska se voi olla luontaisesti iskostunutta. Tiivistymä ei ole haitallista, jos kasvien juuret pääsevät kasvamaan sen läpi. Havaintokentän pohjamaan tiiveys oli haitallisen suurta. Tiiveyteen saattoi olla syynä liian raskaat kuormat aiempina vuosina. Pellolla on voitu joutua ajamaan pellon ollessa liian märkä, koska pellolla on ollut aiempina vuosia jonkin verran ongelmaa vesitaloudessa. Ongelmaa aiotaan tilalla korjata ensiksi salaojahuuhtelulla. Monivuotiset syväjuuriset kasvit voisivat auttaa pohjamaan tiivistymän poistossa. Mekaaninen kuohkeutus on viimeinen vaihtoehto, jos tiivistymät eivät poistu kasvien voimin. Silloin tulee kuitenkin kiinnittää erityistä huomiota tuleviin peltoviljelykoneiden painoihin ja rengastuksiin.

Vertailun penetrometritulokset maan tiiveydestä olivat suuria etenkin pohjamaassa verrattuna kuvion 24 tutkimustuloksiin karkealla maalla. Vertailun tuloksissa suurimmat maan penetrometristä tulokset olivat jopa 5 MPa, kun ne olivat ruotsalaisessa tutkimuksessa korkeimmillaan vain 2,5 MPa.

#### Karkea maa 15 vuotta tiivistämisen jälkeen



KUVIO 24. Ruotsalaisen tutkimuksen penetrometritulokset maan tiivistymisestä vuodelta 1995 (Alakukku 2012)

### 4.3.2 Kuormittavuuksien suuret erot

Lietekalustojen painoissa ja rengastuksissa oli merkittäviä eroja. Ne vaikuttivat oleellisesti maan tiivistymiseen kalustojen käytännön vertailussa. Vaikka minkään kaluston aiheuttama maan tiivistyminen ei ollut penetrometritulosten perusteella merkittävän haitallista, joitain eroja kalustojen välillä löytyi. Vredo ja 18 m<sup>3</sup>:n lietevaunukalusto aiheuttivat suurempaa maan tiivistymistä kuin 14 m<sup>3</sup>:n levitysvaunu ja vetoletkukalusto.

Kalustojen painot oli mitattu kalustot paikallaan, joten levityksenaikaisista painoista ei ole tarkkaa tietoa. Lietevaunun ja multaimen veto voi aiheuttaa jonkin verran painon siirtymistä vetokoneen taka-akselille, mutta erityisesti sitä tapahtuu vetoletkukaluston vetäessä pitkää letkua suurella pellolla. Suuressa vedossa voi tapahtua herkästi myös luistoa. Nurmella jo 10 %:n luisto aiheuttaa vaurioita kasvustoon ja 20 %:n luisto aiheuttaa maan tiivistymistä vertikaalisesti. Tiivistyminen pyörän luiston seurauksena voi olla vahingollisempaa kuin pystysuuntainen tiivistyminen. (Alakukku 2002, 75). Tässä työssä ei otettu kalustojen renkaiden luistoa huomioon. Vetoletkukaluston luisto voi nousta yli suositusten pitkää letkua vedettäessä suurella pellolla. Penetrometrimittauksissa luiston aiheuttamaa tiivistymää ei havaittu millään kalustolla, koska luisto voi myös kuohkeuttaa pintamaata.

Tässä työssä ei ollut tarkoitus selvittää lietteen levittimen merkitystä maan tiivistymiseen. Vertailun kalustojen erilaisten levittimien kuten kiekko-, ja veitsimultaimen sekä letkulevittimen eroja ei ole otettu huomioon. Esimerkiksi tässä työssä hyväksi todettu leveä letkulevitin ei ole välttämättä paras ratkaisu hankittaessa uutta kalustoa, sillä sijoittavalla levittimellä levitettäessä saadaan ympäristötuen lisätukea.

