

# **Metsänlannoitus mönkijällä**

Juha Kettunen

Opinnäytetyö  
Marraskuu 2016

Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma  
Luonnonvara- ja ympäristöala

Tekijä(t) Kettunen, Juha	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Marraskuu 2016
	Sivumäärä 37	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Metsänlannoitus mönkijällä</b>		
Tutkinto-ohjelma Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Nikkilä, Jukka		
Toimeksiantaja(t) Maa- ja metsänhoitopalvelu Juha Kettunen		
Tiivistelmä  <p>Metsän lannoittamisella pyritään parantamaan metsän kasvua ja tasaamaan puiden kasvussa tarvitsemaa ravinteiden tasapainoa. Erityisesti harvennushakkuun jälkeen metsän kasvu on hetkellisesti häiriötilassa ravinteiden epätasapainon vuoksi. Harvennetun kuvion ajouraverkosto mahdollistaa lannoittamisen koneella maastosta käsin. Metsän lannoituksia on tehty yleensä lentolevityksenä helikopterilla ja maalevityksenä metsäkoneella tai maataloustraktorilla. Kuusimetsässä maalevityksiä ei saisi tehdä liian raskailla koneilla, koska kuusen juuristot sijaitsevat lähellä maan pintaa. Pintalevittimellä varustettu kevyt mönkijä on yksi toimiva ratkaisu tilanteeseen.</p> <p>Mönkijän käytöstä maalevityksissä selvitettiin miten tasaisesti lannoitus onnistuu ajourien välille ja miten hyvin liikkuminen onnistuu ajouraverkostossa. Mönkijällä tehtiin maastossa käytännön mittauksia ajamisesta ja levityskattavuudesta.</p> <p>Mönkijällä liikkuminen ajouraverkostossa oli kohtuullisen toimivaa. Ajaminen vaatii hyvää ennakoimista ajourien käänöksissä, sekä kuusten niskajuurien ja suurien kivien väistämisessä. Kumitelakäyttöinen mönkijä oli jäykkä kääntymään telojen suuren pinta-alan vuoksi. Kumitelojen hyvänä ominaisuutena huomattiin, ettei maastoon jäänyt kovinkaan pahoja jälkiä ajamisesta. Mönkijän ajonopeuden todettiin sopivan maastoajoon. Viimeisessä testi-kohteessa lannoitteen levityskattavuudessa päästiin jopa 26 metrin työlevyteen, joka on riittävä maalevityskoneen tulokseksi.</p> <p>Pienkoneeksi valittu mönkijä oli sopiva testikohteissa ja sen käyttämistä kannattanee jatkaa myös isompiin kohteisiin. Laitteiston kestävyttä ei testattu pienurakointiolosuhteissa, koska se tehdään seuraavassa pilottihankkeessa.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> )  Metsänlannoitus, lannoite, mönkijä, pintalevitin, levityskattavuus, maalevitys, ajoura		
Muut tiedot		

Author(s) Kettunen, Juha	Type of publication Bachelor's thesis	Date November 2016  Language of publication: Finnish
	Number of pages 37	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Forest fertilization with all-terrain vehicle</b>		
Degree programme Degree Programme in Agricultural and Rural Industries		
Supervisor(s) Nikkilä, Jukka		
Assigned by Agriculture and forestry service Juha Kettunen		
Abstract  <p>The forest fertilization improves forest growth and the nutrient balance of growing trees. The forest growth is momentarily disturbed after thinning due to nutrient imbalance. The fertilization of forest is possible to be done with machines by using strip roads of the thinned forest. The fertilization of forest has been done by the helicopter from the air and by the forest machines or the agricultural tractors from the ground. The spruce forest fertilization may not be done with too heavy machines because roots of spruce are near the soil surface. The light all-terrain vehicle (ATV) with the fertilizer spreader would be a good solution to the situation.</p> <p>In this study it was tested if it is possible to spread fertilizer with the ATV evenly between the strip roads and how well the ATV moves on the strip roads. Practical measurements were made for the behavior of ATV driving and distribution coverage of fertilizer in the forest.</p> <p>Driving the ATV was quite good on the strip roads. Driving requires good anticipation in turns of the strip roads and avoiding roots of spruces and big rocks. The ATV with rubber tracks was stiff to turn due to the large surface area of the tracks. A good property of rubber tracks was that no traces were left in the forest during driving. The driving speed of the ATV was suitable for off-road driving. In the last test target the working width reached up to 26 meters, which was a sufficient result for the ground spreader machine.</p> <p>The chosen ATV was suitable in tested places and using the ATV makes sense in larger places too. The durability of the equipment was not tested in small contracting conditions because it will be done in the next pilot project.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) Forest fertilization, fertilizer, all-terrain vehicle (ATV), fertilizer spreader, distribution coverage, ground spreader, strip road		
Miscellaneous		

## Sisältö

1	Tutkimuksen taustat.....	3
2	Tutkimussuunnitelma.....	4
3	Laitteiston ja metsälannoituksen perustiedot .....	6
	3.1 Laitteisto.....	6
	3.2 Astiatesti.....	11
	3.3 Laskentakaavat .....	13
4	Metsänlannoituksen kohteiden tulokset .....	14
	4.1 Tarvaalan testikohde .....	14
	4.1.1 Testauksen lähtökohdat .....	14
	4.1.2 Maastovauriot .....	17
	4.1.3 Työajan mittaus .....	21
	4.1.4 Testauksen loppupäätelmät .....	21
	4.2 Kalmarin testikohde .....	22
	4.2.1 Testauksen lähtökohdat .....	22
	4.2.2 Maastovauriot .....	26
	4.2.3 Työajanmittaus .....	28
	4.2.4 Testauksen loppupäätelmät .....	28
5	Johtopäätökset.....	29
6	Pohdinta .....	30
	Lähteet.....	33
	Liitteet .....	34
	Liite 1. Hydraulikkamoottorin ominaiskäyrästä .....	34
	Liite 2. Mittauspöytäkirja .....	35
	Liite 3. Mittauspöytäkirja .....	36
	Liite 4. Mittauspöytäkirja .....	37

## Kuviot

Kuvio 1. Laitteiston kokoonpano.....	6
Kuvio 2. Pienkoneeksi valittu mönkijä .....	7
Kuvio 3. Lannoitteen pintalevitin ja perävaunu .....	8
Kuvio 4. Mönkijän hydrauliiikan käyttökoneisto.....	9
Kuvio 5. Levittimen kierrosnopeuden mittari .....	10
Kuvio 6. Pyörintänopeusanturi mittaa levittimen käyttöakselin kierroksia .....	10
Kuvio 7. Mönkijän ajouraopastin .....	11
Kuvio 8. Astiatestin periaatepiirros.....	12
Kuvio 9. Näkymä testikohteen kokoojauralta .....	15
Kuvio 10. Mittausastiat ajouraa nähden poikkisuunnassa .....	16
Kuvio 11. Niskajuurivaurio .....	18
Kuvio 12. Tyvipilkkavaurio.....	19
Kuvio 13. Mustikkavarvikon näkymä ajamisen jälkeen .....	19
Kuvio 14. Mönkijäyhdistelmä ajouralla.....	20
Kuvio 15. Näkymä Kalmarin testikohteesta .....	23
Kuvio 16. Kiertokokeen tekeminen .....	24
Kuvio 17. Boorilannoitteen pölyäminen lannoituksen aikana .....	26
Kuvio 18. Ajouran tyypillinen kasvillisuusnäkymä .....	27

## Taulukot

Taulukko 1. Työajan käyttö lannoituksessa .....	21
Taulukko 2. Työajankäyttö lannoituksessa .....	28

## 1 Tutkimuksen taustat

Metsän lannoituksia on tehty lentolevityksenä helikopterilla ja maalevityksenä metsäkoneilla ja maataloustraktoreilla. Lannoituksia tehdään metsän harvennuksen jälkeen, jolloin metsä on kehitysluokassa kolme. Harvennetun kuvion ajouraverkosto antaa hyvän mahdollisuuden liikkumiseen koneella maastossa. Metsän lannoittamisella pyritään parantamaan metsän kasvua ja tasaamaan ravinteiden tasapainoa puuston kasvussa. Erityisesti harvennushakkuun jälkeen metsä on hetkellisesti häiriötilassa ravinteiden epätasapainosta johtuen.

Traktorityyppinen maalevityskone voi painaa jopa 5000–10000 kg. Kyseinen paino rajoittaa liikkumista pehmeissä kuusimetsiköissä. Kuusimetsikön tyypillinen kasvupaikka on tuore tai lehtomainen kangas. Kuusimetsikön kasvupaikat ovat hyvin humuspitoisia, multavia ja pehmeitä rakenteeltaan. Kuusen juuristo sijaitsee lähellä maan pintaa ja on hyvin alttiina vauriolle, kun painava kone ajaa siitä yli. Tämän vuoksi kuusikkometsien harvennukset tehdään raskailla kuormatraktoreilla pääsääntöisesti talvella routaisen maan aikana. Routa, hakkutähteet ja lumi suojaavat kuusen juuristoa. Kevyt kumitelamönkijä varustettuna pintalevittimellä on ratkaisu tilanteeseen, jotta lannoituksia voidaan suorittaa kuusimetsiköissä sulan maan aikana.

Pienkoneet ovat yleistyneet hyvän toimivuuden ja kokonsa puolesta monissa tehtävissä. Pienkoneiden käyttö- ja investointikustannukset ovat pienemmät. Esimerkiksi rakennustyömailla käytetään pienkaivuria ahtaissa paikoissa ja ilmakuvauksissa käytetään miehittämätöntä pienlentokonetta, jolla kartoitetaan peltokasvien kasvun tilannetta.

