

OPINNÄYTETYÖ
ANNE KERÄNEN 2014

**KONEELLINEN METSÄNISTUTUS RISUTEC
APC -ISTUTUSKONEELLA**

LAPIN AMMATTIKORKEAKOULU
METSÄTALouden KOULUTUSOHJELMA

LAPIN AMMATTIKORKEAKOULU
LUONNONVARA- JA YMPÄRISTÖALA
Metsätalouden koulutusohjelma

Opinnäytetyö

KONEELLINEN METSÄNISTUTUS RISUTEC APC -IS- TUTUSKONEELLA

Anne Keränen

2014

Toimeksiantaja Metsäntutkimuslaitos

Ohjaaja Liisa Kuutti

Hyväksytty _____ 2014 _____

Työ on kirjastossa lukusalikappale.

Luonnonvara- ja ympäristöala
Metsätalouden koulutusohjelma

Tekijä	Anne Keränen	Vuosi	2014
Toimeksiantaja	Metsäntutkimuslaitos		
Työn nimi	Koneellinen metsänistutus Risutec APC -istutuskoneella		
Sivu- ja liitemäärä	37 + 1		

Metsäalalle on jo pitkään ennustettu työvoimapulaa, kun suuri osa vielä työikäisistä metsureista eläköityy seuraavan kymmenen vuoden aikana. Tämä on yhtenä perusteena edelleen miestyönä tehtävän istutuksen koneellistamiselle. Istutuskoneita on kehitetty jo vuosikymmenien ajan, mutta niiden suosio on jäänyt heikoksi. Syynä tähän ovat olleet lähinnä koneistutuksen heikko kustannustehokkuus miestyönä suoritettuun istutukseen verrattuna sekä saatavilla ollut työvoima. Lisäksi menetelmään kohdistuvat ennakkoluulot ovat olleet suuria, vaikka koneella tehdyn istutuksen laatu on todettu hyväksi.

Eräs uusimmista istutuskoneista on Risutec Oy:n, UPM Metsän ja Silvesta Oy:n yhteistyönä kehittämä Risutec APC. Sen ero aikaisempiin koneisiin on automatisoidussa taimensyötössä. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää Risutec APC -istutuskoneen tuottavuus, työajanjakauma sekä työn laatu ja verrata tuloksia nykyään eniten käytetyn Bracke P11.a -istutuskoneen vastaaviin tuloksiin. Samalla selvitettiin työvaikeustekijöiden ja kuljettajien vaikutusta tuottavuuteen. Tutkimusmenetelmänä käytettiin vertailevaa aikatutkimusta. Työn toimeksiantajana toimi Metsäntutkimuslaitos, joka vastasi myös maastokokeiden suunnittelusta ja suorittamisesta.

Maastokokeet suoritettiin heinäkuussa 2013, ja ne koostuivat työaikatutkimuksesta sekä kohteilta mitatuista koealoista, joilta tarkasteltiin työn laatua sekä työvaikeustekijöiden määrää. Kerättyä aineistoa analysoitiin taulukkolaskennan ja SPSS-ohjelman avulla.

Tulokset osoittavat, että Risutec APC ei yllä samalle tasolle Bracke P11.a -istutuskoneen tuottavuuden kanssa. Koneen toimintavarmuus ei ole riittävä, sillä keskeytysten osuus työajasta on suuri. Tuloksia ei voida yleistää suppean mittausaineiston ja tutkimuksen lyhyen keston vuoksi, mutta niitä voidaan hyödyntää istutuskoneita kehitettäessä. Automatisoitu taimensyöttö tuo toimiessaan selkeän parannuksen istutuskoneiden tuottavuuteen, minkä vuoksi sitä tämän tutkimuksen tuloksista huolimatta kannattaa kehittää edelleen.

Avainsanat

istutuskone, metsänuudistus

School of Industry and Natural Resources
Forestry Programme

Author	Anne Keränen	Year	2014
Commissioned by	The Finnish Forest Research Institute		
Subject of thesis	Mechanized tree planting with a Risutec APC planting device		
Number of pages	37 + 1		

Forestry has been forecasted to suffer from the lack of labour because a significant part of loggers working at the moment will retire during the next ten years. This is one of the reasons why planting, which is still done manually, should be mechanized. Though planting devices have been developed during several decades, the success of devices has remained low. The reasons for that have been primarily low cost efficiency compared to manual planting and labour that has yet been available. There has been great prejudices for mechanized tree planting although the work quality of the method is noted to be good.

One of the recent planting devices is Risutec APC which is developed together with Risutec Oy, UPM Forest and Silvesta Oy. Compared to previous devices Risutec APC has an automatized plant input. The aim of the research was to clarify the productivity, working time distribution and working quality of Risutec APC planting device, and to compare the results to corresponding results of Bracke P11.a planting device which is the most used device nowadays. Also the effects of different work difficulty factors and operators on productivity were clarified. Comparative time research was used as a method in this study. This study is commissioned by the Finnish Forest Research Institute, which was also responsible for planning and implementing the field experiments.

The field experiments were carried out in July 2013 and consisted of working time research and experimental plots measured from the area. Working quality and work difficulty factors were observed from the experimental plots. Collected data was analysed with spreadsheets and SPSS program.

Results show that the productivity of Risutec APC is not on the same level with Bracke P11.a planting device. Reliability of the device is not good enough because of a high portion of interruptions at the working time. Due to concise measurement data and short duration of the research, results cannot be generalised but can be utilised when developing planting devices. When working properly automatized plant input will increase productivity of the planting device significantly. This is a reason why it should be developed further despite the results of this study.

Key words planting device, forest regeneration

SISÄLTÖ

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO.....	1
1 JOHDANTO.....	2
2 KONEELLINEN METSÄNISTUTUS.....	4
2.1 METSÄNISTUTUKSEN KONEELLISTUMINEN.....	4
2.2 ISTUTUSKONEIDEN KEHITYS.....	6
2.3 RISUTEC APC -ISTUTUSKONE.....	8
2.4 KONEELLISEEN METSÄNISTUTUKSEN ONNISTUMISEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT.....	9
3 AINEISTO JA MENETELMÄT.....	12
3.1 KOEJÄRJESTELY.....	12
3.2 MAASTOINVENTOINTI.....	14
3.3 VERTAILEVA AIKATUTKIMUS.....	18
3.4 TILASTOLLISET MENETELMÄT.....	21
4 TULOKSET.....	23
4.1 TYÖAJANJAKAUMA.....	23
4.2 TUOTTAVUUS.....	24
4.3 SEKAMALLI.....	25
4.4 ISTUTUSTYÖN LAATU.....	26
5 TULOSTEN TARKASTELO.....	30
5.1 TYÖAJANJAKAUMA.....	30
5.2 TUOTTAVUUS JA SIIHEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT.....	31
5.3 ISTUTUSTYÖN LAATU.....	34
6 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	36
LÄHTEET.....	38
LIITE.....	41

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. Risutec APC -istutuslaite asennettuna Hyundai 180LC-7 -kaivinkoneeseen (Tiina Laine)	8
Kuvio 2. Maastokokeen kohteiden sijainti	12
Kuvio 3. Maastokokeen järjestely osaruutukokeena	13
Kuvio 4. Koealojen sijoittuminen peruskoneen telajälkien väliin maastomittauksissa	14
Kuvio 5. Humuksen paksuuden jakautuminen työmailla	17
Kuvio 6. Maaperän kivisyyden jakautuminen työmailla	17
Kuvio 7. Pintaesteiden määrän jakautuminen työmailla	18
Kuvio 8. Aikatutkimuksen työaikajako koneellisessa metsätyössä (Nordisk... 1978, Harstela 1991)	19
Kuvio 9. Risutec APC -istutuskoneen käyttöajan työajanjakauma	23
Kuvio 10. Bracke P11.a -istutuskoneen käyttöajan työajanjakauma	24
Taulukko 1. Keskimmäisen koealan keskipisteen sijainti eri kohteilla	15
Taulukko 2. Työmenetelmän konekohtaiset työvaiheet ja niiden kuvaukset	20
Taulukko 3. Istutuskoneiden teho- ja käyttöajan tuottavuudet kuljettajittain eriteltynä	24
Taulukko 4. Sekamallissa käytettyjen työvaikeustekijöiden korrelaatiot	25
Taulukko 5. Sekamalli eri tekijöiden vaikutuksesta tehoajan (E_0) tuottavuuteen	26
Taulukko 6. Istutuskoneiden istutustiheys ja istutusvirheet kuljettajittain eriteltynä	27
Taulukko 7. Istutustyön ja istutustapahtumien onnistuminen laitteittain ja kuljettajittain eriteltynä	28
Taulukko 8. Istutustapahtumien jakautuminen laitteittain	29
Taulukko 9. Istutustapahtumien jakautuminen kuljettajittain eriteltynä	29

1 JOHDANTO

Metsäalan koneellistumisen murroskausi tapahtui Suomessa 1980-luvulla, jolloin harvesterit ja metsätraktorit tulivat pysyvästi käyttöön. Sitä ennen metsätyöt tehtiin pääosin miestyönä. Puunkorjuun koneellistumisen myötä miestyönä tehtävien hakkuiden määrä on vähentynyt olemattomiin ja sitä mukaa myös metsureiden määrä vähentynyt niin, että heitä on enää muutama tuhat. Metsureiden määrän on ennustettu vähenevän edelleen, kun metsäala ja sen ruumiillinen työ eivät houkuttele nuoria. Alan houkuttelevuuteen vaikuttavat myös sen kausiluonteisuus ja siitä johtuva työsuhteiden määräaikaisuus. Tämän perusteella on ennustettu, että metsäala kärsii työvoimapulasta tulevan vuosikymmenen aikana.

Ensimmäiset metsänhoitotöissä käytetyt koneet oli kehitetty alun perin maatalouden maanmuokkausta varten. Varsinaisesti metsäkäyttöön tarkoitettuja koneita on kehitetty vähitellen 1900-luvun ensimmäisistä vuosikymmenistä lähtien Yhdysvalloissa, Saksassa, Neuvostoliitossa ja Pohjoismaissa. Puunkorjuu ja -kuljetus sekä maanmuokkaus ja kylvö on jo koneellistettu, mutta istuttamiseen ja taimikonhoitoon käytettävien koneiden kehitys on ollut hitaampaa ja niitä on käytössä vielä suhteellisen vähän. Kehitystä on hidastanut muun muassa metsäalan toimijoiden ja metsänomistajien epäilevä asenne koneistuksesta ja sen laatua kohtaan. Miestyövoiman heikon saatavuuden pelossa koneellistamista on pyritty viime vuosina viemään eteenpäin panostamalla uusien istutus- ja taimikonhoitokoneiden kehitykseen. (Ersson 2010, 16–17; Strandström – Hämäläinen – Pajuoja 2009, 8.)

Ensimmäiset istutuskoneet kehitettiin jo 1960- ja 1970-luvuilla Ruotsissa. Näiden koneiden toiminta oli pitkälle mekaanista ja ne olivat rakenteeltaan yksinkertaisia. Tämän jälkeen Ruotsissa istutuskoneita on kehitetty useita, joista menestynein on Bracke P11.a. Ruotsin ohella myös Suomessa on kehitetty istutuskoneita. Ensimmäinen suomalainen istutuskone oli G.A. Serlachiuksen 1980-luvun alussa kehittämä kone. Myöhemmin kehitettyjä ovat muun muassa M-Planter ja Risutec PM100. (Ersson 2010, 17, 41.)

Istutuskoneiden ongelmana on ollut niiden heikko kustannustehokkuus verrattuna miestyönä tehtyyn istutukseen. Istutetut taimimäärät voivat olla kohtuulli-

sia, mutta laiteinvestoinnit sekä laitteen vuosittainen käyttöaste nostavat kustannuksia. Tämän vuoksi tuottavuutta ja sitä kautta kustannustehokkuutta on pyritty parantamaan esimerkiksi istutuslaitteen taimiensiötön automatisoinnilla. Yksi tällainen istutuslaite on Risutec APC, joka koostuu varsinaisesta istutuslaitteesta sekä automaattisyötöllä varustetusta taimimakasiinista (APC – Automatic Plant Container). (Hallongren – Laine – Juntunen 2012, 96.)

Tässä opinnäytetyössä 'Koneellinen metsänistutus Risutec APC -istutuskoneella' käsitellään koneellista istuttamista sekä vertaillaan Risutec APC:n ominaisuuksia, tuottavuutta, työn laatua sekä toimintavarmuutta ruotsalaisvalmisteiseen Bracke P11.a -istutuskoneeseen. Vertailulla pyritään selvittämään automatisoidulla taimiensiötöllä varustetun istutuskoneen paremmuus vanhempaan istutuskoneeseen verrattuna.

Useat Metsäntutkimuslaitoksen tutkijat, kuten Jaana Luoranen, Juho Rantala ja Veli-Matti Saarinen, ovat aikaisemmin selvittäneet erilaisten istutuskoneiden tuottavuutta, istutustyön laatua sekä toimintavarmuutta. Näissä tutkimuksissa on istutuskoneista ollut mukana M-Planter, EcoPlanter sekä Bracke. Koneita on voitu tutkimuksissa verrata useampaan samanlaiseen tai johonkin toiseen istutuskoneeseen. Yleisin vertailukohde on ollut Bracke, minkä vuoksi myös tässä käytetään samaa vertailukohdetta. Vertailujen taustalla on pyrkimys selvittää koneellisen istutuksen tuottavuus ja kannattavuus miestyöhön verrattuna.

Työn tavoitteena on vertailevan aikatutkimuksen avulla selvittää Risutec APC -istutuskoneen työajanjakauma, tuottavuus ja työn laatu. Samalla analysoidaan kuljettajan sekä eri työvaikeustekijöiden, kuten kivisyyden ja pintaesteiden vaikutusta tuottavuuteen. Saatuja tuloksia verrataan Bracke P11.a -istutuskoneen vastaaviin tuloksiin. Aihe rajautuu näihin kahteen istutuskoneeseen sekä niiden tuottavuuden ja työn laadun vertailuun. Taloudelliset laskelmat ja kannattavuus on rajattu aiheen ulkopuolelle, jotta aihe saadaan pysymään hallittavissa olevassa laajuudessa.

2 KONEELLINEN METSÄNISTUTUS

2.1 Metsänistutuksen koneellistuminen

Metsätalouden toiminnassa ensimmäisiä koneita käytettiin pelkästään maanmuokkaukseen tai sen lisäksi peltojen ja aukeiden alueiden istuttamiseen. Maanmuokkauksesta alkanut koneellistuminen eteni vähitellen justeereista ja pokasahoista moottorisahoihin, hevosista traktoreihin sekä uitosta juniin ja kuorma-autoihin. Maanmuokkaus koneet kehittyivät edelleen ja niihin yhdistettiin myös kylvö.

Erityisesti 1980-luku oli Suomessa nopeaa koneellistumisen aikaa, kun harvesterit ja kuljetustraktorit yleistyivät korvaten miestyönä tehdyt hakkuut. Kehityksen myötä työvaiheita saatiin yhdistettyä ja kustannuksia vähennettyä. Nykyään lähes kaikki hakkuut tehdään koneiden avulla, puutavara kuljetetaan metsätraktorilla ja autolla tai junalla, maa muokataan koneella sekä kolme neljästä kylvöaloista viljellään koneellisesti. Tästä huolimatta istutus ja taimikonhoito suoritetaan edelleen pääosin miestyönä. Koneita molempiin tarkoituksiin on kehitetty, mutta niiden käytön yleistyminen on jäänyt paikalleen vuosikymmenien ajan. Istutuksista vain kaksi–kolme prosenttia tehdään koneellisesti. (Ersson 2010, 17; Strandström ym. 2009, 9.)