### 4.3.3 Penetrometrin ja Terranimon samansuuntaiset tulokset

Vertailun penetrometritulokset olivat melko vaisut tiiviistä maasta johtuen, mutta saman suuntaiset Terranimo -tulosten kanssa. Maan tiivistymisriski oli suuri Terranimon mallinnuksen mukaan 18 m<sup>3</sup>:n lietevaunukalustolla ja Vredolla, koska Terranimo -mallinnuksien mukaan ne aiheuttavat suurta kuormaa pohjamaahan. Penetrometrituloksissa suuri tiivistymisriski ei näkynyt niin selvästi, koska maa oli valmiiksi hyvin tiivistä ja siten kantavaa. Kun ottaa huomioon kuinka suuren pinta-alan kalusto tallaa pellostä, Vredolla ajossa oli suurimmat riskit koko peltomaan tiivistymiselle.

Vredon levittäessä tallottua pinta-alaa oli 50 % kun 18 m<sup>3</sup>:n lietevaunussa se oli vain 9 %. Koska satoeroja ei tässä vertailussa otettu huomioon, sadosta ei saatu mitattuja eroja tallauksen vaikutuksesta.

Terranimon tuloksissa Vredon ja 18 m<sup>3</sup>:n lietevaunukaluston aiheuttama paine ylitti 170 kPa:n rajan muokkauskerroksessa, jolloin Terranimo ohjeistaa välttämään pellolla ajoa. Penetrometrituloksissa suurempi kuormitus näkyi suurempana tiivistymänä muokkauskerroksessa. Terranimo -mallinnuksen mukaiset kalustojen kuormitukset maahan olivat alle puolet penetrometrimittauksien esikuormitusjännityksestä. Mattilan ja Rajalan. (2018) mukaan ulkoisen kuormituksen ollessa puolet esikuormitusjännityksestä maassa voi jo tapahtua tiivistymistä.

Pienin tiivistymisriski oli penetrometritulosten ja Terranimo -mallinnusten perusteella vetoletkukalustolla. 14 m<sup>2</sup>:n lietevaunulla ajettaessa tiivistymisriski oli jonkin verran vetoletkukalustoa suurempi etenkin Terranimo -mallinnuksen mukaan. Se oli huonompi myös siksi, koska se tiivistää maata useaan kertaan samasta kohdasta (Alakukku 2002, 80). Ajokertojen suuri määrä voi aiheuttaa haittoja kasveille myös kohtuullisen pienillä kuormilla, kun lähestytään kasvien menestymisen kriittistä rajaa (Heinonen ym. 2001, 134). Vetoletkukalusto ei aiheuttanut Terranimo -mallinnuksen mukaan pohjamaahan kuormaa juuri lainkaan.

Penetrometri- ja Terranimo -tulosten vertailu aiempiin tutkimustuloksiin, joissa on esitetty karkean- ja savimaan tiiveyttä pitkällä aikavälillä, antoi lisää viitteitä siitä, että tähän työhön liittyvä havaintokenttä oli jo aiemmin tiivistynyt. Alakukun (1989) tutkimuksessa eloperäisellä ja savimaalla noin 16 tonnin teliakselikuormitus aiheutti ainakin puolen metrin syvyyteen saakka huomattavaa maan tiivistymistä, joka ei poistunut pohjamaasta kuuden vuoden aikana. Alakukun ja Elosen (1989) samalla koealueella suoritetussa satotutkimuksessa tiivistyminen vaikutti satoihin alenevasti keskimäärin yli 2 % koko tutkimuksen ajan, mutta runsaasti ensimmäisinä vuosina. Monivuotinen nurmi kuohkeutti tiivistynyttä maata 40 cm:iin saakka.

Vertailun penetrometrituloksien mukaan maan tiivistyminen lietekalustojen kuormituksesta oli vähäistä verrattuna aiempiin tutkimustuloksiin karkealla maalla. Vertailun tuloksissa suurimmat tiivistymät olivat 250 kPa, kun ne olivat ruotsalaisessa tutkimuksessa jopa yli 500 kPa. Vertailun tiivistymät voivat kuitenkin vaikuttaa satoon, jos maan tiiveys on ollut jo ennen tiivistymistä hyvin lähellä kasvien menestymisen kriittistä rajaa (Heinonen ym. 2001, 134).

