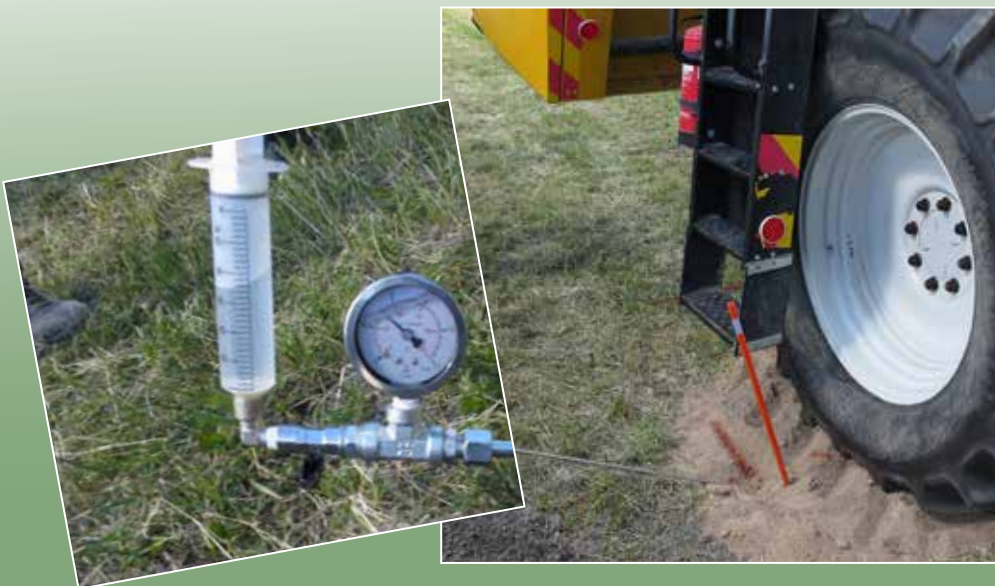




RAPORTTEJA 175

# MITEN VÄLTÄN MAAN HAITALLISEN TIIVISTYMISEN MAATALOUSRENKKAIDEN AVULLA?

TUOMAS J. MATTILA JA JUKKA RAJALA





# MITEN VÄLTÄN MAAN HAITALLISEN TIIVISTYMISEN MAATALOUSRENKaidEN AVULLA?

TUOMAS J. MATTILA JA JUKKA RAJALA



Euroopan maaseudun  
kehittämisen maatalousrahasto:  
Eurooppa investoi maaseutualueisiin



Elinkeino-, liikenne- ja  
ympäristökeskus

PRO  
Agria



HELSINGIN YLIOPISTO  
RURALIA-INSTITUUTTI

2018

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

Julkaisija Helsingin yliopisto  
Ruralia-instituutti  
[www.helsinki.fi/ruralia](http://www.helsinki.fi/ruralia)

Kampusranta 9 C  
60320 SEINÄJOKI

Lönnrotinkatu 7  
50100 MIKKELI

Sarja Raportteja 175

Kannen ja raportin  
kuvat

Jukka Rajala

ISBN 978-951-51-3750-0 (pdf)

ISSN 1796-0630 (pdf)

# ESIPUHE

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

Hyvän kuivatuksen lisäksi maan rakenne on keskeinen osa maan kasvukuntoa. Suomen maatalaji- ja ilmasto-olosuhteissa peltomaa tiivistyy helposti liikaa. Kiinnittämällä enemmän huomiota koneiden pyöräkuormiin ja rengaspaineisiin voidaan tiivistymisriskejä vähentää. Jotta päästään tarpeeksi alhaisiin rengaspaineisiin, renkaita on tarpeen vaihtaa paremmiksi. Mutta miten pienentää pyöräkuormia ja valita tilan olosuhteisiin sopivat renkaat, ovat kysymyksiä, joihin tässä raportissa paneudutaan.

Nyt julkaistava raportti on tuotettu osana *OSMO - Osaamista ja työkaluja resurssitehokkaaseen maan kasvukunnon hoitoon yhteistyöllä*-hanketta. Hankkeen tilatutkimusosiossa pyritään selvittämään monipuolisesti maan kasvukunnon tilaa kahdeksalla ongelmalohkolla Etelä-Pohjanmaalla, Satakunnassa ja Varsinais-Suomessa. Verranteina käytetään hyväkasvuisia lohkoja. Tarkoituksena on myös kehittää tilatasolle soveltuvia maan kasvukunnon analysointija havainnointimenetelmiä sekä selvittää millä toimenpiteillä ongelmalohkojen kasvukuntoa voidaan parantaa. Viljelijävalmennusten lisäksi hankkeessa tuotetaan työkaluja ja taustamateriaaleja kasvukunnon hoidon suunnitteluun. Nyt julkaistavaan raporttiin on koottu keskeiset asiat, joihin on syytä kiinnittää huomiota koneiden ja koneketjujen pyöräkuormia ja rengaspaineita tarkasteltaessa sekä parempien renkaiden hankintaa suunniteltaessa.

*OSMO - Osaamista ja työkaluja resurssitehokkaaseen maan kasvukunnon hoitoon yhteistyöllä*-hanketta toteuttavat Helsingin yliopiston Ruralia-instituutti, ProAgria Etelä-Pohjanmaa ja ProAgria Länsi-Suomi. Hanketta rahoittavat Varsinais-Suomen ELY-keskus Manner-Suomen maaseudun kehittämissohjelmasta 2014-2020, Vesiensuojelun ja ravinteiden kierrätyksen erillisrahoituksella, Eurofins Viljavuuspalvelu Oy, Soilfood Oy, Tyynelän Maanparannus Oy, Ecolan Oy, viljelijät sekä Luomusäätiö ja Rikalan Säätiö. Kiitämme rahoittajia tämän työn mahdollistamisesta.

Kiitämme professori Thomas Keller (SLU, Agroscope) maan tiivistymisluennoista ja niiden taustamateriaaleista sekä Bollingin maapaineen mittausturinin valmistusohjeista, maanviljelijä Timo Yli-Eskolaa Bollingin anturinin rakentamisesta ja mittausjärjestelyistä sekä Tuorlan koulutilaa ja opettaja Timo Teinilää ja tilanhoitaja Markku Heinoa Tuorlan koulutilan koneiden tiedoista ja mittauksen käytännön järjestelyistä. Raportin taitosta ja ulkoasusta kiitämme graafinen suunnittelija Jaana Huhtalaa.

Toivomme *Miten vältän maan haitallisen tiivistymisen maatalousrenkaiden avulla*-raportin palvelevan suomalaisia viljelijöitä maan rakenteen kannalta tarkoituksenmukaisempien pyöräkuormien suunnittelussa ja parempien renkaiden valinnassa kohtuullisten rengaspaineiden käytön mahdollistamiseksi.

Mikkelissä tammikuussa 2018

Tekijät



# SISÄLLYS

---

<b>TIIVISTELMÄ</b> .....	7
<b>ABSTRACT</b> .....	9
<b>1 JOHDANTO</b> .....	11
<b>2 MAAN TIIVISTYMISEN TEORIAA</b> .....	12
<b>3 RENGASKUORMIEN VÄHENTÄMINEN</b> .....	18
3.1 Koneketjun mitoitus.....	18
3.2 Koneiden tasapainotus ja hinattavien koneiden käyttö.....	19
3.3 Pyörien lisääminen .....	20
<b>4 RENGASPAINOIDEN SOVITTAMINEN KULLOISEENKIN TILANTEESEEN</b> .....	22
<b>5 RENKAIDEN PÄIVITYS MATALAPAINERENKAISIIN</b> .....	24
<b>6 RAIDEVILJELY VAIHTOEHTONA</b> .....	26
<b>7 KÄYTÄNNÖN TILAESIMERKKI RENKAIDEN PÄIVITYKSESTÄ</b> .....	28
7.1 Miten valita sopivat renkaat?.....	28
7.2 Esimerkki: Puimuriin paremmat renkaat .....	28
<b>8 JOHTOPÄÄTÖKSET</b> .....	39
<b>KIRJALLISUUS</b> .....	40





# TIIVISTELMÄ

Maan tiivistyminen on yleinen viljelymaiden ongelma. Entistä raskaammat maatalouskoneet lisäävät maaperän kuormitusta. Kun maaperä tiivistyy, sen irtotiheys kasvaa ja huokosten määrä vähenee, mikä heikentää maan vedenpidätyskykyä, vedenläpäisykykyä sekä kaasunvaihtoa. Tiivistymisen seurauksena juurten kasvu heikkenee ja ravinteiden otto vähenee. Satotasot jäävät vaatimattomiksi.

Maatalousrenkaat ovat kehittyneet viime vuosina. Oikein mitoitettujen ja valittujen maatalousrenkaiden avulla koneiden tiivistymisriskiä voidaan vähentää selvästi. Tärkeimmät tekijät tiivistymisriskien kannalta ovat rengaskuorma ja rengaspaine. Uudemmissa renkailla alhaisilla rengaspaineilla voidaan kantaa entistä suurempia kuormia. Tämä vähentää maan tiivistymisriskejä, mutta myös rengaskuormien pienentäminen voi olla kustannustehokas tapa vähentää tiivistymistä. Koneketjutar-kastelulla voidaan tunnistaa maan tiivistymisen kannalta oleellimmat koneet ja kohdentaa muutostokteet näihin. Viljelykiertoa monipuolistamalla voidaan vähentää tarvittavaa koneiden kokoa ja painoa.

Mikäli koneita ei voida työn sujuvuuden kannalta keventää tarpeeksi kevyiksi, rengaskuormia

voidaan vähentää lisäämällä pari- ja telipyöriä. Jotta rengaskuormien vähentämisestä saadaan etua, rengaspaineet tulee sopeuttaa työoloihin. Oikeiden rengaspaineiden käyttö eri tilanteissa helpottuu rengaspainetaulukon ja pikasäätoventtiilien avulla.

Renkaiden päivitys uudempiin, suuremman ilmatilavuuden tai suuremman joustavuuden renkai-siin voi mahdollistaa selvästi alemmat ilmanpaineet ja sitä kautta alhaisemman tiivistymisriskin. Renkaiden päivittäminen vaatii kuitenkin perehtymistä vaihtoehtoihin ja muutamiin keskeisiin teknisiin ominaisuuksiin (vierintäkehä, halkaisija, kuormitettu säde, kantavuus eri paineilla), joten siihen on hyvä varata aikaa ja ajatuksia. Uudet työkalut tiivistymisriskien arviointiin (Terranimo) helpottavat renkaiden valintaa ja vaikutusten arviointia huomattavasti. Kaikissa tilanteissa tyydyttävän alhaisiin tiivistymisriskeihin ei kuitenkaan päästä. Näissä tilanteissa raideviljely (controlled traffic farming) on lupaava keino tiivistymisen rajoittamiseksi vain osalle peltoa.

Raportissa kuvataan suunnittelumenetelmiä ja työkaluja, joiden avulla tiivistymisriskiä voidaan arvioida ja annetaan esimerkkejä tiivistymisriskien vähentämisestä käytännön tilatasolla.



# ABSTRACT

## HOW TO AVOID SOIL COMPACTION WITH BETTER TIRES?

Soil compaction is a common problem of agricultural soils. Machinery is heavier than before, which increases loads on soil. When soil is compacted, its bulk density is increased and pore space is reduced, which reduces key agricultural properties such as water holding capacity, water infiltration rate and gas exchange. As a consequence crops have weaker roots, resulting in lower nutrient uptake and weak yields.

Agricultural tires have developed considerably during the last years. Properly dimensioned tires can reduce soil compaction risks considerably. The main factors for soil risks are wheel load and tire pressure. New tires can carry larger loads with low tire pressures, which reduces soil compaction risks. However the possibilities of reducing wheel loads should not be ignored, as they may offer very cost effective solutions for reducing compaction. It is important to look at the whole equipment fleet, to identify the machines with the highest risks and focus the risk mitigation effort to those machines. A diversified crop rotation can offer possibilities for reducing the size and weight of equipment without losing timeliness.

If wheel loads cannot be reduced through resizing equipment, they can be reduced through addition of more wheels (dual and bogie wheels). Lower wheel loads allow reduced tire pressures, but the

pressures have to be adapted to working conditions. Using the right pressure for each situation is easier, if a table with the pressures for each operation is stored at the tractor and the tires are equipped with a low cost pressure adjustment valves (e.g. Air-booster kit).

Upgrading the tires to high flexion and large air volume tires (IF and VF-tires) can enable much lower tire pressures and therefore lower compaction risks. However upgrading tires requires a careful consideration of the technical properties (rolling circumference, diameter, loaded radius, bearing capacity at different pressures) of available alternatives. Finding an optimal tire for an individual farm requires time and thought. New tools such as Teranimo offer decision support for choosing tires and evaluating the effect of different tires to soil compaction.

There are situations, where compaction risks cannot be minimized through tires due to very high wheel loads. In these cases controlled traffic farming (CTF) can be used to limit the compaction into certain zones in the field.

This report describes planning methods and tools for evaluating soil compaction risks. In addition farm level examples are given on compaction reduction through better farm tires.



# 1 JOHDANTO

Maan tiivistyminen on yleistyvää ongelma, joka on sidoksissa maatalouskoneiden kasvuun sekä maan heikentyneeseen kuormituskestävyyteen. Tiivistyneessä maassa huokostilavuus on alentunut ja maan kyky johtaa vettä ja kaasuja on heikentynyt. Lisäksi tiivistyneen maan muokkaaminen mekaanisesti tai juurten avulla kuluttaa enemmän energiaa kuin hyvärakenteisen maan. Haittojen yhteisvaikutuksena tiivistyminen aiheuttaa yleensä noin 20-30% sadon alentuman välittömästi tiivistymisen jälkeen ja noin 5% sadonalentuman pidemmällä aikavälillä (Etana and Håkansson, 1994; Horn, 2000). Yksittäisen tiivistävän ajokerran vaikutukset ovat mitattavissa pohjamaassa vielä useita vuosia tai vuosikymmeniä tiivistymisen jälkeen (Alakukku and Elonen, 1995; Berisso et al., 2013). Tiivistymisen ongelmia voidaan korjata jossain määrin syväjuuristen kasvien ja syväkuohkeutuksen avulla, mutta useimmiten järkevämpää on ennaltaehkäistä ongelman muuttuminen vakavammaksi. Myös tutkimuksissa tiivistymisen välttäminen on todettu huomattavasti kustannustehokkaammaksi kuin ongelmien korjaaminen jälkikäteen (Chamen et al., 2015).

Tiivistymisen ehkäisemisen kannalta edistystä on tapahtunut sekä paremmassa ymmärryksessä maan tiivistymisen mekanismeista että käytännön rengastekniikassa (Schjønning et al., 2015). Nykyisillä maatalouskoneenrenkailla voidaan kantaa suuria kuormia alhaisilla pintapaineilla, mikä pienentää maan tiivistymisriskejä merkittävästi. Sopivan alhaisilla rengaspaineilla saavutetaan myös muita hyötyjä: luisto pienenee, työsaavutus kasvaa ja polttoainetehokkuus paranee (Šmerda and Čupera, 2010). Oikein toteutettuna maatalouskoneiden rengastuksen päivittäminen maan rakennetta säästäviksi voi olla erittäin kannattava investointi.

Maatalousrenkaiden päivittäminen käytännön koneketjuun ei ole mitenkään yksinkertaista. Pellolla liikutaan tyyppillisesti useilla erilaisilla koneyhdistelmillä. Jotta tiivistymisriskit saadaan minimoitua, olisi ensiksi tunnistettava ne työvaiheet, jotka aiheuttavat suurimman riskin. Sen jälkeen rengaskuormat ja pintapaineet tulisi laskea tasolle, jossa haitallista tiivistymistä ei tapahdu. Lisäksi päivityksen aikana on huolehdittava siitä, että uudet renkaat sopivat käytettäviksi vanhempien renkaiden kanssa (paripyörien painuma, etu- ja takapyörien välityssuhteet). Joissain tapauksissa pelkällä renkaiden päivittämisellä ei päästä parhaaseen lopputulokseen tiivistymisen kannalta. Tällöin on mietittävä vaihtoehtoisia strategioita. Viljelykiertoa monipuolistamalla saadaan kriittisiin kylvö- ja sadonkorjuuaikoihin lisää aikaa, jolloin voidaan käyttää kevyempää kalustoa. Toinen vaihtoehto on siirtää raskain kalusto (puimuri, lannanlevitys ja vaunut) kiinteille ajourille (*controlled traffic farming*, CTF) ja käyttää kaikissa koneissa yhteensopivia työlevyksiä.

Keinoja tiivistymisriskien kustannustehokkaaseen minimointiin on käytettävissä, mutta paljonko muutoksia tarvitaan kullakin tilalla? Mikä on eri koneiden aiheuttama tiivistymisriski? Mikä tiivistymisriski on hyväksyttävissä? Ja miten renkaiden päivittäminen kannattaa toteuttaa? Tämän raportin tarkoituksena on toimia tiiviinä oppaana maan tiivistymisen ehkäisemisestä. Pääpaino on sopivien maatalousrenkaiden valinnassa, mutta lisäksi oppaassa käsitellään nykykäsitystä maan tiivistymisen mekanismeista sekä esitellään koneketjukohtainen tarkastelutapa tiivistymisen ehkäisemiseen.