Ennakkoluulojen ohella tähän asti hyvin saatavilla ollut työvoima sekä koneellisen istutuksen alhainen kustannustehokkuus ovat hidastaneet istutuksen koneellistamista. Investointien ja alhaisen käyttöasteen lisäksi istutettavat kohteet ovat sijainneet usein harvassa ja olleet pieniä, mikä edelleen on heikentänyt kannattavuutta. Tämä vastaavasti on karkottanut koneyrittäjien halukkuuden istutustyön lisäämisestä työtehtävien joukkoon. Vaikka koneistutuksen työjäljen on todettu laadultaan olevan miestyönä tehdyn istutuksen tasolla, eivät yksityiset maanomistajat ole innokkaita käyttämään menetelmää. Lähes kaikki koneistutukset tehdään vielä yritysten, kuten Tornator Oy:n ja UPM-Kymmene Oyj:n omistamilla mailla. (Strandström ym. 2009, 8-9.)

Koneellisen metsänistutuksen käyttöä yksityismetsissä pyritään edistämään erilaisten hankkeiden avulla, joissa tuodaan esille koneellistumisen tuomat työtä helpottavat muutokset. Yksi käynnissä olevista hankkeista on metsäkeskuksen ja Metsäntutkimuslaitoksen yhteishanke ”Teknologialla tehokkuutta

metsänhoitoon – koneellisen istutuksen laaja käyttöönotto”. Hanke on kohdistettu metsänhoitoyhdistyksille, metsäpalveluyrityksille, koneyrityksille ja taimituottajille ja sen avulla pyritään lisäämään tietoisuutta koneistutuksesta sekä luomaan uudistamisketjulle kustannustehokkaat toimintamallit. (Syri – Laine 2012, 12.)

Tärkein peruste koneellistumisen taustalla ovat ennusteet metsäalan työvoimapolusta. Metsätöihin kohdistuvan työvoimapolun on ennustettu kärjistyvän vuoteen 2020 mennessä, kun metsureiden ja muiden työntekijöiden määrä vähenee. Syynä tähän on se, että suuri osa metsureista eläköityy lähivuosina, minkä lisäksi alan heikko kiinnostavuus tekee työvoiman löytämisestä vaikeaa. Kiinnostukseen vaikuttaa esimerkiksi alan töiden kausiluontoisuus. Työllistettynä sekä työttöminä olevien metsureiden ikäjakauma painottuu yli 50-vuotiaisiin. Tämä liittyy yleiseen työvoiman ikärakenteen kehitykseen. (Alatalo – Räisänen – Tuomaala 2011, 21.)

Puunkorjuun koneellistumisen jälkeen metsureiden työtehtäviksi ovat jääneet lähinnä taimikonhoito ja muut raivaus- ja moottorisahalla tehtävät työt sekä istutus. Istutustyön koneellistamisen avulla voidaan vähentää siihen liittyvää työvoimatarvetta, sillä kyseinen menetelmä vaatii noin 20 prosenttia vähemmän henkilöresursseja kuin erillinen maanmuokkaus ja käsin istutus. (Hallongren ym. 2012, 95, 98.)

Koneellistamisen tarvetta vahvistaa se, että metsänomistajarakenteen muuttuminen suuntaan, jossa omistajat asuvat etäällä metsistään ja ovat estyneitä tai haluttomia metsänhoitotöiden suorittamiseen, lisää rästiin jäävien hoitotöiden määrää. Mitä enemmän metsiä hakataan, lisääntyvät myös uudistamis-pinta-alat. Tällaisessa tilanteessa koneellinen istutus pääsee oikeuksiinsa. Lisäksi metsätalouden kokonaiskustannustehokkuutta ajatellen istutus olisi hyvä tehdä maanmuokkauksen yhteydessä, jotta metsä saadaan heti tuottamaan. (Harstela 2004, 31; Jaakko Pöyry Consulting 2005, 79–80; Strandström ym. 2009, 11.)

Monet suuret metsäyritykset ulkoistavat hoitotyöt nykyään urakoitsijoille. Istutuskohteiden määrän kasvu tekee koneellisesta istuttamisesta kustannustehokkaampaa ja koneinvestointien kannattavuus muuttuu paremmaksi. Kohteiden

den määrän lisääntyminen vaikuttaa niiden väliseen etäisyyteen, jolloin koneiden siirtokustannuksia saadaan pienemmäksi. Koneistutuksen myötä hakkuilla tai maanmuokkauksessa käytetty peruskone voidaan työllistää tasaisemmin vuoden ympäri, kun siihen liitetään istutuksessa käytettävä lisälaitte. Peruskoneiden käyttö istutuksessa edellyttää kuitenkin sitä, että kuljettajat osaavat suorittaa eri tehtävät ammattitaitoisesti. (Rantala – Saarinen 2006, 349–350.)

Istutuskaudella käytettävän peruskoneen tulisi työskennellä kahdessa vuorossa 1000–1200 tuntia ja istutuskauden ulkopuolella 500–1500 tuntia, jotta kannattavuus koneyrittäjän näkökulmasta täyttyy. Istuttamiskauden pituuden jatkamisen mahdollisuudesta on saatu hyviä tuloksia, kun on käytetty kuhunkin ajankohtaan sopivaa taimiainesta. Siten istutuskonetta voitaisiin käyttää toukokuusta jopa lokakuulle. (Laine – Syri 2012, 7, 12.)

Nykyään koneellisen istutuksen kustannukset eivät ole samalla tasolla erillisen maanmuokkauksen ja käsin istuttamisen muodostamien kustannusten kanssa. Koneellisen istutuksen kustannusten tulisi olla selkeästi alhaisemmat, jotta menetelmän käyttö yleistyisi. Istutuskoneiden tuottavuuden tulisi nousta 25 prosenttia, jotta kustannustehokkuuden osalta päästäisiin samalle tasolle. Tuottavuuden osalta tämä tarkoittaa käytännössä vähintään 190 tainta hehtaarille käyttötuntia kohden. (Ersson 2010, 41; Strandström ym. 2011, 5.)

2.2 Istutuskoneiden kehitys

Istutuskoneita on kehitetty jo vuosikymmenien ajan erityisesti Pohjoismaissa. Ensimmäiset suorittivat pelkän istuttamisen, mutta viimeisimmät tekevät tämän lisäksi samalla maanmuokkauksen. Maanmuokkaus oli ensimmäisissä koneissa jatkuvaa, mutta kehityksen myötä tulivat ajoittaisen muokkauksen tekevät koneet. Suomessa ensimmäinen istutuskone kehitettiin 1970-luvulla. Se oli Serlachiuksen maanmuokkauksen ja istutuksen tekevä automatisoitu ja jatkuvatoiminen laite. Istutuslaite oli asennettu metsätraktoriin ja sen käyttö vaati yhden ihmisen työpanoksen. Vastaavanlaista Silva Nova -istutuskonetta kehitettiin Ruotsissa 1980- ja 1990-luvuilla. Näiden koneiden tuottavuus oli parhaimmillaan yli 1300 tainta käyttötuntia kohti. Istutustyön laatu ei kuitenkaan

ollut huipputasoa, ei myöskään toimivuus. Korkeiden kustannusten vuoksi jatkuvatoimisten istutuskoneiden kehitys ei tuolloin edistynyt. (Ersson 2010, 16–27, 41.)

Ensimmäinen ajoittaista muokkausta tekevä kone 1980-luvulla oli ruotsalaisvalmisteinen Öje Planter, joka tunnetaan nykyään Bracke Planter -nimellä. Erillinen istutuslaite on kustannustehokkaampi, kuin aiemmat jatkuvatoimiset koneet. Muita vastaavia istutuskoneita on kehitetty tämän jälkeen useita; toinen ruotsalainen kone EcoPlanter on jyrsinmätästyksen tekevä istutuskone ja suomalainen Ilves (nykyään Lännen) pelkän istutuksen valmiiseen muokkausjälkeen tekevä kone. Näiden lisäksi Suomessa on kehitetty kaksipäinen mätästävää M-Planter ja yhdellä muokkauspäällä varustettu Risutec PM100. (Ersson 2010, 27–31, 41; Hallongren ym. 2012, 96.)

Yleisin nykyään käytössä olevista istutuskoneista on Bracke P11.a, jonka osuus kaikista käytössä olevista koneista on 70 prosenttia. Suuri osuus johtuu istutuskoneen paremmasta kustannustehokkuudesta muihin olemassa oleviin koneisiin verrattuna. Käytössä olevat istutuslaitteet on asennettu yleensä telakaivinkoneen puomin päähän. Laitteessa on maanmuokkauksen tekevä työkalu – useimmiten mätästyslevy – sekä putki taimien istuttamista varten. Istutuslaite on varustettu taimikasetilla, johon mahtuu mallista riippuen 70–240 tainta. Taimet putoavat kasetista istutusputkeen laitteen logiikkaohjauksen mukaisesti. Koneen kuljettaja täyttää taimikasetin taimien loppuessa. Peruskoneeseen on asennettavissa teline, jossa kuljetetaan tarvittava määrä taimia työvuoron ajaksi. (Hallongren ym. 2012, 96; Rantala – Saarinen 2006, 345.)

Istutuskoneiden kustannustehokkuutta on useissa tutkimuksissa sekä selvityksissä esitetty tärkeäksi kehittämiskohteeksi. Koneiden tuottavuutta tulisi nostaa selkeästi, että siinä päästäisiin miestyötä paremmalle tasolle. Koneen tekninen käyttöaste eli luotettavuus tulisi kuitenkin säilyä riittävän hyvänä. Lisäksi istutuskone tulisi pitää toiminnoiltaan sellaisena, ettei sen hinta nouse korkeaksi verrattuna vuotuisen käyttöasteeseen. Kehitystyön tavoitteita ovat, että istutuskone on ihmistä nopeampi, suorittaa useampia työvaiheita yhtäaikaaisesti tai limittäin, käsittelee useampaa työkohdetta kerrallaan ja että sen työvaiheista jokin on automatisoitu. Lisäksi koneen jatkuvatoimisuuden tiedetään parantavan istutuksen tuottavuutta. (Strandström ym. 2009, 14–15.)

Nykyisissä istutuskoneissa on pystytty yhdistämään kaksi työvaihetta. Jotkin mallit voivat myös käsitellä kahta työkohtetta kerralla. Niiden työnlaatu on hyvä ja kustannukset alkavat olla samalla tasolla ihmistyönä suoritettun istutuksen kanssa. Kokonaisuutena kustannustehokkuus jää kuitenkin vielä alle tavoitellun rajan.

2.3 Risutec APC -istutuskone

Eräs viimeisimmistä kehiteltävänä olevista istutuskoneista on Risutec Oy:n, UPM Metsän sekä Silvesta Oy:n yhteistyönä kehittämä Risutec APC (kuvio yksi). Koneen kehittämisellä on pyritty parantamaan koneistutuksen tuottavuutta ja kustannustehokkuutta automatisoimalla taimensyöttöä.



Kuvio 1. Risutec APC -istutuslaite asennettuna Hyundai 180LC-7 -kaivinkoneeseen (Tiina Laine)

Risutec APC -istutuskoneen pohjana toimii istutuslaitemalli PM100, johon on liitetty automaattisyötöllä varustettu taimimakasiini (APC – Automatic Plant Container). Taimimakasiini on sovitettu Plantek 81 -istutuskennoille ja siihen mahtuva kokonaistaimimäärä on 16 kennosta eli 1296 kappaletta, jotka ladataan kahteen eri tasoon. Lisäksi istutuslaitteeseen on saatavilla erillinen teline, jolla saa kuljetettua taimia istutuskohteelle. Telineeseen mahtuu 12 istutuskennoa eli 972 tainta. Kokonaistaimimäärä 2268 vastaa yhden työpäivän istutusmäärää. Risutec APC toimii Parker IQAN ohjausjärjestelmällä. Laite on lisäksi varustettu datasiirrolla, mikä mahdollistaa sen helpon käytön peruskoneen ohjaamosta käsin. (Risutec 2014.)

Risutec APC:n peruslaite on laikkumätästys- ja istutuksen suorittava laite, johon on saatavilla lisäosa torjunta-aineen levitystä varten ja sillä voidaan huuhdella myös istutusputki. Tiivistystassut tiivistävät paakkutaimen ja niiden painetta voidaan säätää portaattomasti. Istutuslaitteen kokonaispaino on noin 2000 kilogrammaa, minkä vuoksi peruskoneen on oltava vähintään 18 000 kilogrammaa, jotta se jaksaa liikuttaa istutuslaitetta. (Risutec 2014.)

Koska istutuskennostossa taimien juuret ovat usein kasvaneet kiinni kennostoon, ovat taimet irrotettava ennen taimimakasiiniin ja telineeseen lataamista. Ilman tätä toimenpidettä istutuslaitteen noutaja ei saa taimia irti kennoista. Irrotusta varten on kehitetty eräänlainen piikkimatto, johon kennosto painetaan. Piikit painuvat kennojen pohjassa oleviin reikiin nostaen taimet ylös. Jotta taimet eivät jää liian koholle, painetaan ne takaisin kennoihin kampa muistuttavalla, teräsliuskoista muodostuvalla työkalulla.

Taimien nouto istutusta varten tapahtuu taimimakasiinissa ohjausjärjestelmän avulla. Kun siirtokasetista on istutettu seitsemän tainta, yhdeksänpaikkainen noutaja siirtyy lähimmän taimirivistön ylle ja tarttuu taimiin, nostaa ne ilmaan ja kuljettaa siirtokasettiin. Siirtokasetti annostelee taimet yksitellen istutusputkeen odottamaan istutusta. Kuljettaja pystyy seuraamaan ohjaamosta siirtokasetin toimintaa laitteeseen asennetun kameran välityksellä. Kun hän näkee noutajan palaavan siirtokasetin luo, on istutuskone ohjattava vaakatasoon ja liike seisautettava, jotta taimet asettuvat siirtokasettiin hyvin. Risutec tekee istutusvaiheessa ensin laikkumättään, jonka jälkeen taimi putoaa istutusputkesta mätästyslevyn läpi putken leukojen mättääseen muodostamaan reikään. Kaksi levyssä olevaa tassua tiivistää lopuksi maan taimen ympäriltä. (Hallongren – Laine 2012, 7.)

2.4 Koneelliseen metsänistutuksen onnistumiseen vaikuttavat tekijät

Koneelliseen metsänistutukseen ja sen onnistumiseen vaikuttavat pääosin samat maaperän ominaisuudet, jotka vaikuttavat käsin tehtyyn istutukseen. Maaperän ominaisuuksien ohella maanmuokkauksen laatu on tärkeä tekijä. Koneellisessa istutuksessa on erityisen tärkeä huomioida, että eri istutusajankohdina käytetään oikeaan aikaan kasvatettuja taimia.

Koneellisesti istutettavilla kohteilla käytetään maanmuokkausmenetelmänä laikkumätästystä, koska sen on todettu parantavan kuusentaimien kasvua.

Kuljettajan ammattitaito korostuu maanmuokkauksessa ja oikean paikan valinnassa. Olennaista hyvässä mättäessä on, että sen tulee olla 5–15 senttimetriä paksun kivennäismaakerroksen peittämä ja taimen ympärille on jäätävä 10–20 senttimetrin säteellä kivennäismaata. (Laine – Syri 2012, 26.)

Mättään alle ei saa jäädä kiviä, kantoja eikä erityisesti hakkuutähteitä. Erilaiset sienet ja mikrobit hajottavat alle jääneitä hakkuutähteitä sitoen samalla ravinteita, jolloin taimen ravinteidensaanti heikentyy. Mättään pinnalla kivennäismaan seassa oleva vähäinen humuksen määrä ei haittaa, mutta sen suuri osuus altistaa taimen tukkimiehentäin tuhoille. Korkea kivennäismaan osuus vähentää kilpailua kasvillisuuden kanssa ja alentaa myöhemmin taimikonhoitotarvetta. Kivennäismaakerroksen alle jää mättäeseen kaksinkertainen humuskerros, johon asti taimen juuripaakku on istutettaessa ulotuttava. Näin ollen taimen ravinteidensaanti on taattu, samoin vedensaanti sateettomanakin aikana. (Luoranen – Rikala – Smolander 2011, 342; Luoranen – Saksa – Uotila 2012, 108.)

