

---

**ALIKASVOKSEN RAIVAUS MENSE OY:N  
RAIVAUSLISÄLAITTEELLA**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Metsätalouden koulutusohjelma

Evo, työn kansituspvm.

Tuomo Väre

---

Evo  
Metsätalouden koulutusohjelma

---

<b>Tekijä</b>	Tuomo Väre	<b>Vuosi</b> 2013
<b>Työn nimi</b>	Alikasvoksen raivaus MenSe Oy:n raivauslisälaitteella	

---

## TIIVISTELMÄ

Metsäenergiaa kannattavasti -koulutushankkeen tilaamassa tutkimuksessa tutkittiin MenSe RT-25 -raivauslisälaitteella hakkuun yhteydessä suoritettun raivauksen kustannuksia energiapuuharvennuksella. Tutkimus on tapaututkimus, ja siinä verrataan lisälaitteella varustetun hakkukoneen ja metsurin suorittaman totaali- ja näkemäraivauksen kustannuksia sekä korjuutyön laatua.

Tutkimus suoritettiin aikatutkimuksena, jossa tutkittiin raivauksen osuutta koneen tehotyöajasta. Tutkimusaineistona oli kahdeksan koeruutua. Näistä neljällä hakattiin koneella näkemäraivaus suorittaen. Lopuilla ruuduilla hakattiin vertailusarja, johon kuuluivat raivaamaton, koneella totaaliraivattava ja metsurin näkemä- ja totaaliraivaamat ruudut sekä yksi koneella näkemäraivaatuista ruuduista.

Tutkimuksessa todettiin, että hakkuun yhteydessä suoritettu näkemäraivaus on halvempi kuin metsurin suorittama, kun raivauksessa poistuvia runkoja on alle 11 000. Koneella suoritettu totaaliraivaus todettiin kannattamattomaksi. Tutkimuksessa ei saatu luotettavaa tulosta näkemäraivauksen vaikutuksesta korjuujälkeen.

Tutkimuksessa todettiin, että MenSe RT-25 on käyttökelpoinen laite, ja menetelmä on kehityskelpoinen. Laitteen tehokasta hyödyntämistä varten on syytä kehittää työmalli ja työlajille selkeä hinnoittelumenetelmä.

**Avainsanat** työntutkimus, aikatutkimus, ennakkoraivaus, raivaus, harvennus

**Sivut** 32 s.

Evo  
Degree programme in forestry

---

<b>Author</b>	Tuomo Väre	<b>Year</b> 2013
<b>Subject of Bachelor's thesis</b>	Clearing of Undergrowth with MenSe Clearing Blade Attachment	

---

ABSTRACT

This thesis was ordered by Metka training project and it studied the cost-efficiency of the MenSe RT-25 clearing blade attachment in fuel wood thinning. The study is a case-study and it compared visibility and total clearings made by both the harvester and a forester. Also harvesting quality was researched.

The study was a time study, which studied the share of clearing in the working time of the harvester. The data consists of eight experimental plots, four of which were visibility cleared by the harvester. The four remaining plots formed a comparison test series with one of the harvesters visibility cleared plots. The other plots were cleared one totally by the harvester, two totally and visibility by a forester and one was not cleared at all.

The study found that a visibility clearing made by the clearing blade attachment is cheaper than a forester when there are less than 11 000 stems of undergrowth per hectare. A total clearing made by the harvester was found out to be unprofitable. Results on harvesting quality were untrustworthy and therefore the effects on quality are unsure.

The conclusion was that MenSe RT-25 is a practical device and the technique is developable. A work model and a plain pricing method have to be developed for the effective utilization of the clearing blade attachment.

**Keywords** work analysis, time study, clearing, thinning

**Pages** 32 p.

---

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	HAKKUUALUEEN RAIVAUS .....	2
3	MENSE RT 25 -RAIVAUSLISÄLAITE MONITOIMIKONEESEEN .....	4
4	TUTKIMUSMENETELMÄ JA -SUUNNITELMA.....	7
4.1	Tutkimusaineisto .....	9
4.2	Tuottavuus .....	10
4.3	Ennako- ja jälkimittaukset.....	11
5	TUTKIMUSKOHTEET JA -JÄRJESTELYT .....	13
5.1	Huhtiniemen koeruudut.....	13
5.2	Liippikorven koeruudut.....	14
6	TULOKSET .....	17
6.1	Näkemäraivaus .....	21
6.2	Vertailukoesarja .....	23
6.3	Korjuujälki .....	24
6.4	Raivaustyön laatu .....	27
7	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	28
8	ARVIOINTI .....	31
	LÄHTEET .....	32

## 1 JOHDANTO

Ennen hakkuuta suoritettava pieniläpimittaisen puuston raivaus eli ennakkoraikaus parantaa hakkuukoneen tehokkuutta, mutta jää usein tekemättä korkeiden kustannusten johdosta. Alikasvos heikentää kuljettajan näkyvyyttä työalueelle ja vaikeuttaa siten hakkuulaitteen viemistä poistettavan puun tyvelle, samoin kuin muutenkin hankaloittaa työpisteen hahmottamista. Samalla kasvaa myös korjuuvaurioriski. Raivaamattomalla kohteella alikasvosta joudutaan poistamaan ketjusahalla tai hakkuulaitteella painelemalla, mikä voi aiheuttaa laiterikkoja.

Metsätalouden moniarvoistumisen johdosta alikasvosta pyritään jättämään hakkuun yhteydessä eläimistön suojan säilyttämiseksi. Metsuri voi herkästi raivata kohtia, joita ei hakkuun takia olisi tarpeellista raivata.

Viime vuosina markkinoille on ilmestynyt laitteita, joiden avulla on mahdollista raivata yhtäaikaaisesti hakkuun kanssa. Risutec L3A on suunniteltu käytettäväksi kokopuun korjuun yhteydessä, Koneplaneetta Oy:n Sirius 250 -hakkuulaite rangan sekä kuitupuun hakkuussa ja nyt tutkittu MenSe RT-25, joka voidaan asentaa lähes mihin tahansa hakkuulaitteeseen. Tutkimuksessa on tarkoitettu selvittää MenSen soveltuvuus energiapuuharvennukselle sekä sen kustannus- ja laatuvaikutukset.

Tämä koneellisen hakkuun yhteydessä tehtävää alikasvoksen raivausta käsittelevä opinnäytetyö on tehty Työtehoseuran koordinoiman Metsäenergiaa kannattavasti -koulutushankkeen puitteissa ja sen tarkoitus on tuottaa hankkeeseen koulutusmateriaalia. Hankkeen muina toimijoina ovat Hämeen ammattikorkeakoulu ja -instituutti, Päijät- ja Kanta-Hämeen metsänhoitoyhdistykset sekä metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Hanke tarjoaa maksua vastaan metsäenergian tuotantoon liittyviä koulutuspalveluita. Tutkimuksen tekemiseen ovat osallistuneet myös Metsäteho Oy aineiston analysoinnin ja MenSe Oy tutkimuksen rahoituksen osalta.

## 2 HAKKUUALUEEN RAIVAUS

Koneellinen puunkorjuu edellyttää hakkuukoneenkuljettajan hyvää näkyvyyttä työalueelle. Kohteilla, joilla alustan pieniläpimittainen puusto haittaa näkyvyyttä, on ennen hakkuuta suoritettava hakkuuta haittaavan pieniläpimittaisen puuston raivaus eli ennakkoraivaus.

Ennakkoraivauksella voidaan parantaa leimikon houkuttelevuutta ostajan silmissä, helpottaa leimikon harvennustarpeen arviointia sekä poistettavien puiden ja ajolinjojen valintaa sekä vähentää korjuuvaurioita. Raivauksessa kaadettu puu parantaa myös pehmeän maan kantavuutta ajourilla.

(Metsäteho, Hakkuukonetyömaan ennakkoraivaus 2001, 3.)

Harvennuskohteilla käytetään nykyään yleisesti ns. näkemäraivausta, jossa poistettavien puiden ympäriltä kaadetaan alikasvos noin metrin etäisyydeltä. Kaadettavan puun läheisyydessä oleva alikasvos aiheuttaa helposti teräketjun irtoamisia ja rikkoo teräketjuja, -laippoja ja hydrauliletkuja sekä haittaa hakkuulaitteen vientiä puun tyvelle. Kourakasassa olevat katkaissemmattomat alikasvospuut vievät juurineen herkästi maa-ainesta kuormatilaan. Tarvittaessa poistetaan myös näkyvyyttä haittaava alikasvos. (Metsäteho, korjuun suunnittelu.)