Usein kannattaa harkita, minkä kokoisilla työkoneilla työvaiheet tehdään. Metsänlannoituksessa levitysmassat ovat pieniä. Esimerkiksi, jos lannoitetta levitetään 300–700 kg hehtaarille, ei ole järkevää käyttää 10000 kg painavaa traktoria, jos sama levitystyö pystytään tekemään nopeammin ja huomattavasti kevyemmällä pienkoneella. Näin ollen pienkoneille on käyttöä metsänlannoituksessa ja metsän terveyslannoituksissa, kuten booriravinteiden puutoskohteissa. Tällä hetkellä maakuntien metsissä on paljon puutetta booriravinteesta. Ongelmana näissä kohteissa on ollut, ettei niihin ole saatu käyttöön sopivan kevyttä työkönnettä. Eli kyseiselle työkoneelle on tarvetta. Tämän perusteella opinnäytetyössä päätettiin tutkia mönkijän käyttämistä metsän-

lannoituksissa, eli miten ajaminen mönkijällä maastossa onnistuu ja saadaanko lannoite levitettyä riittävän kattavasti ajourien välille.

Mönkijät tarjoavat laajemman työpalveluvalikoiman metsänhoitopalveluyrittäjille lannoitustyöskentelyssä. Metsänomistajat puolestaan hyötyvät lannoite- ja terveystyöskentelystä metsän parempana arvokasvuna. Kuusikkometsiin saadaan oikeanlainen työkone sulan maan ajan työskentelyyn.

Mönkijöiden käyttämistä erilaisissa metsätalouden hoitotyössä on tutkittu, ja tietoa löytyy esimerkiksi Keski-Suomen Liiton ja Jyväskylän ammattikorkeakoulun rahoittamassa hankkeessa metsänomistajille syntyneestä oppaasta ”Kevyet koneet metsänhoidossa”. Kyseisessä tutkimuksessa on käytetty puhallustyypistä levitinvaunua lannoitteen levityksessä. (Parviainen, Pellinen, Salminen & Sauranen 2014, 14–16.)

Lisäksi samasta aiheesta on kerrottu Aarre -lehden artikkelissa ”Mönkijällä metsätöihin” (Jussila 2016).

Tässä opinnäytetyötutkimuksessa käytettiin puutarhakäyttöön suunniteltua kaksoislautasilla varustettua pintalevitintä. Levittimestä ei ole ennakkoon tutkittua tietoa metsätalouden lannoitteen levityskäytössä ja eikä myöskään mönkijän työkonevarusteena. Pintalevittimellä on valmistajan takaama lupaus lannoitteen levityksen tasaisuudesta ja kattavuudesta maatalouskäytössä.

## 2 Tutkimussuunnitelma

Työn tavoitteena oli selvittää mönkijän käyttöä kuusikkometsien metsänlannoituksessa ja ratkaista ongelmat työssä käytetyssä laitteistossa.

Työn tutkimuskohteena olivat ongelmalliset sulan maan aikaiset kuusimetsiköt. Käytännön ajokokeita suoritettiin tuoreilla ja lehtomaisilla kankailla. Ajokokeilla testattiin, millaisia juuristovaurioita aiheutuu mönkijän ajolinjoista ja rikkooko kumitelamönkijä kuusen juuristoa sulan maan aikana. Ajolinjoista tehtiin silmämääräinen arviointi mahdollisista vaurioista ajon jälkeen.

Työn toisena aiheena oli varmistaa mittaamalla mönkijän levitinlaitteistolla levitetyn lannoitteen levittyneisyys ajourien välille. Levitysalueella tehtiin astiatesti, joilla mi-

tattiin lannoitteen levittyneisyys ajourien välillä. Mahdollisia laitteiston komponenttien muutostöitä tehtiin tutkimuksen aikana opinnäytetyön tavoitteiden saavuttamiseksi. Tutkimusmenetelmäksi valittiin toimintatutkimuksen ja kvantitatiivisen tutkimuksen yhdistelmä.

Toimintatutkimuksen osuus liittyy laitteiston muutoksiin ja kehitystyöhön. Tarvittaessa laitteiston komponentteja muutetaan halutun ominaisuuden saavuttamiseksi. Riittävän levityskattavuuden saavuttamiseksi todennäköisesti on tehtävä komponenttimuutoksia laitteistoon. Tällöin tutkimustyöhön kuuluu suunnittelua, toteuttamista ja uuden tuloksen arviointia. Tätä sykliä toistetaan niin kauan, että ongelma on saatu ratkaistua. Lisäksi oikean ajotavan löytyminen tarvitsee toimintatutkimuksen ”ratkaisua ongelmaan” -tyyppistä ajattelumallia. Toimintatutkimus mahdollistaa tehdä muutoksia ongelmanratkaisuun näissä tapauksissa. (Linturi 2003.)

Kvantitatiivinen osuus liittyy levityskattavuuden mittaukseen. Astiatestipisteitä tehdään useita, joiden perusteella voidaan määrittää keskiarvo lannoitteen levittäytymiselle ajourien välillä. Mittausastioita on 15 kappaletta, ja ne asetellaan 2 metrin välein toisistaan poikkisuuntaan ajouraan nähden. Jokaisesta astiasta mitataan kertynyt lannoitteen määrä tarkkuusvaakaa käyttäen. Tämän tiedon pohjalta saadaan tulokset levityksen tasaisuudesta ja kattavuusalueesta. Kvantitatiivinen menetelmä soveltuu yleisesti mittaamiseen, määrälliseen ja keskiarvojen määrittelyyn analysoitaessa tuloksia.

Lannoitteen määrällisen tiedon mittaaminen on luotettavaa, koska mittausastiat keräävät tiedon. Mittausastiat asetetaan aina näkyvälle linjalle, kun ohitetaan mittauspiste mönkijällä. Kun levitystyötä tehdään luonnollisissa olosuhteissa, lannoittamattomia katvealueita muodostuu puiden tai isojen kivien taakse. Puuston pohjapinta-alan mittauksella voidaan seurata puuston järeydestä aiheutuvaa vaikutusta lannoituksen kattavuuteen. Jokaisen mittauspisteen kohdalla mönkijällä on ajettava samaa ajonopeutta ja levittimen pyörintänopeuden on oltava sama. Näin tuloksista saadaan vertailukelpoisia keskenään.

Silmämääräisessä maastovaurioarvioinnissa on oltava hyvin kriittinen. Silmin nähtävää maastovaurioita ei saa vähätellä. Toleranssi maastovahingoissa on pyrittävä pitämään nollassa. Maastovaurion tapahtuessa ajovaihe suunnitellaan, suoritetaan ja



mahdolliset maastovauriot tarkistetaan uudelleen tutkimustyön ongelmanratkaisutoiminnan mukaisesti. Tällä tavoin tuloksista saadaan luotettavia.

Työn tilaajana on oma yritykseni Maa- ja metsänhoitopalvelu Juha Kettunen. Yritys tarjoaa maa- ja metsänhoitopalvelua ja sen liikevaihto on noin 60 000 euroa vuodessa. Yritys työllistää yhden henkilön vuodessa. Tällä hetkellä yritys tarjoaa maatalouden lomituspalvelua ja metsätalouden taimien istutus- ja raivauspalvelua. Yrityksellä on tavoitteena laajentaa toimintaa metsänlannoitukseen tämän tutkimuksen myötä.

### 3 Laitteiston ja metsälannoituksen perustiedot

#### 3.1 Laitteisto

Työkonelaitteisto koostui kuviossa 1 esitetystä kokoonpanosta.



Kuvio 1. Laitteiston kokoonpano

Pienkoneeksi valittiin mönkijä, jossa on kumitelat. Lannoitteen levittimenä on puutarhakäyttöön suunniteltu kaksoislautasilla varustettu pintalevitin. Mönkijään on

asennettu hydraulikkajärjestelmä, jonka avulla voidaan käyttää levittimen pyöritystä ja ajouraopastin, joka helpottaa metsäkuviolla liikkumista.

Mönkijä on Polaris-merkinen ja malliltaan Sportsman Forest 800 Big Boss 6x6 (ks. kuvio 2). Moottorin kuutiotilavuus on 760 cm<sup>3</sup> ja teho on 41 kW. Kuivapaino on 481 kg. Mitat (pit. x lev. x kork.) ovat 2840 mm x 1220 mm x 1220 mm. Jarruttoman kärryn vetokyky on 1030 kg. Maavararenkailla 270 mm. (Polaris Sportman Forest 800 6x6 2013, 128.)



Kuvio 2. Pienkoneeksi valittu mönkijä

Amazone ZA-XW Perfect 502 pintalevitin + S 200 (ks. kuvio 3). Säiliön tilavuus on 700 litraa. Hyötykuorma on 1000 kg. Levittimen peruspaino on 217 kg. Mitat (pit. x lev. x kork.) ovat 1280 mm x 1080 mm x 1070 mm. Työleveys on 10-18 m. Levityslautasten kierrosluku on 720 r/min, kun voimanottoakselin kierrosluku on 540 r/min. Levityslautasten suurin sallittu kierrosluku on 870 r/min, kun voimanottoakselin kierrosluku on 650 r/min. (Amazone-lannoitteenlevitin 2013, 35.)

Levittimen kotimaisen maahantuojan arvion mukaan apulantalevitin tarvitsee maksimissaan 4 kW pyörintätehoa (Salento 2014).

Perävaunu on Ultratec Pro 1200 (ks. kuvio 3). Kuorman kantavuus on 1200 kg (Mönkijöiden - - 2014, 13). Perusrunkoon on tehty muutokset pintalevittimen kiinnitystä

varten. Renkaiisiin on tehty pariopyörämuutos. Mitat (pit. x lev. x kork.) ovat 3000 mm x 1650 mm x 1950 mm. Arvioni perävaunun kokonaispainosta muutostöineen ilman pintalevitintä on 200 kg.