Maalaji vaikuttaa koneellisessa istutuksessa lähinnä istutusajankohtaan. Yleensä kohteet ovat kivennäismaalla. Turvemaan koneistutuksesta on vähemmän kokemusta, mutta menetelmä toimii myös turvemailla. Ongelmia syntyy lähinnä vesitaloudessa ja mättään tiivistyksessä. Lisäksi tukkimiehentäin tuhot ovat runsaammat turvemailla, kun kivennäismaakerros puuttuu mättään pinnalta. Keskikarkeiden kivennäismaiden istutuskausi kattaa lähes koolan maan ajan huhtikuusta lokakuulle. Hienojakoiset kivennäismaat ja turvemaat voidaan istuttaa vain alkukesällä. (Laine – Syri 2012, 42; Toivanen 2012, 30–33.)

Maaperän ominaisuuksista kivisyys, pintaesteiden määrä sekä humuksen paksuus vaikuttavat koneellisen istutuksen onnistumiseen. Korkea pintakivien ja pintaesteiden määrä haittaavat maanmuokkausta ja heikentävät siten tuottavuutta, kun kuljettajan on kierrettävä kivet ja esteet valitessaan sopivaa muokkauskohtaa. Myös hakkuutähteet ja kannot haittaavat maanmuokkauksen onnistumista. Siksi koneistutuskohteita valittaessa olisi suositeltavaa, että hakkuutähteet ja kannot on korjattu pois. Hakkuutähteiden korjuun on todettu lisäävän tuottavuutta 15–25 prosenttia. Humuksen paksuus vaikuttaa istutuk-

sen onnistumiseen vasta, kun se ylittää 10 senttimetriä. Mättään kivennäismaakerros voi jäädä liian ohueksi, mikäli muokkausta ei tehdä syvemmältä. (Ersson 2010, 9–10; Harstela 2004, 48; Laine – Syri 2012, 39–41.)

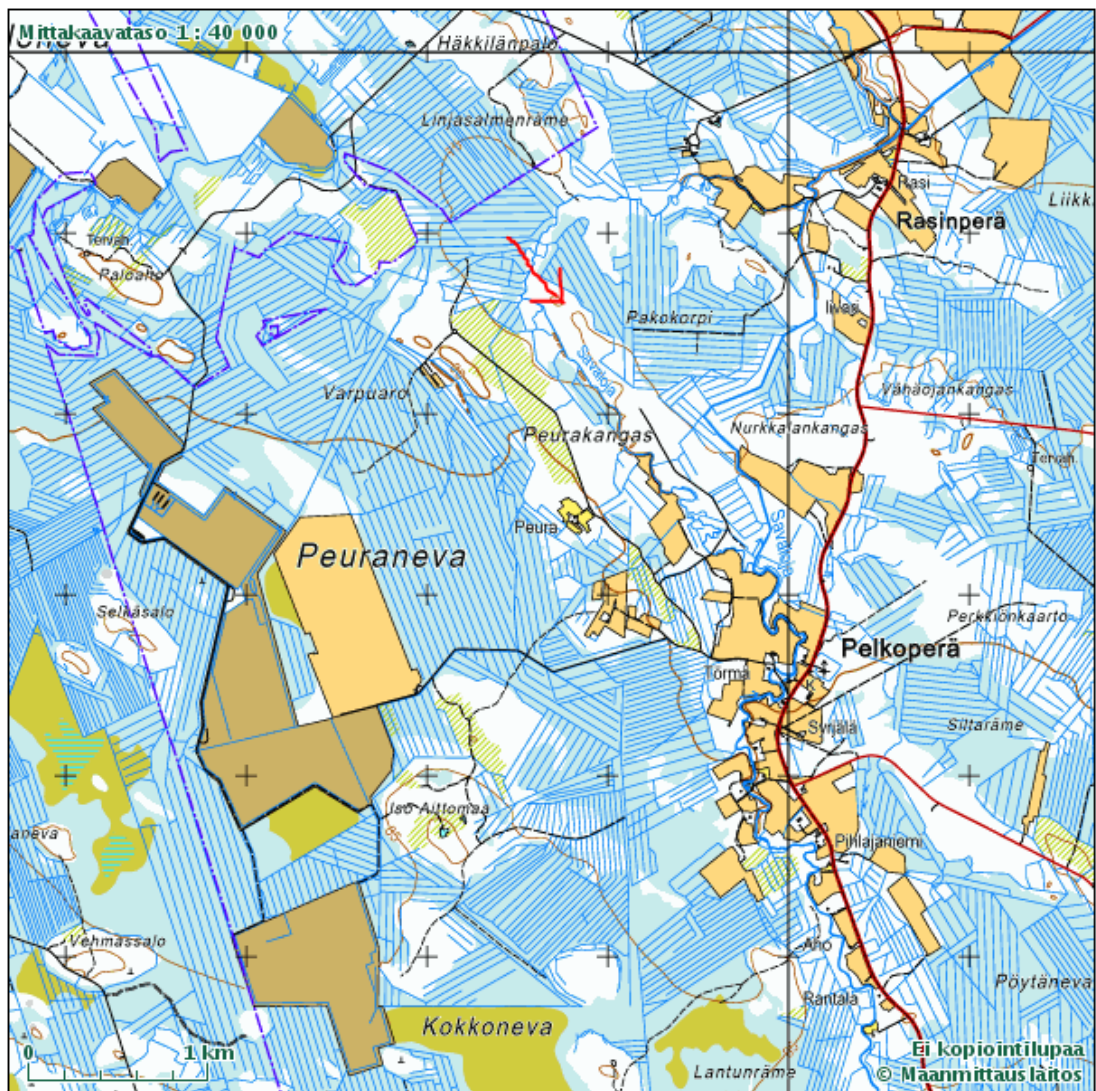
Koneella istutettavat taimet ovat yleensä kuusen paakkutaimia, mutta mäntyäkin voidaan istuttaa. Männyn koneellista istuttamista rajoittaa taimen uuden vuosikasvaimen vaurioherkkyys. Lisäksi männyn istutus näyttää onnistuvan parhaiten vain alkukesästä ja syksyllä, mikä lyhentää istutuskautta. Kuusen istutuskausi kattaa toukokuun ja syyskuun välisen ajan. (Luoranen – Rikala 2011, 12–13; Vartiamäki 2003, 4.)

Eri ajankohtina on käytettävä eritavalla käsiteltyjä taimia istutuksen onnistumisen takaamiseksi. Alkukesästä käytetään normaalisti pakkasvarastoituja taimia sekä loppukesästä ja syksyllä lyhytpäiväkäsiteltyjä. Nämä taimet kestävät paremmin istutuksen jälkeistä kuivuutta sekä istutusvuonna esiintyviä syyshalvoja. Kesäistutukseen valitaan siihen erikseen kasvatettuja taimia, jotka ovat istutettaessa kasvussa. Taimien istutus on lopetettava syksyllä ajoissa ennen maan jäätymistä, jotta taimet ehtivät juurtua. Tällöin rouste ei nosta taimia ylös mättäistä. (Luoranen – Heikkilä 2006, 12; Luoranen – Rikala 2011, 12.)

3 AINEISTO JA MENETELMÄT

3.1 Koejärjestely

Työntutkimukseen liittyvät maastokokeet tehtiin Pohjois-Pohjanmaalla entisen Rantsilan, nykyisen Siikalatvan alueella. Kohteiden tarkempi sijainti on osoitettu punaisella nuolella kuviossa kaksi. Mukana oli kaksi kuljettajaa, joista molemmilla oli aikaisempaa kokemusta koneistutuksesta. Kuljettaja yksi oli käyttänyt aikaisemmin Risutecin valmistamia istutuskoneita ja kuljettaja kaksi Bracken valmistamia istutuskoneita. Lisäksi he harjoittelivat vieraan koneen käyttämistä yhden työvuoron ajan ennen työntutkimuksen aloittamista.

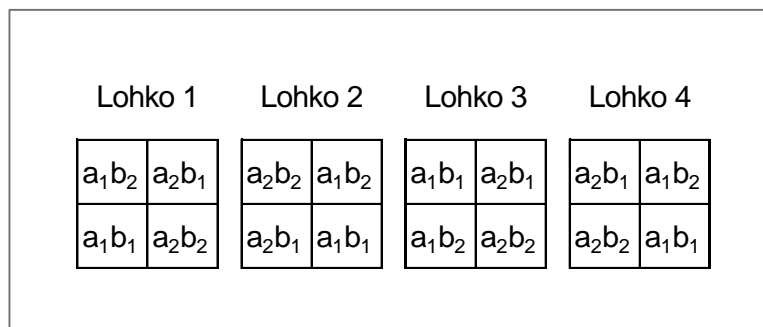


Kuvio 2. Maastokokeen kohteiden sijainti

Istutuskoneet oli asennettu Hyundai-merkkisiin tela-alustaisiin kaivinkoneisiin. Bracke P11.a oli asennettu 140LC-9 -malliseen metsävarustettuun kaivinkoneeseen ja Risutec APC suuremman painonsa vuoksi vastaavalla tavalla varustettuun 180LC-7 -mallin koneeseen.

Työntutkimuksen maastokoe järjestettiin osaruutukokeen (split-plot) mukaisesti. Osaruutukokeen avulla voidaan selvittää vaihtelevien työvaikeustekijöiden vaikutus kokeen muihin, kiinteisiin muuttujiin. Se on tavallinen maa- ja metsätalouden kokeissa, joissa selvitetään eri muuttujien vaikutusta tutkittaviin tekijöihin. (Ranta – Rita – Kouki 2012, 294.) Osaruutukoe satunnaistettiin arpomalla istutustyön aloittava istutuskone sekä kuljettaja kohteen koeruudulle eli toistolle. Työntutkimukseen liittyvän työajanjakautaman selvittämiseksi koneiden ja kuljettajien työskentely videoitiin maastokokeen aikana.

Maastokokeen järjestely voidaan kuvata kuvion kolme mukaisesti, jossa molemmat kokoruutukäsittely A ja osaruutukäsittely B ovat kaksitasoisia (a_1, a_2, b_1, b_2). Kokoruutukäsittelyä vastaa tässä tapauksessa istutuskone ja osaruutukäsittelyä kuljettaja. Koe suoritettiin satunnaistettuna neljällä loholla.



Kuvio 3. Maastokokeen järjestely osaruutukokeena

Koejärjestelyihin valittiin mukaan kaksi suoalueeseen rajautuvaa kivennäismaan kuviota. Kuviot puolitettiin kahteen osaan, jolloin muodostui neljä erillistä työmaata. Istutuskoneista molemmat työskentelivät samalla työmaalla, mutta sen eri reunoissa. Ennen maastokokeen aloittamista arvottiin istutuskoneiden aloituspaikat. Koneiden kuljettajat arvottiin vastaavalla tavalla. Maastokokeessa Risutec APC -istutuskonetta merkittiin nimellä laite yksi ja Bracke P11.a -istutuskonetta nimellä laite kaksi sekä kuljettajia nimillä kuski yksi ja kuski kaksi.

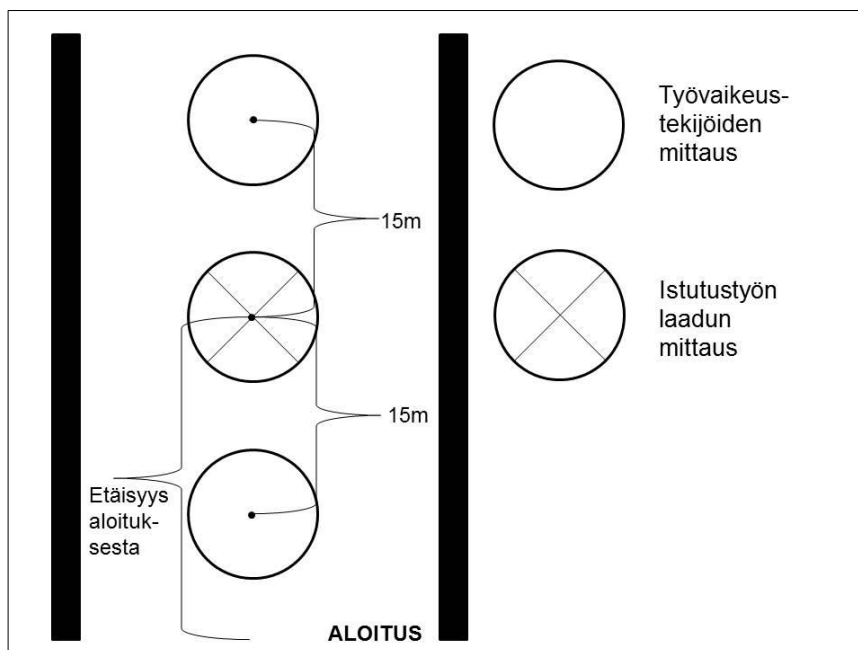
Arvonnan tuloksena kuljettaja yksi aloitti ensimmäisellä työmaalla työskentelyn koneella yksi ja kuljettaja kaksi koneella kaksi. Istuttaminen aloitettiin kuvion

reunasta edeten kohti keskiosaa. Kuljettajien istutettua yhden toiston he vaihtoivat koneita ja jatkoivat istuttamalla taas yhden toiston. Näin yhdelle työmaalle saatiin neljä toistoa, kaksi kummallekin koneelle. Toistolla tarkoitetaan kahden kasvatuskennoston tai taimikasetin istuttamista. Brackella toistossa istutettava taimimäärä oli 178 kappaletta ja Risutec APC:lla 162 kappaletta. Myös kolmella muulla työmaalla koneiden ja kuljettajien arvonta toistettiin, ja molemmat kuljettajat istuttivat yhden toiston kummallakin koneella.

Tutkimuksessa istutettavissa ollut taimimäärä oli kokonaisuudessaan 2695 kappaletta. Aikatutkimuksessa käytetty videoiden ajallinen kokonaiskesto oli vastaavasti noin 14 tuntia. Lisäksi taimimakasiinin ja taimitelineiden täyttöön liittyvien videoiden kokonaiskesto oli hieman yli yksi tunti.

3.2 Maastoinventointi

Maastoinventointia varten oli laadittu erillinen ohje (liite). Sen mukaan jokaiselta toistolta mitattiin kolme koealaa, joista kaikilta mitattiin työvaikeustekijät sekä keskimmäiseltä lisäksi istutuslaatu (kuvio neljä). Keskimmäisen koealan paikka sijaitsi peruskoneen etenemissuunnassa telajälkien keskikohdassa.



Kuvio 4. Koealojen sijoittuminen peruskoneen telajälkien väliin maastomittauksissa. Koealan tarkempi paikka vaihteli inventointikohteen mukaan (taulukko yksi). Paikka määritettiin mittaamalla ohjeen mukainen matka toiston aloituskoh-

dasta. Kaksi muuta koealaa sijaitsivat 15 metrin päässä keskimmäisestä koealasta. Toistoja työntutkimuksessa tuli yhteensä 16. Mitattavia työvaikeuskoealoja oli 48 ja laatukoealoja 16.

Taulukko 1. Keskimmäisen koealan keskipisteen sijainti eri kohteilla

Kohde (numero)	Etäisyys aloitus- pisteestä (m)
1	20
2	30
3	40
4	50

Koealan koko oli 50 neliometriä, jolloin ympyräkiealan säde oli 3,99 metriä. Istutustyön laadun mittaamiseksi koealalta mitattiin kymmenen tainta. Mikäli määritellyn 3,99 metrin säteiseltä ympyräkiealalta ei saatu mitattua kymmentä tainta, otantaa laajennettiin 5,64 metrin säteiselle koealalle niin, että tarvittavat kymmenen tainta saatiin mitattua. Laajennetun koealan sisällä lähinnä pohjoista ja eteläistä suuntaa olevat taimet mitattiin.

Istutustyön laadun määrittämiseksi koealalta selvitettiin maalaji, kenttäkerroksen peittävyys sekä oliko ennakkoraivaus suoritettu. Maanmuokkauksen osalta arvioitiin sitä, heikensivätkö kivet, kannot tai muokkauskohdan märkyys mättään laatua. Mättäästä arvioitiin kivennäismaan, humuksen ja turpeen määrä. Jokaisen mitatun taimen osalta määritettiin istutuskohta sen mukaan oliko taimi istutettu mättääseen, laikkuun vai muokkaamattomaan maahan. Lisäksi arvioitiin mahdolliset istutusvirheet: puutteellinen tiivistys, istutus ei tarpeeksi syväälle tai liian syväälle tai paakku ei ollenkaan maassa, taimi maan tai hakkuutähteen peitossa, istutettu kaksi tainta tai toinen taimi pudonnut istutetun viereen, taimi vaurioitunut, taimi vinossa, taimi kuollut tai ei taimea ollenkaan, taimi mättään sivussa.