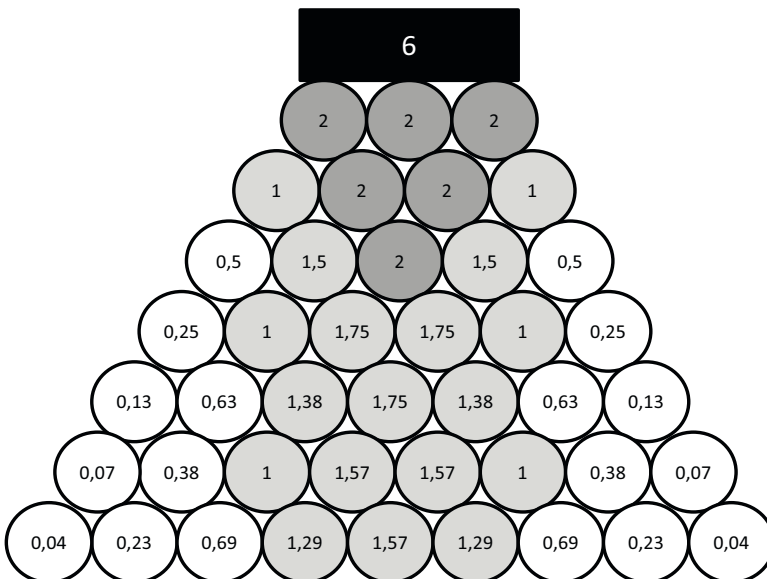
## 2 MAAN TIIVISTYMISEN TEORIAA

Periaatteessa maan tiivistyminen tarkoittaa maan painumista kokoon ulkoisen kuorman vaikutuksesta. Maan tilavuus pienenee, maapartikkelit painuvat tiiviimmin toisiaan vasten ja maan huokostilavuus vähenee. Käytännössä maatalousmaiden tiivistymiseen sisällytetään myös hiertymisen aiheuttama rakenteen heikkeneminen, suurten murujen rikkoutuminen ja huokosten jatkuvuuden katoaminen (Keller, 2004). Tiivistymisriskien ja tiivistymisen haittojen ymmärtämisen kannalta on hyödyllistä perehtyä hieman siihen, miten kuormitus jakautuu maassa, ja kuinka paljon kuormitusta maa sietää.

Maaperän kantokyvyn ja kuormituksen jakautumisen tutkimus ei ole mitenkään uutta. Ranskalainen matemaatikko Boussinesq esitti 1885 keinon laskea kuormituksen jakautumista, joka on edelleen käyttökelpoinen tapa ilmiön ymmärtämiseen (Arvidsson and Keller, 2007) (Kuva 1). Boussinesqin menetelmässä maaperän ajatellaan koostuvan ympyrämäisistä, tiiviisti pakkautuneista palloista. Maan pinnalla oleva kuorma jakautuu kosketuspinnan mukaan pinnan pallojen kantamiksi. Näiden alapuoliset pallot kantavat puolestaan yläpuolisten

pallojen kokeman kuorman. Mitä syvemmälle maaprofilissa siirrytään, sitä laajemmalle kuorma jakautuu ja sitä alempi keskimääräinen paine maassa on. Painevaikutus vaimenee kuitenkin paljon hitaammin suoraan kuorman alapuolella. Mitä suurempi kuormitus on, sitä syvemmälle painevaikutus ulottuu. Toisaalta mitä laajemmalle kuormitus voidaan jakaa, sitä pienempiä paineita maaprofilissa on. (Yksinkertaisen mallin avulla voidaan myös todeta, että mikäli kuormitus kaksinkertaistuu, tarvitaan nelinkertainen kantopinta-ala pitämään maaperän paineet samoina kuin ennen kuormituksen lisäämistä.)

Todellisuudessa maaperä ei koostu samankokoisista, tiiviisti pakatuista palloista, vaan se sisältää erikokoisia maahiukkasia, muruja ja näiden väliin jääviä huokosia. Tämä tarkoittaa valitettavasti sitä, että kuormitus ei jakaudu tasaisesti maassa. Huokosten vieressä olevilta maahiukkasilta puuttuu sivusuuntainen tuki, ja suurella maahiukkasella on vain vähän kosketuspintoja naapurihiukkasiinsa. Kun tällaista monimutkaisempaa maaperää kuormitetaan, se alkaa painua kokoon ja suurem-



**Kuva 1.**

Kuormitus jakautuu maassa maahiukkasten kosketuspintojen avulla. Boussinesqin mallissa kunkin ympyrän kokema kuormitus on keskiarvo sen yläpuolella olevien ympyröiden kuormituksesta. Mitä suurempi kuormitus ja mitä pienemmällä alueella, sitä syvemmälle se ulottuu maassa.

mat maahiukkaset (murut) hajoavat pienemmiksi. Kokoonpainumisen seurauksena maahiukkasten kosketuspintojen määrä lisääntyy ja maan kantavuus kasvaa. Kokoonpainuminen jatkuu, kunnes maaperä on painunut tarpeeksi kantaakseen uuden lisääntyneen kuorman. Kun kuorma on poistunut, maaperä palautuu vain osittain. (Hartge and Horn, 2016) Maalla voidaan ajatella olevan muisti: sen tiivys kuvaa suurinta kuormitusta jota maahan on kohdistunut. Toisaalta, jos maata kuohkeutetaan muokkaamalla, se palautuu ajan mittaan tiiveyteen, joka vastaa sen kokemaa kuormitusta.

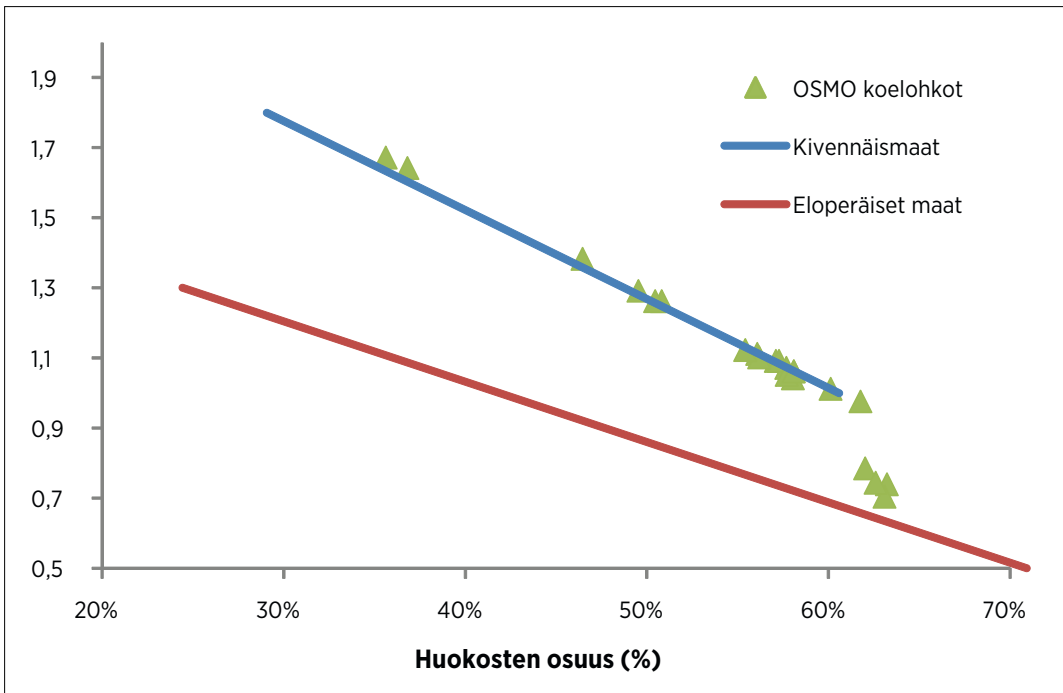
Maatalouskoneiden aiheuttaman kuormituksen voidaan ajatella koostuvan kolmesta osasta: pystykuormasta (*vertical stress*), kohtisuorasta kuormasta (*normal stress*) ja leikkaavista voimista (*shear stress*) (Keller et al., 2016). Koneiden paino aiheuttaa maahan pystykuorman, joka jakautuu maaprofiiliin. Pystykuorman lisäksi painon jakautuminen aiheuttaa paineen, joka kohdistuu maapartikkeleihin myös sivusuunnassa. Näiden lisäksi kuormitus voi aiheuttaa maahan hiertäviä voimia. Etenkin leikkaavat ja hiertävät voimat ovat haitallisia, sillä ne saattavat heikentää huokosten jatkuvuutta, eli vaikka huokostilavuus pysyisi samana, juurien, kaasujen ja maaeliöiden kyky liikkua maassa heikkenee. Kuormitusta voidaan mitata erilaisilla antureilla. Arvidssonin anturi on pystysuuntainen vaaka-anturi, joka asennetaan maakuopan sivuun ja joka mittaa pystysuuntaisia voimia maassa. Bollingin anturi taas on elastinen letku, joka

porataan vinottain maahan ja se mittaa maassa vallitsevaa painetta myös sivusuunnissa (Keller et al., 2016). Kun maatalouskone ajetaan anturin yli, anturin avulla voidaan lukea maahan muodostunut painepulssi. Mikäli painelukema ei palaudu yliajon jälkeen, maassa on tapahtunut muodonmuutoksia eli tiivistymistä. Mittausjärjestely ja anturin rakenne on esitetty kuvassa 2.

Maan tiivistymistä voidaan mitata yksinkertaisesti irtotiheyden avulla. Maan painuessa kokoon sen huokostilavuus pienenee ja kosketuspintojen määrä hiukkasten välillä kasvaa. Teoriassa täysin tiiviissä ja samankokoisista palloista koostuvassa ”maaperässä” huokosia olisi vain 26 % kokonaistilavuudesta (Hartge ja Horn, 2016). Jos oletetaan, että maahiukkaset olisivat kvartsikiveä (tiheys 2,65 kg/l) ja ilman tiheys (0,001 kg/l) jätetään laskuissa huomiotta, tällaisen tiiviin maan irtotiheys olisi  $(1-0,26) \cdot 2,65 \text{ kg/l} = 1,96 \text{ kg/l}$ . Yleisesti suositellaan, että hyvärakenteisessa maassa olisi puolet huokosia. Tällaisen maan irtotiheys olisi teoriassa noin  $(1-0,5) \cdot 2,65 \text{ kg/l} = 1,3 \text{ kg/l}$ . Maan irtotiheyttä voidaankin käyttää kuvaamaan maan rakennetta, mutta maalaji ja multavuus on otettava huomioon (Keller ja Håkansson, 2010; Naderi-Boldaji ja Keller, 2016). Hietamaille suositellaan irtotiheydeksi alle 1,6 kg/l, hiesuille alle 1,4 kg/l ja saville alle 1,1 kg/l. OSMO hankkeen koelohkoilta määritetyt irtotiheydet ja näiden multavuuden perusteella lasketut huokososuudet on esitetty kuvassa 3.



**Kuva 2.** Bollingin letkuanturin rakenne ja mittausjärjestely. Putken päähän kiinnitetään silikoniletku, joka tulpataan. Maahan porataan reikä vinottain tavoitesyvyyteen ja letku sijoitetaan reikään. Letkuun painetaan espaine lääkeruis-  
kun avulla, minkä jälkeen hana suljetaan. Maan letkuun kohdistama paine voidaan lukea painemittarista.



**Kuva 3.** Maan irtotiheyden ja huokososuuden suhde sekä OSMO-hankkeen koelohkoilta määritetyt maan irtotiheydet sekä multavuuden avulla arvioidut huokostilavuudet.

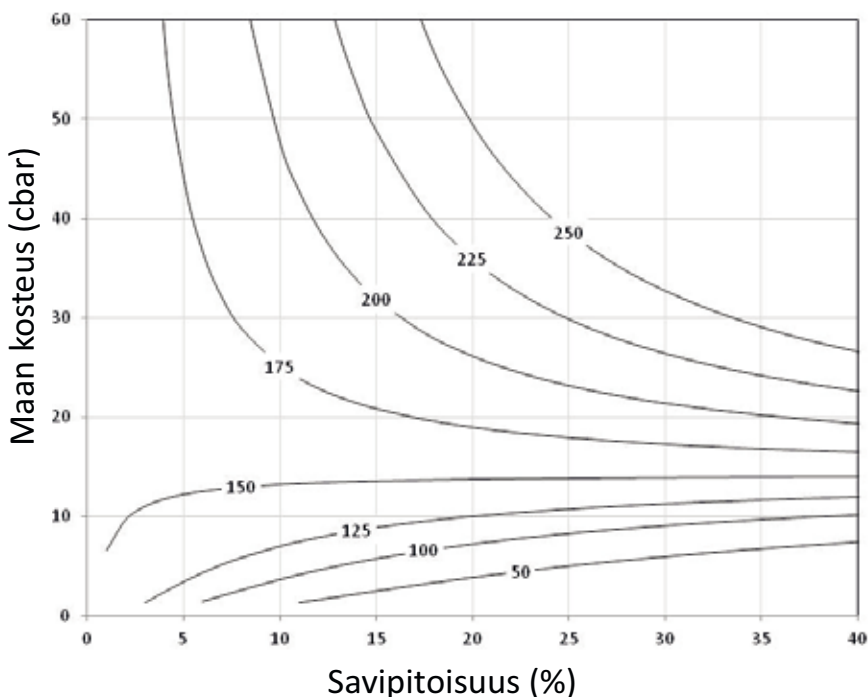
Suurempi irtotiheys tarkoittaa samalla pienempää määrää ilmaa maassa. Tiivistyneessä maassa vedenjohtokyky laskee ja happitilanne heikenee (Berisso et al., 2013; Hartge and Horn, 2016). Heikentynyt vesi- ja happitilanne vähentää maan biologista aktiivisuutta ja haittaa maaperäeliöiden toimintaa (Weisskopf et al., 2010). Lisäksi kasvien juurten kasvu tiiviissä maassa vaatii enemmän energiaa, joten kasvien juuristot jäävät pienemmiksi ja haarovat vähemmän (Bengough et al., 2000; Colombi et al., 2017). Tiivistymisen haittojen yhteisvaikutuksena kasvien kasvu on tiiviissä maassa heikompaa ja ravinteiden otto vähäisempää (Alakukku and Elonon, 1995). Tiivistymisen haittoja voidaan kompensoida lisäämällä maan ravinnepitoisuuksia, mutta tämä heikentää maatalouden kannattavuutta ja lisää ympäristöhaittoja.

Maan kykyä vastustaa tiivistymistä voidaan kuvata sen esikuormitusjännityksen avulla. Esikuormitusjännitys kuvaa kuormitusrajaa, jonka ylityksen jälkeen maassa tapahtuu pysyviä muodonmuutoksia. Mitä tiiviimpää maa on (ts. maa on jo tiivistetty, suuri esikuormitus), sitä suurempi kuormitus tarvitaan sen tiivistämiseksi edelleen. Toisaalta, mitä löyhempää maa on, sitä pienempi kuormitus tarvitaan maan tiivistämiseen. Muokattu tai syväkuohkeutettu maa on herkkää tiivistymään

uudelleen ja siinä myös tiivistävä vaikutus ylettyä syvemmälle maaprofilissa kuin muokkaamattomassa maassa. Teoriassa jos maata kuormitetaan alemmalla paineella kuin sen esikuormitusjännitys, maassa ei pitäisi tapahtua haitallista tiivistymistä. Käytännössä on kuitenkin todettu, että tiivistymistä tapahtuu jo huomattavasti alle esikuormitusrajan, jo noin 50-80% tasolla esikuormitusrajasta (Keller, 2004).

Maan lujuus (esikuormitusjännitys) riippuu maalajin lisäksi maan kosteudesta (Kuva 4). Suurin kantokyky on savimailla ja alhaisin hiet- ja multailla. Toisaalta maan kosteus vaikuttaa kantavuuteen siten, että kosteilla savimailla on alhaisempi kuormituskestävyys (100 kPa) kuin kosteilla hietamailla (150 kPa). Pellon kuivuessa tilanne kääntyy päinvastaiseksi ja kuivat savimaat kestävät suurempaa kuormitusta (>250 kPa) kuin kuivat hietamaat (<175 kPa). Mikäli maan tiivistymiskirirajana pidetään noin puolta esikuormitusjännityksestä (Terranimo malli), kosteat savimaat kestävivät 0,5 bar paineen ja kosteat hietamaat 0,75 bar paineen. Kuivissa oloissa paineet voivat olla 1,25 bar savimailla ja noin 0,85 bar hietamailla. Käytännössä on todettu, että paineen ollessa alle 0,5 bar, maan tiivistymistä ei tapahdu maan ollessa kostea (Keller, 2004). Märissä oloissa (ts. pelto märepää kuin





**Kuva 4.** Maan kuormituskestävyys (*precompression stress*, esikuormitusjännitys) eri maalajeilla ja kosteuksilla (Schjonning, Terranimo mallin dokumentaatio). 10 cbar = kostea, kenttäkapasiteetti. 50 cbar = kuiva maa.

kenttäkapasiteetissä, maa ei enää muokkautuvaa) pelloilla liikuttaessa paineiden pitäisi olla vielä tätä selvästi alempia, savimailla jopa 0,25 bar.

Tehokkain tapa parantaa maan tiivistymiskestävyyttä on varmistaa pellon tasainen ja nopea kuivuminen. Toimiva ja riittävä ojitus varmistaa pellon tasaisen kuivumisen. Toisaalta kuivumista voi nopeuttaa kasvien haihdutuksen avulla, esimerkiksi keväällä kasvava ruiskasvusto kuivattaa maata nopeasti verrattuna paljaaseen maahan. Maalajeista ja kosteudesta riippumatta maan kuormituskestävyyttä voidaan lisätä keventämällä muokkausta ja lisäämällä juuriston määrää maassa (Taulukko 1). Muokattu maa on erityisen herkkää tiivistymiselle ja lisäksi sen kantavuus on alhainen, joten tiivistävä vaikutus ulottuu syvemmälle kuin muokkamattomassa maassa. Maan kuormituskestävyyden kannalta ihanteellinen maaprofiili olisi luontaisen tiivis, mutta huokoinen, jolloin veden ja ilman liikkuminen maaprofilissa sekä juurten hyvä kasvu olisi turvattu, mutta maaperä kestäisi kohtalaisen ajoliikenteen.