Ennakkoraivauksessa poistetaan vain puita, jotka eivät kelpaa korjattaviin puutavaralajeihin. Siten ainespuun korjuukohteilla poistetaan puita, joiden rinnankorkeusläpimitta on alle seitsemän senttimetriä. Energiapuukohteilla korjataan talteen myös pienempää puustoa ja raivauksessa poistetaan vain alle nelisenttimetriset puut. Jätettävien puiden määrän ja siten tiheyden kasvamisen johdosta liikkuminen raivaussahan kanssa voi käydä huomattavan hankalaksi, mikä voi johtaa ajanmenekin suurenemiseen.

Uudistusalan ennakkoraivauksessa poistetaan kaikki hakkuuta ja uudistamistöitä haittaava kasvatus- tai jalostuskelvoton puuaines pois lukien lahoppuu. Alikasvos hankaloittaa uudistushakkuulla myös energiapuun korjuuta, kun alikasvospuiden juurakkoja voi päätyä energiapuukasaan ja sieltä hakkuriin aiheuttaen terärikkoja. (Hakkuukonetyömaan ennakkoraivaus 2001, 67.)

Metsähallitus linjaa tuoreimmassa metsätalouden ympäristöoppaassaan, että ennakkoraivauksessa poistetaan puustoa vain tarpeellisissa määrin kaavamaisista käsittelyä välttämällä. Totaaliraivaus vähentää kenttäkerroksen esimerkiksi metsäkanalinnuille tarjoamaa suojaa. Jatkossa valtionmetsissä on siis ryhdyttävä käyttämään näkemäraivausta. (Metsähallitus, Metsähallituksen metsätalouden ympäristöopas 2011, 67.)

Metsätehon ennakkoraivaustutkimuksessa todettiin, että metsurin ajanmenekki totaaliraivauksessa kaikilla koeruuduilla oli keskimäärin 9,2 tehotyötuntia hehtaarilla. Näkemäraivauksen ajanmenekki oli puolestaan 7,7 tehotyötuntia. Tutkimuksessa keskityttiin ainespuukohteisiin. (Metsäteho, Ennakkoraivaus osana ensiharvennuspuun korjuuta 2006, 32.)

Näkemäraivaus koetaan metsurien keskuudessa usein hankalaksi, koska poistettavien puiden välillä on tehtävä valintaa. Usein energiapuukohteilla näkemäraivauksen ajanmenekki on samaa luokkaa kuin totaaliraivauksessa, vaikka lähtötilanne olisikin sama. (Alhola, sähköpostiviesti, 17.12.2012)

Metsureiden saatavuus on heikentynyt ja ammattitaitoisten henkilöiden saaminen töihin on usein hankalaa. Kehitykseen on vaikuttanut hakkuutyön siirtyminen koneellisesti hoidettavaksi ja siten metsurien talviaikaisien työmahdollisuuksien heikentyminen.

Ennakkoraivaus suositellaan tehtäväksi noin vuosi ennen hakkuuta lumetomaan aikaan. Tällöin lumi ehtii painaa kaadetut puut maahan eikä lumen vaikutuksesta synny pitkiä kantoja. Lehdessä olevat puut haittaavat näkyvyyttä kaadettuinkin. (Hakkuukonetyömaan ennakkoraivaus 2001, 5.)

Ennakkoraivaus on työvaihe, joka jää usein maanomistajan huolehdittavaksi (Hakkuukonetyömaan ennakkoraivaus 2001, 5). Ostajan huolehties- sa raivauksesta on raivauksen hyvästä ajoituksesta useimmiten luovuttava pystyvarannon lyhytkestoisuuden vuoksi.

Metsäteho Oy on tutkinut ennakkoraivauksen vaikutusta hakkuun tuottavuuteen vuonna 2005. Ensiharvennumännikössä, jonka runkojen keskitilavuus on noin 60 kuutiodesimetriä ja alikasvoksena on 4000 kaksimetristä kuusta, hakkuun tuottavuus on 80 prosenttia vastaavan raivatun kohteen tuottavuudesta. Metsäkuljetuksen tehoon vaikutus on noin kolme prosenttia. Alikasvoksen vaikutus kuljetuksen tuottavuuteen muodostuu paljolti kuormatilaan päätyneiden näreiden poistamisesta. (Ennakkoraivaus osana ensiharvennuspuun korjuuta 2006, 50.)

Metsäntutkimuslaitoksen opastavien järjestelmien tutkimuksessa hakkuukoneenkuljettajat ja puunkorjuuryrittäjät pitivät hakkuuta eniten haittaavana asiana puutteellista ennakkoraivausta, mikä on tuottavuustappioiden valossa ymmärrettävää. Koneyrittäjien liitto onkin nostanut ensiharvennusten kannattavuuden parantamisessa tärkeimmäksi toimenpiteeksi ajallaan suoritettua ennakkoraivauksen. (Ylimäki, Väätäinen, Lamminen, Sirén, Ala-Ilomäki, Ovaskainen & Asikainen 2012, Kuljettajaa opastavien järjestelmien tarve ja hyötypotentiali koneellisessa puunkorjuussa, 19; Koneyrittäjien liitto 2008a, Ensiharvennusten kehittäminen välttämätöntä.)

### 3 MENSE RT 25 -RAIVAUSLISÄLAITE MONITOIMIKONEESEEN

Ennakkoraivaamattoman leimikon hakkaaminen on hankalaa. Alikasvosta voidaan joutua raivaamaan ketjusahalla tai painelemaan maahan hakkuulaitteella. Hakkuulaitteen ketjusahaa ei ole suunniteltu herkästi liikkuvien pienten puiden katkontaan, minkä takia raivaus aiheuttaa herkästi ketjurikkoja.

MenSe Oy on kehittänyt harvestereihin liitettävän raivauslisälaitteen, jonka avulla leimikon alikasvoksen raivaus onnistuu hakkuutyön yhteydessä. Kuljettaja voi tarpeen mukaan poistaa juuri ne puut, jotka haittaavat hakkuuta. Raivaustyötä voidaan suorittaa missä tahansa hakkuun vaiheessa, milloin hakkuulaite on pystyasennossa, luontevimmin kuitenkin hakkuulaitteen rungon tyvälle viennin yhteydessä.



Kuva 1: Mense RT-25 asennettuna Valmet 945 hakkuulaitteeseen

Laitteen paino on 70 kg, työleveys 90 cm, suurin katkaisuläpimitta 6 cm ja se tarvitsee 30 -45 litraa hydraulikkaöljyä minuutissa. Laite liitetään koneen hydraulikkajärjestelmään oman venttiilin kautta. Lisälaitteen arvonlisäveroton hinta oli 30.8.2012 7000 euroa.(MenSe RT-25 -esite 2012.)

Raivauslaite on mahdollista asentaa lähes kaikkiin hakkuupäihin ja sitä voidaan käyttää kaikessa hakkuutyössä. Hakkuulaitteen kylkeen kiinnitetään hitsaamalla pikakiinnike, joten itse raivauslaite on helposti irrotetta-



vissa silloin, kun sen käyttöön ei ole tarvetta. Laitteen toiminta perustuu kahteen hydraulikkasyylinterin edestakaisin liikuttelemaan hammastettuun terälevyyn. Hitaasti liikkuvat levyt eivät vahingoitu osuessaan esteeseen. Testattu laite oli vielä prototyyppi, mutta yhtiö on monen vuoden ajan valmistanut samalla periaatteella toimivia vesakonraivauslaitteita hakkuu- ja kaivinkoneisiin. Suuremmat laitteet tosin toimivat hydraulikkamoottorin voimalla, mutta katkaisuperiaate on sama.

Laitteen vaatimat hydraulikkaliitännät on toteutettu kouran paine- ja paluuletkuun tehtyjen haaroitusten ja magneettikytkimen avulla. Asennukseen ei ollut lisätty suuntaventtiiliä paluuletkuun, minkä takia irrotusvaiheessa paluuletkusta pääsi valumaan huomattavissa määrin öljyä. Lopullisissa asennuksissa ongelma todennäköisesti korjaantuu.