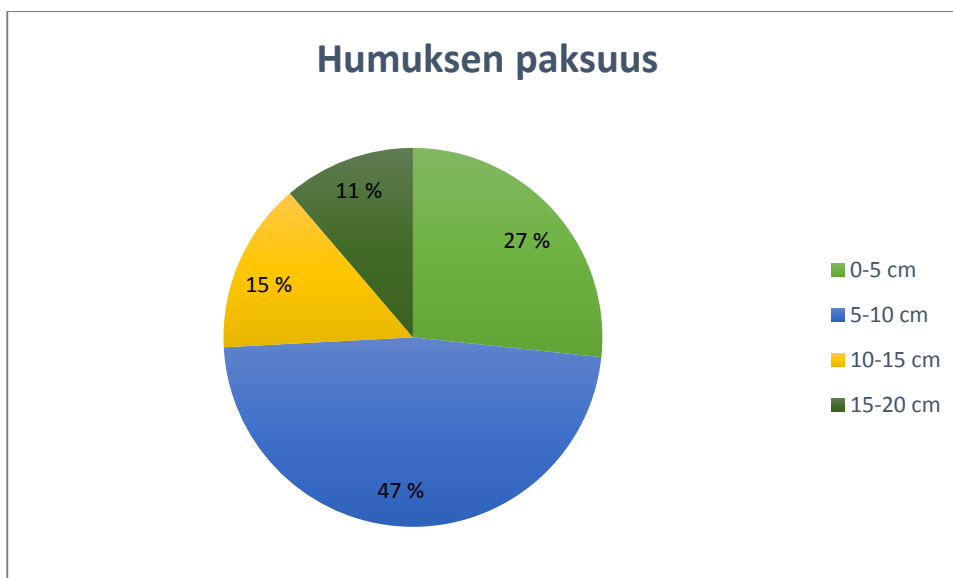
Työvaikeustekijät mitattiin koealalta ennalta määritetyistä mittapisteistä. Pääosin työvaikeustekijät mitattiin ympyräkiealan keskeltä sekä pohjois-, itä-, etelä- ja länsireunalta. Tarvittaessa mittaus tehtiin myös neljästä välipisteestä. Jokaiselta kohteelta hakkuutähteet ja kannot oli kerätty ennakkoon, mutta tästä huolimatta työvaikeustekijöitä mitattaessa koealoilta selvitettiin hakkuutähteiden olemassaolo sekä kantojen määrä. Muita mitattavia tekijöitä olivat kaltevuus, pintaesteiden määrä, kivisyys sekä humuksen paksuus.

Maaston kaltevuuden katsottiin vaikeuttavan muokkausta ja istuttamista, jos koealalla korkeuseroa viiden metrin matkalla oli yksi metri tai enemmän. Pintaesteiksi laskettiin yli 10 senttimetriä korkeat kivet, kohoumat, jätöpuut ja kaatuneet puut sekä yli 20 senttimetriä syvät kuopat, jotka olivat puolen metrin etäisyydellä toisistaan. Hakkuutähteitä, kantoja, mättäitä tai muokkauksen pintaan nostamia kiviä ei laskettu pintaesteiksi. Pintaesteen keskipisteen avulla määritettiin sen kuuluminen koealalle.

Koealan kivisyys määritettiin yhdeksästä mittauspisteestä rassin avulla. Rassi painettiin maahan 20 senttimetriin saakka ja samalla tutkittiin, osuiko rassi tällä matkalla kiveen vai ei. Kannoista työskentelyä haittaaviksi laskettiin kaikki yli 10 senttimetriä halkaisijaltaan olevat kannot. Humuksen paksuus mitattiin mitapistettä lähinnä olevan mättään laikun reunasta.

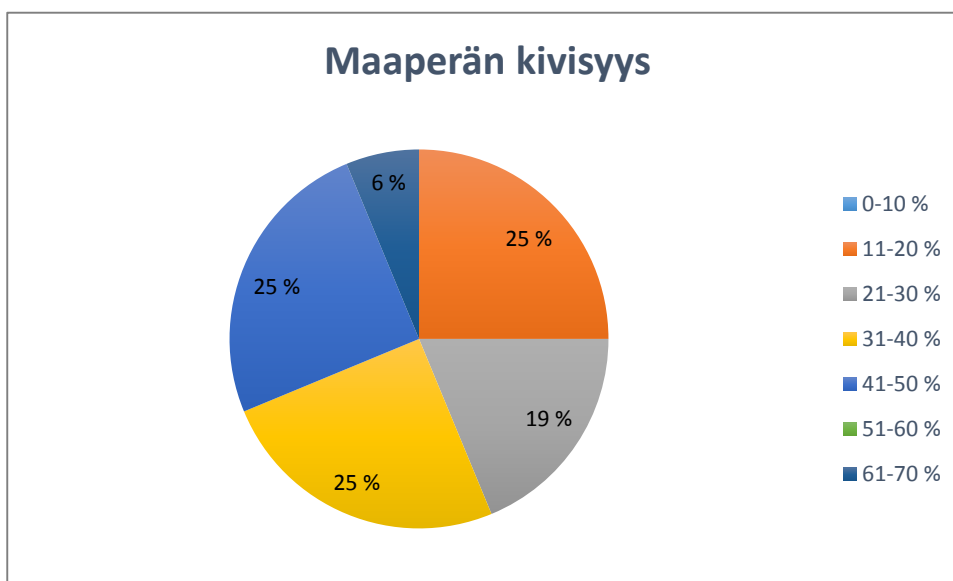
Istutuskoneiden työn laatu selvitettiin työntutkimuksen yhteydessä heti istutustyön jälkeen. Istutustyön laatuun työvaikeustekijöistä vaikuttavat maaston kivisyys ja kaltevuus, humuksen paksuus sekä kantojen ja muiden pintaesteiden määrä. Tutkimuskohteessa maasto oli tasaista, minkä vuoksi kaltevuutta ei huomioida tuloksissa. Myös hakkuutähteiden sekä kantojen vaikutus istutustyön tuloksiin jätetään huomioimatta, koska ne oli kerätty tutkimuskohteelta pois.

Tutkimuskohteet olivat hyvin pitkälle homogeenisia maalajin, kivisyyden, humuksen paksuuden sekä pintaesteiden määrän osalta. Kuviossa viisi on esitetty humuksen paksuuden osuudet kohteiden pinta-alasta. Humuksen paksuus oli alle 10 senttimetriä lähes 75 prosentilla koealojen mättäistä. Istutusta mahdollisesti haittaava humuksen paksuus oli siis vain neljänneksellä koealoista.



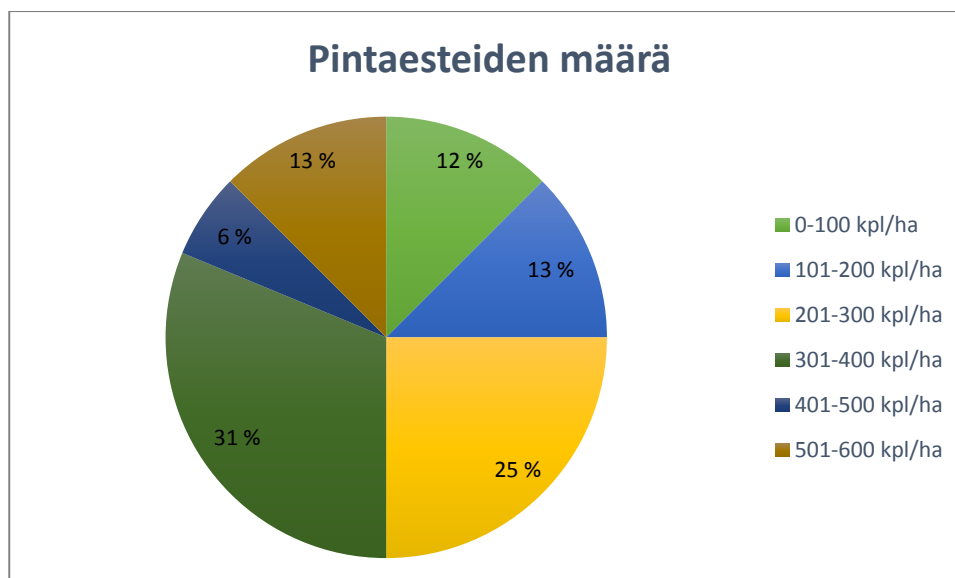
Kuvio 5. Humuksen paksuuden jakautuminen työmailla

Maaperän kivisyys oli kohteilla enimmäkseen vähäinen (kuvio kuusi). Vajaalla kolmanneksella koaloista kivisyys oli yli 40 prosenttia. Täysin kivettömiä kohteita ei ollut, mutta hyvin vähäkivisiä oli neljännes kohteista.



Kuvio 6. Maaperän kivisyyden jakautuminen työmailla

Pintaesteiden määrä työmailla vaihteli niin, että vähän pintaesteitä (alle 200 kappaletta hehtaarilla) oli neljänneksellä koaloista (kuvio seitsemän). Jonkin verran, muttei istutustyötä haittaavasti, pintaesteitä oli yli puolella koaloista. Enemmän, yli 400 pintaestettä hehtaarilla oli vajaalla 20 prosentilla koaloista.

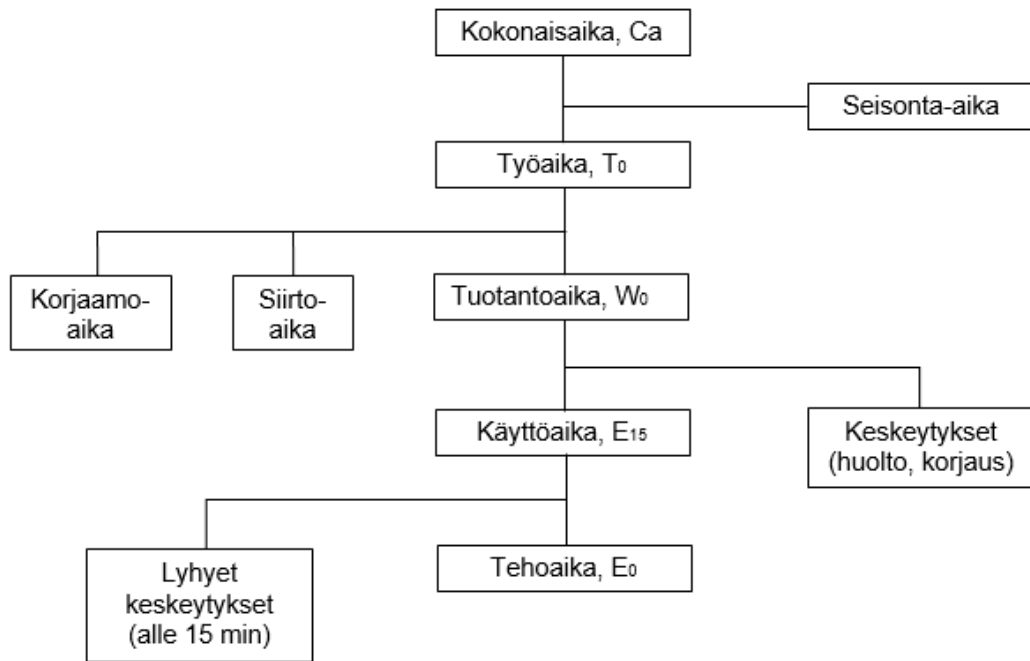


Kuvio 7. Pintaesteiden määrän jakautuminen työmailla

3.3 Vertaileva aikatutkimus

Vertailevassa aikatutkimuksessa määritetään kahden tai useamman työntekijän tai koneen ajankäyttö samankaltaisissa työmenetelmissä. Sen avulla saadaan selvitettyä työmenetelmien ja eri työvaikeustekijöiden vaikutus ajankäyttöön ja tuottavuuteen. Vertailevan aikatutkimuksen on osoitettu soveltuvan hyvin tutkimuksiin, joissa vertailtavat menetelmät ovat lähellä toisiaan. Jotta tutkimuksen tulokset olisivat luotettavia, ovat työvaikeustekijät pystyttävä pääosin mittamaan. Siten voidaan sulkea pois osa tutkimuksen suorittajasta johtuvista, tuloksiin vaikuttavista seikoista. (Kariniemi 2006, 16; Makkonen 1954, 7; Uusitalo 2003, 165–166.)

Aikatutkimuksessa työaika jaetaan useampiin osiin, josta saadaan selville todellinen työntekoon kuluva aika, tehoaika. Työmenetelmien aikajaottelu perustuu metsätyöntutkimuksessa yhteispohjoismaiseen NSR:n työaikajaotteluun (Nordisk avtale om skoglig arbeidsstudienomenklatur 1978, 52). Tämä jaottelu perustuu vielä pitkälle miestyönä tehdyn metsätyöntutkimukseen, jonka vuoksi tässä yhteydessä käytetään myöhemmin Harstelan (1991) julkaisemaa, koneelliseen työhön soveltuvaa työaikajaottelua (kuvio kahdeksan).



Kuvio 8. Aikatutkimuksen työaikajaottelu koneellisessa metsätyössä (Nordisk... 1978, Harstela 1991)

Jaottelun mukaisesti istutuskoneen kokonaisaika (C_a) jaettiin työaikaan (T_0) ja seisonta-aikaan. Työaika vastaavasti jakaantui tuotantoaikaan (W_0), korjaamo-aikaan ja siirtoaikaan. Tuotantoaika muodostui käyttöajasta (E_{15}) sekä keskeytyksistä, kuten huolto- ja korjaustehtävistä. Käyttöaika jakaantui lyhyisiin, alle 15 minuutin keskeytyksiin sekä tehoaikaan (E_0). Työntutkimuksessa mitattiin istutuskoneiden istutustyöhön käyttämä aika eli teho-aika (E_0) sekä käyttöaikaan (E_{15}) sisältyvät keskeytykset. Taimitelineiden täyttöön kulunut aika sisältyi tutkimuksessa istutuskoneiden käyttöaikaan. Bracke P11.a -istutuskoneella työpäivän aikana tehtävä taimikasetin täyttö sisältyi taas teho-aikaan (E_0).

Työmenetelmä jaettiin tarkempiin työvaiheisiin (taulukko kaksi). Tutkimuksen mittausmenetelmänä käytettiin jatkuvaa ajan mittausta, jossa koneiden työskentely kuvattiin videokameralla. Eri työvaiheisiin kulunut aika analysoitiin työntutkimuksen jälkeen videokuvan käsittelyyn tarkoitetulla Timer pro -ohjelmalla.