Kuvio 3. Lannoitteen pintalevitin ja perävaunu

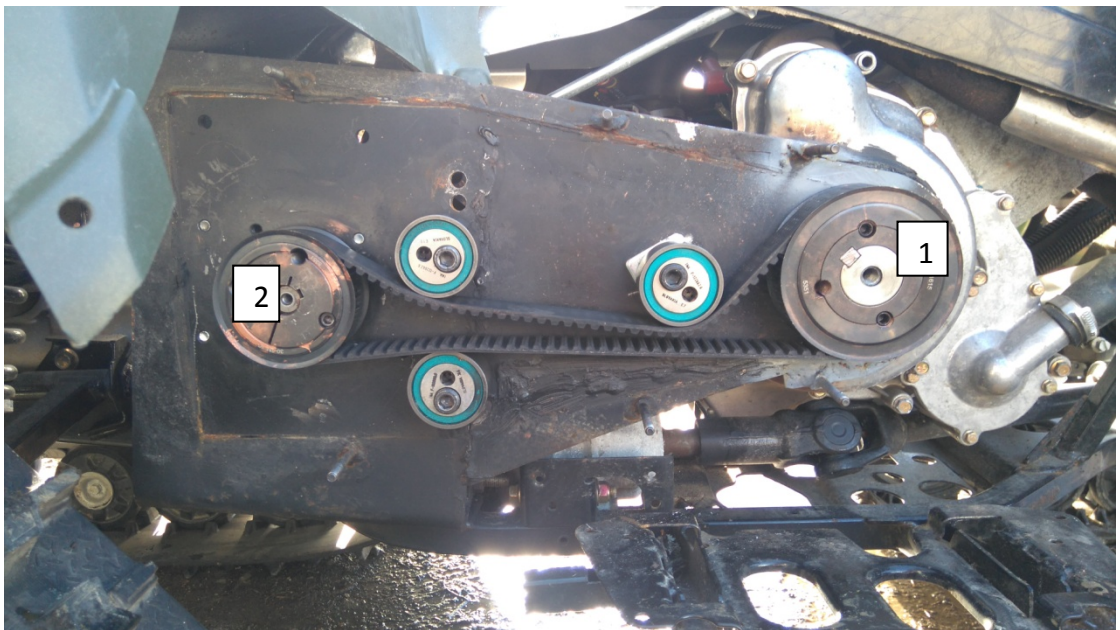
Mönkijään tilattiin hydraulikkalisävaruste 9.7.2014. Tilaus sisälsi hydrauliiikan asennuksen Ihanuus Oy:ltä. Kuviossa 4 näkyy miten hydraulikkapumppu 2 ottaa käyttövoimansa mönkijämoottorin vauhtipyörästä hammaspyörän 1 kautta. Mönkijään tarvitaan kaksi erilaista hydraulikkaukosottoa, joiden ominaisuudet ovat seuraavanlaiset:

- 1) **Hydraulikkaukosotto 1**, jolla voidaan käyttää kaksitoimista hydraulikkasylinteriä. Apulantalevittimessä on kaksitoiminen hydraulinen toiminto luistimelle, joka aukaisee ja sulkee apulannan syötön.
- 2) **Hydraulikkaukosotto 2**, jolla voidaan käyttää hydraulikkamoottoria vähintään 540 r/min. Apulantalevittimen pyöritysmoottoriksi on valittu MR50 hyd-



rauliikkamoottori. Liitteen 1 ominaiskäyrän mukaan hydraulikkamoottorista on mahdollista saada noin 3,5 - 4 kW pyöritystehoa työpumpun 100 bar painetasolla ja 30 l/min virtauksen tuotolla. Näillä edellä mainituilla arvotekijöillä hydraulikkamoottorin pyörintänopeuden pitäisi olla 540 - 600 r/min.

Amazone-yrityksen tuotepäällikön Tommi Salenton (2014) arvion mukaan apulantalevittin tarvitsee maksimissaan 4 kW pyörintätehoa. Apulantalevittimen pyörintänopeusvaatimus on vähintään 540 r/min. Tämä pyörintänopeus takaa levitinvalmistajan lupaaman levityskattavuuden. Valmistajan mukaan levittimen suurin pyörintänopeus käytössä saa olla 650 r/min. Mönkijä lähtee liikkeelle, kun kierrokset ovat noin 2000 r/min ja sen maksimikäyttökierrokset ovat noin 6000 r/min. Mönkijällä ajetaan työnopeutta kierroksien 3000–4000 r/min välillä, jolloin hydraulikkamoottorin tulee saavuttaa 540 r/min. Hydraulikkajärjestelmässä tulee lisäksi olla öljylauhdutin, jossa on sähköohjattu puhallin.



Kuvio 4. Mönkijän hydraulikan käyttökoneisto

Levittimen kierrosnopeutta seurataan Eltrip-R20f -mittarilla (ks. kuvio 5). Mittaria käytetään yleisesti kilpa-autojen matkan, ajan, kierrosten ja yms. mittaukseen. Mittarista käytetään pelkästään kierroslukumittausominaisuutta levittimen pyörintänopeuden mittaamiseen (Eltrip-r20 & Eltrip-r20f 2013, 4).



Kuvio 5. Levittimen kierrosnopeuden mittari

Levittimen kierrosluvun seurantaan sain Jussi Olkkosen (2010, 63) opinnäytetyöstä seuraavan jatkokehitysideoan. Levittimen kierrosluvun seurantaan kannattaisi hankkia lisävarusteena nopeutta mittaava anturi, jos levittimen kierrosluvun 540 r/min vakio- kierroksien pitäminen suunnitellulla rakenteella ei ole mahdollista (ks. kuvio 6). Kierrosluvunäytöllä voitaisiin seurata paremmin levittimen toimintaa ajon aikana, sillä levittimen kierrosluvun vaihtelu vaikuttaa suoraan levittimen työlevyyteen. (Olkkonen 2010, 63.)



Kuvio 6. Pyörintänopeusanturi mittaa levittimen käyttöakselin kierroksia

Ajouraopastimeksi on valittu Trimblen CFX750 (ks. kuvio 7). Ajouraopastin koostuu näyttölaitteesta ja GPS-antennista. Näyttölaitteeseen asetetaan työlaitteiston, antenin ja työleveyden sijaintimitat. Mittatietojen perusteella ajouraopastin paikantaa laitteiston satelliittien välityksellä ja muodostaa yhteyden sijaintitietoon.



Kuvio 7. Mönkijän ajouraopastin

Satelliittipaikannuksen perusteella ajouraopastimella voidaan suorittaa esim. maalaustoimintoa käsitelystä lannoitusalueista. Maalaustoiminnolla voidaan tallentaa asetetun työleveyden kattama lannoitettu alue, joka helpottaa kuljettajaa muistamaan aikaisemmin käsitellyt alueet. (Ajouraopastimet 2016.)

Lannoituskohteessa ajourat ovat noin 20 metrin välein toisistaan. Maalaustoiminnon työleveydeksi on asetettu 18 metriä, joka on pintalevittimen valmistajan lupaama suurin työleveys (Amazone-lannoitteenlevitin 2013, 35). Tässä työssä käytettiin vain maalaustoiminto-ominaisuutta.

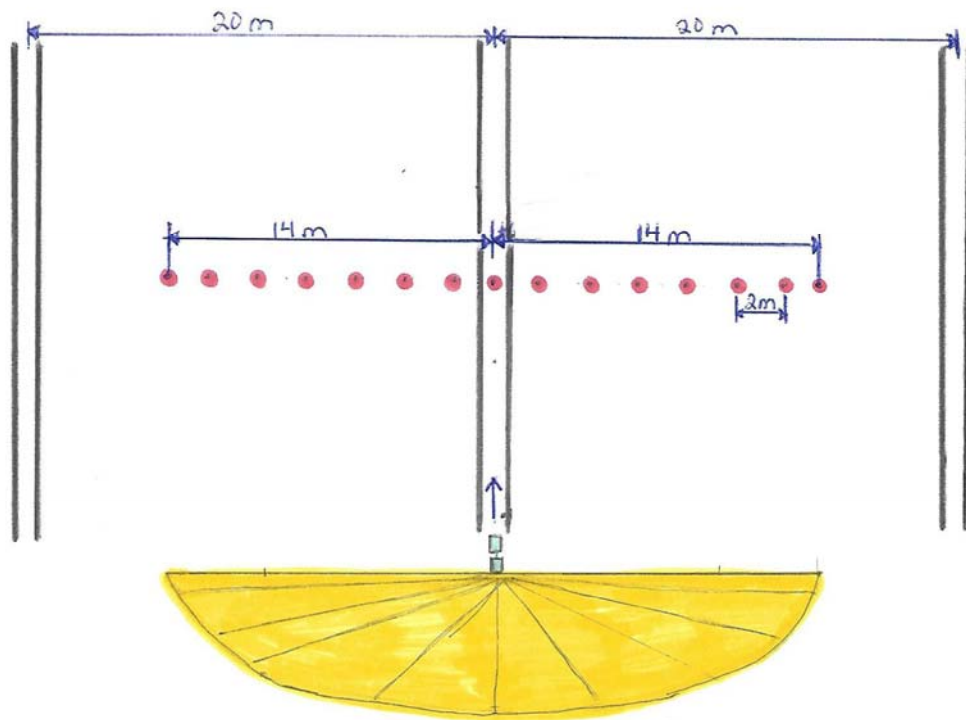
### 3.2 Astiatesti

Lannoitteen kattavuuden mittauksesta sain tietoa Yara-lannoiteyrityksen asiakaspäällikkö Petri Kortejärveltä (2014) seuraavasti: Vadin yläosan halkaisijan ollessa 41 cm sen pinta-ala on 0,132 neliötä ( $0,205 \times 0,205 \times 3,1415$ ). Jos levitysmäärän tavoite on 600 kg/ha, eli 600 kg per 10000 neliötä, niin tästä saadaan laskettua lannoitteen ta-



voitemäärä jokaisessa astiassa seuraavasti  $(0,132 / 10000) * 600 \text{ kg} * 1000 \text{ g} = 7,92 \text{ g}$ .  
(Kortejärvi 2014.)

Eli kun vadista punnitaan lannoitetta 7,92 g, niin hehtaariannos on tarkalleen haluttu 600 kg. Vateja asetetaan kahden metrin välein siten, että ajouran keskelle tulee ensimmäinen vati ja siitä molemmin puolin vadit kahden metrin välein siten, että vateja on aina 14 metrin päähän ajouran keskeltä (ks. kuvio 8). Tarvitaan siis 15 astiaa yhteensä. (Kortejärvi 2014.)