Laitetta ohjataan hyttiin sijoitetun langattoman lähettimen avulla ohjaukseen lisätystä napista. Laite ei siis ole lainkaan yhteydessä koneen mittalaitteisiin. Koska raivauslisälaitte on koneen hydraulikkajärjestelmään ilman mittalaitteen automaatiota asennettu lisälaitte, voi sillä olla suuremmat vaikutukset koneen polttoaineenkulutukseen kuin öljynvirtaustarpeen perusteella voi päätellä. Kun raivauslaitetta käytettiin, kone vastasi siihen nostamalla äkkinäisesti moottorin kierroslukua yllättävän paineenlaskun seurauksena. Kyseessä on toivottavasti vain prototyyppiasteen ongelma, mittalaitteeseen yhdistettynä kulutus todennäköisesti laskee.

Prototyyppilaitteessa myös pohjassa on vastaava kotelo kuin kannessa. Kulmikas laatikko häiritsee raivaustyötä kantojen jäädessä jumiin varsinkin kun ne katkaistaan lyhyiksi. Tuotantomallissa pohjaan on tehty viiste ongelman ratkaisemiseksi. Samoin tuotantomalliin hampaiden muotoilua on muutettu, jotta katkaistavat rungot eivät niin herkästi väistäisi raivauslaitetta.

Uuteen hakkuulaitteeseen on mahdollista tehdä valmius raivauslaitteen asennukseen suhteellisen pienin kustannuksin. Tällöin asennusta varten ei tarvitsisi lisätä ylimääräisiä letkuja hakkuulaitteeseen ja etsiä sopivaa paikkaa hydraulikka-asennuksille. Raivauslaite tulisi samalla myös liitettyksi koneen mittalaitteen hallintaan.

Raivauslisälaitte voi hankaloittaa hakkuutyötä talvella. Kun maastossa on runsaasti lunta, hakkuupään vieminen puun juurelle hankaloituu laitteen pohjan pinta-alan lisääntyessä. Toisaalta runsaslumiseen aikaan ennakkoraivausta ei muutenkaan suositella tehtäväksi. Laite voikin olla hyödyllinen sikäli, että metsureita ei tarvitsisi pitää kesäaikaan raivaamassa kesäkorjuukohteita vaan voitaisiin raivata talvikohteita.

MenSe RT-25 on ensimmäinen hakkuun yhteydessä suoritettavan alikasvoksen raivauksen mahdollistava lisälaitte tavanomaiseen hakkuulaitteeseen. Hakkuun yhteydessä suoritettavaa raivausta on aiemmin ollut mahdollista tehdä Koneplaneetta Oy:n Sirius 250 -hakkuulaitteella ja Risuteknikka Ky:n Risutec L3A -hakkuulaitteella. Molemmat laitteet perustuvat pyöröteriin, ensin mainittu kahteen sirkkeliterään ja viimeksi mainittu hitaasti pyörivään terään, joka katkoo rungot saksen kaltaisesti. Sirkkuksessa

on mahdollisuus myös karsintaan. (Koneplaneetta Oy 2012a; Risutekniikka Ky 2012a.)

Normaaliin korjuutyöhön kuulumattomana työvaiheena lisälaitteella suoritettu raivaus on hakkuukoneen lisätyötä. Koneyrittäjien liitto on lausunut 30.8.2012, että lisälaitteisiin tehtävien investointien on tuotettava tulosta eikä pelkkä työn ilo riitä. Laitteella suoritettu raivaustyö on kyettävä hinnoittelemaan oikein. Toisaalta raivauslisälaitte voi tuottaa mahdollisuuden laskuttaa raivaustyötä kohteilla, joiden raivaamattomana hakkaaminen olisi kannattamatonta.

#### 4 TUTKIMUSMENETELMÄ JA -SUUNNITELMA

Tutkimuksessa päätettiin vertailla MenSe RT-25 -raivauslisälaitetta näkemä- ja totaaliravauksessa metsurin tekemään näkemä- ja totaaliravaukseen. Lisäksi päätettiin vertailun vuoksi hakata yksi ruutu kokonaan ilman raivausta. Koska oli oletettavaa, että lisälaitteella on luontevinta tehdä näkemäraivausta, päätettiin lisäksi kokeilla sitä erilaisilla kohteilla.

Tutkimusta suunniteltaessa päätettiin keskittyä vastaamaan seuraaviin kysymyksiin:

- Mikä on kustannustehokkain tapa vastaavan kohteen raivaukseen?
- Kuinka paljon koneella tehty raivaus lisää työaikaa kohteella?
- Miten hakkuun yhteydessä tehty raivaus vaikuttaa korjuujälkeen?

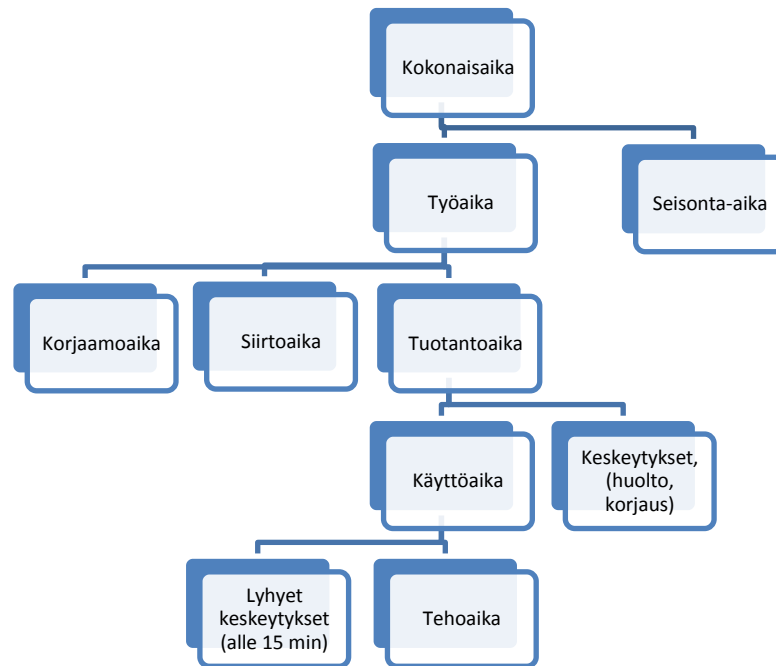
Eri työmenetelmien vertailussa on kyse työntutkimuksesta. Koska on selvittävää eri työmenetelmissä eri työvaiheisiin kuluva aika, on tarkempi menetelmä vertaileva aikatutkimus. Vertailevassa aikatutkimuksessa on oletettu, että käytettäessä samaa työntekijää vertailtavissa työmenetelmissä tai olosuhteissa pätevät seuraavat olettamukset:

- eri työmenetelmien ajankäytön suhteet ovat jokseenkin samat samoissa oloissa
- työolojen suhteelliset vaikutukset ajankäyttöön samalla työmenetelmällä ovat lähes riippumattomat työntekijästä. (Haarlaa, Harstela, Mikkonen & Mäkelä 1984, 14.)

Edellä mainittujen suhteellisten ajankäyttöarvojen suhteellinen hajonta on huomattavasti pienempi eri työntekijöiden kuin menetelmien välillä. Jo muutaman työntekijän työtä tutkimalla saadaan melko luotettava suhdelu-ku vertailtavien työmenetelmien tai -olojen välille. (Haarlaa ym. 1984, 14.)

Koska kyseessä on vielä prototyyppi ja laitteen käyttöön harjaantuneita kuljettajia ei ole montaa, tehtiin tutkimus tapaustutkimuksena vain yhdellä kuljettajalla ja koneella. Vain yhden kuljettajan käytön johdosta kuljettajakohaista vaihtelua ei voida määrittää. Valittu tutkimusmenetelmä on kuitenkin ainoa luotettava menetelmä tutkimusongelmien ratkaisemiseen.

Aikatutkimuksessa kokonaisaika jaotellaan eri vaiheisiin niiden välisten suhteiden määrittämisen mahdollistamiseksi. Konetyön aikakäsitteiden riippuvuudet on esitetty kuviossa 1. Tässä tutkimuksessa ollaan kuitenkin kiinnostuneita vain teho- ja käyttöajasta.



Kuvio 1: Aikajaottelu työntutkimuksessa (Haarlas ym. 1984, 18).