Taulukko 2. Työmenetelmän konekohtaiset työvaiheet ja niiden kuvaukset

Työvaihe	Kuvaus	Risutec APC	Bracke P11.a
<i>Taimitelineen täyttö</i>	Risutec: Istutuskoneen taimimakasiinin ja kohteelle kuljetettavan lisätelineen täyttö kasvatuskennoilla työvuoron alussa. Bracke: Peruskoneeseen asennetun taimitelineen täyttö taimilaatikoilla työvuoron alussa.	X	X
<i>Taimikasetin täyttö</i>	Istutuskoneessa olevan taimikasetin täyttö työvuoron aikana.		X
<i>Taimien nouto</i>	Istutuskoneen suorittama taimien nouto kasvatuskennoista, jolloin noutaja nostaa taimet ja siirtää ne siirtokasettiin odottamaan istutusta. Noudon aikana voidaan tehdä muita työvaiheita, kuten siirtää puomia tai muokata maata. Kuitenkin istutuskoneen on oltava vaakatasossa ja paikallaan, kun tarttuja laskee taimet syöttölaitteeseen.	X	
<i>Peruskoneen siirtäminen</i>	Peruskoneen siirtäminen työpisteiden välillä tai kohteen sisällä.	X	X
<i>Puomin siirto</i>	Kaikki muut puomin liikkeet, kuin maanmuokkauksen tai istutuksen aikana tapahtuvat liikkeet.	X	X
<i>Maanmuokkaus</i>	Istutuskoneella tehtävä maanmuokkaus eli laikkumättään muodostaminen. Työvaihe alkaa muokkauslevyn osuessa maahan ja päättyy, kun mätäs on tehty ja istutusvaihe alkaa. Sisältää myös hakkuutähteen ja muiden muokkausta tai istutusta haittaavien esteiden siirtämisen.	X	X
<i>Istutus</i>	Taimen istuttaminen istutuskoneella muokattuun mättäeseen sekä mättään tiivistys. Työvaihe alkaa istutusputken osuessa maahan ja päättyy, kun taimi on istutettu ja mätäs tiivistetty.	X	X
<i>Keskeytykset</i>	Peruskoneessa tai istutuskoneessa ilmenevä, työskentelyn estävä häiriö. Sisältää myös muut kuin peruskoneen tai istutuslaitteen suorittamat työvaiheet tai niistä johtuvat keskeytykset sekä muihin työvaiheisiin sopimattomat havainnot.	X	X

Kuvattuina videoita käytettiin maastomittausten tukena, kun selvitettiin tuottavuutta sekä istutustyön laatua. Istutuskoneiden ja kuljettajien tuottavuuden selvittämiseksi laskettiin maastokoetulosten perusteella tunnissa istutettujen taimien määrä sekä tehoajalle (E_0) että käyttöajalle (E_{15}). Kuljettajien vaikutusta koneiden tuottavuuteen selvitettiin laskemalla vastaavat konekohtaiset luvut eriteltyinä kuljettajittain. Istutettujen taimien määränä käytettiin yhden toiston aikana istutettavissa olleiden taimien määrää.

Laadun selvittämiseksi mitattiin istutustiheys jokaiselta koealalta ja mahdolliset istutusvirheet tarkistettiin jokaisesta koealan mättästä. Näiden lisäksi selvitettiin istutustyön ja -tapahtumien onnistumista laitteittain ja kuljettajittain. Istutustyön onnistumisella tarkoitetaan mättäisiin istutettujen taimien määrän vertaamista istutettavissa olleiden taimien määrään. Istutustapahtumien onnistumisella vastaavasti tarkoitetaan mättäisiin istutettujen taimien määrän vertaamista onnistuneisiin istutustapahtumiin, eli tapahtumiin, jolloin istutuskone suorittaa taimen istuttamisen. Mikäli taimi ei pudonnut istutuskoneen putkesta

ja istutusvaihe täytyi uusua, laskettiin molemmat kerrat omiksi istutustapahtumiksi.

Istutustapahtumien onnistuminen määritettiin tarkemmin vertaamalla istutustapahtumia määttäisiin istutettujen taimien määrään sekä laskemalla keskimääräinen yhdessä työpisteessä istutettujen taimien määrä. Istutustapahtumien onnistumisen tuloksista saadaan kuva istutuskoneen käytettävyydestä sekä kuljettajan ammattitaidosta.

3.4 Tilastolliset menetelmät

Työvaikeustekijöistä kivisyys, pintaesteet ja humuksen paksuus sekä kuljettajat pystyivät vaikuttamaan istutuskoneiden tuottavuuteen. Korrelaatiot voivat vaikuttaa sekamallin toteutukseen, minkä vuoksi työvaikeustekijöiden väliset korrelaatiot selvitettiin ennen analyysin suorittamista.

Työvaikeustekijöiden vaikutusta istutuskoneiden tuottavuuteen selvitettiin SPSS Statistics -ohjelmalla, johon syötettiin maastokokeissa mitatut tulokset, videoilta kelloitetut työvaiheajat sekä näistä johdetut tuottavuusluvut. Koska maastokoe tehtiin käyttäen satunnaistetun osaruutukokeen mallia, voitiin tietojen analysointiin soveltaa lineaarista sekamallien analyysitekniikkaa (linear mixed model).

Sekamallin avulla voidaan tarkastella sekä kiinteiden että satunnaisten tekijöiden vaikutuksia tutkittavaan muuttujaan, eli tehoajan tuottavuuteen. Kiinteiksi tekijöiksi määriteltiin istutuskone ja kuljettaja sekä niiden yhteisvaikutus. Näiden lisäksi kiinteäksi määriteltiin se työvaikeustekijä, jonka vaikutusta selittävään muuttujaan haluttiin selvittää. Satunnaistekijöiksi määriteltiin vastaavasti työmaa eli lohko ja kokoruutu. Näin ollen sekamalli on muotoa:

$$y_{ijk} = b_0 + \mathbf{x}_{ijk} \boldsymbol{\alpha} + L_i + A_j + B_k + (A*B)_{jk} + C_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

missä

b_0	= vakiotermi
$\mathbf{x}_{ijk} \boldsymbol{\alpha}$	= vektori kiinteille selittävälle tekijöille (työvaikeustekijät)
L_i	= lohkon i (työmaa) satunnaisvaikutus ($i=1, \dots, 4$)
A_j	= istutuskoneen kiinteä vaikutus
B_k	= kuljettajan kiinteä vaikutus

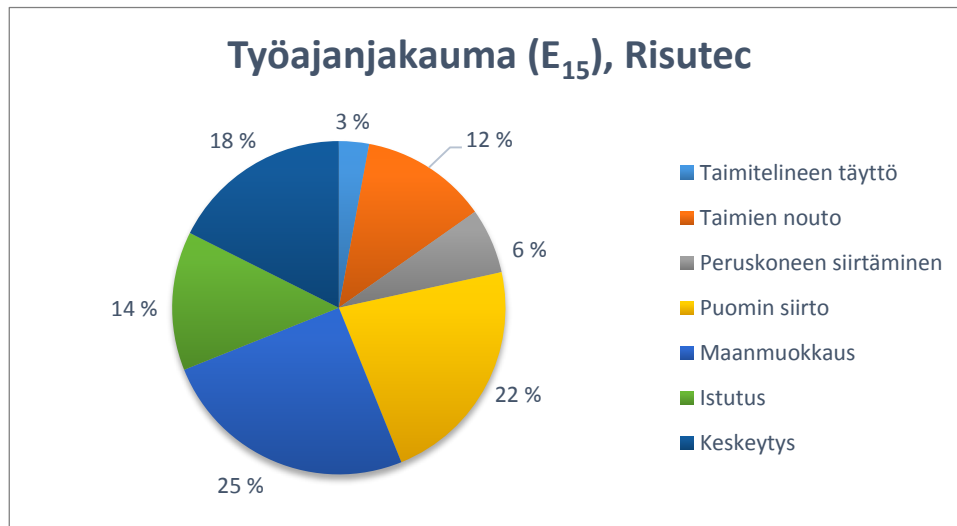
$(A*B)_{jk}$	= istutuskoneen ja kuljettajan yhdysvaikutus
C_{ij}	= kokoruudun j satunnainen vaikutus työmaalla i
e_{ijk}	= jäännöstermi

Eri työvaikeustekijöiden vaikutusta tuottavuuteen testattiin yksi kerrallaan sekä niin, että kaikki tekijät otettiin mukaan. Tällä tavalla saatiin selvitettyä tilastollisesti merkitsevät tekijät. Lopulliseen sekamalliin otettiin mukaan vain ne tekijät, jotka tulivat tilastollisesti merkitseviksi.

4 TULOKSET

4.1 Työajanjakauma

Risutec APC -istutuskoneen käyttöajan eri työvaiheet ja niiden osuudet on esitetty kuviossa yhdeksän. Kuvion työvaiheet on pyritty järjestämään sen mukaan, miten ne käytännössä toteutuvat.



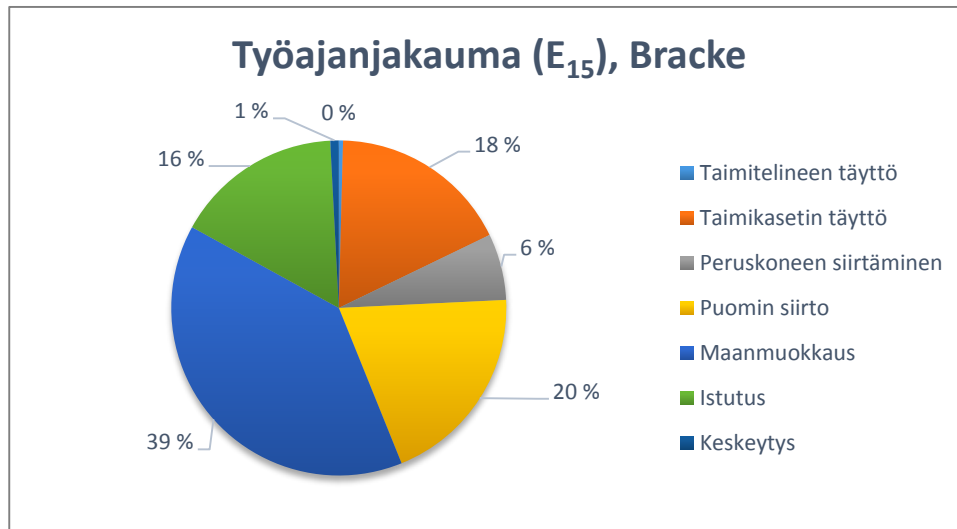
Kuvio 9. Risutec APC -istutuskoneen käyttöajan työajanjakauma

Risutecin työajasta 39 prosenttia kului maanmuokkaukseen ja istutukseen sekä yli viidesosa puomin siirtoon. Maanmuokkauksen osuudessa voi olla mukana myös puomin siirtoa tai päinvastoin johtuen työvaiheiden erottelun vaikeudesta tehdyn videoinnin perusteella. Keskeytykset kattoivat 18 prosenttia työajasta ja olivat siten kolmanneksi eniten aikaa vievä työvaihe. Vasta näiden jälkeen tuli istutuskoneen tekemä taimien nouto. Peruskoneen siirtämiseen ja taimitelineen täyttöön kului yhteensä yhdeksän prosenttia työajasta.

Suuri keskeytysten osuus muodostui lähes kokonaan automatisoidun taimien syötön ja noudon toimintahäiriöistä, vain pieni osa keskeytyksistä johtui istutusputken tukkiutumisesta. Mikäli peruskone tai puomi oli liikkeessä, taimien nouto ja niiden siirtäminen istutusta odottamaan saattoi epäonnistua. Kuljettajan oli laskeuduttava tällöin koneesta ja aseteltava huonosti olevat taimet paremmin koneeseen.

Kuvio 10 osoittaa, että Bracken työajasta maanmuokkauksen ja istutuksen vaatima aika oli yli puolet, 55 prosenttia kokonaistyöajasta. Puomin siirto sekä

taimikasetin täyttö vaativat molemmat noin viidenneksen työajasta. Peruskoneen siirtämiseen ja taimitelineen täyttöön kului seitsemän prosenttia kokonaistyöajasta. Keskeytysten osuus työajasta oli olematon.



Kuvio 10. Bracke P11.a -istutuskoneen käyttöajan työajanjakauma

4.2 Tuottavuus

Istutuskoneiden tehoajan (E_0) ja käyttöajan (E_{15}) tuottavuusluvut on esitetty taulukossa kolme. Risutecin tehoajan tuottavuus vaihteli välillä 169–235 tainta tunnissa ja käyttöajan tuottavuus välillä 131–198 tainta tunnissa. Tehoajan keskimääräinen tuottavuus oli 197 tainta tunnissa ja käyttöajan tuottavuus 165 tainta tunnissa. Bracken tuottavuusluvut olivat sekä tehoajalla että käyttöajalla välillä 177–317 tainta tunnissa. Keskimääräinen tuottavuus oli tehoajalla 241 tainta tunnissa ja käyttöajalla 240 tainta tunnissa. Tuottavuuslukujen hajonta oli Risutecilla noin 23 tainta tunnissa. Brackella vastaava hajonta oli 57 tainta tunnissa.

Taulukko 3. Istutuskoneiden teho- ja käyttöajan tuottavuudet kuljettajittain eriteltynä

Laite	Kuljettaja	Tuottavuus E_0 (tainta/tunti)					Tuottavuus E_{15} (tainta/tunti)				
		N	Ka.	Min.	Maks.	Hajonta	N	Ka.	Min.	Maks.	Hajonta
Risutec	1	4	215	202	235	12,3	4	184	172	198	15,7
	2	4	180	169	201	12,0	4	145	131	158	14,9
	Yhteensä	8	197	169	235	23,2	8	165	131	198	23,7
Bracke	1	4	190	177	206	11,8	4	190	177	206	11,8
	2	4	291	253	317	27,2	4	290	249	317	29,0
	Yhteensä	8	241	177	317	57,2	8	240	177	317	57,1

Risutecin osalta kuljettaja yhden tuottavuus vaihteli tehoajalla 202–235 tainta tunnissa ja käyttöajalla 172–198 tainta tunnissa. Kuljettaja kahden vastaavat

luvut olivat 169–201 tainta tunnissa ja 131–158 tainta tunnissa. Keskimääräinen tehoajan tuottavuus kuljettajalla yksi oli 215 tainta tunnissa ja käyttöajalla 184 tainta tunnissa. Kuljettajalla kaksi keskimääräiset tuottavuusluvut olivat 180 ja 145 tainta tunnissa. Molempien kuljettajien tuottavuuden hajonnat olivat alhaiset.

Kuljettaja yhden tuottavuus Brackea käytettäessä oli sekä tehoajalla että käyttöajalla 177–206 tainta tunnissa. Kuljettaja kahden osalta tehoajan tuottavuus oli välillä 253–317 tainta tunnissa ja käyttöajan tuottavuus 249–317 tainta tunnissa. Keskimääräinen kuljettaja yhden tuottavuus oli teho- ja käyttöajalla 190 tainta tunnissa. Kuljettaja kahden keskimääräiset tuottavuudet olivat tehoajalla 291 tainta tunnissa ja käyttöajalla 290 tainta tunnissa. Kuljettajalla yksi tuottavuuden hajonta oli 12 tainta tunnissa. Kuljettajalla kaksi hajonta oli kaksinkertainen tähän verrattuna.

4.3 Sekamalli

Ennen sekamallianalyysin suorittamista selvitetty työvaikeustekijöiden korrelaatiot on esitetty taulukossa neljä. Työvaikeustekijöiden välillä ei tulosten perusteella esiinny ongelmia aiheuttavia korrelaatioita, kun tuloksia tulkitaan merkitsevyydellä 0,05.

Taulukko 4. Sekamallissa käytettyjen työvaikeustekijöiden korrelaatiot

	Humus	Kivisyys	Pintaesteet
Humus	1	-0,206	-0,177
Kivisyys	-0,206	1	0,274
Pintaesteet	-0,177	0,274	1

Sekamallin tuloksista poimittiin eri kiinteiden tekijöiden vaikutukset tuottavuuteen sekä niiden keskivirhe, t-testin arvo ja tekijän merkitsevyys tasolla 0,05. Lopulliseen sekamalliin otettiin mukaan vain ne kiinteät tekijät, jotka tulivat tilastollisesti merkitseviksi 0,05 tasolla. Taulukossa viisi on esitetty lopullinen sekamalli. Taulukon yläosassa on kuvattu kiinteiden tekijöiden vaikutus ja alaosassa satunnaisten tekijöiden vaikutus.