Kuvio 8. Astiatestin periaatepiirros

Kunkin astian sisältö punnitaan erikseen ja merkitään taulukkoon. Tästä saadaan jakauma siitä, kuinka tasaisesti lannoite leviää. Astiat asetetaan koko ajouran leveydelle ja ajetaan sitten molemmat ajourat kertaalleen. Tällä tavalla pinta-ala tulee levitettyä kahteen kertaan. Päällekkäispeitto tasoittaa levitystulosta, ja siihen pyritään levityksen säätöjä tehdessä. Säätö tehdään niin, että muutama rae kantaa seuraavalle ajouralle asti. Käytännössä ei ole mahdollista säätää levitintä levittämään tarkalleen vain 10 metriä molemmin puolin. Jos tätä yrittää, lopputuloksena on se, että lannoitetta on enemmän ajouralla ja hyvin vähän ajourien välissä. Metsätraktorilevitykses-

sä säädetään levityspeveys yleensä maksimiin (40 m), ja kun jokainen ajoura ajetaan, peitosta tulee tasainen. Ajourakohtaisesti lannoitteen määrän pitää olla siten puolet pienempi 300 kg/ha, jotta kokonaisuudessa tavoitetaan 600 kg/ha määrä. (Kortejärvi 2014.)

### 3.3 Laskentakaavat

Mittauspöytäkirjana on Excel-taulukot (ks. liitteet 2-4), joissa tarvitaan laskentakaavat astian pinta-alalle, yksittäisen astian lannoitemäärä hehtaarille ja astioiden keskimääräinen lannoitemäärä hehtaarille tuloksien laskemiseen.

Astian pinta-ala:

$$A = \pi * r^2$$

A = pinta-ala (cm<sup>2</sup>)

r = astian pohjan säde (cm)

Yksittäisen astian lannoitemäärä hehtaarilla:

$$k = n / A * 10000 * 10000 / 1000$$

k = lannoitemäärä (kg/ha)

n = astian lannoitemäärä (g)

A = pinta-ala (cm<sup>2</sup>)

Astioiden keskimääräinen lannoitemäärä hehtaarilla:

$$X = K / z$$

X = keskimääräinen lannoitemäärä (kg/ha)

K = astioiden lannoitemäärä hehtaarilla yhteensä (kg/ha)

z = astioiden lukumäärä (kpl)



## 4 Metsänlannoituksen kohteiden tulokset

Testikohteena olivat Tarvaalassa ja Kalmarissa sijaitsevat kuusikkokuviot. Kohteissa mitattiin lannoitteen levityksen kattavuutta, analysoitiin maastovaurioita ja suoritettiin työaikamittauksia. Tutkimuksessa oli mittauksiin suoraan perustuvia ja havainnoiteihin liittyviä tuloksia. Toimintatutkimukseen toimintaan kuuluivat suunnittelu, suoritusvaihe ja uuden tuloksen havainnointi. Tätä sykliä toistettiin niin kauan, että ongelma saatiin ratkaistua. Olennaista tässä tutkimuksessa oli hyödyntää mitattuja ja havaittuja tuloksia ja saada niiden avulla ratkaistua ongelma.

### 4.1 Tarvaalan testikohde

#### 4.1.1 Testauksen lähtökohdat

Ensimmäinen testikohde oli Tarvaalassa sijaitseva, noin kolmen hehtaarin kohde (ks. kuvio 9). Kohteessa oli aikaisemmin tehty kolmannen kehitysluokan harvennus ja puusto on nyt järeytynyt neljänteen kehitysluokkaan. Kohteessa oli ajouraverkosto valmiina. Maastotyyppityksessä kohde täyttää lehtomaisen kankaan ja mustikkatyyppin luokituksen. Valtapuulajina on kuusi. Kohde on tasainen ja helppokulkuinen. Kuvio on vanhaa laidunnusmaata, joten alueella on havaittavissa boorin vajausta. Boorin vajaus näkyy monilatvaisuutena kuusen kasvussa.



Kuvio 9. Näkymä testikohteen kokoojauralta

Alueelle oli varattu YaraMila Metsän NP 1 lannoitetta 433 kg/ha. Metsän NP 1 rakeistettu lannoite soveltuu hyvin pintalevittimen valmistajan ilmoittamiin vaatimuksiin.

Testin alkaessa pintalevittimen pyörimisnopeuden tiedettiin olevan liian pieni. Saavutettu pintalevittimen pyörimisnopeus oli vain 340 r/min mönkijän moottorin kierrosnopeuden ollessa 4000 r/min. Valmistajan vaatimus pintalevittimen kierrosnopeudeksi oli 540 r/min (Amazone-lannoitteenlevitin 2013, 35).

Hydrauliikkaspesifikaation mukaan hydrauliikkaulosotto 2:lla voidaan käyttää hydrauliikkamoottoria vähintään 540 r/min. Apulantalevittimen pyörittämiseen valittiin MR50 hydrauliikkamoottori. Liitteen 1 ominaiskäyrän mukaan hydrauliikkamoottorista on mahdollista saada noin 3,5 - 4 kW pyöritystehoa, työpumpun 100 bar painetasolla ja 30 l/min virtauksen tuotolla. Mönkijällä työnopeutta ajetaan 3000–4000 r/min välillä. Näin ollen hydrauliikkamoottorin tulee saavuttaa 540 r/min pyörimisnopeus, kun mönkijän moottorin kierrokset ovat 3000–4000 välillä.

Hydrauliikan lisävarusteen suunnittelija Matti Räsänen oli luvannut ratkaista pumpun virtauksen tuotto-ongelman muuttamalla hydrauliikan pyöriksen välityssuhdetta. Käydyssä puhelinkeskustelussa Matti Räsänen (2015) kanssa selvisi hammasrattaan

saatavuusongelma maahantuojalta. Kyseinen komponentti oli tilattu, mutta toimituksen aikataulusta ei saatu vahvistusta. Opinnäytetyön aikataulusta johtuen aloitin lannoitteen levityskokeilut ilman uutta hammasratasta, jotta saisin kokemusta mönkijällä ajamisesta ja lannoitteen kattavuuden mittaamisesta.

Lannoitus suoritettiin kahden päivän aikana. Ensimmäiseksi tutustuin alueen ajouraverkostoon ja suunnittelin ajoreittien järjestykset. Lannoitusvälineistö tuotiin paikan päälle viikkoa aikaisemmin, ne olivat valmiina testipäivän alkaessa. Testi alkoi lannoitteen täytöllä. Lannoite kuormattiin levittimeen sangon avulla suursäkistä. Kuormauksen jälkeen pintalevittimelle tehtiin kiertokoe valmistajan ohjeiden mukaisesti. Kiertokokeessa laitteiston syöttö säädettiin 430 kg/ha:lle.

Tämän jälkeen tehtiin ensimmäinen lannoitteen kattavuustesti kokoojauralla. Mittaustiat aseteltiin Yaran ohjeiden mukaisesti (ks. kuvio 10). Mittaustuloksista huomasin, että levityksen työleveys oli liian kapea ja lannoitetta levittyi liikaa ajouralle (ks. liite 2). Tämä johtui levittimen liian pienestä pyörintänopeudesta. Tämän seurauksena lannoituksen syöttöä säädettiin lähes puolta pienemmäksi, jotta saavutettiin mahdollisimman tasainen lopputulos kyseisellä pyörimisnopeudella.



Kuvio 10. Mittausastiat ajouraa nähden poikkisuunnassa

Tämän jälkeen lannoitteen kattavuustestiä tehtiin alueella yhteensä viisi kappaletta (ks. liitteet 2-3). Mittausten perusteella työleveys vaihteli 12-16 metrin välillä. Työleveys ei riittänyt täysin kattamaan ajouraväliä, joten ajourien väliin jäi muutaman metrin levyinen lannoittamaton kaistale. Mittauksissa lannoitteen määrän huomattiin olevan liian pieni. Lannoitetta levittyi yhdellä ajolla mittausten perusteella keskimäärin 33 - 87 kg/ha. Lannoitteen syöttömäärää ei voinut lisätä, koska levittimen heittolautaset menivät tukkoon lannoitteesta liian pienen pyörimisnopeuden vuoksi. Tämän vuoksi levityksiä tehtiin ajourilla kahdesta kolmeen kertaan pienemmällä lannoitteen syötöllä, jolloin saatiin mahdollisimman oikea ja tasainen määrä lannoitetta jokaisen ajouran väliin. Jokaisessa mittauskohteessa tehtiin relaskoopimittauksia puuston pohjapinta-alasta, jotta nähtäisiin puuston vaikutus lannoitteen levittymiseen. Puuston pohjapinta-ala vaihteli 25-34 m<sup>2</sup>/ha välillä. Kyseinen vaihteluväli ei juurikaan vaikuttanut lannoitteen levityksen kattavuuden tuloksiin.

Ajouraopastimen käyttöä testattiin työskentelyn aikana. Maalaustoiminto helpotti kuljettajan työskentelyä ajouraverkostossa muistamaan aikaisemmin lannoitetut kohdat. Ajouraopastus vähentää tekemästä kaksinkertaista lannoitusta ja auttaa toisaalta huomaamaan lannoittamattomat kohdat. Paikannus toimi hyvin koko työskentelyn ajan ja sen toimivuuden osalta saatiin positiivista kokemusta.

#### 4.1.2 Maastovauriot

Ajouriin mahdollisesti syntyneitä maastovaurioita tarkisteltiin ja analysoitiin levitysvaiheen jälkeen. Mönkijällä ajamisesta ei jäänyt havaittavia uria tai muita painautumia ajouraverkoston. Laitteiston keveys ja maastoon kohdistuva pieni pintapaine ovat mainioita ominaisuuksia painautumien ja urien välttämiseksi. Maastovaurioita syntyi lähinnä virheellisestä ajotyylistä.

Katselmuksessa huomattiin muutama vaurio kuusen niskajuuren yläpinnassa (ks. kuvio 11). Niskajuuren yliajossa kumitela oli irroittanut kaarnan ja jättänyt jälsikerroksen näkyviin. Tässä tapauksessa olisi voinut ajolinjan valita puoli metriä puusta kauempaa, jotta kyseinen vaurio olisi välttynyt.