Hakkuukoneen käyttöaika koostuu tehoajasta ja lyhyistä, alle 15 minuuttia kestävästä keskeytyksistä. Käyttöajan yksikkönä käytetään yleisesti tuntia ja se voidaan merkitä  $h_{15}$ . Käyttöaika on työntutkimuksessa paremmin hyödynnettävissä, mutta keskeytysten määrä ja kesto vaihtelee aina. Käyttöaika on siksi useimmiten määritettävä tehoajan ja seuranta tutkimuksissa havaitun teho- ja käyttöajan välisen suhteen avulla. Metsäteho Oy on käyttänyt laskennoissaan oletusta, että yhtä tehotyötuntia vastaa 1,35 käyttötuntia. Työtehoseurassa on vastaavana arvona pidetty 1,393.

Tutkimuksessa käyttöaika jaettiin seuraaviin työvaiheisiin:

- Siirtyminen:  
Siirtymisaikaan luettiin koneen siirtyminen työpisteeltä toiselle.
- Vienti:  
Hakkuulaitteen vienti kaadettavan puun tyvelle
- Kaato:  
Työvaihe sisältää tarttumisen kaadettavaan puuhun ja kaatamisen. Työvaihe päättyi karsinnan aloittamiseen. Samalla tallennettiin myös kaadettavien puiden puulaji sekä silmämääräisesti arvioitu rinnankorkeusläpimitta.
- Karsinta ja katkonta:  
Karsinta- ja katkonta alkaa syötön alkamisesta ja päättyy latvan katkaisuun. Vaiheeseen yhdistettiin latvan käsittelyvaihe sen harvinaisuuden takia.
- Raivaus:  
Raivaustyövaiheeseen luettiin lisälaitteella suoritettu raivaustyö.
- Apuaika:  
Apuaikana kirjattiin työn aputoimia, kuten leimikon suunnittelua.
- Keskeytys:  
Keskeytyksiin luettiin normaalista työskentelystä poikkeavat pysähdykset kuten puhelut sekä ketjurikot.

Kun aineistosta jätetään huomiotta keskeytysaika, päästään käsiksi tehoai-kaan.

Raivauslisälaitteen käyttö on luontevaa yhdistää toimenpiteisiin, jotka kone tekee muutenkin. Hakkuulaitteen viennin yhteydessä ja joukkokäsittelyssä kahden puun poiminnan välissä on mahdollista suorittaa raivausta. Siten on mahdollista, että raivauksen johdosta muiden vaiheiden ajanmenekki pienenee. Tämä tuskin aiheuttaa suuria eroja, sillä valtaosa raivauksesta suoritetaan kuitenkin omana työvaiheenaan. Mahdollisia eroja voidaan etsiä kun raivaus mielletään hakkuun ulkopuoliseksi työvaiheeksi. Tällöin aikasuhteet perustuvat siihen, että varsinaisen hakkuun ajanmenekki on 100 prosenttia ja raivauksen määrä suhteutetaan sen lisänä.

Aikatutkimuksen tiedonkeruun suoritti Työtehoseuran tutkija Arto Mutikainen jatkuvan ajan mittauksena Rautaruukin valmistamalla tiedonkeruulaitteella. Aineistossa oli eriteltyä eri työvaiheet ja hakatut rungot taakka-kohtaisesti. Metsäteho Oy analysoi aikatutkimusaineiston ja tuotti kone- ja metsurityön työn ajanmenekki-funktiot sekä tuloksista tuloskalvosarjan. Opinnäytetyön tekijä osallistui kaikkiin työvaiheisiin, tuotti Metsätehon analyysin perusteella myös tarkempia laskelmia työtä varten sekä suoritti ennako- ja jälkimittaukset.

#### 4.1 Tutkimusaineisto

Alkuperäisen tutkimussuunnitelman mukaisesti oli tarkoitus hakata neljä koeruutua kukin omalla käsittelytavallaan. Nämä tavat olisivat olleet totaali- ja näkemäraivaus sekä metsurin suorittamana että koneella hakkuun ohessa raivaten. Sopivaa kohdetta ei kuitenkaan löytynyt ja odotellessa hakattiin koneella näkemäraivauksena kaksi erilaista ruutua. Sopivan kohteen löydyttyä hakattiin alkuperäisen suunnitelman mukaiset ruudut, vastaavankaltainen ruutu raivaamatta ja yksi näkemäraivausruutu. Muodostui siis kaksi koesarjaa; neljän ruudun näkemäraivaussarja ja viiden ruudun vertailusarja, jossa yksi ruutu oli osa näkemäraivaussarjaa.

Näkemäraivauskoesarjan perusteella voidaan tuottaa malli koneella tehdyn raivauksen kustannuksista ja vaikutuksista koneen tuottavuuteen. Samalla voidaan tutkia vaikutuksia korjuujälkeen. Vertailukoesarjan avulla voidaan puolestaan tehdä päätelmiä itse työtävän vaikutuksista korjuun tuottavuuteen ja laatuun.

Kahdeksan ruutua käsittävästä aineistosta ei vielä voida tehdä pitkälle meneviä johtopäätöksiä, vaan tutkimusta on pidettävä tapaustutkimuksena ja mahdollisen jatkotutkimuksen esitutkimuksena.

Koska kyseessä on metsäenergiaan liittyvä koulutushanke, korjattiin koeruuduilta energiapuuta. Energiapuun korjuu eroaa sikäli ainespuun korjuusta, että jo neljän sentin läpimittainen puu korjataan pois. Tällöin tulee korjatuksi sellaista puuta, joka normaalissa hakkuussa poistettaisiin jo ennakoraivauksessa. Tämän takia tutkimuksen tulokset eivät ole suoraan sovellettavissa ainespuun korjuuseen.

## 4.2 Tuottavuus

Metsätyössä esiintyy kahdenlaista tuottavuutta, pinta-alakohtaista ja tilavuuskohtaista tuottavuutta. Puunkorjuussa on totuttu mieltämään tuottavuuden yksiköksi kuutiometriä tunnissa, kun puolestaan metsänhoidossa yleinen yksikkö on tuntia hehtaaria kohden. Siksi koneelle, jota verrataan metsuriin, on syytä laskea erilaisia tuotoksia:

- hakkuun tuottavuus, m<sup>3</sup>/h
- hakkuun tuottavuus ilman raivausta, m<sup>3</sup>/h
- hakkuun ja raivauksen tuottavuus, ha/h
- koneraivauksen tuottavuus, ha/h.

Käsittelyn yksinkertaistamiseksi raivaus käsiteltiin työvaiheena, joka on täysin riippumaton muista työvaiheista. Tällöin poistamalla raivausaika kokonaisuudesta voidaan hakkuu mieltää tehdyksi valmiiksi raivatulla kohteella. Kun verrataan hakkuun tuottavuuksia (m<sup>3</sup>/h) koeruutukohtaisesti, voidaan todeta, että raivauksen kanssa hakkuun tuottavuus laskee raivauksen osuuden suhteessa. Tämä johtuu laskutavasta. Käsittelemällä raivausaikaa yksinään päästään laskemaan koneraivaukselle tuottavuus ja siten hinta.

Koeruutukohtaiset koneen raivaus- ja hakkuutuotokset määritettiin koeruudun ajanmenekin ja koeruudun pinta-alan avulla tai koeruudulta hakatun rangan tilavuuden avulla. Kuitenkin ruudut ovat aina eroavaisia, eikä tuottavuuksien vertailu onnistu kunnolla. Sen takia tarkempia vertailuita varten on syytä muodostaa yhtenevät runkolukusarjat, esimerkiksi kaikkien vertailtavien kuviodien runkolukusarjat yhdistämällä. Tällöin muodostuu suurempi laskennallinen koeruutu, jolla puusto-olosuhteet ovat yhtenevät. Alkuperäisen koeruudun vaikutukset ajanmenekkiin kuitenkin seuraavat myös yhdistetylle ruudulle yhdistämisen tasatessa puuston koeroista johtuvia tuottavuseroja.

Yhdistetyllä runkolukusarjalla laskentaa varten kunkin koeruudun puustolle laskettiin rinnankorkeusläpimitasta riippuvat yhden puun käsittelyn ajanmenekit. Ennen laskentaa on syytä paneutua eri työvaiheiden luonteeseen. Osa työvaiheista, kuten siirtyminen työpisteiden välillä ei ole riippuvainen kaadettavan puun rinnankorkeusläpimitasta. Samoin voidaan todeta myös hakkuulaitteen viennistä puun tyvelle, apuajasta kuin raivauksestaakin. Näiden työvaiheiden runkokohtainen ajanmenekki voidaan siis laskea jakamalla työvaiheen kokonaisaika ruudulla käsiteltyjen runkojen määrällä. Kaato, karsinta ja katkonta puolestaan ovat riippuvaisia rungon koosta. Sopivaksi malliksi havaittiin luonnollinen logaritmi. Jokaiselle läpimittaluokalle voitiin siis muodostaa runkokohtainen käsittelyajanmenekki jokaiselle koeruudulle.