Taulukko 5. Sekamalli eri tekijöiden vaikutuksesta tehoajan (E_0) tuottavuuteen

Muuttuja	Estimaatti	Keskivirhe	<i>T</i> -testi	<i>p</i> -arvo
Vakio	333,19	8,99	37,07	0.00*
[Laite = Risutec]	-95,13	7,31	-13,02	0.00*
[Kuljettaja = 1]	-123,61	7,33	-16,88	0.00*
Kivisyys	-1,15	0,20	-5,90	0.00*
[Kuljettaja = 1] * [Laite = Risutec]	134,24	9,75	13,77	0.00*
	Varianssi	Varianssin keskivirhe	Hajonta	
Työmaa	9,03	47,23	3,00	
Kokoruutu	11,88	58,32	3,45	
Jäännöstermi	94,58	55,62	9,73	

* tilastollisesti merkitsevä 0,05 tasolla

Tulosten perusteella ainoa tilastollisesti merkitsevä tehoajan (E_0) tuottavuuteen vaikuttava työvaikeustekijä oli kivisyys ($p=0,000$). Istutuskohteen maaperän kivisyyden lisääntyessä 10 prosenttia tuottavuus aleni 115 tainta tunnissa. Humuksen paksuus tai pintaesteiden lukumäärä eivät vaikuttaneet tuottavuuteen tilastollisesti merkitsevästi. Kuljettajat erosivat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan siten, että kuljettajan kaksi tuottavuus oli korkeampi kuin kuljettajan yksi. Kuljettajan ja istutuskoneen yhdistelmästä kuljettaja yksi Risutecilla erosi tilastollisesti merkitsevästi muista yhdistelmistä, eli kuljettaja yksi osasi suhteellisesti käyttää paremmin Risutec istutuskonetta kuin muissa yhdistelmissä. Työmaan ja kokoruudun vaikutukset olivat pienet tuottavuuteen, sillä molempien vaikutus oli vain kolme tainta tunnissa.

4.4 Istutustyön laatu

Maastokokeen kohteet oli ennakkoraivattu eivätkä kenttäkerroksen kasvit peittäneet näkyvyyttä. Hienoa maalajia edusti 13 prosenttia koealoista, keskikarkeaa 81 prosenttia ja turvetta kuusi prosenttia. Istutetuista taimista kaikki oli istutettu mättäisiin, eikä yksikään taimista ollut muokkaamattomassa maassa tai laikussa. Maastokokeen tulokset osoittivat, että muokkauskohtien valinta oli onnistunut hyvin 97 prosentissa mättäistä. Pintakivien tai kallion heikentämiä muokkauskohtia oli kaksi prosenttia ja kannon, maapuun tai hakkuutähkeen heikentämiä muokkauskohtia yksi prosentti.

Mättäistä 58 prosentilla oli päällään yhtenäinen kivennäismaakerros. Vähän humusta sisältäviä kivennäismaan peittämiä mättäitä oli 36 prosenttia. Heikomman kasvuedellytyksen tarjoavia enimmäkseen humusta tai turvetta ja vähän kivennäismaata sisältäviä mättäitä oli kaksi prosenttia. Pelkästä humuksesta tai turpeesta muodostuneita mättäitä oli neljä prosenttia.

Molempien istutuskoneiden taimitiheydet vaihtelivat 1600 ja 2400 taimen välillä (taulukko kuusi). Risutec APC -istutuskoneella istutettujen taimien keskimääräinen istutustiheys oli 2000 tainta hehtaarilla ja Bracke P11.a -istutuskoneella istutettujen 1850 tainta hehtaarilla. Taimitiheyksien hajonnat vaihtelivat välillä Risutecin 283 tainta hehtaarilla ja Bracken 298 tainta hehtaarilla.

Taulukko 6. Istutuskoneiden istutustiheys ja istutusvirheet kuljettajittain eriteltynä

		<i>Istutustiheys (tainta/hehtaari)</i>					<i>Istutusvirheet (%)</i>				
		<i>N</i>	<i>Ka.</i>	<i>Min.</i>	<i>Maks.</i>	<i>Hajonta</i>	<i>N</i>	<i>Ka.</i>	<i>Min.</i>	<i>Maks.</i>	<i>Hajonta</i>
<i>Laite</i>	<i>Kuljettaja</i>										
Risutec	1	4	2150	1800	2400	300	4	22,5	10,0	33,3	11,0
	2	4	1850	1600	2000	191	4	27,5	10,0	40,0	12,6
	Yhteensä	8	2000	1600	2400	283	8	25,0	10,0	40,0	11,3
Bracke	1	4	2000	1600	2400	327	4	16,7	10,0	20,0	4,7
	2	4	1700	1600	2000	200	4	14,1	0,0	36,4	17,6
	Yhteensä	8	1850	1600	2400	298	8	15,4	0,0	36,4	12,0

Istutukseen liittyvien virheiden määrä vaihteli Risutecilla 10 ja 40 prosentin välillä istutettujen taimien määrästä. Keskimäärin 25 prosentilla taimista havaittiin jokin istutusvirhe. Bracken istutusvirheiden määrä vastaavasti vaihteli nollan ja 36 prosentin välillä, virheiden osuuden ollessa keskimäärin 15 prosenttia. Istutusvirheprosenttien hajonta oli Risutecilla 11,3 ja Brackella 12.

Yleisin istutusvirhe sekä Risutecilla että Brackella istutetuilla kohteilla oli puutteellinen tiivistys. Muita istutusvirheitä olivat latvakasvaimen puuttuminen, riittämätön istutussyvyys, maa-aines tai hakkuutähteet taimen päällä sekä taimen sijainti muualla kuin mättään keskellä. Risutecin istuttamilla kohteilla muutamassa tapauksessa istutetun taimen lisäksi toinen taimi, ns. sylkytaimi oli mättään päällä. Taimen kuolemaan johtavia istutusvirheitä oli yksi prosentti kaikista Risutecin virheistä. Havaittu kuolemaan johtava virhe oli maan pinnalle jäänyt paakkutaimi. Brackella kuolemaan johtavia istutusvirheitä ei ollut havaittavissa. Sen sijaan sillä istutetuilta kohteilta löytyi mättäitä, joista puuttui taimi.

Kuljettajien vaikutus istutustyön laatuun selvitettiin laskemalla vastaavat luvut istutustiheydelle sekä istutusvirheiden osuuksille kuljettajittain. Kuljettaja yhden istutustiheys vaihteli 1600–2400 tainta hehtaarilla, sen ollessa keskimäärin 2075 tainta. Kuljettaja kahden istutustiheys vaihteli välillä 1600 ja 2000 tainta hehtaarilla. Istutustiheyden keskiarvo oli 1775 tainta hehtaarilla. Kuljettaja yhden istutustiheyksien hajonta oli 301 tainta ja kuljettaja kahden 198 tainta.

Kuljettajalla yksi istutusvirheiden osuus vaihteli 10 ja 33 prosentin välillä ollen keskimäärin 20 prosenttia. Kuljettajalla kaksi istutusvirheitä oli nollan ja 40 prosentin välillä, keskimäärin 21 prosenttia. Molempien kuljettajien istutusvirheistä suurin osuus muodostui mättään puutteellisesta tiivistämisestä. Muita molemmilla kuljettajilla esiintyneitä istutusvirheitä olivat riittämätön istutusvyvyys, taimen sijaitseminen muualla kuin mättään keskellä, maa-aines tai hakkuutähteet taimen päällä.

Risutecin istutustyön onnistuminen vaihteli 86 prosentin ja 99 prosentin välillä, keskiarvon ollessa 92 prosenttia ja hajonta 3,7 (taulukko seitsemän). Bracken istutustyö onnistui keskimäärin 96 prosentin todennäköisyydellä, vaihdellen 94–97 prosentin välillä. Hajonta oli 1,1. Istutustapahtumien onnistumisprosentti oli molemmilla koneilla heikompi kuin istutustyön onnistumisprosentti. Risutecin istutustapahtumien onnistuminen vaihteli 70 prosentista 87 prosenttiin, keskiarvon ollessa 78 prosenttia. Bracken vastaavat osuudet olivat 88–93 prosenttia ja 91 prosenttia.

Taulukko 7. Istutustyön ja istutustapahtumien onnistuminen laitteittain ja kuljettajittain eriteltynä

	<i>Istutustyön onnistuminen (%)</i>					<i>Istutustapahtumien onnistuminen (%)</i>				
	<i>N</i>	<i>Ka.</i>	<i>Min.</i>	<i>Maks.</i>	<i>Hajonta</i>	<i>N</i>	<i>Ka.</i>	<i>Min.</i>	<i>Maks.</i>	<i>Hajonta</i>
<i>Laite</i>										
Risutec	8	92,4	86,4	98,8	3,66	8	78,0	70,1	87,4	6,09
Bracke	8	95,6	93,8	96,6	1,14	8	91,1	88,4	93,4	1,86
Yhteensä	16	94,0	86,4	98,8	3,09	16	84,6	70,1	93,4	8,00
<i>Kuljettaja</i>										
1	8	94,0	89,5	98,8	3,09	8	82,1	70,1	93,4	9,75
2	8	94,0	86,4	96,6	3,31	8	87,0	77,8	92,5	5,32
Yhteensä	16	94,0	86,4	98,8	3,09	16	84,6	70,1	93,4	8,00

Mättäisiin istutettujen taimien määrä suhteessa istutustapahtumien lukumäärään on Risutecilla 76 prosenttia ja Brackella 91 prosenttia. Istutustapahtumia

on siten ollut enemmän kuin todellisia istutuksia. Pääosa istutustapahtumista koostuu muokkauksen ja istutuksen yhdistelmästä. Istutusyritykset on paikattu uusilla istutuksilla, jolloin epäonnistuneiden istutustapahtumien määrä on hyvin alhainen. Tarkempi istutustapahtumien erittely on esitetty taulukossa kahdeksan.

Taulukko 8. Istutustapahtumien jakautuminen laitteittain

	Istutustapahtumien lukumäärä	Taimia mättäissä	Taimia / työpiste	Istutustapahtumien jakautuminen (%)				
				Istutus + muokkaus	Pelkkä istutus	Epäonnistunut istutus	Uusi istutus	Istutusyritys
Risutec	1568	1189	4,4	61	15	2	11	11
Bracke	1483	1346	5,0	91	0	0	4	4

Kuljettajien välillä ei istutustyön onnistumisen osalta ollut juuri eroa. Istutustyö onnistui molemmilta keskimäärin 94 prosenttisesti. Istutustapahtumien onnistumisessa oli hieman eroja. Kuljettaja yksi onnistui keskimäärin 82 prosenttisesti taimen istuttamisessa käyttämällään koneella. Kuljettajalla kaksi vastaava osuus oli 87 prosenttia. Taulukossa yhdeksän on eritelty kuljettajien istutustapahtumien onnistuminen. Taulukon mukaan kuljettaja yksi on tehnyt Risutecilla useita erillisiä istutuksia, kun taas kuljettaja kaksi on suorittanut muokkauksen ja istutuksen peräkkäin. Erillistä istutustapahtumaa on lähes jokaisessa tapauksessa edeltänyt erillinen maanmuokkaus. Epäonnistuneet istutukset painottuvat kohteille, joilla on käytetty Risutec APC -istutuskonetta.

Taulukko 9. Istutustapahtumien jakautuminen kuljettajittain eriteltynä

	Istutustapahtumien lukumäärä	Taimia mättäissä	Taimia / työpiste	Istutustapahtumien jakautuminen (%)				
				Istutus + muokkaus	Pelkkä istutus	Epäonnistunut istutus	Uusi istutus	Istutusyritys
Kuljettaja 1	1579	1264	5,0	65	15	2	9	9
Risutec	846	602	4,9	43	28	3	13	13
Bracke	733	662	5,1	90	1	1	4	4
Kuljettaja 2	1472	1271	4,4	86	0	1	7	6
Risutec	722	587	4,0	81	0	2	9	8
Bracke	750	684	4,9	91	0	0	5	4

5 TULOSTEN TARKASTELU

Tutkimuksen tavoitteena oli vertailevan aikatutkimuksen ja maastomittausten avulla selvittää Risutec APC -istutuskoneen työajanjakauma (E_{15}), tuottavuus käyttöajalle (E_{15}) ja tehoajalle (E_0) sekä työn laatu. Lisäksi tutkittiin maastossa esiintyvien eri työvaikeustekijöiden sekä kuljettajan vaikutusta tuottavuuteen (E_0) ja työn laatuun. Tutkimuksen avulla saadaan käsitys pidemmälle automatisoidun Risutecin tuottavuustasosta sekä toimintavarmuudesta Brackeen verrattuna.

5.1 Työajanjakauma

Työajanjakaumien ja taimien käsittelyyn kuluvan ajan perusteella automatisoitu taimensyöttö tuo ajankäytön osalta vain pienen edun verrattuna taimikasetilla varustettuun istutuskoneeseen. Risutec APC -istutuskoneen taimien käsittelyyn kulunut aika oli kaksi prosenttia alhaisempi, kuin Bracke P11.a -istutuskoneen vastaava aika. Taimien käsittelyyn kuluva aika voisi olla Risutecilla vielä alhaisempi, mikäli taimitelineen täyttö olisi sujuvampaa. Nyt taimet on irrotettava kasvatuskennoista ennen taimitelineeseen lastaamista. Taimien irrottamiseen kuluva aikaa voitaisiin vähentää tai jopa poistaa kehittämällä kasvatuskennojen rakennetta tai paakkutaimien kasvatustapaa.

Maanmuokkaukseen käytetyn ajan osalta istutuskoneiden välistä eroa, 12 prosenttia voidaan pitää suurena. Tämän voi selittää Risutecin suuri keskeytysten osuus. Keskeytysten määrä johtuu siitä, että kone on vasta vähän aikaa käytössä ollut prototyyppi eikä ole ilman jatkokehitystä valmis varsinaiseen työskentelyyn.

Keskeytysten yhtenä aiheuttajana oli istutuskoneen tekemän taimien noudon aikainen koneen liike, joka johti taimien huonoon asettumiseen istutuskoneen syöttölinjalle. Paakkutaimet myös jumittuivat toisinaan putkeen. Yksi keskeytyksistä syntyi istutuskoneen ohjelmassa ilmenneen, taimien noudon keskeyttäneen häiriön vuoksi. Jokaisen keskeytyksen aikana kuljettajan oli nouseva kaivinkoneesta selvittämään häiriön syy ja korjaamaan se. Keskeytyksiin kulunut aika vähentää muiden työvaiheiden ajankäyttöä ja sitä kautta niiden osuuksia työajasta. Brackella keskeytysten osuus oli tätä vastoin olematon,

eikä pieni keskeytysten osuus siten vääristä muiden työvaiheiden osuuksia tai työajanjakamaa.

Istutuksessa ja puomin siirrossa istutuskoneiden välinen ero oli pieni. Keskeytysten suuri osuus Risutecilla voi vaikuttaa myös näihin työvaiheisiin, ja istutuksen ja puomin siirron osuus olisi todennäköisesti suurempi vähemmällä keskeytyksillä. Puomin siirtoon kuluneeseen aikaan ja ajan määrään on Risutecilla vaikuttanut luultavasti koneen vakauttamistarve taimien noutovaiheessa. Tällöin puomin asentoa on korjattava ja muut työvaiheet keskeytettävä joka kerta, kun taimien lasku siirtokasettiin tapahtuu. Muiden työvaiheiden osuudet olivat alhaisia, jolloin niiden merkitys koneen tehokkuutta selvitettäessä on olematon.

Eräässä aikaisemmassa tutkimuksessa (Rantala – Harstela – Saarinen – Tervo 2009, 659–667) oli selvitetty Bracke-istutuskoneen tehoajan työvaiheiden jakauma. Siinä puomin siirron ja maanmuokkauksen sekä istutuksen vaatiman ajan osuudet olivat suuremmat kuin tässä tutkimuksessa. Vastaavasti taimikasetin täytön osuus oli hieman pienempi. Ero voi johtua tämän tutkimuksen suppeasta aineistosta. Useamman päivän ja viikon kestänyt työaikatutkimus olisi todennäköisesti antanut hieman eri tulokset.

Eri työvaiheiden tulkitseminen maastokokeen aikana kuvatuilta videoilta oli haastavaa, erityisesti jos kone suoritti samalla useampaa työvaihetta. Siten taimien noutoon kuluneesta ajasta osa on voitu kirjata maanmuokkaukseen tai puomin siirtoon. Kuljettajat hyödynsivät tätä useamman työvaiheen mahdollisuutta niin, että kuljettaja yksi muokkasi maata ja siirsi puomia samaan aikaan taimien noudon kanssa, mutta kuljettaja kaksi odotti taimien noudon ajan tekemättä muita työvaiheita.