## 5 POHDINTA

Työn tavoitteena oli vertailla lietteenlevityskalustojen ominaisuuksia ja niiden vaikutusta maan tiivistymiseen karkealla kivennäismaalla. Maan tiiveyttä mitattiin havaintokentällä digitaalisella penetrometrillä ja lisäksi vertailua tehtiin Terranimon mallinnustyökalulla. Työn keskeisimmät tulokset olivat erot kalustojen mitatuissa painoissa ja maahan kohdistuvissa kuormituksissa. Penetrometrimittauksien mukaan levityksessä tapahtunut maan tiivistyminen ei ollut haitallista millään kalustolla, koska havaintokentän pohjamaan esikuormitusjännitys oli hyvin suuri.

Työn tuloksien ja kirjallisuuden perusteella pellolla tulisi vähentää tai välttää kokonaan ajoa yli 8 tonnin akselipainoisilla koneilla. Paripyörien käyttöä kannattaa lisätä tai jatkaa edelleen. Käytettävien renkaiden ilmanpaineisiin saa paljon apua Terranimo -työkalusta. Keväällä ja syksyllä kalustojen ominaisuuksiin on kiinnitettävä tavallista enemmän huomiota. Märällä maalla ajoa tulisi välttää mahdollisuuksien mukaan.

Työn tulokset olivat melko vaisuja siihen nähden, millaisia tuloksia alun perin odotettiin. Vertailun menetelmät olivat hyvin edullisia, mutta vertailu vaati työpanoksen lietteen levityksen ammattilaisilta, peltolohkon vertailun tekemisen sekä kenttätöiden suunnittelun ja toteutuksen. Tulokset voisivat olla luotettavampia ja kattavampia, jos mittauksiin olisi varannut resursseja enemmän. Liettelevitykset ja mittaukset olisi kannattanut tehdä keväällä, kun maa oli vielä kostea sekä talven jäljiltä koskematon. Tiivistymisen mittaaminen olisi yleensäkin tärkeää keväällä ja myöhäissyksyllä, koska tiivistymistä tapahtuu yleensä silloin enemmän ja herkemmin. Penetrometrituloksia ei voi pitää täysin luotettavina, koska mittauksien mukaan maa oli kuohkeutunut maan syvemmissä kerroksissa ajouran kohdalla. Tuloksiin vaikutti liian paljon aikaisempi peltoliikenne ja kuormitukset pellolla. Terranimo -työkalun mallinnustulokset kalustojen aiheuttamista kuormituksista maahan olivat erittäin arvokas lisä tähän työhön.

Kiitän opinnäytetyön toimeksiantajaa ja lietteenlevityksessä mukana olleita yrittäjiä Eka-asennusta, Kosken Konetta, Sammalkankaan ja Karhumaan tilaa. Ilman monipuolista kalustoa vertailusta ei olisi tullut riittävän kattava. Suuret kiitokset havaintokentän ja vaa'an omistajalle mahdollisuudesta tehdä kalustovertilu tilalla.

Opinnäytetyötä tehdessä opin paljon lisää maan rakenteen hoidosta ja se ylläpidosta. Työn aikana opin hakemaan paremmin tutkimustietoa ja kirjoittamaan jouhevammin. Raportin kirjoittaminen lähtee helpoimmin käyntiin rungon suunnittelulla. Itseä kiinnostava ja käytännönläheinen aihe oli merkittävä työtä edistävä tekijä. Maan tiivistymistä voisi tutkia lisää paremmissa olosuhteissa ja selkeämmillä kalustoilla, joissa eroja ei ole monessa muuttujassa. Tulevaisuudessa haasteet tulevat lisääntymään ilmaston muutoksen edetessä, kun ääri-ilmiöt lisääntyvät ja talvet lämpenevät. Siitä johtuen mm. maan routaantuminen heikkenee, joten luonnollinen kuohkeutuminen vähenee. Maatalouskoneiden kasvun rajat peltokäytössä tulevat vastaan varmasti tulevaisuudessa.

## LÄHTEET

Ahokas, J. 2014. Traktoreiden ja työkoneiden renkaat. Energia-akatemia.