Kuvio 11. Niskajuurivaurio

Toisessa tapauksessa mönkijän kumitela oli tarttunut puun tyveen ja raapaissut kaarnapalan irti rungosta, jolloin jälsipinta oli tullut näkyviin (ks. kuvio 12). Onneksi molemmissa tapauksissa vauriot eivät kuitenkaan yltäneet puuainesosuudelle. Tässä toistui sama virhe eli ajolinja oli liian lähellä puuta. Ajovirheistä syntyneet vauriot kannattaa analysoida ja tehdä korjaukset ajotyylisiin, jotta virheitä tulevaisuudessa ei tulisi. Ajovaurioista syntyneiden vaurioiden toleranssi on pyrittävä pitämään nollassa.





Kuvio 12. Tyvipilkkavaurio

Sammal on herkästi irtoavaa, ja vaurio siltä osin jää näkyviin pidemmäksi aikaa. Sammalkasvusto kuitenkin palautuu uuden kasvun myötä. Sammaleen osalta ei syntynyt ajatuksia, kuinka ajotyyliä voisi korjata järkevällä tavalla.

Mustikkavarvikko palautui nopeasti yliajamisesta. Noin viikon päästä oli todella vaikea arvioida, mistä kohdin mönkijällä oli ajettu vanhalla ajouralla (ks. kuvio 13).



Kuvio 13. Mustikkavarvikon näkymä ajamisen jälkeen



Mönkijän ajotyylissä tulee muistaa muutama perussääntö. Ajetaan ajouralla vain eteenpäin ja turhia peruutuksia kannattaa välttää (ks. kuvio 14).



Kuvio 14. Mönkijäyhdistelmä ajouralla

Peruuttaminen kumitelayhdistelmällä on todella jäykkää ja kääntäminen vaatii paljon tilaa. Ajolenkin omainen ajattelumalli kannattaa sisäistää mönkijäyhdistelmällä ajettaessa. Puun ja mönkijän ajoetäisyytenä kannattaa noudattaa noin puolen metrin etäisyyttä. Kuusen niskajuuret näkyvät jonkin matkaa maan pinnassa ennen kuin ne laskeutuvat maan sisään. Ajouraverkosto on aina ensisijainen ajoreitti. Mönkijällä on mahdollista ajaa myös ajouraverkoston välillä, mutta se vaatii kuljettajalta enemmän ennakointia ja ajaminen umpikujaan tulee mahdolliseksi. Ajonopeudessa kannattaa käyttää maltillisia nopeuksia. Tällä laitteistolla nopeutta ei kannata nostaa yli 5 km/h, kun ajetaan metsäolosuhteissa. Rauhallinen ja tasainen kävelyvauhdin omainen nopeus on hyvä.

### 4.1.3 Työajan mittaus

Työajan käyttöä mitattiin työskentelyn yhteydessä. Tarvaalan kohteessa oli huomioitava, että työaika kului enemmän, sillä käytetyssä laitteistossa oli liian pieni työleveys. Levitys- ja siirtymäaikoihin meni nyt kaksinkertainen aika verrattuna siihen, että laitteistolla olisi ollut leveämpi normaali työleveys. Mitattu työaika jaettiin kolmeen eri luokkaan: lastausaika, siirtoajoaika ilman levitystä ja levitysajoaika (ks. taulukko 1). Tulevaisuutta ajatellen on hyvä kartoittaa työajan menekkiä hehtaarille.

Taulukko 1. Työajan käyttö lannoituksessa

Työaikamittaukset yhteensä				
Kohde	Tarvaala			
Pinta-ala	3	ha	<b>Työaika/ha</b>	
Lastausaika	46	min	15,3	min/ha
Siirtoajoaika	52	min	17,3	min/ha
Levitysajoaika	169	min	56,3	min/ha
<b>Yhteensä</b>	<b>267</b>	min	<b>89</b>	min/ha

Tietoa käytetystä työajasta tarvitaan työn hinnoittelussa, työajan käytön kehittämisessä ja päivittäisen työmäärän arvioinnissa. Tässä Tarvaalan testikohteessa työaika kului 89 min hehtaarille.

### 4.1.4 Testauksen loppupäätelmät

Vaikka levityksen työleveyttä ei saavutettu, oli testaus tuloksien puolesta kaikinpuolin onnistunutta. Testauksesta saatiin runsaasti tietoa ja kokemusta mönkijän ominaisuuksista, ajotavasta, aiheutuneista maastovaurioista ja levityskattavuuden mittauksista.

Mönkijän vetoteho-ominaisuus täydellä kuormalla oli riittävä tässä kohteessa. Kohde oli maastoltaan enimmäkseen tasaista, jossa oli muutama ojanylityskohta. Arvioni perävaunun kokonaispainosta muutostöineen ilman pintalevitintä on 200 kg. Amazone-valmistajan mukaan pintalevittimen peruspaino on 217 kg (Amazone-lannoitteenlevitin 2013, 35). Yaran mukaan suursäkki Metsän np lannoitetta painaa 650 kg (Metsänlannoitusopas 2012, 21).



Näillä painoarvotekijöillä jarruttoman kärryn kuormaksi saatiin yhteensä 1067 kg. Valmistajan teknisen tiedon mukaan mönkijän moottorin teho on 41 kW ja jarruttoman kärryn vetokyky on 1030 kg (Polaris Sportman Forest 800 6x6 2013, 128). Mönkijä suoriutui hyvin käytännön vetokeeestä, joten laitteen vetotehoa ei tarvitse kehittää voimakkaammaksi.

Ennen seuraavan testikohteen aloitusta levityslaitteiston pyörintänopeutta parannettiin ja lisäksi mönkijään asennettiin ohjaustehostin. Levityslaitteiston on saavutettava vähintään 540 r/min, jotta laitteiston työleveydeksi saataisiin vähintään 18 metriä. Tällöin lannoitteen säätösyöttöä voitaisiin käyttää normaalilla tavalla tavoitetun lannoitemäärän levittämiseksi. Oikea pyörimisnopeus takaa tasaisen lannoitemäärän työleveydellä. Hydrauliiikan lisävarusteen suunnittelija lupasi toimittaa oikeanlaiset hammaspyörät hydrauliikkapumpun välitykseen, kunhan hän saa tarvittavat osat toimittajalta. Testaukset seuraavassa kohteessa voitiin aloittaa hydraulijärjestelmän päivityksen jälkeen.

Toisena muutoksena mönkijään asennettiin ohjaustehostin, jotta ohjattavuus olisi parempi. Kumiteloilla varustetun mönkijän ohjattavuus on jäykkää ilman ohjaustehostusta. Tehostuneen ohjauksen avulla mönkijän kuljettaja saa enemmän aikaa havainnointiin, ajon ennakoimiseen ja turvavälien pitämiseen. Tehostimen asennus ei pienennä laitteiston kääntösädettä, mutta se helpottaa mönkijän ohjaamista ajon aikana. Ajoetäisyydet puuston ja mönkijän välillä on otettava huomioon ja turvaetäisyyksiä on noudatettava ajon aikana. Ajosuunnittelussa on pyritävä ajamaan vain eteenpäin ja peruutuksia on vältettävä, jolloin työ nopeutuu ja maastovaurioita ei tule.

## 4.2 Kalmarin testikohde

### 4.2.1 Testauksen lähtökohdat

Toinen testikohde sijaitsi Kalmarissa (ks. kuvio 15). Alue oli noin yhden hehtaarin kokoinen boorilannoituskohde. Kohteessa on myös aikaisemmin tehty kolmoskehitysluokan harvennus ja puusto on järeytynyt neljänteen kehitysluokkaan. Kohteessa on ajouraverkosto valmiina. Maastotyyppityksessä kohde täyttää lehtomaisen kangastyypin luokituksen. Valtapuulajina on kuusi. Kohde on tasainen ja

helppokulkuinen. Kuvio on ollut vanhaa laidunnusmaata, joten tälläkin alueella on havaittavissa boorin vajausta, joka näkyy monilatvaisuutena kuusen kasvussa.



Kuvio 15. Näkymä Kalmarin testikohteesta

Testialueelle oli varattu Booriravinne B lannoitetta 210 kg/ha. Booriravinne B on rakeistettu lannoite ja oletettavasti soveltuu pintalevittimen valmistajan asettamiin vaatimuksiin. Lannoitteen kuivarakeistus on koostumukseltaan erilaista verrattuna Yaran Metsän NP 1 lannoitteeseen. Metsän NP 1 lannoite on pyöreää, kovaa ja sileäksi pinnaltaan kuivarakeistettua. Kun taas booriravinne B on rakenteeltaan rosoista, pölisevää ja särmikästä. Tämän perusteella voidaan päätellä, että lannoitteella ovat erilaiset levitysominaisuudet.

Testin alkaessa laitteistoon oli tehty suunnitellut parannukset. Hydrauliiikan pyöryksen välityssuhdemuutos oli tehty, jonka ansiosta pintalevittimen pyörintänopeus on nyt vähintään 540 r/min mönkijän moottorin kierrosnopeuden

ollessa 3640 r/min. Pyörintänopeus saatiin valmistajan suositusten mukaiseksi (Amazonelannoitteenlevitin 2013, 35).

Pyörintänopeusvaatimuksen täytyminen on tärkeä ominaisuus, jotta levittimen työlevydeksi saataisiin vähintään 18 metriä. Vaatimuksen mukainen pyörintänopeus vaikuttaa työlevyden lannoitemäärän tasaisuuteen, lannoitesyötön säätämiseen ja myös siihen etteivät levittimen lautaset tukkeudu liiallisesta lannoitemäärästä.

Toisena muutoksena mönkijään asennettiin ohjaustehostin, jolla mönkijään saatiin kevyempi ohjattavuus. Tehostuneen ohjauksen myötä kuljettajalla on paremmin aikaa havainnointiin, ennakoimiseen ja turvavälien pitämiseen ajon aikana.

Lannoitus suoritettiin yhden päivän aikana. Lannoitusvälineistö tuotiin paikan päälle kahta päivää ennen lannoitusta. Samalla tutustuin alueen ajouraverkostoon ja suunnittelin ajoreittien järjestykset. Laitteisto ja lannoitteet olivat valmiina testipäivän alkaessa. Testi alkoi lannoitteen täytöllä levittimeen. Lannoite kuormattiin 35 kg säkeistä käsityönä.