Koska tutkimuksessa käytetyn hakkuukoneen mittalaite ei pystynyt kuutoimaan joukkokäsiteltyjä rankoja, määritettiin hakatun puuston tilavuus runkolukusarjojen, Näslundin pituuskäyrän ja latvojen keskimääräisen katkaisuläpimitan avulla. Kullekin läpimittaluokalle laskettiin tilavuus, jolloin korjatun puuston tilavuus saatiin kerto- ja yhteenlaskulla.

Metsurin tuottavuus kullakin ruudulla määritettiin metsäalan työehtosopimuksen mukaisesti. Kullekin mitatulle raivauskoealalle laskettiin funktiolla taimikon perkauksen ja harvennuksen tehoajanmenekki ja koeruudun tehoajanmenekki saatiin näiden keskiarvona. Funktiossa tulokseen vaikuttavat poistettavan alikasvoksen tiheys ja katkaisuläpimitta, samoin kuin poistumatyyppi. Metsurin työaika saatiin tehoajanmenekistä kertoimella 1,3. Metsätehossa metsurin työaikaan lisättiin aina kutakin kahdeksan tunnin työpäivää kohti matkakulukorvaukset 40 matkakilometrin osalta.

#### 4.3 Ennako- ja jälkimittaukset

Koeruutujen ennako- ja jälkimittauksissa pyrittiin mahdollistamaan hakkuukoneenkuljettajalle melko vapaa toiminta ruudulla. Siksi maastoon merkittiin vain ruudun keskilinja, jota seuraamalla kuljettaja ei harhau ruudun ulkopuolelle. Tämä linja oli jokaisella ruudulla pidempi kuin lopullinen hakattu ruutu. Koeruutu muodostui ajourasta ja työskentelyalueesta sen molemmin puolin.

Ennen hakkuuta puuston alkutiedot mitattiin tasaisesti keskilinjan molemmin puolin ja keskilinjalle sijoitettujen 50 neliömetrin ympyräkoealojen avulla. Koealoilta mitattiin Masser 2000 GR -mittasaksilla seuraavat tiedot:

- puun rinnankorkeusläpimitta  
alkaen neljän senttimetrin läpimitasta
- puulaji  
eroteltiin mänty, kuusi, koivu ja muu lehtipuu
- koealan juokseva numero.

Näiden koealojen keskipisteet merkittiin maastoon, jotta lopullisen koeruudun ulkopuoliset tiedot voitiin poistaa. Ennakkomittausten yhteydessä mitattiin koeruutujen ja saman kuvion alueelta pituuskoepuita, joiden perusteella muodostettiin Näslundin pituuskäyrä kullekin puulajille. Samaa pituuskäyrää hyödynnettiin myös hakattujen runkojen kuutioinnissa.

Metsurin ennakkoraivaamalla ruuduilla raivauspoistuma mitattiin ennen hakkuuta kun kannot olivat vielä nähtävissä. Metsuri raivasi ruudut leveämmälti kuin kone olisi missään tapauksessa kyennyt hakkaamaan. Tällöin koneenkuljettajalle ei luotu rajaseinää puomin ulottuman etäisyydelle, mikä olisi mahdollisesti vaikuttanut työleveyteen.

Hakkuun jälkimittauksessa mitattiin jälleen kokonaistilavuus, ruuduilla yksi ja kaksi ympyräkoealoilta ja lopuilta ruuduilta koko koeruudun alueelta. Raivattu puusto koneen tekemiltä ruuduilta mitattiin ruuduilla yksi ja kaksi satunnaisesti ruudulle asetetuilta 10 m<sup>2</sup> koealoilta ja lopuilla ruuduilla kymmenen metrin välein toiselle puolelle uraa sijoitetulta vastaavalta koealalta. Kymmenen metrin osissa suoritettu mittaus oli parempi kuin satunnainen, mutta koealoja olisi voinut sijoittaa osuudelle enemmän. Ongelmaksi raivatun puuston mittauksessa osoittautui kuitenkin ennemmin kantojen peittyminen kourakasojen ja hakkuutähteiden alle.

Myös ajouran ja työskentelyalueen leveys mitattiin kymmenen metrin osissa uran keskilinjaa lähimpien puiden etäisyyksinä sekä työskentelyalueen rajojen etäisyyksinä ajouran keskilinjasta. Ajouran pituuden ja eri uranosien keskiarvojen perusteella voitiin määrittää koeruudun kokonaispinta-ala.

Korjuuvaurioiden kartoituksessa merkittiin ylös vaurioituneen puun laji, rinnankorkeusläpimitta, vaurion laatu sekä sen koko, sijainti rungolla ja päätelmä vaurion aiheuttajasta. Vauriot etsittiin koko koeruudun alueelta ja niiden määrää verrattiin kasvamaan jääneiden runkojen määrään. Ajourapainaumia ruuduilta ei ollut tarpeen mitata.



## 5 TUTKIMUSKOHTEET JA -JÄRJESTELYT

Työtapaa tutkittiin kahdella eri leimikolla Luumäellä. Heinäkuussa 2012 hakattiin kaksi erilaista koeruutua koneella näkemäraivaus suorittaen. Elokuussa 2012 hakattiin viisi samankaltaista koeruutua, joilla vertailtiin koneen ja metsurin tekemiä näkemä- ja totaaliraivauksia sekä raivaamattoman kohteen hakkuuta. Lisäksi hakattiin yksi koeruutu koneella raivaten. Ruudut olivat nuoren metsän hoitoa ja niiltä hakattiin energiarankaa joukkokäsittelynä. Ruudut hakattiin esittelyjärjestyksessä.

Kokeet on suoritettu kymmenmetrisellä liikeratakuormaimella varustetulla Valmet 901.2-hakkuukoneella, jossa kourana oli Valmet 945. Kone on MenSe Oy:n tuotekehityskäytössä ja sen kuljettajana toimi kaikissa testeissä sama MenSen konepajan työntekijä. Koneenkuljettajalla ei ollut metsällistä koulutusta, mutta hän on aiemmin toiminut kuormatraktorin kuljettajana ja nyt tarvittaessa MenSen koekuljettajana. Hänen ammattitaitoaan ei siis täysin voi verrata koulutettuun metsäkoneenkuljettajaan. Ennen elokuussa hakattuja Liippikorven koeruutuja hän oli ollut lomalla, eikä ennen koeruutujen aloittamista ehtinyt totuttautua konetyöhön.

### 5.1 Huhtiniemen koeruudut



Kuva 2:Kone työskentelee koeruudulla 1. Raivaustarve vaihteli paljon.

Koeruutu 1 oli männikkö, jossa puuston tilavuus oli 220 m<sup>3</sup>/ha. 86 % tästä oli mäntyä. Männyn keskimääräinen rungon koko oli 140 kuutiodesimetriä. Koeruudulla alikasvoksen tiheys vaihteli paljon, paikoitellen raivaustarvetta ei ollut lainkaan, paikoitellen oli hyvinkin tiheää. Koeruudun pituus oli 96 metriä ja keskimääräinen työleveys 18,0 metriä. Tällöin koeruudun alaksi tuli 1730 m<sup>2</sup>.



Kuva 3: Yleiskuva koeruudusta 2.

Koeruutu 2 oli notkossa sijaitseva koivikko, jonka tilavuus oli  $197\text{m}^3/\text{ha}$ . Tästä 68 % oli koivua. Keskimääräinen rungon koko koivulla oli  $55\text{ dm}^3$ . Koeruudun pituus oli 90 metriä ja keskimääräinen työleveys 16,4 metriä. Koeruudun pinta-ala oli siis  $1480\text{ m}^2$ .

## 5.2 Liippikorven koeruudut

Koeruudut 3, 5, 6, 7 ja 8 olivat melko samankaltaista männikköä. Näiden ruutujen kesken oli mahdollista luoda työtapaverrokkioalat. Ruuduilla tutkittiin näkemä- ja totaaliraivausta koneen ja metsurin suorittamina sekä hakkuuta täysin raivaamattomalla ruudulla.