Vaikka kuormituksen suuruus suhteessa maan kuormituskestävyyteen on merkittävin tekijä maan tiivistymisessä, myös ajokertoilla on väliä. Tiivistävä ajo vaurioittaa maan rakennetta ja heikentää sen kuormituskestävyttä, mikä altistaa maan vaka-

**Taulukko 1.** Maan tiivistymisherkyys eri muokkausjärjestelmissä (Reeder: Ohio State).

Maan kyky vastustaa tiivistymistä suurimmasta alhaisimpaan
Suorakylvö, kerääjäkasvit ja pysyvät ajourat
Suorakylvö ja kerääjäkasvit
Suorakylvö ja paljon kasvijätettä
Suorakylvö ja vähän kasvijätettä
Suorakylvön ja matalamuokkauksen vuorottelu
Matalamuokkaus
Kaistamuokkaus
Syväkuohkeutus kaistoissa
Kynnetty tai kultivoitu
Läpikotainen syväkuohkeutus ja pintamuokkaus

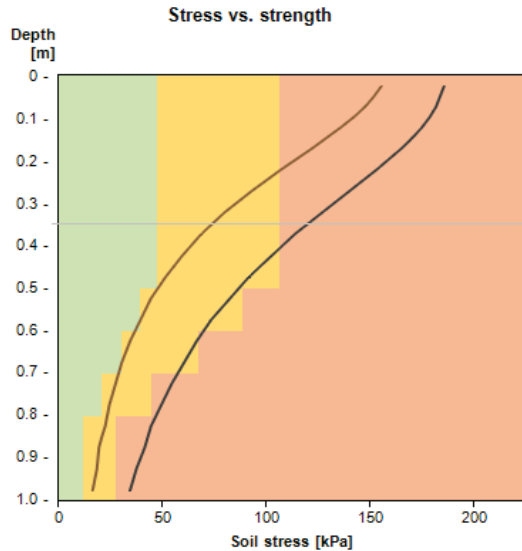
vampaan ja syvempään tiivistymiseen (Schjonning et al., 2016). 1980-luvulla tehdyissä kokeissa ensimmäinen tiivistävä ajokerta vähentää satoa noin 10 %. Tämän jälkeen toistuvat ajokerrat vähentävät satoa enää 3 %. (Håkansson et al., 1987). Huomiota tässä lasketavassa on se, että ajokerrat on laskettu renkaiden perusteella, joten esimerkiksi takapyöräkylvössä ajokertoja samalle uralle tulee kolme. Sadonmenetykset olisivat tällöin 10 % + 3 % + 3 %

= 16 %. Koska ensimmäinen ajokerta vähentää sätotasoja eniten, on mielekästä keskittää raskaimmat ajot samoille urille. Toisaalta, mikäli tiivistyminen on lievää ja halutaan mahdollisimman tasainen kasvusto, renkaat olisi hyvä pitää eri ajourilla ja pyrkiä ajamaan kustakin kohdasta vain kerran. Ruotsissa 1980-1990-luvuilla tehtyjen tutkimusten perusteella koko peltoala tulee ajettua kevättöissä useampaan kertaan (Håkansson, 2005). Ajokertojen vähentäminen ja raskaiden kuormien ohjaaminen pysyville ajourille vähentävät tiivistymisen haittoja selvästi. Suurissa lantakärryissä ja itsekulkevissa lietteenlevittimissä pyritään ns. rapuohjauksella vähentämään tiivistymisen haittoja. Tällöin kukin rengas kulkee omaa uraansa ja perättäisiä ajokertoja ei tule yhdellä ajokerralla useampia (Schjønning et al., 2016).

Laskelmien pohjalta on tehty erilaisia suosituksia maan tiivistymisen ehkäisemiseksi. Yksinkertaisimmat suositukset ovat pohjautuneet akselipainoon, esimerkiksi akselipainojen rajoittamiseen 6 tonniin (Håkansson et al., 1987). Toisaalta mittauksen perusteella korkean akselipainon haittoja voidaan vähentää lisäämällä akselille renkaita, joten akselipainoon perustuvat suositukset eivät ole kattavia (Keller, 2004). Monimutkaisemmat säännöt pohjautuvat maaperän kantokykyyn. Esimerkiksi (Schjønning et al., 2012) suosittelivat 50-50 sääntöä, eli paine maassa ei saisi ylittää 50 kPa yli 50 cm syvyydessä. Samassa tutkimuksessa yksinkertaistettiin tonnin kasvun rengaspainossa vastaavan rengaspaineen tuplaamista (painevaikutus syvenee kummassakin tapauksessa 8 cm). Maan kyky sietää tiivistymistä riippuu kuitenkin kosteudesta, joten paino- ja painerajoitusten tulisi vastata maan olosuhteita ja maalajeja. Sveitsiläisille pelloille laskettujen kuormituskestävyyksien perusteella rengaskuormat saisivat olla kasvukauden eri vaiheissa korkeintaan 3-5 tonnia, olettaen että renkaissa käytetään alimpia mahdollisia paineita (Chervet et al., 2016; Gut et al., 2015). Matalapainerenkailla voidaan käyttää 0,5-1 tonnia korkeampia rengaskuormia kuin normaaleilla renkailla (Chervet et al., 2016; Gut et al., 2015). Laskelma perustuu tiivistymisriskiin 35 cm syvyydessä, joten mikäli halutaan välttää tiivistymistä ruokamultakerroksessa, rengaskuormien on oltava selvästi tätä alempia ja rengaspaineiden alimpia mahdollisia. Ajokertojen vaikutusta tutkittaessa todettiin, että mikäli ajokertoja samoissa urissa tulee useampia, rengaskuormat pitäisi rajoittaa 3 tonniin, mutta eri urissa kulkevilla koneilla suuremmatkaan kuormat eivät välttämättä aiheuta vaurioita (Schjønning et al., 2016).

Karkeiden rengaskuormasuositusten lisäksi maan tiivistymisriskiä voidaan tarkastella simu-

laatioiden avulla. Terranimo – työkalu (<http://www.terranimo.world>) yhdistää malleja renkaan ominaisuuksista, kosketuspinnosta, maan pintapaineesta, kuormituksen jakautumisesta maassa sekä maan kosteuden ja savipitoisuuden vaikutuksista maan kuormituskestävyyteen. Mallin avulla voidaan laskea, mihin syvyyteen saakka aiheutetaan tiivistymisriskejä, kun tiedetään maan ominaisuudet ja käytetty kone sekä rengastus (Kuva 5).



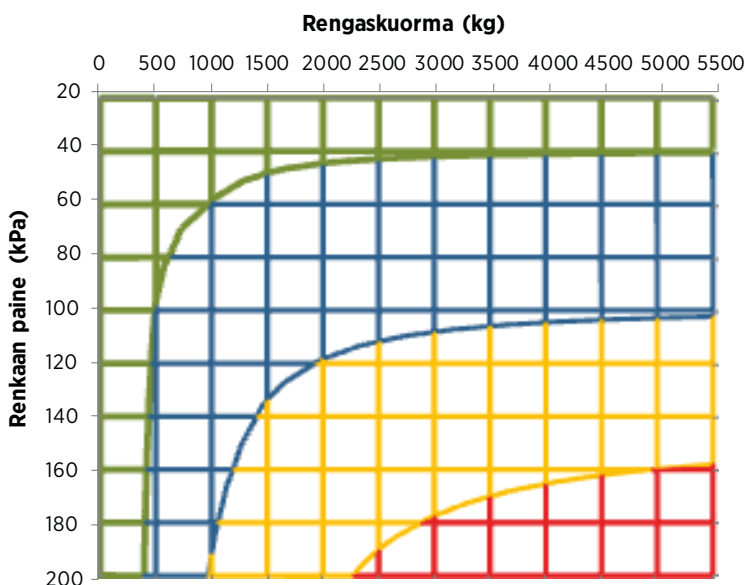
**Kuva 5.** Terranimo-mallin avulla voidaan arvioida maahan kohdistuva kuormitus ja maaperän kyky sietää kuormitusta. Esimerkkitulosteessa on arvioitu 13 tonnia painavan leikkuupuimurin maahan aiheuttama kuormitus 620/75R30 renkailla etuakselilla ja 440/65R24 renkailla taka-akselilla ajettaessa kostealla savimaalla. Värit kuvaavat maan kuormituskansietokykyä eri syvyyksillä. Tulosten perusteella tiivistymisriski on huomattava metrin syvyyteen saakka.

Terranimo -malli on käyttökelpoinen, mikäli halutaan arvioida renkaiden päivityksen mahdollisuuksia vähentää maan tiivistymisriskejä. Tilatasolla Terranimon käyttäminen jokaiselle työkonelle on kuitenkin työlästä ja hidasta. Yleiskuvan muodostamista varten voidaan tehdä yksinkertaistettu kaavio Terranimo-laskelmien pohjalta. Suomalaisissa kevättöissä voidaan vakioida maan olosuhteet (melko korkea savipitoisuus, maaperä kostea). Jos lisäksi kiinnitetään huomiota vain kyntökerroksen ja sen alapuolisen kerroksen rajapintaan, voidaan jättää huomiotta syvyyssuuntainen vaihtelu. Tällöin Terranimo -laskelmien pohjalta saadaan oheinen käyrästä (Kuva 6), jonka avulla voi arvioida eri rengaskuormien ja -paineiden vaikutusta

maan tiivistymisriskeihin. Tavoitteena käyrästä tulisi olla se, että tiivistymisriskejä ei ole kosteissa oloissa liikuttaessa 22 cm syvyydessä. Tällöin niitä ei ole myöskään syvemmällä maassa. Yksinkertaistettu kaavio (Kuva 6) ei huomioi eri renkaiden

pintapainetta, joten sen avulla ei voi varmistua tiivistymisriskittömyydestä. Tarkempiin laskelmiin kannattaa käyttää Terranimo-työkalua tai arvioida maan tiivistymisriskit tarkastelemalla maaprofilia työkoneen pyöränjäljissä.

## Tiivistymisriski 22 cm



**Kuva 6.** Tiivistymisriskit 22 cm syvyydessä. Värit: vihreä= alle 50 kPa paine alhainen riski kostealla pellolla, sininen = alle 100 kPa tiivistymisriski kostealla pellolla, keltainen = käyttö vain rutikuivissa oloissa, punainen = voimakas tiivistymisriski jopa kuivissa oloissa. (100 kPa=1bar)

## 3 RENGASKUORMIEN VÄHENTÄMINEN

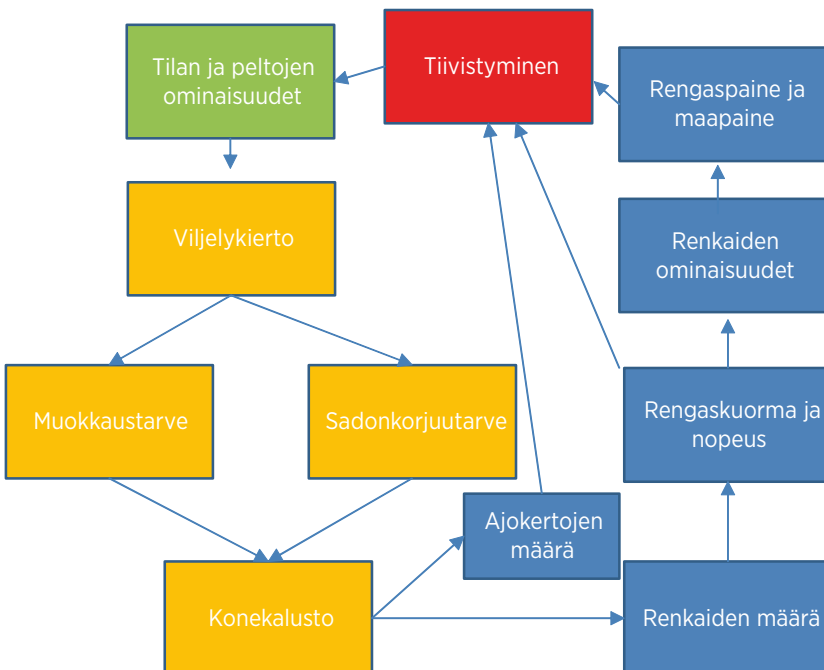
Jotta maan tiivistymistä voidaan ehkäistä, rengaspaineiden on oltava riittävän alhaisia ja rengaskuormien kohtuullisia. Mitä alhaisemmiksi rengaskuormat saadaan, sitä edullisimmilla renkailla päästään tiivistymisen kannalta riittävän alhaisiin rengaspaineisiin. Rengaskuormien pienentämistä kannattaa ajatella kokonaisuutena, jossa rengaskuormiin vaikuttaa varsinaisen rengastuksen lisäksi myös konekaluston tarve ja koko, viljelykierto ja tilan peltojen ominaisuudet (Kuva 7).

### 3.1 KONEKETJUN MITOITUS

Tilalla tarvittavan koneketjun mitoitus perustuu ajatukseen siitä, että tarvittavat työt saadaan tehtyä oikeaan aikaan. Se, mitä tämä tarkoittaa käytännössä riippuu tilan olosuhteista ja viljelykierrasta. Suuruusluokkaan pääsee kun arvioi peltohehtaarien määrän, hehtaarilla tehtävät toimenpiteet ja käytävissä olevan ajan. Esimerkiksi jos 100 hehtaarin

tilalla viljellään lähinnä kevätiljoja, peltoa äestetään kahdesti ennen kylvöä ja kylvötöihin on käytettävissä viikko, koneketjun on käsiteltävä 3 ajokertaa  $\times 100 \text{ ha} = 300 \text{ ha}$  viikossa, eli noin 7,5 ha tunnissa (40 tunnin työviikko). Tähän tarvitaan joko huomattavan tehokas traktori tai kaksi erillistä konetta, jotka käsittelevät 3,75 ha tunnissa. Toisaalta, mikäli viljelykierron avulla kevätkylvettävä ala saadaan vähennettyä esimerkiksi 40 % alasta ja kylvöaikaa saadaan jaksotettua kahteen viikkoon, pärjättäisiin teoriassa viisi kertaa hitaammalla (ja kevyemmällä) koneketjulla. Ajokertojen vähentämisellä saadaan samanlaisia vaikutuksia. Kotieläintiloilla ja sivutoimisilla viljelijöillä viikkotyöaika on käytettävissä peltoviljelyyn vähemmän kuin 40 tuntia, joten tämä johtaa suurempaan koneketjuun.

Viljelyn kiireellisin ja raskain työvaihe määrittää usein traktorin koon. Maan rakenne ja maalajit vaikuttavat kuitenkin huomattavasti tarvittavien koneiden tehoon. Esimerkiksi kynnetäessä nelisipisillä auroilla 20 cm syvyyteen (muokkausprofiilin



**Kuva 7.** Maan tiivistymisen ehkäiseminen viljelysuunnittelun näkökulmasta.

pinta-ala  $0,32 \text{ m}^2$ ), heikkorakenteisella tiiviillä savimaalla (ominaisvastus  $150 \text{ kN/m}^2$ ) kohtuullisella nopeudella ( $6 \text{ km/h}$ ,  $1,7 \text{ m/s}$ ) tarvitaan melko kookas traktori (lähtötiedot (Ahokas, 2013)):

Traktoriteho (kW) =  $0,32 \text{ m}^2 \times 150 \text{ kN/m}^2 \times 1,7 \text{ m/s}$  :  
65% vetohyötysuhde : 80% voimansiirron hyötysuhde =  $157 \text{ kW}$  (210 hv)

Jos raskaassa vetotyössä tarvitaan  $65 \text{ kg/kW}$ , tarvittava  $157 \text{ kW}$  traktori painaa  $10\ 200 \text{ kg}$ . Koska traktoreita ei yleensä haluta kuormittaa maksimaalisesti jatkuvasti, traktorit mitoitetaan siten, että tavoitetyökuorma saavutetaan jo 80 % moottoriteholta, joten käytännössä tarvittava traktori olisi noin  $200 \text{ kW}$ . Esimerkki on ehkä äärimmäinen, sillä  $150 \text{ kN/m}^2$  vastus vaatii tiiviin ja kuivan maan. Hyvä-rakenteisessa maassa tai kevyemmällä maalajeilla (vastus  $50 \text{ kN/m}^2$ ) samaan työsaavutukseen voidaan päästä kolme kertaa kevyemmällä traktorilla ( $88 \text{ hv}$ ,  $4200 \text{ kg}$ ) heikkorakenteiseen raskaaseen savimaahan verrattuna. Muokkaussyvyttä mataltamalla tai kaistamuokkauksella pärjätään vielä pienemmällä koneistuksella.

Koneketjun mitoituksen tekee haastavaksi se, että mikäli raskaassa vetotyössä tarvittavalle traktorille hankitaan sitä vastaava työkonenä esimerkiksi äestykseen, työkonenä on tarpeettoman suuri tarpeeseen nähden. Esimerkin kyntötraktori vetäisi noin kymmenmetristä äestä ( $10\text{-}20 \text{ kW/m}$ , (Ahokas, 2013)), jolla äestäisi helposti  $50$  hehtaaria päivässä. Toisaalta, jos suurelle traktorille hankitaan vain kapea äes, joka on kuitenkin riittävä kevättöiden kannalta, traktori on tarpeettoman suuri äkeeseen nähden ja tiivistävä vaikutus kohdistuu isolle alalle peltoa. Jos peltotöiden raskaimpien koneiden työvaiheita voidaan keventää tai niille varattavaa aikaa pidentää, pärjätään pienemmällä traktorilla.