Kuormauksen jälkeen pintalevittimelle tehtiin kiertokoe valmistajan ohjeiden mukaisesti (ks. kuvio 16). Lannoitetta oli käytettävissä 210 kg/ha. Kiertokokeessa laitteisto säädettiin 160 kg/ha:lle, jos jotain ongelmia sattuisi tulemaan levityksessä.



Kuvio 16. Kiertokokeen tekeminen

Kiertokokeen jälkeen tehtiin ensimmäinen testi lannoituksen kattavuudelle kokoojauralla. Mitta-astiat aseteltiin Yaran ohjeiden mukaisesti. Mittaustuloksista huomattiin, että levityksen vaadittu työleveys oli saavutettu reilusti (ks. liite 4). Työleveydeksi saatiin 24 metriä. Mittausastioissa oli yllättävän tasainen määrä lannoitetta 16 metrin työleveyteen saakka, jonka jälkeen lannoitemäärä laski tiettyyn tasoon. Tuloksista oli havaittavissa, että työleveys ja lannoitemäärän tasaisuus oli parantunut verrattuna aikaisemman Tarvaalan testikohteen mittauksiin. Tämän perusteella päätimme tehdä vielä kaksi mittausta, jotta mittaustulokset olisivat luotettavampia.

Tämän jälkeen lannoitteen kattavuustestejä tehtiin alueella vielä kaksi kappaletta (ks. liite 4). Mittausten perusteella työleveys vaihteli 24-26 metrin välillä. Työleveys riitti hyvin kattamaan ajourien välin, mutta kaikissa mittausastioissa ei ollut riittävästi lannoitetta. Mittausten 2 ja 3 perusteella voidaan todeta, että levittimen optimaalinen työleveys voi olla jopa 20 metriä. Mittauksessa 2 lannoitetta saatiin 10 metrin päähän 127,5 kg/ha ja mittauksessa 3 lannoitetta saatiin 10 metrin päähän 212,5 kg/ha. Kaikkien kolmen mittauspöytäkirjan perusteella alueelle saatiin keskimäärin 93 - 140 kg/ha lannoitetta.

Lannoite pölysi voimakkaasti (ks. kuvio 17). Tämä oli seurausta boorilannoitteen rakeistuksen murskaantumisesta levittimen heittolautasen jälkeen. Yli puolet lannoitteen rakeista levittäytyi ehjänä työleveydelle. Lannoitteesta noin 70-90 kg/ha muuttui pölyksi, joka laskeutui loppujen lopuksi maahan. Kiertokokeen tulokseen ei voinut luottaa tämän pölyämisoimaisuuden vuoksi. Tämän vuoksi 210 kg lannoitetta kului noin 0,7 ha alueelle. Pölyämisoimaisuus olisi pitänyt huomioida kiertokoetta tehdessä, jos tästä olisi ollut tietoa.





Kuvio 17. Boorilannoitteen pölyäminen lannoituksen aikana

Jokaisessa mittauskohteessa tehtiin relaskooppimittaus puuston pohjapinta-alalle, jotta havaisisimme puuston vaikutuksen lannoitteen levittäytymiseen. Puuston pohjapinta-ala vaihteli 31-33 m<sup>2</sup>/ha välillä (ks. liite 4). Kyseinen vaihteluväli ei juurikaan vaikuttanut lannoitteen levityksen kattavuuden tuloksiin.

Myös ajouraopastimen käyttöä testattiin työskentelyn aikana. Työn alkuvaiheessa oli ongelmana saada yhteys satelliitteihin. Laitteisto vaatii yhteyden riittävään määrään satelliitteja, jotta GPS-paikannus voisi toimia. Laitteisto oli toimintakuntoinen noin puolen tunnin kuluttua käynnistämisestä. Opastimen maalaustoimintoa pystyttiin käyttämään mittauspiste 2:sta eteenpäin yhteysongelman takia. Muutoin paikannusjärjestelmä toimi moitteettomasti.

#### 4.2.2 Maastovauriot

Tässäkin kohteessa ajouriin mahdollisesti syntyneitä maastovaurioita tarkisteltiin ja analysoitiin levitysvaiheen jälkeen (ks. kuvio 18). Mönkijällä ajamisesta ei jäänyt havaittavia uria tai muita painautumia ajouraverkostoon. Ohjaustehostin helpotti paljon ajamista, jolloin ajamisen ennakoimiseen jäi enemmän aikaa. Tehostimen asennus ei pienentänyt laitteiston kääntösädettä, mutta se helpotti mönkijän ohjaamista ajon aikana. Ajonopeus oli noin 5 km/h ja se havaittiin sopivaksi

nopeudeksi ajouraverkostossa. Edellisen testialueen kokemusten lisäksi vahvistuivat mönkijällä ajamisen perussäännöt: Ajamisen aikana huomioitiin puiden ja laitteiston välinen turvaetäisyys, ennakoitiin kääntymisiä ja suosittiin eteenpäin ajoa ilman peruutuksia ajouralla. Näillä perussäännöillä välttyttiin aiheuttamasta vaurioita puustolle ja juuristolle.



Kuvio 18. Ajouran tyypillinen kasvillisuusnäkö

Kalmarin kohteessa maastovaurioita ei syntynyt virheellisestä ajotyylisestä johtuen, joten Tarvaalan testialueen kokemuksista oli opittu. Ainoat havaittavat maastovauriot olivat lakoontuneet pensas-, korsi- ja heinäkasvillisuus ja paikoitellen irronneet sammalkasvustot. Vauriot olivat vähäisiä. Puihin kohdistuneita juuristo- tai muita mekaanisia vahinkoja ei havaittu ollenkaan.

### 4.2.3 Työajanmittaus

Työajankäyttöä mitattiin työskentelyn yhteydessä. Kalmarin kohteessa työajankäyttö oli lähempänä todellista, koska levittimen pyörintänopeus oli valmistajan suosituksen mukainen. Levitys- ja siirtymäajat toteutuivat yhdellä kerralla ajetuista ajoreiteistä. Mitattu työaika jaettiin kolmeen eri luokkaan: lastausaika, siirtoajoaika ilman levitystä ja levitysajoaika (ks. taulukko 2).

Taulukko 2. Työajankäyttö lannoituksessa

Työaikamittaukset yhteensä				
Kohde	Kalvari			
Pinta-ala	0,7	ha	<b>Työaika/ha</b>	
Lastausaika	5	min	7	min/ha
Siirtoajoaika	15	min	21,5	min/ha
Levitysajoaika	5	min	7	min/ha
<b>Yhteensä</b>	<b>25</b>	min	<b>35,5</b>	min/ha

Tässä Kalmarin testikohteessa työajankäyttö oli 35,5 min hehtaarille.

### 4.2.4 Testauksen loppupäätelmät

Metsänlannoitustesti mönkijällä onnistui erinomaisesti ja tehdyillä muutoksilla parannettiin levittimen ominaisuuksia. Pintalevittimen pyörintänopeuden korjaus oli oleellinen ratkaisu riittävän työlevyyden saavuttamiseksi. Työlevydeksi saatiin mittausten perusteella 24-26 metriä. Lannoitelevityksen tasaisuudessa ei päästy aivan tavoitteeseen, koska boorilannoitteen rakeen osittaisen särkymisen vuoksi lannoite pölysi ilman kautta maahan. Mittausastioihin ei saatu todellista lannoitemäärää tämän muuttuvan tekijän vuoksi.

Mönkijän ajotavasta saatiin onnistunut tulos, koska maastovaurioiden osalta saavutettiin lähes nollatoleranssitaso ja lannoitteen levitykseen kului vähemmän aikaa. Ajolinjojen ennakointi nopeuttaa työskentelyn suorittamista. Havaitut maastovauriot olivat enimmäkseen lakoontunutta kasvillisuutta mönkijän ajolinjassa. Lisävarusteena asennettu ohjaustehostin helpotti kuljettajan työtä. Mönkijän ohjaaminen lannoituslaitteiston kanssa helpottui todella paljon.

## 5 Johtopäätökset

Pienkoneiden käyttöä kannattaa harkita vaihtoehtoisena työkoneena erilaisissa työtehtävissä. Pienkoneet ovat yleistyneet toimivuuden ja kokonsa puolesta monissa tehtävissä eri toimialoilla. Pienkoneiden suosiota lisäävät niiden pienemmät käyttö- ja investointikustannukset. Tässä opinnäytetyössä tutkittiin mönkijän ja puutarhavigelykäyttöön soveltuvan pintalevittimen käyttöä kuusimetsän lannoituksessa. Tutkimuksella saatiin uutta kokemusta ja näyttöä laitteiston soveltuvuudesta käytännön kokeiden avulla. Toimivalla ja käyttökohteeseen soveltuvalla lisälaitteistolla saadaan hankitun mönkijän käyttöaste suuremmaksi ja hyödylliseen käyttöön metsäpalveluyrittäjän elinkeinossa. Pienmetsäpalveluyrittäjän tulon hankkimisen kannalta suurin mielenkiinto on käyttää pienkoneita metsänkasvatus- ja metsänterveyslannoituksessa.

Yleisesti kannattaa miettiä minkä kokoinen työkone on sopivin tekemään mitäkin työvaihetta. Metsänlannoituksessa levitysmassat ovat varsin pienet hehtaaria kohti. Esimerkiksi, jos lannoitetta levitetään 300–700 kg hehtaarille, on suorastaan järjenvastaista käyttää kyseisen määrän levittämiseksi hehtaarille 10000 kg painavaa traktoria tai palvelukustannuksiltaan kalleinta vaihtoehtoa, kuten lentolevitystä. On järkevää miettiä onnistuisiko saman levitystyön tehdä huomattavasti kevyemmällä pienkoneella, ja vielä saman työajan puitteissa, kuin mitä raskaalla työkoneella.

Opinnäytetyön tutkimuksen kohteena olivat sulan maan aikaisten kuusimetsiköiden lannoitus maalevityksenä mönkijällä. Käytännön ajokokeilla selvitettiin aiheuttaako mönkijä juuristovaurioita tai muita maastovahinkoja. Lisäksi selvitettiin mönkijän ajominaisuuksia ajouralla ajettaessa. Mönkijällä ajamisesta saatiin tietoa kuinka ajaminen kannattaa tehdä huomioiden kääntymiset, turvaetäisyydet puihin ja muihin esteisiin maastossa.