5.2 Tuottavuus ja siihen vaikuttavat tekijät

Tutkimuksessa Brackella päästiin luvussa 2.1 mainittuun, kustannustehokkuuden kannalta tavoiteltavaan 190 tainta työtunnissa tuottavuuteen, mutta Risutec jäi tavoitteesta 25 taimen tuntituotoksella. Tuottavuus sekä työ- että tehoajalla vaihteli paljon istutuskoneiden ja kuljettajien välillä. Tulosten perusteella Risutecin tuottavuus oli työajalla 31 prosenttia alhaisempi ja tehoajallakin 18 prosenttia alhaisempi, kuin vertailukohteena olevan Bracken tuottavuus. Aikaisemmissa tutkimuksissa Bracke-istutuskoneiden tehoajan tuottavuudet ovat

vaihdelleet 150–250 tainta tunnissa (Luoranen – Saarinen 2004, 19), joten saatu tulos on vaihteluvälin sisällä. Risutec-istutuskoneista ei ole olemassa aikaisempaa tutkimustulosta. Ero istutuskoneiden tuottavuudessa johtuu työajan osalta Risutecin suuresta keskeytysten osuudesta.

Tehoajan tuottavuuteen vaikuttaa istutuskoneen mekaniikan sekä taimensyötön toiminnan ja sen nopeuden lisäksi konetta käyttävä kuljettaja. Tulosten perusteella kuljettaja kaksi on noin 14 prosenttia tuottavampi kuin kuljettaja yksi. Kuitenkin, kun verrataan kuljettajien tuottavuutta eri koneita käytettäessä, huomataan, että ero tasaantuu. Selvitettäessä kuljettajien tuottavuutta Risutec APC -istutuskonetta käytettäessä saatiin tulos, jonka mukaan kuljettaja yhden tuottavuus on työajalla 21 prosenttia korkeampi ja tehoajalla 16 prosenttia korkeampi, kuin kuljettaja kahden. Bracke P11.a -istutuskoneen kohdalla tilanne on päinvastainen, ja kuljettaja kahden tuottavuus on kuljettaja yhteen verrattuna jopa 34 prosenttia korkeampi sekä työ- että tehoajalla. Tulos osoittaa, että kuljettajien aikaisempi kokemus istutuskoneiden käytöstä parantaa tuottavuutta.

Automatisoitu taimensyöttö on tulevaisuutta ajatellen teknisesti se seikka, jolla istutuskoneiden tuottavuutta voidaan nostaa. Vaikka automatisoitu taimimakaasiini ei tämän tutkimuksen perusteella tuottavuutta lisää, voidaan jatkokehityksellä päästä parempaan lopputulokseen.

Työvaikeustekijöiden vaikutusta tutkittiin pelkästään humuksen paksuuden, maaperän kivisyyden ja pintaesteiden lukumäärän osalta. Tutkimuskohteilla esiintyneistä työvaikeustekijöistä ainoaksi tilastollisesti merkitseväksi, tehoajan tuottavuuteen vaikuttavaksi tekijäksi nousi maaperän kivisyys. Kohteiden maaperän kivisyys oli istutustyötä haittaava noin kolmanneksella koealoista. Kivisyyden lisääntyessä kuljettajat joutuvat tekemään useamman muokkauksen ja mättään, sillä kivisessä kohdassa mättään muodostaminen ei onnistu sekä istuttamistulos on heikko.

Humuksen paksuus tai pintaesteiden määrä eivät nousseet tilastollisesti merkitseviksi tekijöiksi. Humuksen paksuuden tilastollisen merkitsevyyden puuttuminen oli odotettavissa, kun paksuuden tiedettiin olevan alhainen lähes koko tutkimusalueella. Toisaalta koealoilla, joilla humuskerros on ollut yli 10 senttimetriä, on istutustyön laatu voinut olla heikompi, vaikkei humuksen paksuus

tuottavuuteen vaikuttanut. Pintaesteiden määrä oli tutkimuskohteilla kaiken kaikkiaan vähäinen. Koska yksittäiset kivet sekä jätto- ja maapuut kierretään automaattisesti maanmuokkauksessa ja kohoumat sekä kuopat eivät suoraanaisesti vaikeuta maanmuokkausta, ei vähäisillä pintaesteiden määrillä ollut suurta vaikutusta tuottavuuteen.

Tulosten luotettavuuteen vaikuttavat heikentävästi työntutkimuksen lyhyt kesto ja tutkimusaineiston suppea määrä. Lyhyt kesto on toisaalta poistanut säänvaihtelun vaikutukset tuloksiin, mutta mahdolliset vaihtelut työvaiheiden kestoissa jäävät näin pois. Tutkimuskohteiden samanlaisuus ja maaperän homogeenisuus alentavat kohteiden eroista johtuvaa tulosten hajontaa. Erilaisilta kohteilta olisi saatu parempi käsitys siitä, miten ja mitkä työvaikeustekijät vaikuttavat Risutecin ja Bracken tuottavuuteen.

Metsäntutkimuslaitoksen tekemissä muita istutuskoneita koskevissa tutkimuksissa kivisyys on noussut usein tilastollisesti merkitseväksi, tuottavuutta heikentäväksi tekijäksi. Näin osoittaa muun muassa Rantalan ja Laineen tutkimus M-Planter -istutuskoneen tuottavuudesta (2010, 865). Siten tämän tutkimuksen tulos on linjassa aikaisempien tutkimustulosten kanssa. Lisäksi runsas pintaesteiden määrä, hakkuutähteet sekä kannot heikentävät aikaisempien tutkimuksien mukaan tuottavuutta. Tämän perusteella koneellista istutusta suositellaan kohteille, joilta hakkuutähteet ja kannot on kerätty pois. (Laine – Syri 2012, 41.)

Se, miten työvaikeustekijät vaikuttavat eri istutuskoneiden työskentelyyn ja tuottavuuteen, vaihtelee koneiden välillä. Esimerkiksi kahdella muokkaus- ja istutuspaällä varustettuun istutuskoneeseen pintaesteet ja kivisyys voivat vaikuttaa enemmän, kun mättäiden tekeminen molemmilla muokkauspailla yhtä aikaa ei onnistu. Tuottavuuteen vaikuttaa maaperän ominaisuuksien ohella oleellisesti kuljettajan ammattitaito sekä ajotekniikka. Puomin siirtoajan osuuden kasvaessa tuottavuus usein alenee. Puomin siirtojen määrä riippuu enimmäkseen peruskoneen puomin ulottuvuudesta ja ominaisuuksista, mutta myös kuljettajan koneen käyttötaidosta. (Laine – Rantala 2013, 190–191; Mattsson 1997, 3–4.)

5.3 Istutustyön laatu

Tutkimuksessa istutettiin puolitoistavuotisia kuusen taimia, joiden ohjeellinen tiheys tulisi Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion metsänhoidon suositusten (Äijälä – Koistinen – Sved – Vanhatalo – Väisänen 2014, 48) mukaan olla 1800 tainta hehtaarilla. Päivitetyn suosituksen mukaan tiheys voi kuitenkin olla 200 tainta pienempi tai suurempi kasvupaikasta riippuen. Tiheyden osalta istutustyö voidaan katsoa onnistuneeksi, sillä kaikilla mitatuilla koealoilla taimitiheys oli vähintään 1600 tainta. Risutec APC -istutuskoneen keskimääräinen istutustiheys oli 150 tainta hehtaarilla enemmän kuin Bracke P11.a -istutuskoneella. Tämä johtuu kuljettajien välisestä erosta, sillä kuljettaja yhden istutustyön tuloksena taimitiheys oli keskimäärin 300 tainta enemmän hehtaarilla kuin kuljettaja kahden istutustyön taimitiheys.

Taimitiheyteen vaikuttavat Luorasen, Rikalan ja Smolanderin (2011, 347, 352) tekemän tutkimuksen mukaan kohteen kivisyys ja hakkuutähteet sekä pintaesteiden ja kantojen määrä. Näiden työvaikeustekijöiden runsas esiintyminen vähentää potentiaalisten muokkauskohtien määrää ja alentaa siten taimitiheyttä.

Istutusvirheitä oli määrällisesti enemmän Risutecin työn jäljiltä, kuin Bracken työn jäljiltä. Kuljettajien välillä istutusvirheiden määrässä ei ollut eroa. Molemmilla kuljettajilla syntyi hieman enemmän istutusvirheitä, kun he käyttivät Risutec APC -istutuskonetta. Kuten istutuskoneilla, myös kuljettajilla merkittävin istutusvirhe oli puutteellinen tiivistys. Kyseinen virhe johtuu todennäköisesti siitä, että tiivistyksen vaatiman painalluksen voiman arviointi on koneen hytissä istuessa vaikeaa. Liian kevyt koneen painallus ei tiivistä mätästä tarpeeksi ja paakkutaimi jää löyhästi mättääseen. Myöhemmin tämä voi aiheuttaa taimen kuivumisen ja jopa kuolemisen.

Nopeasti taimen kuolemaan johtavia istutusvirheitä koealoilta oli havaittavissa vain yksi kappale, jossa paakkutaimi makasi maan pinnalla. Kuljettaja yhden työn tuloksena oli joitakin kappaleita virheitä, jossa taimi oli istutettu muualle, kuin mättään keskelle. Tämä voi myöhemmin lisätä tukkimiehentäin aiheuttamia tuhoja, kun taimen ympärillä ei ole suojaavaa kivennäismaata.

Istutuskoneiden välinen ero istutustyön onnistumisessa oli kolme prosenttiyksikköä Bracken eduksi. Kuljettajien välillä koko istutustyön onnistumisessa ei

ollut eroa, mutta vertailtaessa onnistumisprosenttia eri istutuskoneiden osalta, on kuljettajien onnistuminen hiukan heikompaa Risutecia käytettäessä. Tämä voi johtua kyseisen istutuskoneen käytettävyydestä sekä istutustyön vaatimista koneen ohjaustoimista.

Istutustapahtumien onnistuminen oli molemmilla istutuskoneilla luonnollisesti alhaisempi kuin istutustyön onnistuminen. Risutecilla istutustapahtumien onnistuminen oli 13 prosenttiyksikköä pienempi kuin Brackella. Taimien noudon aikana suoritetun muokkauksen vuoksi Risutecilla tehtiin erillisiä istutuksia. Pelkkä istutus on voinut muodostua myös, kun kuljettaja on istuttanut taimen edellisen toiston viimeiseen mättääseen. Kuljettajien ero oli viisi prosenttiyksikköä kuljettaja yhden onnistumisen ollessa alhaisempi kuin kuljettaja kahden. Erot viittaavat Risutec APC -istutuskoneen taimensyötössä olleisiin ongelmiin, jolloin taimi ei ole istutustapahtuman yhteydessä päätenyt mättääseen yrityksestä huolimatta. Kuljettajien välinen ero vastaavasti johtunee heidän istutuskoneiden käyttökokemuksen pituudesta sekä yksilöllisistä koneenkäyttötaidoista.

Istutustyön laadun arviointi tehtiin heti työaikatutkimuksen jälkeen ja tutkimuksen tulokset laskettiin näiden tietojen perusteella. Laadun todellinen tulos on usein havaittavissa vasta myöhemmin, noin vuoden kuluttua istuttamisesta, jolloin nähdään elossa olevien taimien määrä ja tiheys. Mahdolliset istutusvirheet voivat aiheuttaa taimien kuoleamisen vasta myöhemmin, minkä vuoksi heti istuttamisen jälkeen tehty arviointi ei kerro totuutta istutustyön laadusta tai taimitiheydestä.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Vertailevan aikatutkimuksen sekä maastomittauksesta saatujen tulosten perusteella Risutec APC -istutuskoneen tuottavuus ei yllä samalle tasolle Bracke P11.a -istutuskoneen tuottavuuden kanssa. Työajanjakauma osoittaa lisäksi, että Risutecin keskeytysten osuus on suuri. Istutustyön laadussa ei vertailtavien istutuskoneiden välillä ole merkittävää eroa.

Istutuskoneita kehitettäessä pyritään usein parantamaan niiden kustannustehokkuutta sekä tuottavuutta, eli lisäämään tunnissa istutettujen taimien määrää. Koneellisessa istuttamisessa on jo saavutettu kahden työn yhdistäminen sekä eri työvaiheiden yhtäaikainen suorittaminen. Risutec APC -istutuskoneessa on näiden lisäksi taimensyöttö automatisoitu, minkä odotettiin parantavan koneen tuottavuutta ja kustannustehokkuutta. Automatisoitu taimensyöttö helpottaa työtä etenkin kuljettajan kannalta, mutta istutuskoneen toimivuutta on saatava paremmaksi ja keskeytysten osuus pienemmäksi.

Tulevaisuudessa vaihtoehdot istutuskoneiden tuottavuuden parantamiseksi ovat jatkuvatoimiseen maanmuokkaus koneeseen liitetty istutuslaite tai istutuslaitteiden automatisointi erilaisten tunnistimien ja antureiden avulla. Nämä vaihtoehdot liittyvät toisiinsa, sillä jatkuvatoiminen istutuskone vaatii automatisoidun taimensyöttöjärjestelmän pystyäkseen toimimaan tehokkaasti. Siksi automatiikan kehittämiseen kannattaa panostaa, jotta saavutetaan toimintavarma syöttölaite tulevaisuuden tarpeisiin. Erityisesti laitteen osien tärinän ja rasiuksensietoa on parannettava.

Nykyisin on käytettävissä pitkälle kehitettyä teknologiaa, joka mahdollistaa erilaisten ratkaisujen toteuttamisen. Esimerkiksi laserkeilauksessa käytettävä paikkatieto voitaisiin tulevaisuudessa laajentaa osaksi metsänhoitotöiden koneellistamista. Istutettaville taimille voidaan antaa sijaintitiedot, joita olisi mahdollisuus hyödyntää myöhemmin taimikonhoidossa.

Tutkimustulosten avulla saadaan käsitys siitä, miten istutuskoneiden automatisointi vaikuttaa niiden tuottavuuteen. Tulosta voidaan hyödyntää koneiden edelleen kehittämissä, kun tiedetään mitkä toiminnot aiheuttavat suurimmat ongelmat. Koska tulokset työvaikeustekijöiden vaikutuksista tuottavuuteen ovat

linjassa aikaisempien tutkimustulosten kanssa, vahvistavat ne samaa käsitystä siitä, että istutuskoneiden työkohteilta hakkuutähteet ja kannot on hyvä kerätä pois eikä kohde saa olla liian kivinen.

Jotta tulosten luotettavuutta voitaisiin parantaa, tutkimus tulisi suorittaa uudelleen niin, että tutkimuskohteet ovat maalajin ja työvaikeustekijöiden osalta erilaisia ja sijaitsevat esimerkiksi tietyn maakunnan alueella. Lisäksi tutkimuksen kesto tulisi olla pidempi ja jakautua ainakin yhden istutuskauden ajalle. Tällä tavalla saatavat tulokset olisivat kattavat ja todelliset työvaikeustekijöiden vaikutukset tulisivat esiin. Jatkotutkimus kuitenkin edellyttää, että Risutec APC -istutuskone on toimintavarma ja että sitä voidaan käyttää työkohteilla.

Tutkimuksessa mukana olleet kuljettajat saivat mahdollisuuden oppia käyttämään erilaista istutuskonetta, kuin he yleensä ovat tottuneet käyttämään. Eri-laisen koneen käyttö on vaatinut kuljettajilta tarkkaavaisuutta ja keskittymistä työhön. Samalla he saivat käsityksen siitä, miten tutkimustoimintaan liittyvät kokeet toteutetaan.

Tutkimusta tehdessä kertyi itselleni paljon tietoa koneellisesta istuttamisesta, aikatutkimuksesta sekä tieteelliseen tutkimukseen liittyvistä asioista, kuten koejärjestelyistä, tutkimuksen suorittamisesta sekä tulosten analysoinnista. Tutkimuksen koneteknisissä asioissa pystyin hyödyntämään omaa konetekniikan insinöörin taustaa. Tämä helpotti koneiden toimintaperiaatteen ymmärtämistä. Saatua uutta tietoa on mahdollista hyödyntää tulevaisuudessa, mikäli työllistyn neuvojaksi metsäalalle tai tutkimuksia tekevään laitokseen.