Traktorien välillä on myös huomattavia eroja tehon ja painon suhteessa (noin  $30\text{-}70 \text{ kg/kW}$ , Käytännön Maamies, traktorivertailu). Valitsemalla traktorin, jossa on ”kevyitä hevosia” voidaan lisäpainoja käyttää tarpeen mukaan, mutta suurin osa peltotöistä päästään tekemään mahdollisimman kevyellä kalustolla.

Viljatiloilta toinen keskeinen mitoistustekijä on sadonkorjuukaluston mitoitus. Saksalaisissa oppaissa neuvotaan mitoittamaan puimuri korjattavan sadon ja käytettävissä olevan ajan perusteella (Feiffer et al., 2005). Lisäksi neuvotaan huomioimaan, että vain tietty osuus korjuuajasta on käytettävissä puintiin (esimerkiksi  $6\text{-}10$  tuntia päivässä,  $50\%$  päivistä soveltuu puintiin). Tällä menetelmällä saa hahmotettua tarvittavan päiväkapasiteetin puintiin ja toisaalta puimurilta vaaditun tuntikapa-

siteitin. Viljelykiertoa monipuolistamalla voidaan vähentää jälleen työhuippuja ja tulla toimeen kevyemmällä puimurilla. Esimerkiksi mikäli korjattavana on  $100 \text{ ha}$  kevätiljoja, jotka pitää korjata kahden viikon aikana ja vain kolmasosan päivistä voi olettaa puintipäiviksi, tarvitaan  $4,5 \text{ t/ha}$  keskisadolla  $450 \text{ t} : 14 \text{ pv} : 1/3 = 96$  tonnin päiväkapasiteetti. Jos puintitunteja on kahdeksan, tuntitehoksi tarvitaan  $12 \text{ t/h}$  ja kun huomioidaan että päisteisiin ja tyhjennykseen menee noin kolmasosa ajasta, puimurin tehotarpeeksi saadaan  $17 \text{ t/h}$ . Jos puimurilla ajetaan yleensä  $8 \text{ km/h}$ , keskimääräisellä satotasolla tarvitaan tämän tehon saavuttamiseksi  $3,8 \text{ ha/h}$  teho ja vähintään  $4,8$  metrin pöytä. (Nykykaisten suurtehopuimureiden kapasiteetin (yli  $30 \text{ t/h}$ ) saavuttamiseen tarvittaisiin määritellyllä satotasolla jo yli  $8$  metrin leikkuupöytä.)

Jos viljelykiertoa monipuolistamalla puitava määrä laskee esimerkiksi  $300$  tonniin ja mahdollinen puintisesonki pitenee seitsemään viikkoon, keskimääräinen tarvittava päiväkapasiteetti laskee  $18$  tonniin ja tuntitehoksi saadaan  $3,3 \text{ t/h}$ . Tämän puintitehon saavuttamiseen riittäisi  $1990$ -luvun alkupuolen puimuri, joka painaa säiliö täynnä noin  $6$  tonnia. Alkuperäisen  $17 \text{ t/h}$  kapasiteetin puimuri painaa säiliö täynnä noin  $18$  tonnia. Käytännössä viljelykiertoa monipuolistamalla ja työhuippuja vähentämällä kalustoa voi pienentää merkittävästi ajallisuuden kärsimättä.

## 3.2 KONEIDEN TASAPAINOTUS JA HINATTAVIEN KONEIDEN KÄYTTÖ

Traktoreiden rengaskuormaan voidaan vaikuttaa yksinkertaisesti traktorin tasapainotuksella. Nostolaitteisiin kiinnitetty paino siirtää myös traktorin painoa taka-akselille. Vastaavasti etunostolaitteisiin sijoitettu työkonenä, etukuormain tai etupaino siirtää painoa traktorin etu-akselille. Vaikutus on sitä suurempi, mitä kauempana paino on traktorin akseleista (Kuva 8).

Työkoneiden vetäminen aiheuttaa painon siirtymistä etuakselilta taka-akselille. Painonsiirron määrä riippuu työkonenä vetotehon tarpeesta, ajonopeudesta ja vetopisteen sijainnista sekä rinteiden kaltevuudesta. Painonsiirron tarkka arviointi on haastavaa. Painonsiirron mittauksissa on havaittu, että esimerkiksi kyntöauran säädöillä ja ajonopeudella on huomattava vaikutus painon siirtymisellä vetävälle vakopyörälle (Bauer et al., 2017). Painonsiirtoa voidaan arvioida laskemalla, mikäli tiedetään työkonenä ja traktorin mitat sekä vetokulmat (Macmillan, 2002), mutta arviointi on epätarkkaa.

Nyrkkisääntönä taka-akselille tulee painoa noin 0,8 tonnia 50 hevosvoiman vetoteholla ja 10 km/h ajonopeudella. (Tämä vastaa 120 hv traktorin työskentelyä 80 % moottoriteholla.) (Laskettu (Macmillan, 2002) perusteella käyttäen tyypillisen 100 hv nelivetotruktorin mittoja.)

Esimerkiksi voidaan ottaa 6400 kg painava traktori, jossa akseliväli on 2,66 m, 800 kg etupaino on 105 cm etuakselin etupuolella ja nelisiipinen paluuaura takanostolaitteissa (1700 kg, 330 cm). Koko yhdistelmän massa on 8900 kg. Kun aura on nostettu ilmaan, se keventää etuakselia  $1700 \text{ kg} \times 3,3 \text{ m} : 2,66 \text{ m} = 2109 \text{ kg}$ . Vastaavasti etupaino lisää etuakselille  $800 \text{ kg} \times (1,05 \text{ m} + 2,66 \text{ m}) : 2,66 \text{ m} = 1116 \text{ kg}$ . Jos tyhjänä etuakselilla on 35 % koneen painosta (2240 kg), kuormitettuna etuakselilla on  $2240 \text{ kg} - 2109 \text{ kg} + 1116 \text{ kg} = 1247 \text{ kg}$ . Tämä on vain 19 % koneen tyhjäpainosta, eli liian vähän ohjattavuuden säilyttämiseen. Taka-akselilla on loppuosa kokonaiskuormasta eli  $8900 \text{ kg} - 1247 \text{ kg} = 7653 \text{ kg}$ . Esimerkin tilanteessa taka-akselilla on siis suurempi kuorma kuin traktorin koko tyhjäpaino. Jos traktorin nokalle lisättäisiin 200 kg painoa, tämä varmistaisi ohjattavuuden ja keventäisi taka-akselipainoa 79 kg. Taka-akselipaino on silti huomattava, rengasta kohden paino olisi noin 3800 kg/rengas. Jos esimerkissä siirryttäisiin hinattavaan työkoneseen, joka aiheuttaisi ainoastaan esimerkiksi 500 kg painonsiirron traktorin taka-akselille vedossa, traktorin taka-akselipaino olisi 5536 kg eli noin 2800 kg/rengas. Jos lisäksi siirrytään käyttämään esimerkiksi kultivaattoria, joka mahdollistaa paripyörät, tarvittava rengaskuorma on 1400 kg.

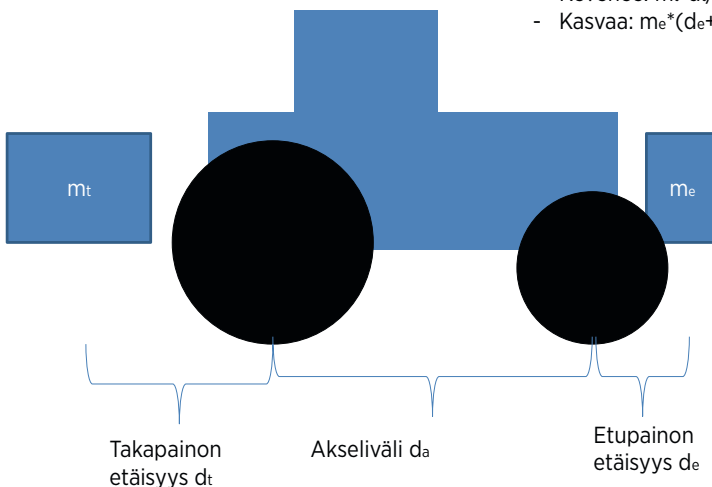
Rengaskuormien keventäminen näkyy tarvittavissa rengaspaineissa: 520/85R38 renkaalla 3800 kg rengaskuormalla tarvitaan 1,6 bar, 2800 kg rengaskuormalla riittää 1,0 bar ja 1400 kg kuormalla 0,5 bar. Traktorin ja työkonteen tasapainotus on tärkeää liikenneturvallisuuden kannalta, mutta sillä voidaan saavuttaa myös joitain etuja alempien rengaskuormien kannalta. Raskailla nostolaitteilla rengaskuormat kasvavat suureksi, jolloin renkaissa joudutaan käyttämään korkeita paineita myös työskentelytilanteessa. Hinattavilla työkonilla maksimikuormitus on alempi, joten voidaan käyttää alempia ilmanpaineita.

### 3.3 PYÖRIEN LISÄÄMINEN

Yksinkertaisin tapa keventää rengaskuormia on lisätä paripyörät normaalirenkaiden rinnalle. Teoriassa paripyörien käyttö puolittaa rengaskuorman ja mahdollistaa huomattavasti alemmat rengaspaineet. Käytännössä paripyörien kantavuudeksi arvioidaan 1,76 kertaa yksöispyörien kantavuus, jotteivät renkaat rikkoutu epätasaisen painonjakautumisen aikana. Paripyörien valinnassa on huomioitava se, että välivanne on riittävän leveä, jotteivät renkaat koske toisiinsa alhaisilla rengaspaineilla. Toisaalta renkaiden pitäisi käyttäytyä mahdollisimman samalla tapaa matalilla paineilla ajettaessa, eli molempien renkaiden kuormitetun säteen (*static loaded radius*) pitäisi olla sama (Kuva 11). Toisaalta, mikäli renkaiden vierintäkehä poikkeaa toisistaan, suuremman kehän rengas luistaa

Taka-akselin massa:  
kokonaismassa-etuakselimassa

Etuakselin massa:  
- Kevenee:  $m_t \cdot d_t / d_a$   
- Kasvaa:  $m_e \cdot (d_e + d_a) / d_a$



**Kuva 8.** Traktorin eteen ja taakse sijoitettujen painojen vaikutus rengaskuormiin.

enemmän. Tämä aiheuttaa tehonhäviöitä, koneiden kulumista ja tarpeetonta pellon hiertymistä.

Varmimmin yhteensopivat paripyörät saadaan hankkimalla saman valmistajan samaa mallia olevat renkaat kuin alkuperäiset. Kuluneiden renkaiden uusiokäyttö paripyörinä ei ole suositeltavaa, sillä niiden kuormitettu säde ja vierintäkehä ovat muuttuneet alkuperäisistä.

Renkaiden vaihtaminen teloihin vastaa renkaiden lisäämistä, sillä yleensä teloissa tukirullat kantavat koneen painon. Telojen teknologia kehittyy koko ajan, mutta tätä raporttia kirjoitettaessa käytössä olevat telat aiheuttavat maahan selviä

painepiikkejä (Keller, 2004). Lisäksi telatraktorien omapaino on yleensä huomattavasti suurempi kuin pyörätraktoreiden, mikä osittain vie teloilla saatavia hyötyjä. Teloista on eniten hyötyä tilanteissa, joissa koneen kokonaisleveys paripyörillä muuttuisi kohtuuttoman suureksi.

Työkoneiden rengaskuormia voi alentaa paripyörien lisäksi telipyörillä ja pyöränvälilyrillä. Erityisesti raskailla noukinvaunuilla renkaita lisäämällä voidaan vähentää kuormitusta. Saksalainen Kurmann valmistaa 8 pyöräteliä, joka voidaan asentaa jälkivarusteena. Telin kantavuus on 18 tonnia, mutta rengaskuorma on vain 2,25 t/rengas.

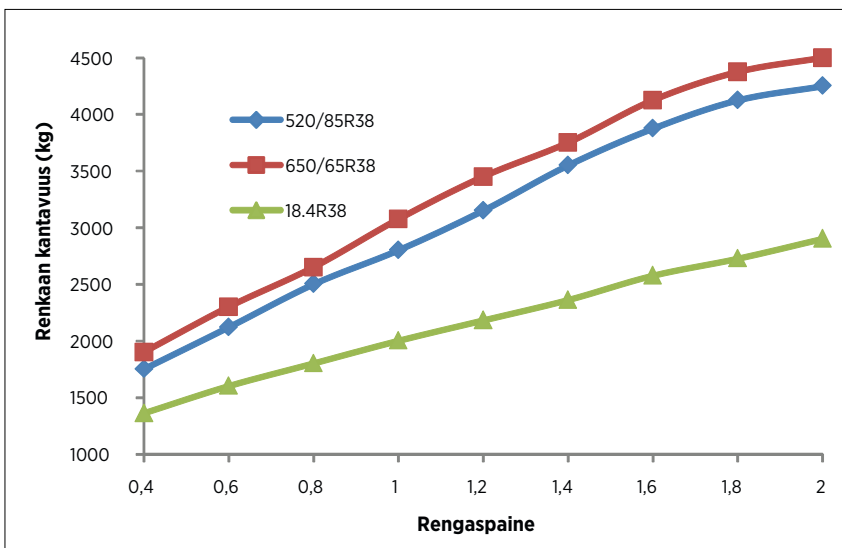
## 4 RENGASPAINEIDEN SOVITTAMINEN KULLOISEENKIN TILANTEeseen

Maatalousrenkaiden kantavuus määräytyy paineen ja ajonopeuden perusteella. Mitä suurempi ajonopeus ja kuormitus, sitä suurempi ilmanpaine tarvitaan kuorman kantamiseen. Kääntäen ajateltuna alemmilla nopeuksilla ja kuormilla voidaan käyttää alempia paineita. Renkaiden valmistusteknologia ja koko vaikuttaa myös tarvittavaan paineeseen, mitä uudempi ja mitä suurempi rengas, sitä alemmalla paineella saavutetaan sama kantavuus (Kuva 9). Kantavuuksissa on huomattavia eroja rengastyypin ja valmistajien välillä, joten kannattaa tarkistaa, kuinka alhaisiin paineisiin kulloisetkin renkaat soveltuvat. Viime vuosina ovat yleistyneet erityisen joustavat IF- ja VF-renkaat. Näiden renkaiden kantavuus on 20% (IF, increased flexion) tai 40% (VF, very high flexion) korkeammat kuin tavanomaisilla vyörenkailla. IF- ja VF renkailla voidaan vastaavasti käyttää 20-40% alempia rengaspaineita kuin perinteisillä rengastyypeillä.

Nopeuden lisäksi renkaiden käyttöolosuhteet vaikuttavat kuormitukseen. Kovassa vedossa suositellaan käytettävän 30 km/h nopeuteen soveltuvia rengaspaineita. Samoin rinnepelloilla suositellaan yleensä 0,2 bar korkeampia paineita kuin tasamaalla, johtuen työkoneen epätasaisesta kuormi-

tuksesta. Oma erityisluokkansa on puimureiden, noukinvaunujen ja lannanlevittimien työtapana, jossa kuormitus vaihtelee voimakkaasti työn aikana. Niin kutsutulla syklisellä kuormalla voidaan käyttää hetkellisesti huomattavasti korkeampia kuormia (esim. 70% korkeampi kantavuus), kun paineita korotetaan (esim. 0,4 bar). Tarkemmat tiedot kullekin renkaalle suositelluista rengaspaineista löytyy valmistajakohtaisista rengaskäsikirjoista (*technical data book*).

Useille renkailla ei ole valmistajan ilmoittamia alhaisten rengaspaineiden kantavuuksia, mutta renkaiden kantavuus on huomattavan korkea. Kuinka alhaisia paineita sitten uskaltaa käyttää, jos kuormitus on esimerkiksi puolet alimmasta ilmoitetusta kantavuudesta? Eräs tapa arvioida renkaan käyttäytymistä on tarkastella kuormitettua staattista sädettä (*static loaded radius*). Kone ajetaan tasaiselle alustalle ja mahdolliset nostolaitteet nostetaan ilmaan, jolloin takarenkaat painuvat kasaan. (Eturenkaiden painuminen mitataan samoin korkeimmalla kuormituksella eli takanostolaite laskettuna alas.) Rengaspainetta voidaan alentaa, kunnes etäisyys navan keskikohdasta maahan vastaa renkaalle ilmoitettua alinta kuormitettua sädettä.



**Kuva 9.** Kolmen Goodyear-maatalousrenkaan kantavuus eri paineilla. Mitä suurempi ja uudempi rengastyypin, sitä alhaisemmalla paineella saavutetaan tarvittava kantavuus.



Alhaisilla rengaspaineilla riskinä on renkaan pyörähtäminen vanteella ja venttiilin rikkoutuminen tai kovassa vedossa renkaan murtuminen. Tätä voi ehkäistä joko lukkovanteilla tai liimaamalla renkaan vanteeseen.

Paineen säätö erilaisiin työtilanteisiin on käytännössä työlästä, mutta säätötyötä voi helpottaa tekemällä rengaspainetaulukon kullekin työkoneelle. Esimerkiksi Taulukon 2 tilanteissa rengaspaineita pitää korottaa 0,5 bar perustasosta jankkuroinnissa sekä peräkärryn kuljetuksessa. Lisäksi peräkärryn kanssa pellolla voidaan käyttää hetkellisesti alempia paineita kuin tieajossa. Mikäli tieliikenteen ja peltokäytön sallimat alimmat rengaspaineet ovat kovin erilaisia, kannattaa harkita järjestelmiä, joilla paineensäätö helpottuu. Esimerkiksi saksalaisten PTG- ja Steuerungstechnik -yritysten pikasäätöventtiilit ovat edullinen keino nopeuttaa ja tarkentaa paineen säätöä (Kuva 10). Normaalin venttiilin tilalle kierrettävä suuriläpimittainen paineilmalaitin nopeuttaa renkaan tyhjennystä ja täyttöä. Venttiilin ja painemittarin avulla rengaspaineet voidaan laskea tieajosta peltolukemiin. Traktorikompressorilla täydennettynä järjestelmällä saa paineet palautettua takaisin tieajoon soveltuviksi. Mikäli painetta joutuu säätämään useammin kuin muutaman keran päivässä, voi harkita automaattista paineensäätöjärjestelmää, mikä on kuitenkin selvästi kalliimpi kuin pelkät pikasäätöventtiilit.