[http://www.energia-](http://www.energia-akatemia.fi/attachments/article/74/Traktorin%20ja%20tyokoneiden%20renkaat_netti.pdf)

[akatemia.fi/attachments/article/74/Traktorin%20ja%20tyokoneiden%20renkaat\\_netti.pdf](http://www.energia-akatemia.fi/attachments/article/74/Traktorin%20ja%20tyokoneiden%20renkaat_netti.pdf)

Alakukku, L. 1989. Raskaan akselikuormituksen aiheuttama maan tiivistyminen. Maatalouden tutkimuskeskus tiedote1989:13

[http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/441464/maatut13\\_89.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/441464/maatut13_89.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Alakukku, L. 1999. Subsoil compaction due to wheel traffic. Agricultural and food science in Finland1999:8.

[https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/446296/afsf8\\_333.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/446296/afsf8_333.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Alakukku, L. 2002. Maan rakenteen ylläpito peltoviljelyssä. Teoksessa L. Alakukku & H. Teräväinen (toim.) Maan rakenteen hoito. Tieto tuottamaan 98. Keuruu: Otava kirjapaino, 63–81.

Alakukku, L. 2012. Voiko maa toipua tiivistymisestä? Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto.

[https://www.mtk.fi/ymparisto/Vesiasiat/baltic\\_deal/fi\\_FI/Baltic\\_deal\\_materiaalia/\\_files/88554595664921548/default/Voiko%20maa%20toipua%20tiivistymisest%C3%A4\\_Salo\\_16102012\\_Alakukku.pdf](https://www.mtk.fi/ymparisto/Vesiasiat/baltic_deal/fi_FI/Baltic_deal_materiaalia/_files/88554595664921548/default/Voiko%20maa%20toipua%20tiivistymisest%C3%A4_Salo_16102012_Alakukku.pdf)

Alakukku, L., Aura, E., Pöyhönen, A. & Sampo, M. 1999. Miehittämättömän traktorin käytön lyhytaikaiset vaikutukset savimaan rakenteeseen. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja1999:63.

<http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/439795/asarja62.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Alakukku, L. & Elonen, P. 1989. Raskaan akselikuormituksen jälkivaikutus peltokasvien satoon. Maatalouden tutkimuskeskus tiedote1989:13

[http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/441464/maatut13\\_89.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/441464/maatut13_89.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Alakukku, L. & Kaila, E. 2017. Maan tiivistymisen välttäminen ja peltoliikenteen suunnittelu. Teoksessa L. Alakukku, M. Ylihalla, H. Äijö & S. Peltonen (toim.) Peltojen kunnostus. Tieto tuottamaan 143. Helsinki: Ajasto Paperproducts, 56–59

Alakukku, L. & Mattila, T. 2017. Tiivistymien korjaaminen. Teoksessa L. Alakukku, M. Ylihalla, H. Äijö & S. Peltonen (toim.) Peltojen kunnostus. Tieto tuottamaan 143. Helsinki: Ajasto Paperproducts, 82–85.

Alakukku, L. & Pietola, L. 2002. Maan rakenteen vaikutus vesitalouteen. Teoksessa L. Alakukku & H. Teräväinen (toim.) Maan rakenteen hoito. Tieto tuottamaan 98. Keuruu: Otava kirjapaino, 5–10.

Danfors, B. 1994. Changes in subsoil porosity caused by heavy vehicles. *Soil and Tillage Research* 29 (2–3), 135–144.

Dexter, A.R. 1987. Mechanics of root growth. *Plant and Soil* 98 (3), 303–312.

Dickey-john 2005. Penetrometri tunnistaa maan tiivistymisen. Viitattu 7.11.2018, [http://www.palola.net/sct\\_suom.pdf](http://www.palola.net/sct_suom.pdf)

Elonen, E., Alakukku, L. & Koskinen, P. 1995. Renkaiden vaikutus traktorin vetokykyyn ja maan tiivistymiseen. *Vakolan tiedote* 1995:69

[http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/443118/vtiedote69\\_95.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/443118/vtiedote69_95.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Hansen, S. 1996. Effects of manure treatment and soil compaction on plant production of dairy farm system converting to organic farming practice. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 56 (3), 173–186.

Heinonen, R., Hartikainen, H., Aura, E., Jaakkola, A. & Kemppainen, E. 2001. *Maa viljely ja ympäristö*. Porvoo: WS Bookwell. Alkuperäisjulkaisu 1992.