Koeruudulla 3 tilavuus oli  $159\text{ m}^3/\text{ha}$ , josta 91 % oli mäntyä. Ruutu hakattiin koneella näkemäraivaus tehden. Keskitilavuus oli  $73\text{ dm}^3$ . Ruudun pituus oli 67 metriä, keskimääräinen työleveys ruudulla 17,0 metriä eli ruudun pinta-alaksi tuli  $1138\text{ m}^2$ .

Koeruudulla 8 tilavuus oli  $145\text{ m}^3/\text{ha}$ , josta 79 % oli mäntyä. Ruudulla tehtiin totaaliraivaus koneella. Mäntyjen keskitilavuus oli 67 kuutiodesimetriä. Ruudun pituudeksi tuli 67 metriä, keskimääräiseksi työleveydeksi 18,6 metriä ja pinta-alaksi tuli näin  $1248\text{ m}^2$ .



Kuva 4: Koeruutu 5 ennakkoraivauksen jälkeen.

Koeruudulla 5 tilavuus oli  $176 \text{ m}^3/\text{ha}$ , josta 89 % oli mäntyä. Metsuri raivasi ruudun näkemäraivauksena. Mäntyjen keskimääräinen tilavuus oli  $85 \text{ dm}^3$ . Ruudun pituus oli 54 metriä, keskileveys 18,5 metriä ja pinta-ala siten  $1000 \text{ m}^2$ .

Koeruudulla 6 tilavuus oli  $206 \text{ m}^3/\text{ha}$ , josta 91 % oli mäntyä. Metsuri totaaliairaivasi ruudun. Mäntyjen keskitilavuus oli  $83 \text{ dm}^3$ . Ruudun pituus oli 47,5 metriä, työleveys 18,0 metriä ja pinta-ala siten  $854 \text{ m}^2$ .

Ruuduilla kuusi ja viisi ei alikasvosta ollut kovinkaan tasaisesti. Päädettiin siihen, että metsuri teki ruudusta viisi näkemäraivatun ja poisti ruudulta kuusi sen vähänkin alikasvoksen, jotta koneen työskentelyolosuhteista saataisiin hyvät. Siten mitattuja alikasvoksen tiheystietoja ei voi tutkimuksessa järkevästi hyödyntää.

Koeruudulla 7 tilavuus oli  $204 \text{ m}^3/\text{ha}$ , josta 81 % oli mäntyä. Ruutu hakattiin raivaamattomana ja ilman raivauslaitetta. Mäntyjen keskimääräinen tilavuus oli  $92 \text{ dm}^3$ . Ruudun pituudeksi tuli 62,5 metriä ja leveydeksi 16,6 metriä. Pinta-alaksi tuli siten  $1036 \text{ m}^2$ .

Koeruutu 4 oli mäntyvaltaista sekametsää, jonka tilavuus oli  $244 \text{ m}^3/\text{ha}$ , josta 62 % oli mäntyä, 14 % kuusta ja 23 % koivua. Männyn keskitilavuus oli  $67 \text{ dm}^3$  ja koivun  $170 \text{ dm}^3$ . Ruudun pituus oli 39 metriä ja keskimääräinen työleveys 18,6 metriä. Pinta-alaksi tuli siten  $725 \text{ m}^2$ . Koeruutu rajoittui tiehen, millä saattoi olla vaikutusta työleveyteen ja ajanmenekkiin. Ruudulla tutkittiin näkemäraivausta koneella.

TAULUKKO 1 Koeruutujen puustotiedot.

	<i>Huhtiniemi</i>				<i>Liippikorpi</i>				
	Kone näkemä				kon tot	met näk	met tot	raivaamt	
	1	2	4	3	8	5	6	7	
<b>ppa (alku)</b>	32	32	42	35	27	30	35	34	m <sup>2</sup> /ha
<b>ppa (loppu)</b>	13	11	20	16	16	13	16	17	m <sup>2</sup> /ha
<b>klpm (poistuva)</b>	13,6	10,7	12,0	11,5	11,7	11,7	12,6	12,2	cm
<b>klpm (jäävä)</b>	15,8	12,3	15,2	14,6	15,5	13,8	15,0	15,0	cm
<b>rl (alku)</b>	3365,7	6431,5	6598,1	4498,7	3878,9	4065,5	4332,1	4148,8	r/ha
<b>rl (loppu)</b>	899,7	1374,6	1489,7	1221,0	985,2	1130,5	1065,3	1187,0	r/ha

TAULUKKO 2 Koeruuduilta hakatun puuston tietoja. (Metsäteho )

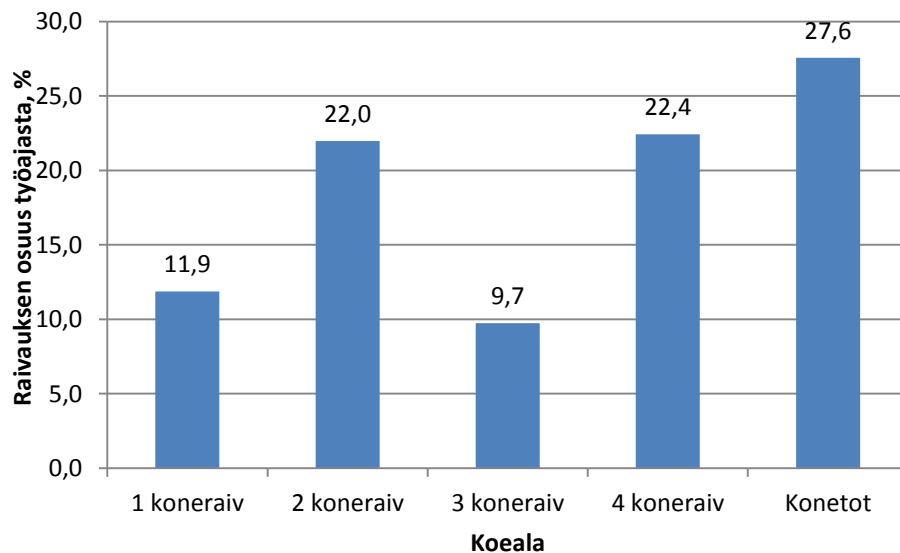
	<i>Huhtiniemi</i>				<i>Liippikorpi</i>			
	näkemäraivaus				kone tot	met näk	met tot	ei raiv
	1	2	4	3	8	5	6	7
<b>Hakatun puuston keskitilavuus, dm<sup>3</sup></b>	65	30	46	39	49	39	49	44
<b>Puulajisuhteet, %</b>								
<b>Mänty</b>	63	5	30	85	74	68	82	78
<b>Kuusi</b>	26	12	46	13	13	25	9	16
<b>Koivu</b>	11	70	24	2	12	6	9	6
<b>Muu lehtipuu</b>		13						
<b>Korjattuja runkoja, kpl</b>	293	432	195	310	215	296	229	281
<b>Taakkoja, kpl</b>	189	220	110	169	134	142	130	150
<b>Taakan keski-koko, kpl</b>	1,55	1,96	1,79	1,83	1,6	2,08	1,76	1,87
<b>Rankatilavuus yht., m<sup>3</sup></b>	19,4	14	9	11,9	10,5	11,1	11	12,3

## 6 TULOKSET

Aikatutkimuksessa kuljettajan työaika jaettiin seuraaviin työvaiheisiin:

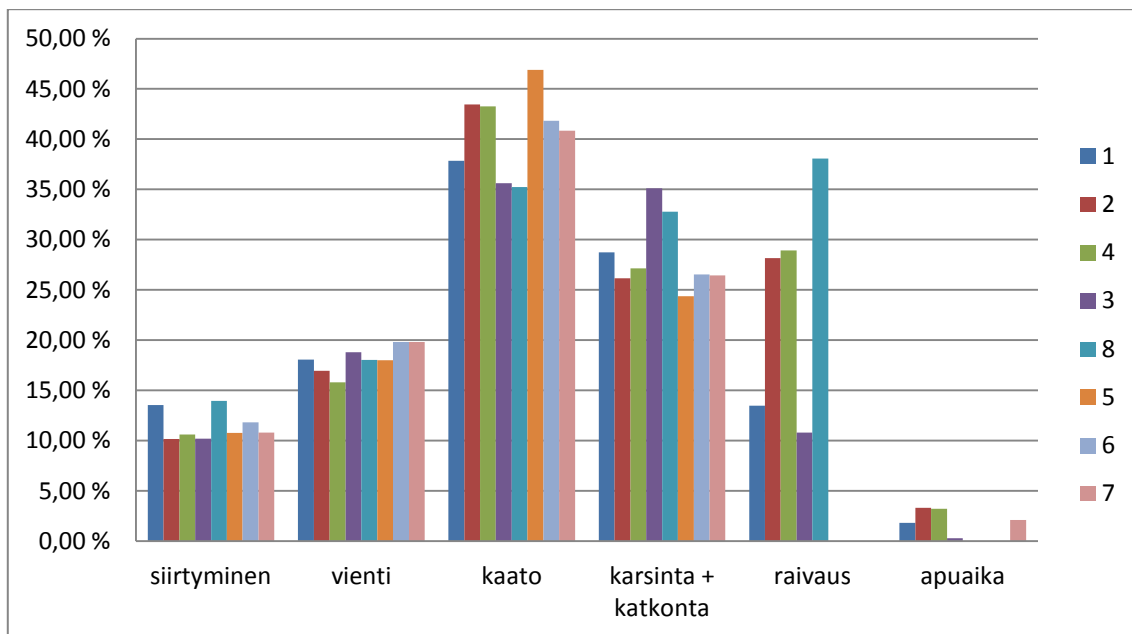
- koneen siirtäminen työpisteeltä toiselle
- kouran vienti poistettavalle puulle
- kaato
- karsinta ja katkonta
- latvan käsittely
- raivaus sekä
- apuaika
- keskeytysaika.

Latvan käsittelyä tehtiin hyvin vähän ja vain kolmella ruudulla, joten se yhdistettiin samankaltaisen karsinta- ja katkontavaiheen alle. Keskeytysaika jätettiin tutkimuksessa huomioimatta ja korvattiin kertoimilla. Metsäteho Oy:n tuottamat kuviot on merkitty kuvioteksteihin.



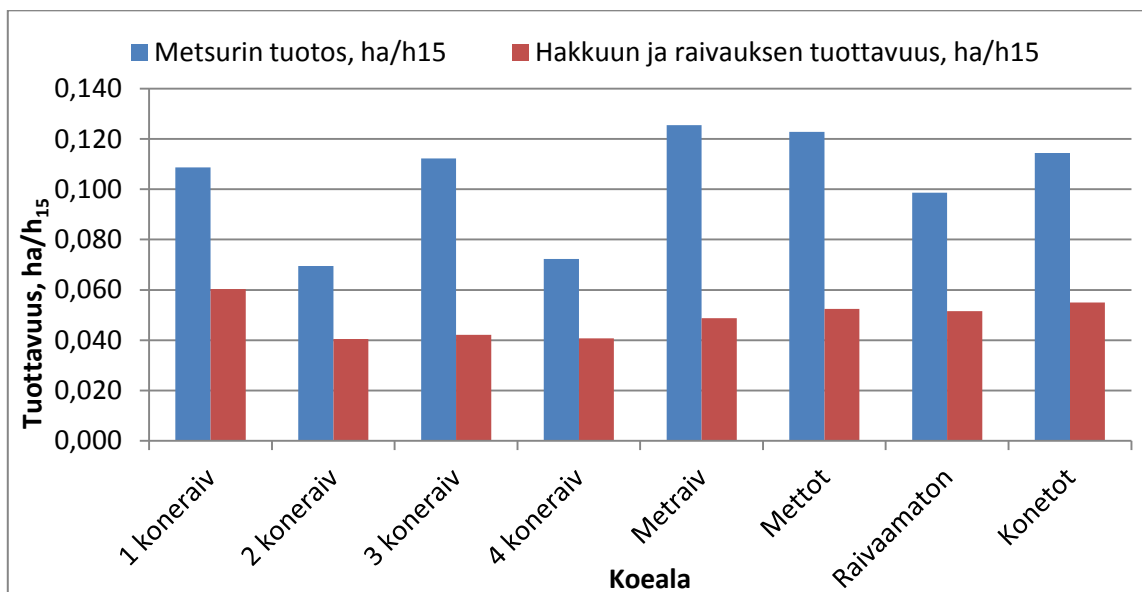
Kuvio 2: Raivauksen osuus koneen työajasta.

Raivauksen osuudet koneen työajasta on esitetty kuviossa kaksi. Näkemäraivauksessa osuus vaihteli 9,7 prosentista 22,4 prosenttiin. Totaaliraivauksessa osuus nousi 27,6 prosenttiin. Totaaliraivauksessa poistuvaa alikasvosta oli suunnilleen yhtä paljon kuin ruudulla kolme, eli totaaliraivaus vie työaika huomattavasti enemmän kuin näkemäraivaus.



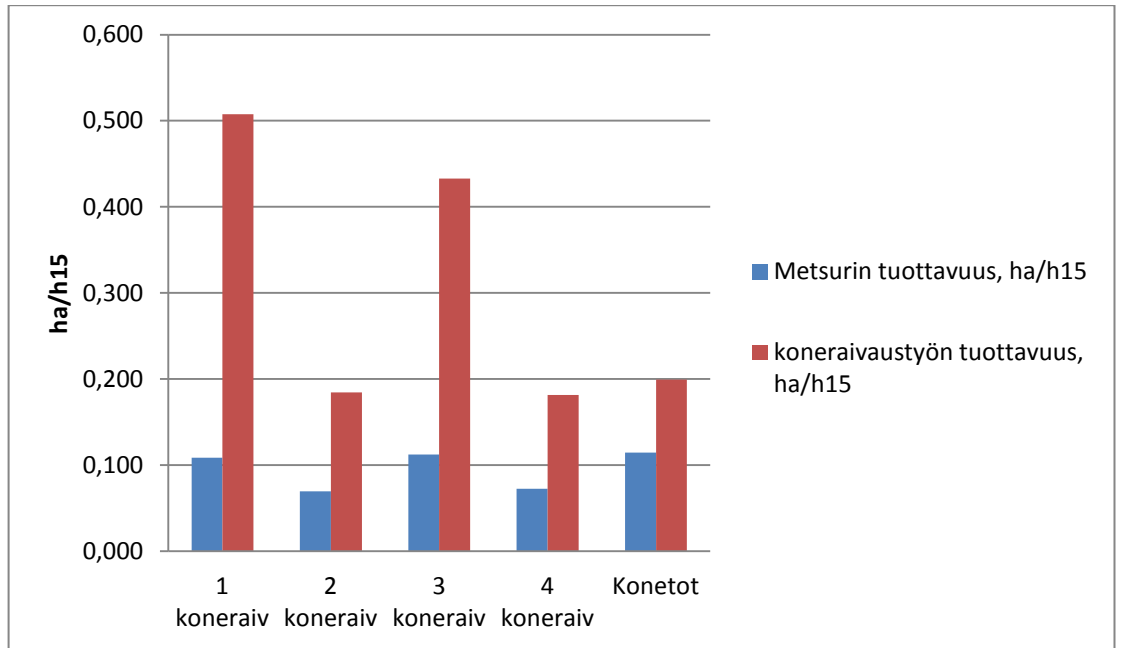
Kuvio 3: Ajanmenekki työvaiheittain eri ruuduilla.

Kuviossa kolme on esitetty ajanmenekit suhteutettuna hakkuutyöhön. Hakkuun yhteydessä suoritettu raivaus ei merkittävästi vaikuta muiden työvaiheiden ajanmenekkien suhteisiin. Vaihtelu on miellettävä enemmän puuston kokoeroista kuin raivauksesta johtuvaksi.



Kuvio 4: Metsurin ja koneen käyttötuntituottavuus, ha/h<sub>15</sub> (Metsäteho Oy).

Kuviossa neljä on kuvattu koneen käyttötunnissa hakkaaman alan pinta-ala. Vastaavasti on kuvattu metsurin käyttötuntituotos. Tuottavuuden käänteisarvo on ajanmenekki. Kertomalla koneen ajanmenekki raivauksen osuudella, voidaan määrittää itse raivaustyön määrä ja hinta.