Metsäntutkimuslaitos hyödyntää laadittua tutkimusraporttia tieteellisen tutkimustekstin kirjoittamisessa ja tulosten esittämisessä. Lisäksi ohjaaja hyödyntää raportissa esitettyjä tietoja oman väitöskirjansa laatimisessa. Tieteellinen tutkimus julkaistaan myöhemmin Metsäntutkimuslaitoksen toimesta. Oman opinnäytetyön tekemisen ohella osallistuin samalla siis tieteellisen tutkimuksen tekemiseen.

LÄHTEET

- Alatalo, J. – Räisänen, H. – Tuomaala, M. 2011. Työvoimatilanne metsäalan ammateissa. TEM-analyyseja 30/2011. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö.
- Ersson, B. T. 2010. Possible Concepts for Mechanized Tree Planting in Southern Sweden – An Introductory Essay on Forest Technology. Arbetsrapport 269. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Hallongren, H. – Laine, T. 2012. Koneellisen metsänhoidon laiteratkaisut esillä FinnMETKO 2012 -messuilla. Metsäntutkimuslaitos. Taimiuutiset 3/2012, 6–8.
- Hallongren, H. – Laine, T. – Juntunen, M-L. 2012. Metsänhoitotöiden koneellistamisesta ratkaisu metsuripulaan? Metsätieteen aikakauskirja 2/2012, 95–99. Suonenjoki: Metsäntutkimuslaitos.
- Harstela, P. 1991. Work Studies in Forestry. Silva Carelica 18. Joensuu: University of Joensuu.
- Harstela, P. 2004. Kustannustehokas metsänhoito. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.
- Jaakko Pöyry Consulting 2005. Työvoiman saatavuus metsäteollisuudessa. Osoitteessa http://www.metsafoorumi.fi/dokumentit/tyovoima_raportti.pdf. 26.9.2013.
- Kariniemi, A. 2006. Kuljettajakeskeinen hakkuukonetyön malli – työn suorituksen kognitiivinen tarkastelu. Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja 38. Osoitteessa https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/1975/443/KASIKIRJOITUS_FI-NAL_A4.pdf?sequence=1. 15.9.2013.
- Laine, T. – Rantala, J. 2013. Mechanized Tree Planting with an Excavator-mounted M-Planter Planting Device. International Journal of Forest Engineering. Volume 24, Issue 3, 183–193. Osoitteessa <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14942119.2013.844884#Uz-PqdxHNvhg>. 28.10.2013.
- Laine, T. – Syri, M. 2012. Koneellisen metsänistutuksen opas. Vammala: Vammalan kirjapaino.
- Luoranen, J. – Heikkilä, J. 2006. Koneistutuskokeiden tuloksia. Metsäntutkimuslaitos. Taimiuutiset 2/2006, 7–12.
- Luoranen, J. – Rikala, R. 2011. Taimimateriaalin kasvatus koneelliseen istutukseen. Metsäntutkimuslaitos. Taimiuutiset 1/2011, 6–13.

- Luoranen, J. – Rikala, R. – Smolander, H. 2011. Machine Planting of Norway Spruce by Bracke and Ecoplanter: An Evaluation of Soil Preparation, Planting Method and Seedling Performance. *Silva Fennica* 45(3), 341–357. Suonenjoki: Finnish Forest Research Institute.
- Luoranen, J. – Saarinen, V-M. 2004. Koneellinen istutus ja sen onnistuminen. Metsäntutkimuslaitos. *Taimiuutiset* 2/2004, 17–21.
- Luoranen, J. – Saksa, T. – Uotila, K. 2012. Metsänuudistaminen. Hämeenlinna: Kariston Kirjapaino Oy.
- Makkonen, O. 1954. Metsätöiden vertailevan aikatutkimuksen periaate. *Acta Forestalia Fennica* 61(14), 1-18. Helsinki: Suomen metsätieteellinen seura.
- Mattsson, S. 1997. Ecoplanter, Planteringsmaskin med Fräs. *Skogforsk Resultat* Nr 4/1997.
- Nordisk Avtale om Skoglig Arbeidsstudienomenklatur 1978. Nordiska Skogsarbetsstudiernas råd.
- Ranta, E. – Rita, H. – Kouki, J. 2012. Biometria – Tilastotiedettä ekologeille. 10. painos. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press.
- Rantala, J. – Harstela, P. – Saarinen, V-M. – Tervo, L. 2009. A Techno-economic Evaluation of Bracke and M-Planter tree planting devices. *Silva Fennica* 43(4), 659–667. Suonenjoki: Finnish Forest Research Institute.
- Rantala, J. – Laine, T. 2010. Productivity of the M-Planter Tree-planting Device in Practice. *Silva Fennica* 44(5), 859–869. Suonenjoki: Finnish Forest Research Institute.
- Rantala, J. – Saarinen, V-M. 2006. Istutuskoneinvestointi alueyrittäjän näkökulmasta. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2006, 343–352. Suonenjoki: Metsäntutkimuslaitos.
- Risutec 2014. Metsänistutuskoneet Risutec PM100 -sarja. Osoitteessa <http://www.risutec.fi/tuotteet/risutec-pm100-istutuskone>. 6.3.2014.
- Strandström, M. – Hämäläinen, J. – Pajuoja, H. 2009. Metsänhoidon koneellistaminen: Visio ja T&K-ohjelma. Metsätehon raportti 206. Osoitteessa http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_206_Metsanhoidon_koneellistaminen_ms-jh-hp_stand.pdf. 23.6.2009.
- Strandström, M. – Saarinen, V-M. – Hallongren, H. – Hämäläinen, J. – Poikela, A. – Rantala, J. 2011. Koneellisen istutuksen ja taimikonhoidon kilpailukyky. Metsätehon raportti 218. Osoitteessa http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_218_Koneellisen_istutuksen_ms_ym.pdf. 30.6.2011.

- Syri, M. – Laine, T. 2012. Ennakkoluulot murrettavissa – koneistutuksella kohti tehokkaampaa metsänhoitoa. Metsäntutkimuslaitos. Taimiuutiset 3/2012, 11–13.
- Toivanen, T. 2012. Koneistutuksen onnistuminen turvemilla. Opinnäytetyö. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu: Metsätalouden koulutusohjelma.
- Uusitalo, J. 2003. Metsäteknologian perusteet. Helsinki: Metsälehti Kustannus.
- Vartiamäki, T. 2003. Koneellinen metsänistutus vuonna 2003. Kyselytutkimuksen tulokset. Metsätehon raportti 154. Osoitteessa http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_154.pdf. 9.9.2003.
- Äijälä, O. – Koistinen, A. – Sved, J. – Vanhatalo, K. – Väisänen, P. 2014. Metsänhoidon suositukset. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja. Osoitteessa http://www.tapio.fi/files/tapio/metsanhoito-suositukset/Metsanhoidon_suositukses_ver2_netti.pdf. 26.3.2014.

LIITE

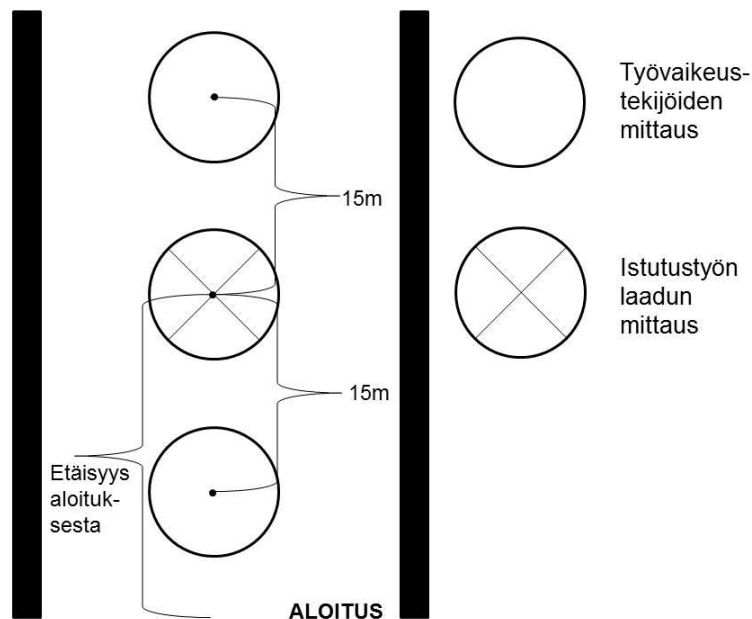
Maastotyöohje

Maastotyöohje ja mitattavat tunnuksat

Jokaiselta toistolta mitataan kolme koealaa, joista keskimmaiselta koealalta mitataan istutettujen taimien laatu ja kaikilta kolmelta työvaikeustekijät. Keskimmäisen ympyräkoelan paikka on sivuttaissuunnassa telajälkien keskikohdassa ja pituussuunnassa, eli koneen etenemissuunnassa, paikka mitataan aloituskohdasta eri kohteilla taulukon 1 mukaisesti (Kuva 1). Keskimmäisen koelan molemmille puolille sijoitetaan mahdollisuuksien mukaan kaksi koealaa, joiden keskipisteet ovat 15 metrin etäisyydellä keskimmäisen koelan keskipisteestä. Ympyräkoelan säde on 3,99 metriä ja pinta-ala 50 m². Istutustyön laadun mittaamista varten koealalta mitataan kymmenen tainta. Mikäli 3,99 metrin säteiseltä ympyräkoelalta ei saada mitattua kymmentä tainta, laajennetaan otantaa 5,64 metrin säteiselle ympyrälle niin, että kymmenen tainta saadaan mitattua. Laajennetun ympyrän sisällä lähinnä pohjoista suuntaa ja etelää olevat taimet mitataan.

Taulukko 1. Keskimmäisen koelan keskipisteen sijainnin määräytyminen eri kohteilla.

Kohde (numero)	Etäisyys aloituspisteestä (m)
1	20
2	30
3	40
4	50



Kuva 1. Koealojen sijoittuminen telajälkien väliin maastomittauksissa.

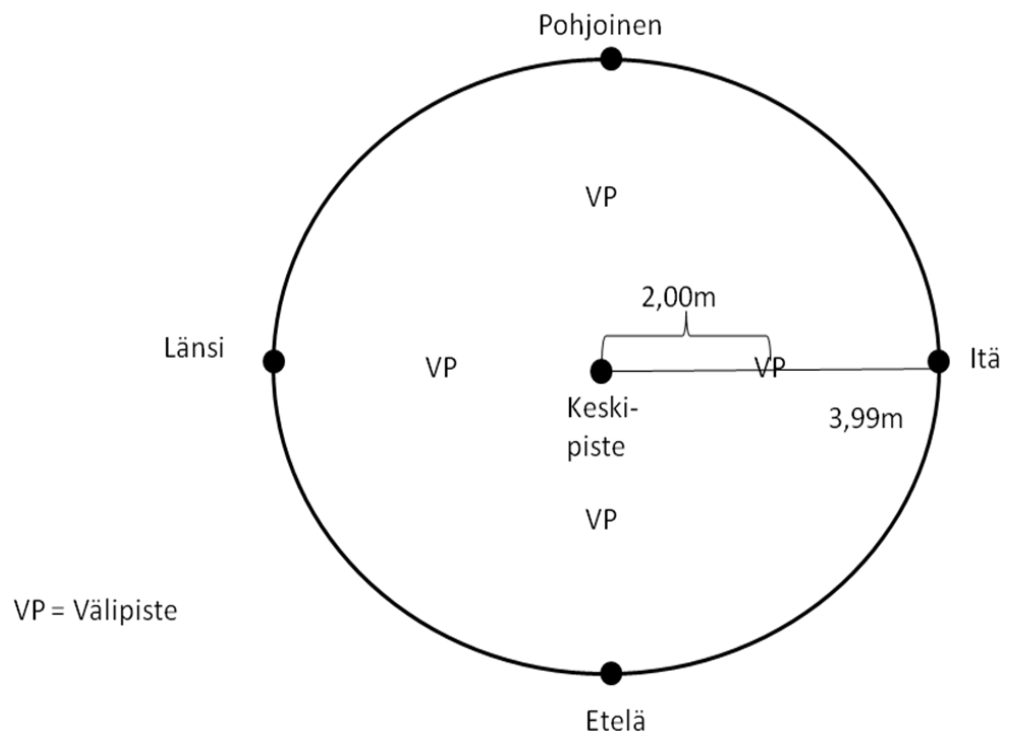
TAIMIKOEALALTA
MITATAAN

Ennakkoraivaus	0 Ei suoritettu 1 Suoritettu
Kenttäkerroksen peittävyys	0 Ei peitä näkyvyyttä 1 Peittää näkyvyyden
Maalaji	1 Hieno 2 Keskikarkea 3 Karkea 4 Turve
Istutuskohta	1 Mätäs (laikkumättään mättäessä) 2 Laikku (laikkumättään laikussa) 3 Muokkaamaton maa
Muokkaukohdan valinta	0 Normaali 1 Pintakivet/kallio heikentää 2 Kanto, maapuu, hakkuutähde tai juuret heikentää 3 Märkä painanne heikentää
Mätästyyppi	0 Yhtenäinen kivennäismaakerros päällä 1 Hieman humusta kivennäismaan seassa 2 Pääosin turvetta/humusta ja sisältää vähän kivennäismaata 3 Turvetta/humusta, mutta ei sisällä kivennäismaata 4 Pinta muodostuu lähes yksinomaan oksista, humuksesta tms
Istutusvirheet	0 Ei huomautettavaa 1 Tiivistys puutteellinen 2 Istutus ei tarpeeksi syväälle 3 Istutus liian syväälle 4 Paakku makaa maan pinnalla 5 Maata tai hakkuutähdettä taimen päällä 6 Kaksi tainta 7 Mättäessä ”sylkytaimi” istutetun taimen lisäksi 8 Taimessa istutusvaurioita 9 Taimi vinossa 10 Taimi kuollut/kuolemaisillaan 11 Taimi puuttuu, mutta mätäs on tehty 12 Taimi ei mättään keskellä 13 Jotain muuta

TYÖVAIKEUSKOEALOILTA MITATAAN

Kuvassa 2 on esitetty mittapisteiden sijoittuminen koealalle

Hakkuutähteet	Hakkuutähteitä ei tulisi olla, mutta määritellään kuinka monessa pisteistä (K,P, I, E, L) on hakkuutähdettä
Kaltevuus	0 Kaltevuus ei vaikeuta työskentelyä 1 Kaltevuus haittaa työskentelyä Kaltevuus vaikeuttaa työskentelyä, jos 5 m:n matkalla on korkeuseroa 1 m.
Pintaesteiden lukumäärä	Lasketaan koealalta yli 10 cm maanpinnan yläpuolella olevat kivet, kohoumat ja muut esteet sekä yli 20 cm:n syvyiset kuopat. Myös jättöpuut ja kaatuneet puut lasketaan esteiksi. Esteiden tulee olla 0,5 m:n päässä toisistaan. Esteiksi ei lueta hakkuutähdeksoja, kantoja, mättäitä, maanmuokkauksessa maanpinnalle nousseita kiviä, eikä tehtyjä mättäitä tai laikkuja. Esteen keskipiste ratkaisee koealalle kuulumisen. P20 10-30 cm P40 30-50 cm P60 50-70 cm P80 70-90 cm P100- 90- cm
Kivisyys	Kivisyys määritellään painamalla rassi maahan kahteenkymmeneen senttimetriin saakka ja laskemalla eri painaumaluokkien lukumäärät käyttäen seuraavanlaista luokitusta: - Rassi ei osu kiveen 20 cm:n matkalla - Rassi osuu kiveen 20 cm:n matkalla - Rassi on kiven päällä (= ei uppoa maahan ollenkaan) Painumat mitataan koealan pisteistä (K, P, I, E, L) sekä välipisteistä (yht.9kpl)
Kannot	Halkaisijaltaan yli 10 cm kantojen lukumäärä
Humuksen paksuus	Humuksen paksuus mitataan pisteitä (K, P, I, E, L) lähimpänä olevan mättään laikun reunasta. H0 0-5 cm H5 5-10 cm H10 10-15 cm H15 15-20 cm



Kuva 2. Mittapisteiden sijoittaminen työvaikeuskoealalle