Lisäksi haluttiin selvittää, pystyykö mönkijän levitinlaitteistolla levittämään lannoitetta riittävän kattavasti ajourien välille. Lannoitteen levittyneisyyttä mitattiin astiastes-tin avulla ajourien väliltä. Laitteistoon tehtiin kahden testikohteen aikana tuotekehitystyötä ja mönkijään vaihdettiin komponentteja ominaisuuksien parantamiseksi. Laitteistoon saatiin parannuksia onnistuneella kehitystyöllä. Laitteisto on toimiva ja kehityskelpoinen pienurakointityöskentelyssä tulevaisuudessa.



Mönkijät antavat lisämahdollisuuden laajentaa palveluvalikoimaa lannoitustyöhön metsänhoitopalveluyrittäjille. Pienkoneilla voidaan lannoittaa pienempiä lannoituskohteita, joihin lentolevityksellä ei ole mahdollisuutta. Lentolevitys vaatii suuremmat yhtäläiset lannoitusalueet, jotta helikopterilla olisi taloudellisesti kannattavaa lannoittaa. Metsänomistajat hyötyvät metsälannoitus- ja terveyslannoituspalvelun paremmasta saatavuudesta ja sitä kautta voivat lisätä metsiensä arvoa. Lisäksi kuusikometsien lannoitukseen löydettiin oikeanlainen työkone, jolla voidaan suorittaa lannoitukset maalevityksenä.

## 6 Pohdinta

Viimeisessä Kalmarin testikohteessa laitteisto saatiin toimimaan pintalevittimen valmistajan suositusten mukaisesti. Testikohteen lannoitteen levityskattavuudessa päästiin parhaimmillaan 26 metrin työleveyteen, joka oli riittävä maalevityskoneen tulokseksi. Alkuperäinen tavoite oli saavuttaa 18 metrin työleveys.

Lannoitemittauksen tasaisuudessa ei päästy aivan tavoitteeseen, koska boorilannoite rikkoontui osittain levityksen aikana. Boorilannoitteen rikkoontumisen vuoksi, lannoite pölysi ensin ilmaan ja sen jälkeen leijui maahan. Mittausastioihin ei saatu todellista lannoitemäärää tämän muuttuvan tekijän vuoksi. Viimeisessä testissä olisi pitänyt olla kestävä rakenteista lannoitetta, jotta tulokset olisivat olleet luotettavia. Jatkoa ajatellen seuraava testi tulisi tehdä sellaisella raelannoitteella, joka ei pölise tai rikkoonnu levittimen heittolautasten vaikutuksesta.

Mönkijän ajotavasta saatiin erinomainen tulos, koska maastovaurioiden osalta saavutettiin lähes nollatoleranssitaso. Lannoitteen levitykseen kului myös vähemmän aikaa. Ajotavan ennakointi nopeuttaa työskentelyn suorittamista. Mönkijän lisävarusteena asennettu ohjaustehostin parantaa kuljettajan havainnointia, ajon ennakoimista ja turvavälien huomioimista. Mönkijällä liikkuminen ajouraverkostossa oli kohtuullisen toimivaa, kunhan noudattaa ajamisen perussääntöjä. Ajaminen vaatii ennakoimista ajouralla kääntymisessä, kuusen niskajuurien ja suurien kivien väistämässä. Turvaetäisyyksien noudattaminen on tärkeää.

Kumitelakäyttöinen mönkijä oli jäykkä kääntymään telan suurehkon pinta-alan vuoksi. Kumitelan hyvänä ominaisuutena havaitsin, ettei maastoon jäänyt kovinkaan pa-

hoja jälkiä ajamisesta. Mönkijän ajonopeus oli sopiva maastoajoon ja levitys työskentelyyn.

Pienkoneeksi valittu mönkijä oli kehityskelpoinen viimeisessä testikohteissa ja sen käyttämistä kannattaa jatkaa isompiin kohteisiin. Laitteiston kestävyyttä kannattaa vielä testata pienurakointiolosuhteissa.

Tutkimusmenetelmänä oli toimintatutkimuksen ja kvantitatiivisen tutkimuksen yhdistelmä. Kvantitatiivista tutkimusmenetelmää käytettiin levityskattavuuden määrän mittauksessa. Astiatestipisteitä oli useita, joiden perusteella voitiin määrittellä työleveys ja keskiarvo lannoitteen levinneisyydelle ajourien välille. Lannoitteen määrän ja työlevyden tiedon mittaaminen vaikutti luotettavalta, koska mittausastiat asetettiin huolellisesti maahan keräämään määrällistä tietoa. Kun tehtiin parantavia muutoksia laitteistoon, niin mittauks tulokset myös parantuivat. Täysin luotettavia mittauks tuloksia tutkimuksessa ei kuitenkaan saavutettu. Kun laitteisto saatiin toimimaan valmistajan vaatimuksen mukaisesti, niin ongelmaksi muodostui vääränlainen lannoitteen koostumus. Mittauksessa on tärkeä huomata käyttää lannoitetta, joka ei rikkoonnu levittimen heittolautasen vaikutuksesta. Jos lannoitteen rakeet rikkoontuvat, niin lannoite pölyyntyä ilmatilaan ja silloin mittauks tiedon kerääminen epäonnistuu mittausastioihin.

Toimintatutkimusmenetelmää käytettiin laitteiston muutos- ja kehitystyöhön. Lisäksi samaa menetelmää käytettiin maastovaurioiden ehkäisyn arvioinnissa. Toimintatutkimukseen kuuluvat suunnittelu, suoritusvaihe ja uuden tuloksen havainnointi. Tätä sykliä toistetaan niin kauan, että ongelma saadaan ratkaistua. Toimintatutkimus mahdollistaa muutoksen ongelman ratkaisemisen näissä tapauksissa. Riittävän levityskattavuuden saavuttamiseksi tehtiin komponenttimuutoksia laitteistoon tämän menetelmän avulla. Maastovaurion tapahtuessa tutkimustyön ongelmanratkaisun toimintaan kuului uudelleen ajovaiheen suunnittelu, suoritusvaihe ja uuden tuloksen havainnointi. Näin saatiin ratkaisu oikean ajotavan löytymiseksi. Molemmissa tapauksissa saatiin luotettava ratkaisu ongelmaan.

Jatkotutkimusaiheina ehdottaisin lannoituspalvelun tutkimista tai suunnittelua palveluprosessimuodossa, jotta metsäpalveluyrittäjä voisi laajentaa toimintaansa lannoituspalveluksi valmiin mallin avulla. Myös lannoitekattavuuden mittauksesta

voisi tehdä oman tutkimuksen, kuinka mittausvirheet saadaan minimoitua astiatestiä tehdessä. Markkinoilla olevien metsälannoitteiden osalta olisi hyvä tutkia, kuinka rakeistetut lannoitteet soveltuvat erilaisina tuotteina pintalevittimellä levitykseen. Tästä tiedosta olisi hyötyä pintalevittimen kiertokokeen tekemiseen, jotta lannoitteen säätäminen onnistuisi hyvin, ennen pääasiallista lannoitteen levitystä.

## Lähteet

Ajouraopastimet. 2016. Trimble CFX-750 ajouraopastimen kuvaus. Geotrim verkkosivut. Viitattu 19.10.2016. <http://shop.geotrim.fi/trimble-cfx-750.html>.

Amazone-lannoitteenlevitin. 2013. Käyttöohjeet Amazone ZA-X Perfect 602, ZA-X Perfect 902, ZA-X Perfect 1402 & ZA-XW Perfect 502. Amazonen-Werke H. Dreyer GmbH & Co.

Eltrip-r20 & Eltrip-r20f. 2013. Käyttöohje. Trippi Oy.

Jussila, R. 2016. Mönkijällä metsätöihin. Aarre 9, 28-33.

Kortejärvi, P. 2014. Metsälannoituksen koelan mittausohje. Sähköpostiviesti 21.11.2014. Vastaanottaja J. Kettunen. levitystasaisuuden mittauksen ohjeistus.

Linturi, H. 2003. Toimintatutkimus. Verkkoartikkeli/NexusDelfix. Viitattu 23.10.2016. [http://nexusdelfix.internetix.fi/sv/sisalto/materiaalit/2\\_metodit/5\\_actix?C:D=61566&C:selres=61566](http://nexusdelfix.internetix.fi/sv/sisalto/materiaalit/2_metodit/5_actix?C:D=61566&C:selres=61566).

Metsänlannoitusopas. 2012. Yara Suomi Oy. Viitattu 22.10.2016. [http://www.yara.fi/images/YARAMetsalannoitusopas2012LoRes\\_tcm431-119664.pdf](http://www.yara.fi/images/YARAMetsalannoitusopas2012LoRes_tcm431-119664.pdf).

Mönkijöiden peräkäräryt & moottorikelkkojen reet. 2014. Esite. Ultratec Oy.

Olkkonen, J. 2010. Lannoitteenlevittimen asennus metsäkoneeseen. Opinnäytetyö. Oulun seudun ammattikorkeakoulu, Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Viitattu 18.10.2016. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2010121317948>

Parviainen, M., Pellinen, R., Salminen, M. & Sauranen, T. 2014. Kevyet koneet metsänhoidossa, opas metsänomistajille. Jyväskylä: Keski-Suomen Liitto & Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Kevyet koneet metsänhoidossa –hanke. Viitattu 20.10.2016. <https://www.jamk.fi/globalassets/tutkimus-ja-kehitys--research-and-development/tki-projektien-lohkot-ja-tiedostot/kevyet-koneet-metsanhoodossa/kevmet-kasikirja-web.pdf>.

Polaris Sportman Forest 800 6x6. 2013. Owner's Manual for Maintenance and Safety. Polaris Sales Inc. USA.

Räsänen, M. 2015. Toimitusjohtaja/hydrauliikkasuunnittelija, Mönkijän lisävarusteet. Ihanuus Oy. Puhelin keskustelu 15.6.2015.