Kuva 10. Pikasäätöventtiilit sisältävä salkku (Steuerungstechnik STG).

Useimmiten renkaissa käytetään valmistajan suosituksiin nähden liian korkeita rengaspaineita. Korkeat rengaspaineet lisäävät kuitenkin polttoaineenkulutusta ja vähentävät työsaavutusta (Šmerda and Čupera, 2010). Ennen kaikkea ne pienentävät renkaan kosketusalaa maahan ja lisäävät tiivistymisriskejä. Ennen uusien renkaiden hankintaa kannattaa selvittää kuinka alhaisiin rengaspaineisiin nykyisillä renkailla voi päästä valmistajan suositusten mukaan.

Taulukko 2. Esimerkki traktorikohtaisesta rengaspainetaulukosta, jossa on huomioitu eri tilanteissa oleva kuormitus ja tarvittavat rengaspaineet.

Työkone	Deutz-Fahr DX6.30							
	Etuakselin renkaat 420/70R28 (133 AB) Kuormitettu säde: 605 mm				Taka-akselin renkaat 520/70R38 (150 AB) Kuormitettu säde: 789 mm			
	Tiellä 25 km/h		Pellolla 10 km/h		Tiellä 25 km/h		Pellolla 10 km/h	
Työ	Rengaskuorma (t)	Ilmapaine (bar)	Rengaskuorma (t)	Ilmapaine (bar)	Rengaskuorma (t)	Ilmapaine (bar)	Rengaskuorma (t)	Ilmapaine (bar)
1. Kultivointi	0,5	0,5	0,5	0,5	0,9	0,5	0,9	0,5
2. Jankkurointi	0,3	0,5	0,6	0,5	1,4	0,6	1,4	0,6
3. Äestys	0,5	0,5	0,5	0,5	0,9	0,5	0,9	0,5
4. Peräkärryn veto	0,7	0,7	0,7	0,7	2,7	1,2	2,7	0,8

## 5 RENKAIDEN PÄIVITYS MATALAPAINERENKAISIIN

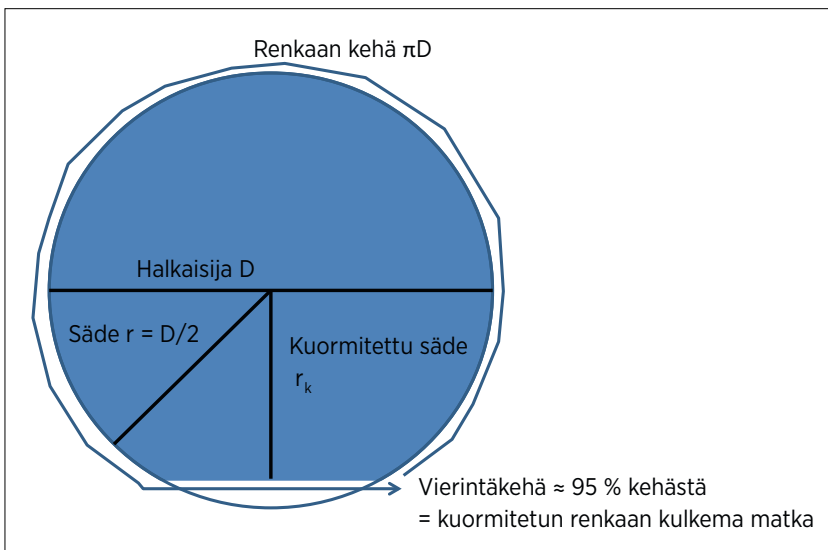
Mikäli nykyisellä rengasvarustuksella ei päästä maan rakenteen kannalta riittävän alhaisiin rengaspaineisiin, eikä ongelma ratkea renkaiden lisäämällä tai konetta tasapainottamalla, on syytä päivittää renkaat parempiin.

Renkaita päivitettäessä ensimmäisenä on huomioitava renkaiden vierintäkehä (Kuva 11). Vierintäkehä kuvaa traktorin renkaan yhden pyörähdyskierroksen aikana kulkemaa matkaa työtilanteessa (ts. rengas on painunut vastaamaan kuormitettua sädettä). Renkaan vierintäkehää ei voi laskea renkaan ominaisuuksista, sillä renkaiden painuma on yksilöllistä, mutta se ilmoitetaan erikseen renkaan teknisissä tiedoissa. Rengasvalmistajat myös luokittelevat renkaiden vierintäkehäluokkiin (*rolling circumference index, RCI*), mikä helpottaa samantyyppisten renkaiden vertailua. Renkaan halkaisijan kasvattaminen on tehokas keino lisätä renkaan ilmatilavuutta, työkoneen kulkukykyä ja alentaa kosketuspainetta. Nelivetotraktoreissa etu- ja taka-akselin vierintäkehien suhteiden on pysyttävä suunnilleen samantyyppisina renkaiden päivityksen yhteydessä. Mikäli vaihdetaan vain takarengas,

niiden vierintäkehän pitäisi vastata aiempia renkaiden, muutoin traktorin välityssuhde muuttuu. Liian suuret takarengas voivat johtaa tilanteeseen, jossa eturengas jarruttaa traktorin kulkua, mikä johtaa lisääntyneeseen polttoaineen kulutukseen ja mahdolliseen konerikkoon. Tavoitetilanteessa eturengas pyörii 1–4 % nopeammin kuin takarengas, mikä voi varmistaa mittaamalla pyöräntäkerat neliveto päällä ja irtikytkettynä.

Toinen renkaan kokoa rajoittava tekijä on renkaan kokonaishalkaisija, eli kuinka suuri rengas koneeseen voidaan laittaa. Aiemmat tuumakokoiset renkaat vastaavat nykyistä 85 –profiilisuhdetta (renkaan sivun korkeuden suhde leveyteen). Mikäli renkaat vaihdetaan matalaprofiilisiin renkaisiin (70- ja 65 –sarjat) renkaan leveyttä voidaan lisätä ilman että koko renkaan halkaisija kasvaa. Jos lisäksi vanteet vaihdetaan selvästi pienempiin, renkaan kokonaistilavuutta voidaan kasvattaa entisestään.

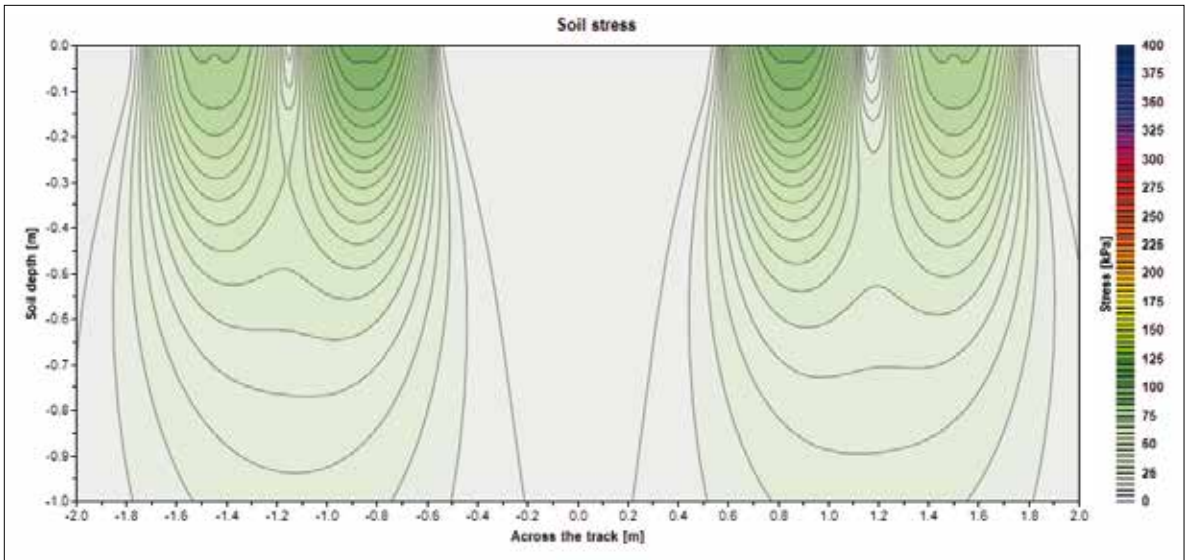
Kun tarvittava vierintäkehä ja renkaan kokonaishalkaisija on selvitetty, on rajattu rengasvaihtoehtoja merkittävästi. Seuraavaksi voidaan varmistaa että jäljellä olevilla renkailla todella päästään



**Kuva 11.** Renkaan säteen, kuormitetun säteen, kehän ja vierintäkehän välinen suhde. Päivittäessä renkaiden, niiden vierintäkehän ja kuormitetun säteen tulisi sopia muihin käytössä oleviin renkaisiin sekä traktorin voimansiirron välitykseen.

tavoitepaineisiin tavoitellulla kantavuudella. Useille renkailla ei suositella alhaisia, alle 0,5 bar paineita. Suositellut paineet vaihtelevat valmistajakohtaisesti, joten samankokoisilla renkailla saattaa olla hyvin erilaiset painesuositukset. Uudemmissa IF- ja VF-renkailla voidaan käyttää 20-40 % alempia rengaspaineita samalla kantavuudella kuin perinteisemmillä vyörenkailla.

Kun renkaat on rajattu muutamaan vaihtoehtoon, näitä voidaan verrata Terranimo -työkalulla. Kun Terranimo-laskuriin laittaa traktorille paripyörät ja jokaiseen kohtaan eri renkaan, saadaan yhdellä laskelmalla verrattua neljää rengasta. Vaikka renkailla voi olla sama ilmanpaine ja koko, niiden maahan kohdistama paineprofiili voi olla erilainen (Kuva 12). Rengasvertailun tuloksena tulisikin valita rengas, jolla päästään riittävän alhaisiin paineisiin koko maaprofilissa.



**Kuva 12.** Terranimo -laskurin (terranimi.world) tuloste kahdesta eri renkaasta, joista toista käytetään paripyöränä. Sisempien renkaiden paineprofiili maassa on jyrkempi, joten maahan kohdistuu tarpeettoman suuria paineita noin 25 cm syvyyteen.

## 6 RAIDEVILJELY VAIHTOEHTONA

Jos koneiden keskinäisiin leveyksiin ei kiinnitetä huomiota, lopputuloksena on tilanne, jossa lähes koko peltoala tulee renkaiden tallaamaksi kasvukauden aikana (Håkansson, 2005). Tuorlan tilan tämän hetkinen konekalusto toimii hyvänä esimerkkinä tästä: puimuri on 3,8 metriä, lietevaunu 6 metriä ja kasvinsuojeluruisku 15 metriä. Jos lisäksi kylvö tehdään 4 m kylvökoneella, äestys 6 m äkeellä ja kyntö 1,6 m auralla lähes koko maaprofiili tulee renkaiden tallaamaksi. Eräs keino tiivistymisriskien hallintaan on sijoittaa raskaimmat ajot tietyille kais-toille (*controlled traffic farming*), tällöin suurin osa peltomaasta jää tiivistämättä.

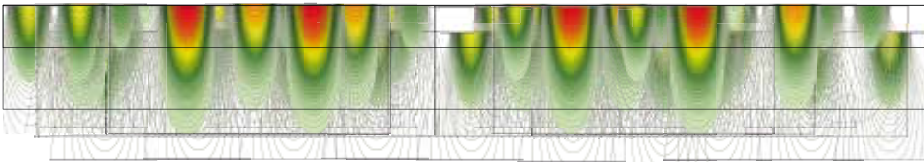
Tuorlan esimerkkikoneketjun tiivistymisriskejä havainnollistettiin laskemalla joka koneelle Terranimo-mallilla maapaine maaprofiilissa ja yhdistämällä tulokset koneiden leveysien perusteella.

Tulosten perusteella (Kuva 13) nykyisellä konekannalla lähes koko maaprofiili tulee tiivistettyä voimakkaasti 35 cm syvyyteen myös kuivissa oloissa (keltaiset ja punaiset värit kuvassa). Kosteissa oloissa liikuttaessa koneketju tiivistää maan melko tiheään myös 80 cm syvyyteen (vihreät värit kuvassa).

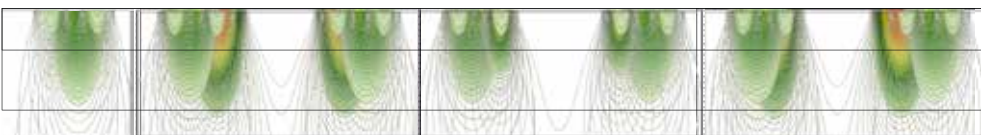
Tiivistymisriskejä voidaan vähentää työtekniikkaa ja koneiden leveyksiä muuttamalla sekä rengastusta parantamalla. Mikäli siirrytään kynnöstä

kevytmuokkaukseen, voidaan lisätä työlevyettä (1,6 m kynnössä, 4 m kevytmuokkauksessa), käyttää pari-pyöriä (rengaskuorman puolittuminen), vähentää painonsiirtoa taka-akselille (rengaskuorman keveneminen) ja siirtää tiivistävä vakopyörä maan pinnalle. Jos puimuriin hankitaan leveämpi pöytä (4,5 m), mutta leikkuuleveytenä käytetään vain 4 m, puimuri, muokkaustraktori ja kylvötraktori saadaan samoille raiteille. Jos lietevaunu levennetään 8 m leveydelle, se saadaan kulkemaan joka toisella ajolla puimurin raiteissa ja jos ruiskua levennetään metrillä, se saadaan kulkemaan sijoituksesta riippuen kulkemaan joko puimurin tai lietevaunun jäljissä. Jos lisäksi lietevaunun, puimurin ja ruisku-traktorin renkaiden suurennetaan, tiivistymisprofiili on kuvan 13 alaosan mukainen. Tiivistymisriskit vähenevät merkittävästi sekä pintakerroksissa, että 80 cm syvyydessä. Alempien rengaspaineiden ja kuormien ansiosta tiivistymisriskiä aiheutuu kuivissa oloissa liikuttaessa ainoastaan lietevaunusta. Lietevaunun työlevyden lisääminen tai ylimääräisten akselien lisääminen olisi suositeltavaa huomattavan suurien rengaskuormien (noin 6500 kg/pyörä) vähentämiseksi. Ajojen kohdistaminen vähentää tallattua alaa merkittävästi, muttei poista tiivistymisriskejä kokonaan. Lisäksi työkonoiden

Nykytilanne: 1,6 m kyntö, 6 m lietevaunu, 3,8 m puimuri, 4 m kylvökone, 6 m äes, 15 m ruisku



Ehdotus: 4 m kevytmuokkaus, 8 m lietevaunu, 4 m puimuri, 4 m kylvökone, 6 m äes, 16 m ruisku



**Kuva 13.** Tuorlan tilan nykyisen koneketjun ja rengastuksen maaperään aiheuttama kuormitus (yläkuva) sekä maaperän kuormitus ehdotetuilla parannustoimenpiteillä (alempi kuva). Maan jännitykset on laskettu Terranimo työkalulla. Vaalean vihreä alue kuvaa 50 kPa jännitystä, joka aiheuttaa riskin kosteille maille. Keltainen alue kuvaa 150 kPa jännitystä, joka aiheuttaa riskin myös kuiville maille. Katkoviivat kuvaavat 35 cm ja 80 cm maakerroksia.

raidelevyydet (traktori, puimuri ja lietevaunu) eivät sovi toisiinsa, joten tallattua alaa voitaisiin vähentää edelleen raidelevyyksiä muokkaamalla.

Raideviljely ja koneiden leveyksien toisiinsa sovittaminen on hyvä strategia, jos tiheimmät ajot eivät tiivistä maata joka tapauksessa. Tuorlan esimerkissä kyntö tiivistäisi maaprofiilin joka tapauksessa tiheään, joten raideviljelystä ei olisi hyötyä,

mikäli sitä ei yhdistetä kevytmuokkaukseen (tai onland- kyntöön paripyörin). Kun kylvö- ja muokauskoneketjut saadaan maata tiivistämättömiksi, raskaiden koneiden siirto samoille ajourille vähentää tiivistyneen maan osuutta selvästi. Tilatasolla tiivistymisriskejä kannattaa tarkastella koko koneketjun tasolla, jotta kokonaisriski saadaan pidettyä tavoitellulla tasolla.