Ilmatieteen laitos 2018. Havaintojen lataus. Viitattu 23.10.2018, <https://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>

Koivisto, H. 2016. Rengaspaineautomaatiikka on helppo ja vaivaton. Viitattu 16.10.2018, <http://www.maaseutumedia.fi/rengaspaineautomaatiikka-on-helppo-ja-vaivaton/>

Konedata 2018. Fendt 1038.1050 Vario (2015-). Viitattu 7.11.2018, <http://konedata.net/Traktorit/fendt1038.htm>

Lessiter, F. 2015. Heavier equipment, deeper compaction mean lower yields. Viitattu 16.10.2018, <https://www.no-tillfarmer.com/articles/4729-heavier-equipment-deeper-compaction-mean-lower-yields>

Mattila, T.J. 2017. Koneen tasapainotus laskuri. Viitattu 18.10.2018, [https://drive.google.com/file/d/1O4X9dtJ4hx-X\\_jnXFwFg5VsBDnNtG9ab/view](https://drive.google.com/file/d/1O4X9dtJ4hx-X_jnXFwFg5VsBDnNtG9ab/view)

Mattila, T.J. & Rajala, J. 2018. Miten vältän maan haitallisen tiivistymisen maatalousrenkaiden avulla? Raportteja 1752018. <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/232490/Raportteja175.pdf?sequence=1>

Paasonen-Kivekäs, M., Peltomaa, R., Vakkilainen, P. & Äijö, H. 2009. Maan vesi- ja ravinnetaalous. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino.

Palva, R. 2009. Lannan kuljetus ja levitys. Teoksessa R. Palva, S. Alasuutari & T. Harmoinen (toim.) Lannan käsittely ja käyttö. Tieto tuottamaan 128. Keuruu: Otavan kirjapaino, 71–81.

Pentti, S. 2017. Ensimmäinen Fendt 1050 Vario luovutettu Ylivieskassa. Urakointi uutiset 25.1.2017. Viitattu 7.11.2018, <https://www.urakointiuutiset.fi/uutiset/ensimmainen-fendt-1050-vario-luovutettu-ylivieskassa/>

Rajala, J. 2006. Maan viljavuus. Teoksessa Rajala, J. (toim.) Luonnonmukainen maatalous. Helsingin yliopisto Maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskus. Mikkeli: Teroprint, 51–102.

Räty, M., Järvenranta, K., Hartikainen, M. & Virkajärvi, P. 2018. Lietelannan sijoittamisen mahdolliset haitat. Muhkea maaperä - asiaa maan rakenteesta ja ravinteista 5.9.2018. Viitattu 12.12.2018, <http://www.opal.fi/wp-content/uploads/sites/3/2018/09/Lietelannan-sijoittamisen-mahdolliset-haitat-Muhkea-maapera.pdf>

Stettler, M., Keller, T., Weisskopf, P., Lamandé, M., Lassen, P. & Schjønning, P. 2014. Terranimo. Viitattu 5.11.2018, <https://www.terranimo.world/Landing.aspx>

Tilastokeskus 2012. Maa- ja metsätalousyritysten taloustilasto. Viitattu 31.10.2018, [http://www.stat.fi/til/mmtal/2012/mmtal\\_2012\\_2014-04-03\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/mmtal/2012/mmtal_2012_2014-04-03_tie_001_fi.html)

Tilastokeskus 2016. Maa- ja metsätalousyritysten taloustilasto. Viitattu 31.10.2018, [http://www.stat.fi/til/mmtal/2016/mmtal\\_2016\\_2018-03-21\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/mmtal/2016/mmtal_2016_2018-03-21_tie_001_fi.html)

Wells, L.G., Stombaugh, T.S. & Shearer, S.A. 2005. Crop yield response to precision deep tillage Transactions of the ASAE. 48 (3), 895-901.

Ylivakeri, M. 2015. Maatalouskoneiden tehontarve kasvanut hurjasti. Käytännön maamies 2/2015. Viitattu 7.11.2018, <http://kaytannonmaamies.fi/digilehti/022015/maatalouskoneiden-tehotarve-kasvanut-hurjasti>