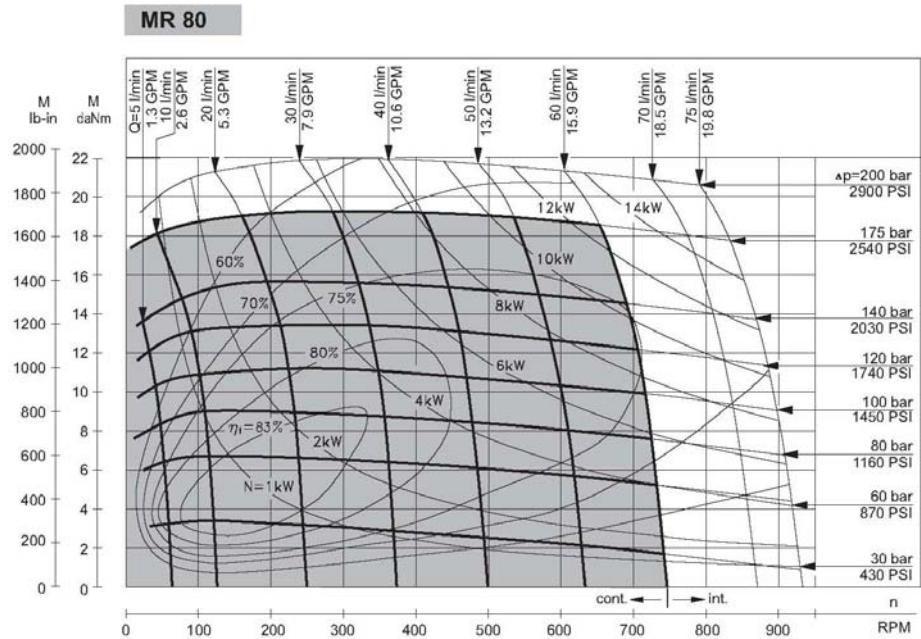
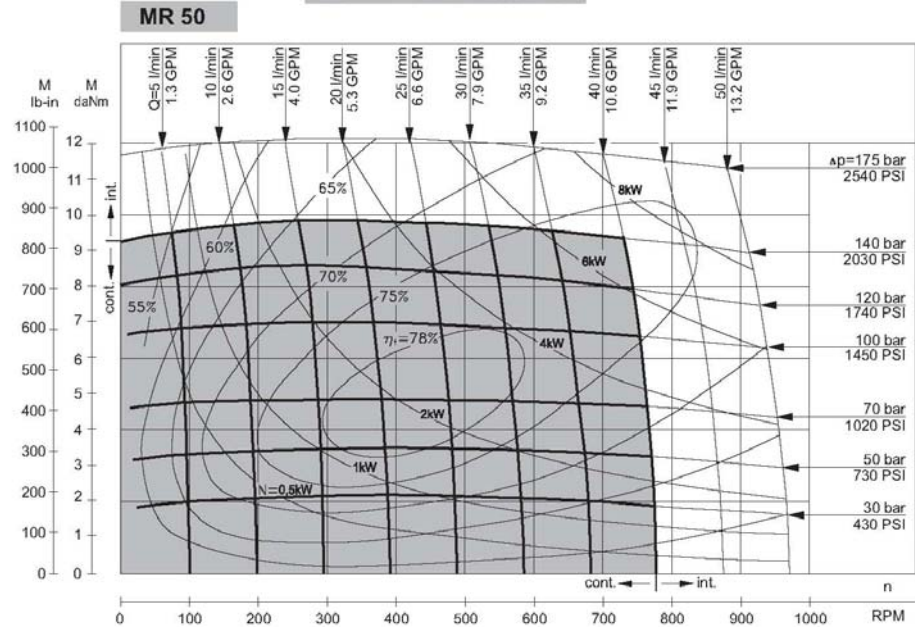
Salento, T. 2014. Tuoteryhmäpäällikkö, Amazone-tuotteet. Hankkija Oy. Puhelinkeskustelu 28.6.2014.

# Liitteet

Liite 1. Hydraulikkamoottorin ominaiskäyrästä



## FUNCTION DIAGRAMS



The function diagrams data is for average performance of randomly selected motors at back pressure 5+10 bar [72.5+145 PSI] and oil with viscosity of 32 mm<sup>2</sup>/s [150 SUS] at 50°C [122°F].

## Liite 2. Mittauspöytäkirja

Mittauspöytäkirja															Väriasteikon raja-arvot			
																kg/ha	väri	
																0	0	
																1-198		
Testi	1	Astioiden keskimääräinen lannoite määrä hehtaarilla													376	kg/ha	199-399	
Pvm	21.6.2015																400-500	
Kohde	Tarvaala																501-699	
Puuston PA	34 m <sup>2</sup> /ha	Ajoura															700-900	
Astiankoko	706 cm <sup>2</sup>																	
Matka																		
ajourasta	14	12	10	8	6	4	2	0	2	4	6	8	10	12	14	m		
	Astia 1	Astia 2	Astia 3	Astia 4	Astia 5	Astia 6	Astia 7	Astia 8	Astia 9	Astia 10	Astia 11	Astia 12	Astia 13	Astia 14	Astia 15			
Lannoite määrä astiassa	0	0	0	1,5	1,8	2,9	6,1	4,4	3,9	3,2	3,1	2,3	0	0	0	g/astia		
Astian lannoite määrä hehtaarilla	0,0	0,0	0,0	212,5	255,0	410,8	864,0	623,2	552,4	453,3	439,1	325,8	0,0	0,0	0,0	kg/ha		
Väriasteikko	0	0	0										0	0	0			
Testi	2	Astioiden keskimääräinen lannoite määrä hehtaarilla													70,822	kg/ha		
Pvm	21.6.2015																	
Kohde	Tarvaala																	
Puuston PA	34 m <sup>2</sup> /ha	Ajoura																
Astiankoko	706 cm <sup>2</sup>																	
Matka																		
ajourasta	14	12	10	8	6	4	2	0	2	4	6	8	10	12	14	m		
	Astia 1	Astia 2	Astia 3	Astia 4	Astia 5	Astia 6	Astia 7	Astia 8	Astia 9	Astia 10	Astia 11	Astia 12	Astia 13	Astia 14	Astia 15			
Lannoite määrä astiassa	0	0	0	0,1	0,3	0,3	1,4	1,7	1,2	0,3	0,1	0,1	0	0	0	g/astia		
Astian lannoite määrä hehtaarilla	0,0	0,0	0,0	14,2	42,5	42,5	198,3	240,8	170,0	42,5	14,2	14,2	0,0	0,0	0,0	kg/ha		
Väriasteikko	0	0	0										0	0	0			

Mittauspöytäkirja															Väriasteikon raja-arvot			
																kg/ha	väri	
																0	0	
																1-198		
Testi	3	Astioiden keskimääräinen lannoite määrä hehtaarilla													87,561	kg/ha	199-399	
Pvm	28.6.2015																400-500	
Kohde	Tarvaala																501-699	
Puuston PA	34 m <sup>2</sup> /ha	Ajoura															700-900	
Astiankoko	706 cm <sup>2</sup>																	
Matka																		
ajourasta	14	12	10	8	6	4	2	0	2	4	6	8	10	12	14	m		
	Astia 1	Astia 2	Astia 3	Astia 4	Astia 5	Astia 6	Astia 7	Astia 8	Astia 9	Astia 10	Astia 11	Astia 12	Astia 13	Astia 14	Astia 15			
Lannoite määrä astiassa	0	0	0	0,1	0,3	0,8	0,9	1,8	1,4	1,1	0,4	0	0	0	0	g/astia		
Astian lannoite määrä hehtaarilla	0,0	0,0	0,0	14,2	42,5	113,3	127,5	255,0	198,3	155,8	56,7	0,0	0,0	0,0	0,0	kg/ha		
Väriasteikko	0	0	0										0	0	0			

## Liite 3. Mittauspöytäkirja

Testi	4															<b>Astioiden keskimääräinen lannoite määrä hehtaarilla</b>		<b>39,918</b> kg/ha
Pvm	28.6.2015																	
Kohde	Tarvaala															Ajoura		
Puuston PA	25 m <sup>2</sup> /ha																	
Astiankoko	706 cm <sup>2</sup>																	
Matka ajourasta	14	12	10	8	6	4	2	0	2	4	6	8	10	12	14	m		
	Astia 1	Astia 2	Astia 3	Astia 4	Astia 5	Astia 6	Astia 7	Astia 8	Astia 9	Astia 10	Astia 11	Astia 12	Astia 13	Astia 14	Astia 15			
Lannoite määrä astiassa	0	0	0	0	0,3	0,4	1,2	0,3	0,5	0,3	0,1	0	0	0	0	g/astia		
Astian lannoite määrä hehtaarilla	0,0	0,0	0,0	0,0	42,5	56,7	170,0	42,5	70,8	42,5	14,2	0,0	0,0	0,0	0,0	kg/ha		
Väriasteikko	0	0	0	0								0	0	0	0			

																<b>Mittauspöytäkirja</b>		<b>Väriasteikon raja-arvot</b>	
																kg/ha	väri		
																0	0		
																1-198			
																199-399			
																400-500			
																501-699			
																700-900			
Testi	5															<b>Astioiden keskimääräinen lannoite määrä hehtaarilla</b>		<b>33,479</b> kg/ha	
Pvm	28.6.2015																		
Kohde	Tarvaala															Ajoura			
Puuston PA	28 m <sup>2</sup> /ha																		
Astiankoko	706 cm <sup>2</sup>																		
Matka ajourasta	14	12	10	8	6	4	2	0	2	4	6	8	10	12	14	m			
	Astia 1	Astia 2	Astia 3	Astia 4	Astia 5	Astia 6	Astia 7	Astia 8	Astia 9	Astia 10	Astia 11	Astia 12	Astia 13	Astia 14	Astia 15				
Lannoite määrä astiassa	0	0	0	0	0,1	0,3	0,7	0,4	0,6	0,3	0,2	0	0	0	0	g/astia			
Astian lannoite määrä hehtaarilla	0,0	0,0	0,0	0,0	14,2	42,5	99,2	56,7	85,0	42,5	28,3	0,0	0,0	0,0	0,0	kg/ha			
Väriasteikko	0	0	0	0								0	0	0	0				