**Taulukko 3.** Tuorlan koneketjun arvioinnissa käytetyt koneet ja niiden rengastiedot sekä lisää kehittämisehdotuksia.

Kone	Rengaskuorma	Nykyinen rengas	Ehdotus
Sampo 2065 puimuri, 3,9 m pöytä	4400 kg	Continental AC65, 600/65R34, 1,4 bar	Mitas SFT 750/65R26, 0,7 bar, pöytä 4,5 m leveäksi Tai 800/65R32
Valtra 6350 + 15 m, 1500 litran nostolaiteruisku	2800 kg	Michelin Agribib 16.9R38, 1,6 bar	Michelin VF 380/95R38, 1,2 bar, ruiskun levennys 16 m:iin, Lisätoimia: Etusäiliö etupainon tilalle ja vähemmän nestettä taakse
JD 6820 kylvö, 4 m kylvökone	840 kg	Continental AC85, 520/85R38, paripyörät 0,6 bar	Kylvö kevyemmällä Valtralla, paripyörät, 0,5 bar
JD 6820 kyntö 4 siip. paluuaura	3800 kg	Continental AC85, 520/85R38, 1,3 bar	Siirtyminen kevytmuokkaukseen, 4 m työkone, paripyörät, 0,5 bar, Tai sängeltäkyntö paripyörin
VEPI 11 m <sup>3</sup> lietevaunu	6500 kg	Nokia ESL 700/50R26,5, 2,1 bar	850/50R30,5 Nokia ELS, 1,2 bar, levennys 8 m:iin Tai - 800/60R34 Nokia ESL, 0,7 bar, - kuljetuksen ja levityksen eriyttäminen, - rengaspaineen säätöjärjestelmä, - teliakselisto, - vetoletkulevitys

# 7 KÄYTÄNNÖN TILAESIMERKKI RENKAIDEN PÄIVITYKSESTÄ

## 7.1 MITEN VALITA SOPIVAT RENKAAT?

Kun suunnitellaan parempien renkaiden hankintaa traktoriin, puimuriin tai muihin koneisiin, niin monta eri asiaa pitää ottaa huomioon. Vaihtoehtoja voi olla monia. Miten valita eri vaihtoehdoista sopivin?

**Renkaiden valinta voidaan jakaa seuraaviin vaiheisiin:**

- Varaa riittävästi aikaa – 2–3 kk
- Tunnista tarve – nykytilanteen kartoitus
  - pyöräkuormat, käytetyt rengaspaineet, tiivistymisriskit, maiden tiivistymisalttius, olosuhteet, viljelykasvit
- Tavoitteen määrittely
  - tiivistymisriski, pyöräkuormat, rengaspaineet
- Pyöräkuormien pienentämismahdollisuudet
  - koneiden keventäminen, paripyörät
- Paripyörät vai isot renkaat?
- Renkaan kokoluokan valinta
  - sama halkaisija vai isompi?
  - kantavuus riittävä tavoitelluilla rengaspaineilla
- Reunaehtojen määrittely
  - Halkaisija entinen vai suurempi, suurin halkaisija, pienin vanteen halkaisija, suurin koneen leveys, renkaan pääkäyttö, teholuokka, nopeusluokka, sopivuus yhteen vetävien etu-/takarenkaiden kanssa, muu käyttö
- Rengasvaihtoehtojen kartoitus
- Uudet vai käytetyt renkaat?
- Tarjouspyynnön laadinta – renkaat ja vanteet
- Tarjousten pyytäminen – 2–3 kpl

- Tarjousten tarkentaminen
- Tarjousten vertailu
- Renkaiden valinta
- Tilauksen tekeminen ajoissa, toimitusaika vanteilla 3–4 vk
- Renkaan asentaminen vanteelle
- Renkaiden vaihtaminen koneeseen
- Tarvittavat muutostyöt

## 7.2 ESIMERKKI: PUIMURIIN PAREMMAT RENKAAT

Märät syksyt koettelevat maan rakennetta. Puimuri on suurimpia riskejä maan rakenteelle märkinä syksyinä. Vakiorenkaita paremmat renkaat vähentävät tiivistymisriskiä. Mutta miten valita sopivat renkaat runsaasta tarjonnasta? Millaiset renkaat valitsin ja miksi?

### HAASTEENA MAAN TIIVISTYMINEN

Esimerkkitalan noin 40 ha vuotuisen vilja-alan puintiin on aikaisemmin käytetty rahtipuimuria. Tilat savimaat ovat maalajiltaan erityisen tiivistymisherkkiä märkinä. Useina syksyinä on liian sateista ja maat liian kosteita painavalle puimurille vakiorenkain. Seurauksena on ollut raiteiden tiivistyminen, jolloin varsinkin apila on hävinnyt raiteista (Kuva 14). Tai seuraavina nurmivuosina juuret eivät pysty kasvamaan tiivistyneeseen maahan. Tiivistyminen ulottuu myös ruokamultakerrosta syvemmälle, jolloin maan vedenläpäisykyky heikkenee.



**Kuva 14.**

Kuvissa apila ja muukin nurmi on hävinnyt puimurin raiteista suojaviljan puinnin seurauksena. Seuraavan vuoden apilan juuristo ei pääse kasvamaan kunnolla maahan ja kasvusto kärsii herkästi poudasta ja ravinteiden puutteesta.

Ensimmäisenä korjaavana toimenpiteenä tilalle hankittiin oma 3000 kg kevyempi puimuri Sampo 690, joka painaa vain noin 5000 kg ja säiliö täynnä 7000 kg. Puimurissa oli suurimmat vakiorenkaat Trelleborg Twin 600/60-30,5. Renkaat eivät ole vyörenkaita, ja koska puimurin vuosimalli on 1987, renkaat ovat lisäksi kovettuneet 30 vuoden aikana huonosti joustaviksi.

### TAVOITTEEN ASETTAMINEN

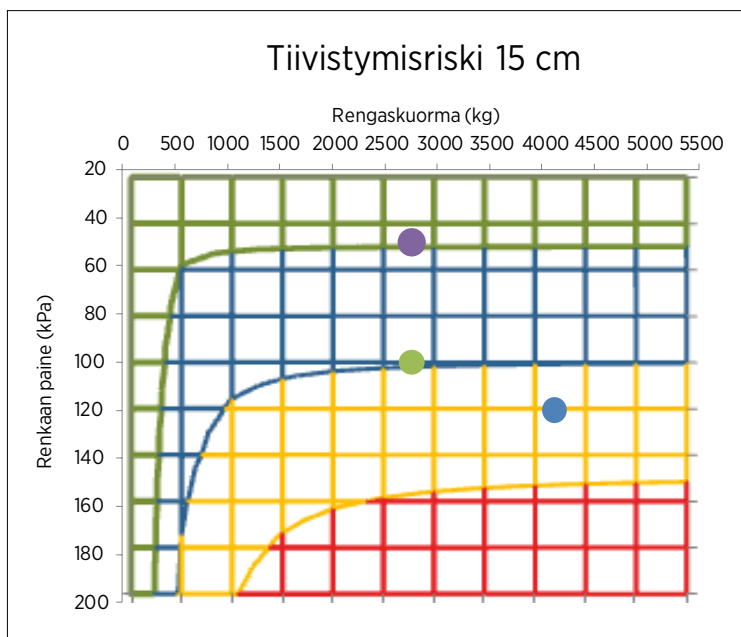
Tiivistymisriski pieneni merkittävästi kevyempiin pyöräkuormiin siirryttäessä, mutta edelleenkin maan tiivistymisriski oli melko suuri nykyrenkain kosteissa olosuhteissa. Oheiseen tiivistymisriskilaskuriin (Kuva 15) on sijoitettu rahtipuimurin NH, Sampon vanhoilla renkailla ja Sampon uusien renkaiden tavoitteelliset rengaskuormat ja rengaspaineet. Vihreälle päästään vain kun rengaspaine saadaan pudotettua eturenkaissa 0,5 bar tasolle. Takarenkaat ovat kokoa 400/45-17,5, ja niiden tiivistymisvaikutus on eturenkaita paljon pienempi. Tässä vaiheessa tydytään käyttämään niitä jatkossakin.

Puimuri painaa tyhjänä 5000 ja säiliö täynnä 7000 kg, josta etuakselille tulee noin 80 % eli tyh-

jänä 4000 ja säiliö täynnä 5600 kg. Rengaskuorma vaihtelee 2000–2800 kg välillä tasaisilla pelloilla. Lisäksi on syytä varata lisäkantavuutta liikkeen ja varsinkin käännosten aiheuttamien painonsiirtymien takia. Maksimikuormitusta aiheutuu vain vehnällä ja vastaavilla painavilla viljoilla lyhytaikaisesti kun säiliö täyttyy. Tiellä ajetaan vain tyhjällä säiliöllä. Löysillä renkailla voidaan tarvittaessa ajaa hiljempää, koska siirtymämatkat pelloille ovat lyhyitä enintään 2 km. Puimurin eteen tarvitaan sellaiset renkaat, joiden kantavuus riittää 0,5 bar paineella kantamaan suurimmaksi rengaskuormaksi arvioitua 3000 kg kuorman.

### REUNAEDOT MÄÄRITETTÄVÄ

Rengas saa olla halkaisijaltaan enintään 150 cm, jotta se mahtuu pyörimään ottamatta kiinni puimurin rakenteisiin (Kuva 16). Vanteen tulee olla halkaisijaltaan vähintään 26", jotta pyörä mahtuu paikoilleen isoon keskiöön (Kuva 17). Vähän isompi vanne on kuitenkin helpompi laittaa paikoilleen, koska se mahtuu liikkumaan sivusuunnassa. Puimurin akselin kestävyyttä on myös syytä selvittää.



**Kuva 15.** Tiivistymisriskien suuruus entisellä rahtipuimurilla NH, Sampo vakiorenkain ja tavoitteellisin renkain. Tarvitaan rengas, jolla voidaan ajaa 0,5 bar paineella.





**Kuva 16.** Renkaan suurin halkaisija voi olla enintään 150 cm, jotta rengas ei kosketa puimurin rakenteita. Maa-aineksen tarttumisvaraakin on syytä varata.



**Kuva 17.** Iso keskiö vaatii vähintään 26" vanteen.

## RENGASVAIHTOEHTOJA KARTOITTAMAAN

Reunaehtojen rajaukset mielessä lähdettiin etsimään sopivia rengasehdokkaita, joiden keskeiset tekniset tiedot kerättiin taulukoksi (Taulukko 3). Sitä varten etsittiin kiinnostavimpien valmistajien rengaskäsikirjat myyjien/valmistajien nettisivuilta ja kunkin renkaan teknisistä tiedoista poimittiin oleelliset tiedot muistiin (Taulukko 4). Potentiaalisia renkaita löytyikin muutamia.

Halkaisijarajoitusten takia vetorenkaista vaihtoehtoja löytyi kuitenkin varsin vähän. Perävaunun

renkaissa löytyi enemmän sopivan kokoisia vaihtoehtoja. Vetorenkaista lähempään tarkasteluun otettiin kolme; Michelin MachXbib 710/55R30, Mitas STF 710/55R30 ja Michelin CerexBib 620/70R26. Mitaksen kantavuus 0,5 bar paineella on noin 2900 kg ja MachXbibin noin 2700 kg, eli niiden kantavuus ei aivan riitä. Vetorenkaista vain CerexBib kantavuus todennäköisesti olisi riittävä. Käsikirja ei tosin kerro kantavuutta alhaisilla paineilla, mutta sen kantavuusluokka 173 on huomattavasti Mitasta 162 ja MachXbibistä 153 suurempi. Perävaunun renkaista lähempään tarkasteluun valittiin Trelleborg T404 710/50-30,5 ja Trelleborg T404 800/45-30,5 (huom! nämä ovat ristikudosrenkaita) sekä Nokian ESL 750/55R26,5 ja ESL:stä myös suuremman kantavuuden teräsvyövahvisteinen SB-malli. Näillä renkailla kantavuusluokka on niin suuri, että näiden renkaiden kantavuuden voisi olettaa riittävän myös 0,5 bar paineella, vaikka rengaskäsikirjat eivät kantavuuksia näin alhaisilla paineilla kerro.

## PARIPYÖRÄT VAIHTOEHTONA

Paripyörien käyttöäkin selvitettiin. Täysin saman halkaisijan rengasta, joka olisi sopinut 3,6 m pöydän taakse, ei löytynyt. Jotta paripyöristä saadaan täysi hyöty, niin kummankin renkaan tulee kantaa yhtä paljon. Vanhan kovettuneen renkaan rinnalle täysin samoin kantavaa rengasta on vaikea löytää. Myös akselin kestävyys joutuu paripyörillä suuremmalle koetukselle kuin yhdellä leveällä renkaalla. Näistä syistä tämä vaihtoehto hylättiin.

## TARJOUSPYYNTÖÄ TEKEMÄÄN

Kun itse oli selvitetty mahdollisia rengasvaihtoehtoja, niin seuraavaksi pyydettiin tarjouksia renkaiden myyjiltä. Tarjouspyynnössä kerrottiin mihin koneeseen rengas tulee, sen nykyiset renkaat sekä reunaehdot. Lisäksi kerrottiin tilan erityistavoitteista renkaiden uusimisessa. Pellot ovat tasaisia savimaita, usein liian kosteita ja herkkiä tiivistymään. Lisäksi arvostetaan renkaan hellävaraisuutta pintamaan rakenteelle. Puitava ala on noin 40 ha/v. Tarjouksen jättäjää pyydettiin tekemään ehdotuksia sopivaksi renkaaksi ja antamaan kyseiselle renkaalle hinta.

## TARJOUKSIA KÄSITTELEMÄÄN

Tarjouksia saatiin useampia. Jokainen tarjoaja ehdotti eri rengasta, joiden hinnat myös vaihtelivat huomattavasti. Tarkempi perehtyminen tarjouksiin edellytti myös tarkentavien kysymysten tekemistä. (Mikä on renkaan kantavuus 0,5 bar paineella, kun



**Taulukko 4.** Kiinnostavien rengasvaihtojen keskeiset tekniset ominaisuudet koottuna yhteen taulukkoon vertailun helpottamiseksi.

Renkaiden ominaisuuksia		Kantavuusluokka	Halkaisija cm	Kuormitussäde cm	Painuma			Kantavuus kg eri rengaspaineilla, bar				
Merkki ja malli	Koko				cm	2	1,6	1,2	0,8	0,6	0,5	0,4
Michelin MachXbib	710/55R30	153	151,6	67,3	8,5	5480	5000	4185	3370	2960		2475
Mitas SFT	710/55R30	162	150	67,4	7,6	5665	5110	4295	3540	3115		2670
Mich CerexBib	610/60R26	173	150,3	64,5	10,65	5575	5150	4125				
Trelleborg T404	710/50-30,5	175	150	65	10		6455	5290	4210			3365
Trelleborg T404	800/40-26,5	172	135	59	8,5		6010	4945	3885			3105
Nokia ESL	750/55R26,5	164	149,8	68	6,9	7900	7000	5860	4640			
Nokia ESL SB	750/55R26,5	177	149,8			8526	7555	6325	5008			

**Taulukko 5.** Tietoja renkaista löytyy valmistajien rengaskäsikirjoista. Tässä esimerkkinä Nokia ELS 750/55R26,5 -renkaan tekniset tiedot.



### Nokian ELS Radial 750/55R26.5 - T445317

Product code	Size	LI / SS	Pattern	TT / TL	Rim	Permitted rims	Width		Diameter		Loaded static radius	
	Koko	Kantavuusluokka*	Tyyppi		Vanne	Sallitut vanteet	mm	in	Halkaisija mm	in	mm	in
T445317	750/55R26.5	164 D	ELS	TL	AG 24.00	24.00	750	29.5	1 498	59.0	670	26.4

#### Kantavuus eri nopeuksilla ja ilmanpaineilla Load capacity values at different speeds and pressures

Constant		0.8 bar	12 psi	1.2 bar	17 psi	1.6 bar	23 psi	2.0 bar	29 psi	2.4 bar	35 psi
km/h	mph	kg	lbs	kg	lbs	kg	lbs	kg	lbs	kg	lbs
10	5	4 640	10 230	5 860	12 920	7 000	15 430	7 900	17 415	9 000	19 840
20	12.5	4 260	9 390	5 380	11 860	6 400	14 110	7 250	15 985	8 250	18 190
25	15	4 080	8 995	5 140	11 330	6 150	13 560	6 950	15 320	7 900	17 415
30	20	3 900	8 600	4 920	10 845	5 860	12 920	6 650	14 660	7 550	16 645
40	25	3 520	7 760	4 420	9 745	5 280	11 640	5 960	13 140	6 800	14 990
50	30	3 120	6 880	3 940	8 685	4 700	10 360	5 300	11 685	6 050	13 340
65	40	2 575	5 675	3 250	7 165	3 875	8 545	4 375	9 645	5 000	11 025

Kuormitettu säde

\*ja nopeusluokka

<http://www.nokianheavytyres.com/tyres/tyre/nokian-els-radial/>

käsikirja ei sitä kerro? Millainen on puhdistuvuus ja pito perävaunun renkailla? Entä vaikutukset maan tiivistymisriskiin? Kun kysyjä saa täsmällisiä ja hyvin perusteltuja vastauksia sekä kuvia kosketusaloista, pintapaineista ja maapainevaikutuksista Terranimolla tehtynä, niin se antaa lisävarmuutta tarjouksen arviointiin. Kun myyjä ei tiedä vastausta, niin hän lupaa selvittää asiaa ja palata asiaan ja valmistajalta vastauksen saatuaan välittää sen tarjouksen pyytäjälle. Kaikki tämä auttaa valitsemaan sopivaa rengasta.

## RENGASVERTAILUN TEKEMINEN KANNATTAA

Kun renkaiden oleelliset tekniset tiedot koottiin yhteen taulukkoon, niitä oli helppoa vertailla. Taulukkoon 4 poimittiin kantavuusluokka, renkaan halkaisija, kuormitettu säde, joiden avulla on laskettu suurin sallittu painuma. Kantavuuksia on käsikirjoista poimittu ensisijaisesti alhaisilla rengaspaineilla sen verran kuin niitä ilmoitetaan.

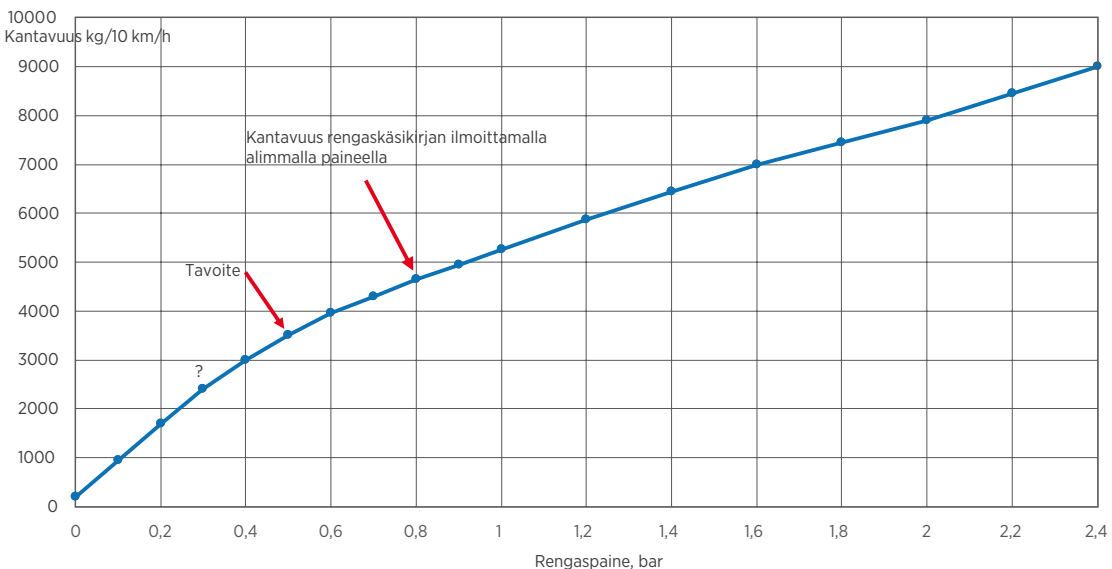
Kantavuuksien perusteella voidaan päätellä, että MachXbibin ja Mitaksen kantavuudet eivät riitä 0,5 bar paineilla. Sen sijaan CerexBibin, Trelleborgin kummankin renkaan ja ESL:n kantavuudet saattaisivat riittää 0,5 bar paineilla. Taulukot eivät sitä kuitenkaan kerro. Suurimman sallitun kuormitetun säteen avulla sitä voisi testata, mutta tämä vaatisi renkaiden kokeilua käytännössä. Vaihtoehtoiksi jää kysyä kantavuuksista alhaisilla paineilla

myyjältä tai valmistajalta. Vain ESL:n osalta saatiin tyydyttävä vastaus. Toinen tapa arvioida kantavuuksia matalalla ilmanpaineella on piirtää kantavuudesta ja ilmanpaineesta käyrät, kuten oheisessa kuvassa (Kuva 18) on tehty. Omaan arvioon perustuvien käyrien mukaan kantavuus 0,5 bar paineella riittää sekä ESL:llä että ESL SB-renkaalla. Jopa 0,4 bar paine voisi tulla kyseeseen.

Kantavuuksien arviointia helpottaa renkaan tilavuuksien vertailu, koska renkaassa ilma kantaa kuorman. Neljän varteenotettavan renkaan tilavuudet vaihtelevat Nokian ESL:n 795 litrasta CerexBibin 611 litraan.

## VAIKUTUKSET MAAN TIIVISTYMISSRISKIIN

Renkaiden kosketusaloja ja pintapaineita vertailtiin Terranimon avulla, joka löytyy <http://www.terranimo.world> -osoitteesta (Kuvat 19 ja 20). Työkalulla voidaan valita jokainen rengas erikseen valmiista rengasvalikoista. Ensin valitaan joko vetorenkaat (Traction) tai perävaunun renkaat (Implement), sen jälkeen valitaan renkaan merkki ja viimeksi malli sekä koko. Vertailut tehtiin telipyöräisellä lietevaunulla, jolloin päästiin vertailemaan neljää erilaista rengasta kerralla. Jokaiselle renkaalle rengaspaineeksi asetettiin 0,5 bar ja rengaskuormaksi 3000 kg. Nokian renkaista ei tämän koon SB-versiota löytynyt, joten vertailussa on mukana tavallinen ESL-rengas. Seuraavaksi maaperätietoihin

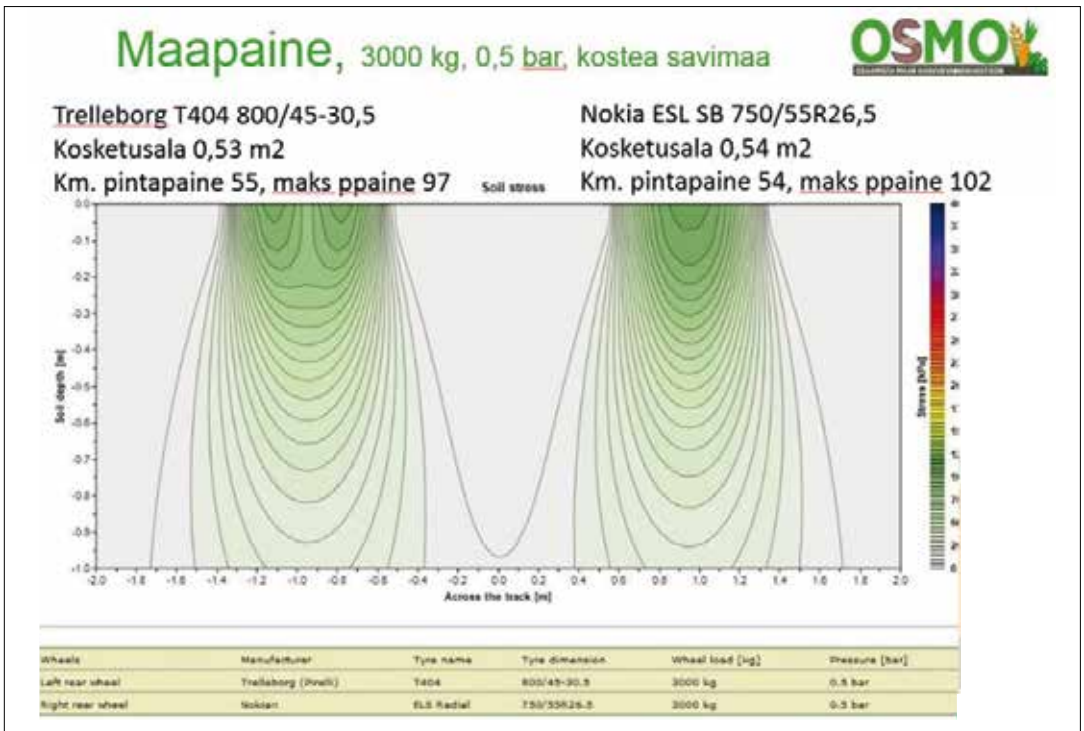


**Kuva 18.** Nokian ESL 750/55R26 -renkaan kantavuudet on ilmoitettu 0,8 bariin asti. Sen alapuolella kantavuudet on arvioitu.

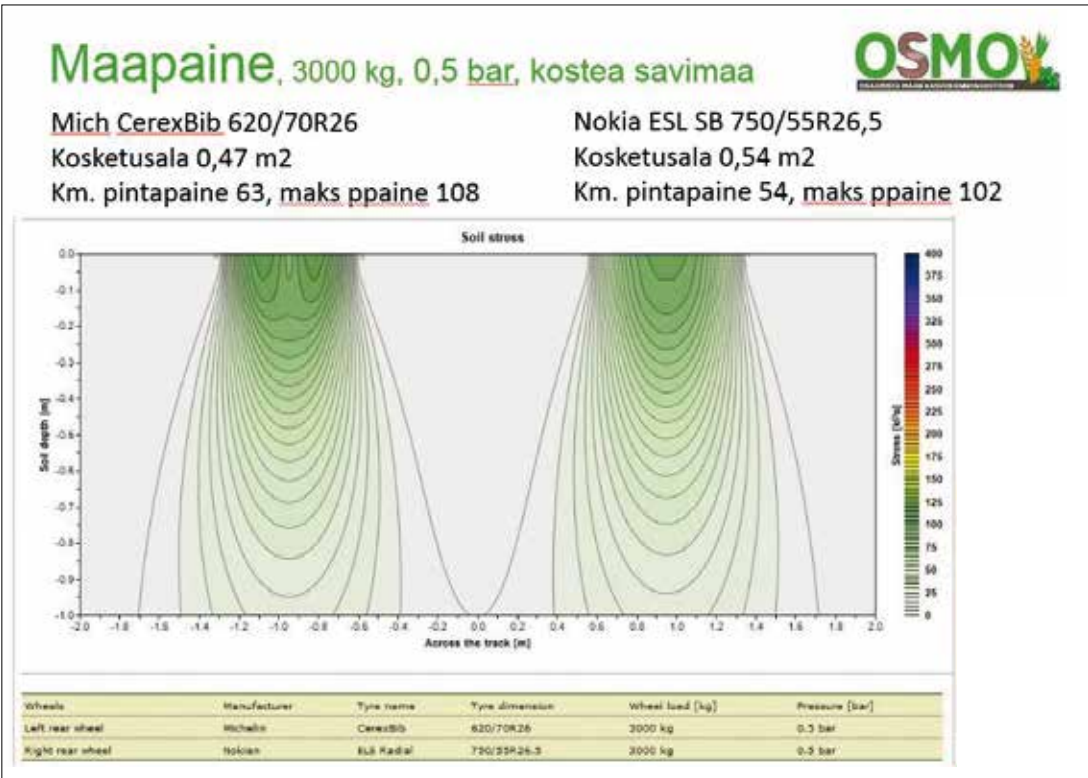
asetettiin savimaa C3 ja kosteudeksi valittiin kostea. Sitten päästiin vertailemaan kosketusaloja ja painevaikutuksia maahan. Trelleborg 800 mm renkaalla kosketusala on hieman suurempi ja pintapaine pienempi kuin Trelleborg 710 mm renkaalla 0,53 vs. 0,51 m<sup>2</sup>. Keskimääräiset pintapaineet ovat 55 vs. 58 kPa sekä suurimmat pintapaineet 97 vs. 102 kPa. Trelleborgin renkailla on alhaisella rengaspaineella kaksi painehuippua, koska rengas nousee keskeltä koholle eikä kannata tasaisesti. Nokian ESL -renkaalla kosketusala on hieman edellistä suurempi 0,54 m<sup>2</sup> ja keskimääräinen pintapaine on hieman pienempi 54 kPa, mutta suurin maapaine on 102 kPa.

Michelinin CerexBibillä kosketusala on pienin eli 0,47 m<sup>2</sup> ja keskimääräinen pintapaine suurin 63 kPa sekä suurin pintapaine myös suurin eli 108 kPa.

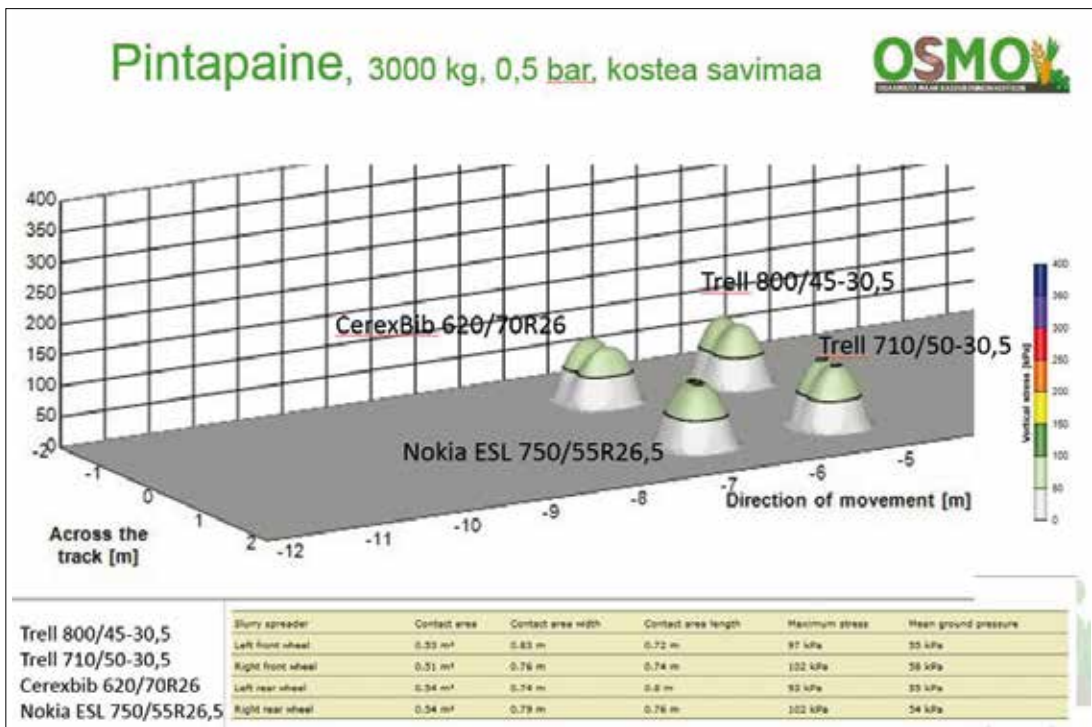
Renkaalla on myös kaksi painehuippua eli rengas kantaa alhaisilla paineilla keskeltä vähemmän kuin reunoilta. Rengas on vain 620 mm leveä eli vertailun kapein. Ero Trelleborgin pienempään renkaaseen on 90 mm eli 15 %, Nokian ESL 130 mm eli 20 % ja Trelleborgin leveämpään 180 mm eli 29 %. Leveysero huomioon ottaen CerexBib pärjää varsin hyvin leveämmille renkailla. Prosenteissa Trelleborg 710 –renkaan kosketusala on 9 % Michelinin CerexBibiä suurempi, Trelleborg 800 13 % ja Nokian ESL 750 15 % suurempi. Terranimon vertailussa oli Nokian ESL ilman teräsvahvistusta. SB-malli teräsvyöllä vahvistettuna kantaneen tavallista tavalista ESL-rengasta enemmän kuormaa, joka vaikuttaa myös tuloksiin.



**Kuva 19.** Terranimo –mallilla määritetyt maapainekäyrät sekä kosketusala ja pintapaine Trelleborg ja Nokia renkailla puumiesimerkissä.



Kuva 20. Terranimo -mallilla määritetyt maapainekäyrät sekä kosketusala ja pintapaine Michelin- ja Nokia -renkaille puimuri-esimerkissä.



Kuva 21. Renkaiden maahan kohdistuvien pintapaineiden vertailut. Vain Nokian ESL -rengas on 0,5 bar paineella kantanut keskeltä enemmän kuin laidoilta. Vertailun muilla renkailla renkaan keskiosa nousee koholle ja seurauksena on kaksiuippuinen painevaikutus maahan. Ilmiö korostuu, kun painetta lasketaan edelleen alemmas.

## RENGASVERTAILUN PISTEYTYS

Taulukkoon 6 koottiin renkaiden keskeiset arviointiperusteet, kuten kantavuus, kosketusala, maahan kohdistuva paine 35 cm syvyydessä, keskimääräinen pintapaine sekä arviot maan pinta-tiivistymistä, vetokyvystä ja puhdistuvuudesta. Jokainen ominaisuus pisteytettiin siten, että paras sai 10 pistettä ja seuraavat arvioidussa suhteessa vähemmän. Vertailtaville ominaisuuksille annettiin painokertoimet siten, että niiden yhteismääräksi tuli 100. Arvioinnissa painotettiin maahan kohdistuvia painevaikutuksia antamalla niille puolet painokertoimista (maahan kohdistuva paine 35 cm syvyydessä 20 % ja keskimääräinen pintapaine 30 %). Loput jaettiin muiden arviointiin mukaan valittujen ominaisuuksien kesken painottaen pintatiivistymiä.

Maan pinta-tiivistymä arvioitiin suurimman kosketusalan ja keskimääräisen pintapaineen perusteella pienimmäksi leveällä, matalaripaisella Nokia ESL-renkaalla ja seuraavina muut matalaripaiset Trelleborg 800 ja Trelleborg 710-renkaat. Korkearipaisen CerexBibin vetorenkaan arvioitiin rikkovan maan pintakerrosta eniten ja tiivistävän sitä eniten. Michelinin CerexBib on vertailun kaupan ja ainoa vetorengas. Sen vetokyky ja puhdistuvuus arvioitiin korkearipaisena vertailun parhaaksi. Sen kantavuudesta alhaisilla paineilla ei saatu selkeää vastausta taulukoista eikä myyjältä. Nokian kantavuudesta alhaisilla paineilla saatiin taulukoiden lisäksi myyjältä/valmistajalta riittävä vastaus.

Renkaan korkearipaisuutta vetokyvyn varmistajana ei tässä tapauksessa painotettu kovinkaan paljon, koska tilan pellot ovat tasaisia. Tilalla on myös kokemusta siitä, että hyvin kuivatetuilla ja hyvärakenteisilla pelloilla vetokyky on yleensä aina riittänyt, kunhan rengas on ollut niin suuri, että

pyörä on pysynyt maan pinnalla. Kun pyörä alkaa upota, vetokyky joutuu lujille.

Eniten pisteitä sai Nokia ESL SB 750 9,9 pistettä. Trelleborg 800 sai pisteitä 8,7, Trelleborg 710 sai 7,15 ja CerexBib 6,35 pistettä.

Renkaiden ohjeistoissa vanteineen on huomattavia eroja. Nokian ESL on hinnaltaan selvästi edullisin. ESL:llä pisteen hinnaksi muodostui 429 euroa ja seuraavan eli Trelleborg 800 pisteen hinta on jo yli kaksinkertainen eli 1095 euroa. Kauppaa käydään kuitenkin ohjeistoja edullisemmin hinnoin. Yleisillä rengasmalleilla voidaan löytää myös sopivia siirtoajettuja tai käytettyjä renkaiden, jolloin hinta putoaa puoleen tai huomattavasti sen allekin. Hinta on viime kädessä ostajan ja myyjän sopimalla hinta. Tarjouksen pyytämisen useammalta myyjältä voi tuoda ostajalla hyvän tuntipalkan.

## RENKAAN VALINTA

Nokia ESL 750 arvioitiin suunnilleen yhtä hyväksi tiivistymisriskin vähentämisen kannalta koko maaprofiilissa ja myös pintamaan tiivistymisriskin vähentämisessä kuin Trelleborg 800. Kumpikin tukevat hyvin investoinnin päätavoitteiden saavuttamista. Trelleborg 800 -renkaassa arvelutti se, että se ei ole vyörengas ja että alhaisilla rengaspaineilla renkaan keskiosa nousee koholle, jolloin rengas kantaa epätasaisesti. Kantavuus riittänee vieläkin enemmän ylös, eikä alhaisesta paineesta saada tällöin täyttä hyötyä. Leveämpänä se rasittaa myös akselia enemmän. Puhdistuvuus ja vetokyky arvioitiin kaikilla perävaunun renkailla riittäväksi tilan olosuhteisiin. ESL:n tilavuus on vertailun renkaista myös suurin 795 litraa.

**Taulukko 6.** Rengasvertailun tekemistä helpottaa useiden keskeisten ominaisuuksien pisteytys. Eniten pisteitä saivat Nokian ESL ja Trelleborg 800.

	Tilavuus	Indeksi	Kosketusala	Indeksi	Maan jännitys		Keskim. Pintapaine	Indeksi	Maan pinta-			Kokonaispisteet	Hinta ovh	Hinta /piste
					35 cm	Indeksi			tiivistymät	Vetokyky	Puhdistuvuus			
CerexBib 610	611	7	0,47	5	0,77	8	0,63	3	5	10	10	6,35	8 700	1370
Trelleborg 710	699	8	0,51	7	0,77	8	0,58	6	7	5	5	7,15	8 800	1231
Trelleborg 800	769	9	0,53	9	0,77	8	0,55	9	9	5	5	8,7	9 800	1126
Nokia ESL SB 750	795	10	0,54	10	0,74	10	0,54	10	10	6	6	9,9	4 200	424
<b>Painotus %</b>		10		10		20		30	15	7	8			





**Kuva 22.** Uudeksi renkaaksi puimuriin valittiin entistä 15 cm leveämpi, hyvin joustava, teräsvyövähvisteinen Nokia ESL SB 750/55R26,5.

Paremmiksi renkaiksi Sampoon valittiin Nokia ESL SB 750/55R26,5 -renkaat (kuva 22). Rengas arvioitiin kokonaisuutena tilan tarpeisin hyvin sopivaksi ja sen hinta oli selvästi edullisin.

#### **Useampi hyvä vaihtoehto paremmiksi renkaiksi löytyi** Miksi valittiin Nokia ESL SB 750/55Rx26,5 177D

- Kantavuus riittävä
- Sietää alhaisia paineita suunnitelluilla kuormilla
- Kantaa tasaisesti alhaisillakin paineilla
- Suurin tilavuus
- Reunat joustavia ja leviävät kantopinnaksi
- Matalat rivat eivät riko pellon pintaa
- Vetokyky ja puhdistuvuus riittäviä tilan tarpeisiin
- Hinta edullinen



**Kuva 23.** Muutostyönä portaiden yläpään lisättiin jatkopala ja alapään tukirauta vaihdettiin pitemmäksi.

## **MUUTOSTYÖT PUIMURIIN**

Leveämpien renkaiden asentaminen edellytti myös muutostöitä puimuriin (Kuva 23). Portaat oli tarpeen siirtää renkaan levenemisen verran ulommas. Portaiden yläpään teetettiin kylän pajalla 15 cm jatkopala ja alapään tukirauta vaihdettiin pitemmäksi.

## **RENGASINVESTOINNIN KANNATTAVUUS**

Investoinnin kokonaiskustannukseksi muodostui renkaineen, vanteineen ja muutostöineen noin 4500 euroa. Tilan vuotuiselle vilja-alalle 40 ha jaettuna tämä vastaa 112,50 eur kustannusta viljahehtaaria kohti. Viidelle vuodelle jaettuna kustannus on 22,50 eur/ha. Tulevien vuosien sadonlisien tulisi olla tätä suurempia, jotta investointi kannattaisi. Aikaisemmat kokemukset maan rakenteen merkityksestä tilan satotasoihin puoltavat parempiin renkaisiin investoinnin kannattavuutta.

## **SYKSYN KOKEMUKSET**

Renkaiden asennuksen jälkeen uusilla renkailla viljat puitiin syyskuun ensimmäisellä ja viimeisellä viikolla, jolloin oli sateetonta ja maa siedettävän kuivaa (Kuva 24). Uusi rengas kantoi hyvin 0,5 bar rengaspaineella. Kun iso rengas löysänä joustaa paljon, aiheuttaa se myös heilumista ja tiellä huojumista. Pellolla tämä ei haittaa, mutta tiellä varsinkin käännökset on syytä ajaa varovasti. Matalaprofiilinen rengas kulki pellolla rikkomatta maan pintaa. Aluksi uusi rengas vaihdettiin vain toiselle puolelle puimuria, jotta vanhaa ja uutta rengasta voitiin vertailla. Vanha korkearipainen rikkoi pellon pinnan ja teki jokin verran syvemmän raiteet.

Maan tiivistyminen puimurin raiteissa jäi uudella renkaalla vähäiseksi, painuma oli vain 1-2 cm luokkaa maan kosteudesta riippuen ja raide läpäisi syksyn sateet (Kuva 25). Vetokyky oli moitteeton.



**Kuva 24.** Uusilla renkailla oli vakaa puida 0,5 bar rengaspaineella. Päisteissä puimuri oli aikaisempaa hieman kankeampi käännettävä.



**Kuva 25.** Uusi rengas osoittautui hyvin kantavaksi. Merkitäviä raiteita ei syntynyt syksyn 2017 kosteissa oloissa. Pellon pinta ei rikkoutunut ja raide on läpäissyt syksyn sateet.

Maan pinta ei rikkoutunut missään kohtaa. Eritäin vaativissa olosuhteissa renkaassa voi kokeilla vieläkin alhaisempaa 0,4-0,45 bar rengaspainetta. Märille pelloille ei kuitenkaan pidä mennä maan tiivistymisen takia eikä matalaripaisen renkaan vetokyky silloin ilmeisesti riittäisikään.

**Kuva 26.** Suurimman kuormitetun säteen alulla voidaan määrittää alin rengaspaine. Vanteeseen sovitetaan sopivan kokoinen lauta, jonka keskelle kiinnitetään naula. Naulaan ripustetaan kuormitetun säteen pituinen ketju. Kun ketju tavoittaa maahan painetta laskettaessa, on saavutettu alin sallittu rengaspaine.

### KUORMITETTU SÄDE RENGASPAINEN MÄÄRITTÄMISESSÄ

Kun renkaan ilmoitettu halkaisija jaetaan kahdella, saadaan renkaan kuormittamaton säde. Vähentämällä kuormittamattomasta säteestä kuormitettu säde saadaan renkaalle suurin sallittu painuma. Esimerkiksi NokiaESL750/55R26,5renkaan halkaisija on 149,5 cm, ja kuormittamaton säde 74,75 cm. Rengaskäsikirjan mukaan kuormittamaton säde saa olla 67,0 cm. Rengas saa painua 7,7 cm.

Renkaan todellinen painuma voidaan määrittää sovitamalla vanteen keskelle sopiva lauta ja kiinnittämällä sen keskelle naula. Naulaan ripustetaan kuormittamattoman säteen pituinen ohut ketju. Renkaan ilmanpainetta lasketaan niin kauan, kunnes ketju tavoittaa maahan. Rengaskuorman tulisi tällöin olla suurin käyttöön tuleva rengaskuorma. Käytännössä tämän saaminen mukaan mittaukseen on hankalaa. Siksi rengaspaine tulee jättää jonkin verran suuremmaksi ettei ketju tavoita maahan.

### Rengaspaineen mittaus

Alhaisia rengaspaineita käytettäessä rengaspainemittarin tulee olla riittävän tarkka. Riittävän tarkka tarkkuusmittari maksaa muutama kymmenen euroa. Renkaiden paineet tulee myös tarkistaa riittävän usein. Näin voidaan välttää hitaasti vuotavan renkaan kallis rengasrikko.



### LOPUKSI

Parempien renkaiden hankinta puimuriin vaati oletettua enemmän paneutumista ja aikaa, mutta oli varsin opettavainen kokemus. Aikaa on syytä varata runsaasti noin 2-3 kk, jotta ehtii paneutua asiaan kunnolla muiden töiden lomassa. Lisäselvityksiin kuuluu myös aikaa. Erikoisvanteiden toimitusaika

on noin 3 viikkoa, joten renkaiden tilaus on syytä tehdä hyvissä ajoin ennen aiottua tarvetta. Isojen renkaiden asennuksessakin voi tulla ylimääräistä viivästymistä, jos renkaita ei saada vanteelle normaalein toimenpitein.

Lisää tietoa renkaiden valintaan löytyy OSMO-hankkeen sivuilta <http://www.maan-kasvukunto.fi>



**Kuva 27.**  
Tarkkuusmittari on välttämättömyys alhaisia rengaspaineita käytettäessä.



## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Oikein mitoitettujen ja valittujen maatalousrenkaiden avulla koneiden tiivistymisriskiä voidaan vähentää selvästi. Tärkeimmät tekijät tiivistymisriskien kannalta ovat rengaskuorma ja rengaspaine. Viime vuosina renkaiden ominaisuudet ovat kehittyneet siten, että alhaisilla rengaspaineilla voidaan kantaa entistä suurempia kuormia. Tämä vähentää maan tiivistymisriskejä selvästi, mutta myös rengaskuormien pienentäminen voi olla kustannustehokas tapa vähentää tiivistymistä. Koneketjutar-kastelulla voidaan tunnistaa maan tiivistymisen kannalta oleelliset koneet ja kohdentaa muutostohteet näihin. Viljelykiertoa monipuolistamalla voidaan vähentää tarvittavaa koneistuksen kokoa ja painoa. Mikäli koneita ei voida keventää tarpeeksi kevyiksi, rengaskuormia voidaan vähentää lisäämällä pari- ja telipyöriä. Jotta rengaskuormien

vähentämisestä saadaan etua, rengaspaineet tulee sopeuttaa työoloihin. Oikeiden rengaspaineiden käyttö eri tilanteissa helpottuu rengaspainetaulukon ja pikasäätoventtiilien avulla.

Renkaiden päivitys uudempiin, suuremman ilmatilavuuden tai suuremman joustavuuden renkai-siin voi mahdollistaa selvästi alemmat ilmanpaineet ja sitä kautta alhaisemman tiivistymisriskin. Renkaiden päivittäminen vaatii kuitenkin perehtymistä vaihtoehtoihin ja muutamiin keskeisiin teknisiin ominaisuuksiin (vierintäkehä, halkaisija, kuormitettu säde, kantavuus eri paineilla), joten siihen on hyvä varata aikaa ja ajatuksia. Uudet työkalut tiivistymisriskien arviointiin (Terranimo) helpottavat renkaiden valintaa ja vaikutusten arviointia huomattavasti.

# KIRJALLISUUS

- Ahokas, J., 2013. Polttoaineen kulutus peltotöissä, Maataloustieteiden laitos. Julkaisuja.
- Alakukku, L., Elonen, P., 1995. Long-term effects of a single compaction by heavy field traffic on yield and nitrogen uptake of annual crops. *Soil Tillage Res.* 36, 141–152. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(95\)00503-X](https://doi.org/10.1016/0167-1987(95)00503-X)
- Arvidsson, J., Keller, T., 2007. Soil stress as affected by wheel load and tyre inflation pressure. *Soil Tillage Res.* 96, 284–291. <https://doi.org/10.1016/j.still.2007.06.012>
- Bauer, F., Porteš, P., Slimařík, D., Čupera, J., Fajman, M., 2017. Observation of load transfer from fully mounted plough to tractor wheels by analysis of three point hitch forces during ploughing. *Soil Tillage Res.* 172, 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.05.007>
- Bengough, A.G., Campbell, D.J., O'Sullivan, M.F., 2000. Penetrometer techniques in relation to soil compaction and root growth. *Soil Environ. Anal. Phys. Methods* 2, 377–403.
- Berisso, F.E., Schjønning, P., Keller, T., Lamandé, M., Simojoki, A., Iversen, B.V., Alakukku, L., Forkman, J., 2013. Gas transport and subsoil pore characteristics: Anisotropy and long-term effects of compaction. *Geoderma* 195–196, 184–191. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.12.002>
- Chamen, T.W.C., Moxey, A.P., Towers, W., Balana, B., Hallett, P.D., 2015. Mitigating arable soil compaction: A review and analysis of available cost and benefit data. *Soil Tillage Res., Soil Structure and its Functions in Ecosystems: Phase matter & Scale matter* 146, 10–25. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.09.011>
- Chervet, A., Sturny, W.G., Gut, S., Sommer, M., Stettler, M., Weisskopf, P., Keller, T., 2016. Die maximal tragbare Radlast - eine zweckmäßige Kenngröße für die Praxis. *Agrar. Schweiz* 7, 330–337.
- Colombi, T., Kirchgessner, N., Walter, A., Keller, T., 2017. Root Tip Shape Governs Root Elongation Rate under Increased Soil Strength. *Plant Physiol.* 174, 2289–2301. <https://doi.org/10.1104/pp.17.00357>
- Etana, A., Håkansson, I., 1994. Swedish experiments on the persistence of subsoil compaction caused by vehicles with high axle load. *Soil Tillage Res., Subsoil Compaction by High Axle Load Traffic* 29, 167–172. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(94\)90053-1](https://doi.org/10.1016/0167-1987(94)90053-1)
- Feiffer, A., Kutschenreiter, W., Feiffer, P., 2005. Getreideernte - sauber, sicher, schnell: Ein Ratgeber rund um den Mähdrusch, 1st ed. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- Gut, S., Chervet, A., Stettler, M., Weisskopf, P., Sturny, W.G., Lamandé, M., Schjønning, P., Keller, T., 2015. Seasonal dynamics in wheel load-carrying capacity of a loam soil in the Swiss Plateau. *Soil Use Manag.* 31, 132–141. <https://doi.org/10.1111/sum.12148>
- Håkansson, I., 2005. Machinery-induced compaction of arable soils (Reports from the division of soil management No. 109). SLU, Uppsala.
- Håkansson, I., Voorhees, W.B., Elonen, P., Raghavan, G.S.V., Lowery, B., Van Wijk, A.L.M., Rasmussen, K., Riley, H., 1987. Effect of high axle-load traffic on subsoil compaction and crop yield in humid regions with annual freezing. *Soil Tillage Res.* 10, 259–268. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(87\)90032-8](https://doi.org/10.1016/0167-1987(87)90032-8)
- Hartge, K.H., Horn, R., 2016. Essential soil physics: an introduction to soil processes, functions, structure and mechanics = An introduction to soil processes, functions, structure and mechanics, 1st edition, based on the fourth, completely revised and extended German edition. ed. Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart.
- Horn, R. (Ed.), 2000. Subsoil compaction: distribution, processes and consequences, *Advances in geoecology*. Catena-Verl, Reiskirchen.
- Keller, T., 2004. Soil compaction and soil tillage: studies in agricultural soil mechanics. SLU Service, Uppsala, Tryck.
- Keller, T., Håkansson, I., 2010. Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. *Geoderma* 154, 398–406. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.11.013>

- Keller, T., Ruiz, S., Stettler, M., Berli, M., 2016. Determining Soil Stress beneath a Tire: Measurements and Simulations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 80, 541–553. <https://doi.org/10.2136/sssaj2015.07.0252>
- Macmillan, R.H., 2002. The mechanics of tractor-implement performance: theory and worked examples: a textbook for students and engineers. R. H. Macmillan.
- Naderi-Boldaji, M., Keller, T., 2016. Degree of soil compactness is highly correlated with the soil physical quality index S. *Soil Tillage Res.* 159, 41–46. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.01.010>
- Schjønning, P., Lamandé, M., Keller, T., Pedersen, J., Stettler, M., 2012. Rules of thumb for minimizing subsoil compaction. *Soil Use Manag.* 28, 378–393. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2012.00411.x>
- Schjønning, P., Lamandé, M., Munkholm, L.J., Lyngvig, H.S., Nielsen, J.A., 2016. Soil pre-compression stress, penetration resistance and crop yields in relation to differently-trafficked, temperate-region sandy loam soils. *Soil Tillage Res.* 163, 298–308. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.07.003>
- Schjønning, P., van den Akker, J.J.H., Keller, T., Greve, M.H., Lamandé, M., Simojoki, A., Stettler, M., Arvidsson, J., Breuning-Madsen, H., 2015. Chapter Five - Driver-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) Analysis and Risk Assessment for Soil Compaction—A European Perspective, in: Sparks, D.L. (Ed.), *Advances in Agronomy*. Academic Press, pp. 183–237. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.06.001>
- Šmerda, T., Čupera, J., 2010. Tire inflation and its influence on drawbar characteristics and performance – Energetic indicators of a tractor set. *J. Terramechanics* 47, 395–400. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2010.02.005>
- Weisskopf, P., Reiser, R., Rek, J., Oberholzer, H.-R., 2010. Effect of different compaction impacts and varying subsequent management practices on soil structure, air regime and microbiological parameters. *Soil Tillage Res., IZMIR conference (ISTRO 2009)* 111, 65–74. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.08.007>

Lisää tietoa maan kasvukunnon hoitoon löytyy OSMO-hankkeen sivuilta <http://www.maan-kasvukunto.fi>



[WWW.HELSINKI.FI/RURALIA](http://WWW.HELSINKI.FI/RURALIA)



HELSINGIN YLIOPISTO  
RURALIA-INSTITUUTTI