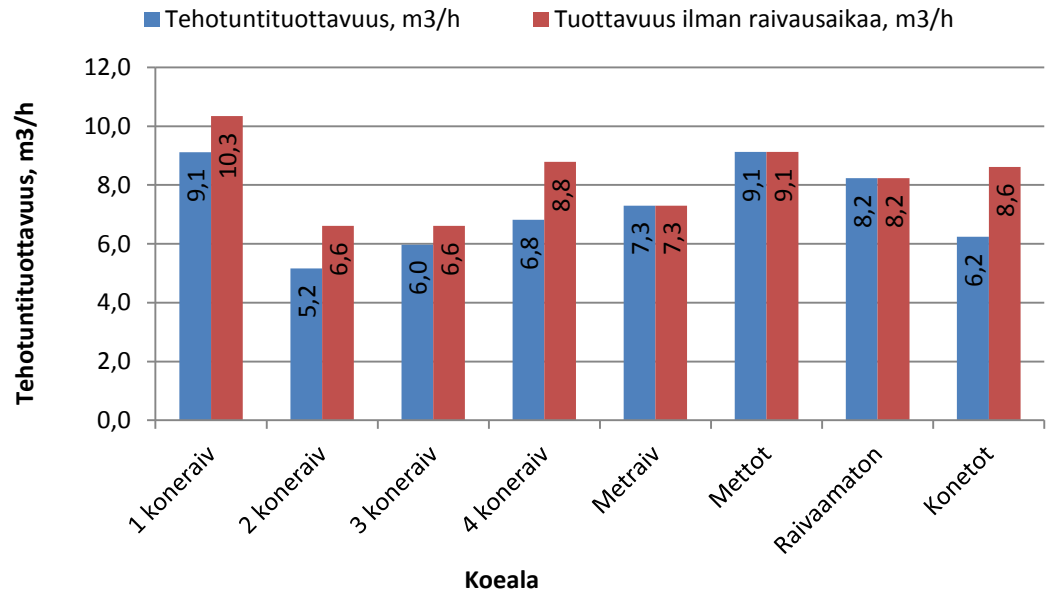
Kuvio 5: Kone- ja metsuriraivauksen käyttötuntituottavuus.

Kuviossa viisi on esitetty koneen ja metsurin suorittaman raivauksen tuottavuus. On nähtävissä, että kaikilla näkemäraivauskohteilla metsurin tuottavuus on alle puolet koneen tuottavuudesta. Totaaliraivauksessa tuottavuus on yli puolet kone-raivauksesta.

TAULUKKO 3 Raivauskustannukset koeruuduilla (Metsäteho Oy).

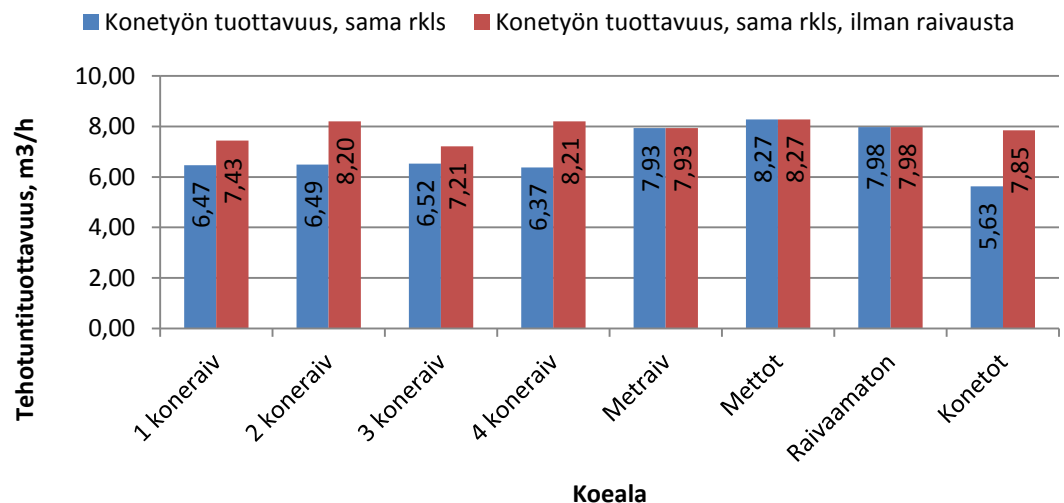
	<i>Huhtiniemi</i>				<i>Liippikorpi</i>			
	1 kone-raiv	2 kone-raiv	3 kone-raiv	4 kone-raiv	5 Met näk	6 Met tot	7 Raivaamaton	8 Kone tot
<b>poistuma m3/ha</b>	112	94	105	124	111	129	118	84
<b>Raivatun puuston tiheys, kpl/ha</b>	2191	7556	5571	9000	6333	5333	6571	5000
<b>Raivatun puuston keskiläpimitta, cm</b>	3,3	3,9	3	3,5	1,8	2,7	3,0	3
<b>Raivaustyön ajanmenekki, h15/ha</b>	9,2	14,4	8,9	13,8	8,0	8,1	10,1	8,7
<b>Metsuriraivauksen kustannus, €/ha (30 €/h)</b>	294	461	285	443	255	260	324	280
<b>Metsuriraivauksen kustannus, €/ha (35 €/h)</b>	340	533	329	512	295	301	375	323
<b>Kone-raivauksen kustannus, €/ha (70 €/h)</b>	138	380	162	386				351
<b>Kone-raivauksen kustannus, €/ha (80 €/h)</b>	158	434	185	441				401

Taulukossa kolme on esitetty koeruuduille lasketut metsurin raivausajamenekit sekä raivaushinnat koneelle ja metsurille kahden eri taksan mukaan. Taulukosta nähdään, että koneella suoritettu näkemäraivaus on kaikilla kohteilla metsurityötä edullisempaa. Totaaliraivauksessa kone voidaan todeta metsuria kalliimmaksi.



Kuvio 6: Hakkuun tuottavuus koealoilla (Metsäteho Oy).

Raivauksen johdosta hakkuukoneen tuottavuus luonnollisesti alenee. Kuviossa kuusi on esitetty eri ruuduilta lasketut tehotuntuottavuudet sekä raivaten että ilman raivausajan huomioimista. Tuottavuuden alenema on ruuduilla raivauksen osuus työajasta. Koneen totaali-raivaus vaikuttaa epäuskottavan tehokkaalta molemmilla tavoilla laskettuna. Konderaivaus 3 puolestaan kärsinee vielä totuttelevasta kuljettajasta.

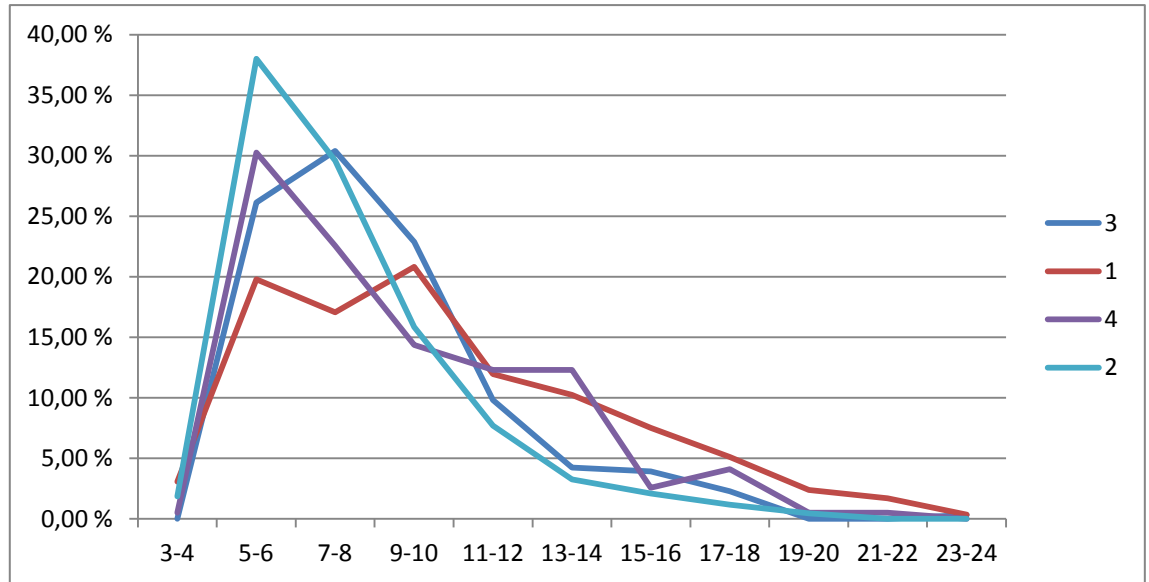


Kuvio 7: Hakkuun tuottavuus samalla runkolukusarjalla (Metsäteho Oy).



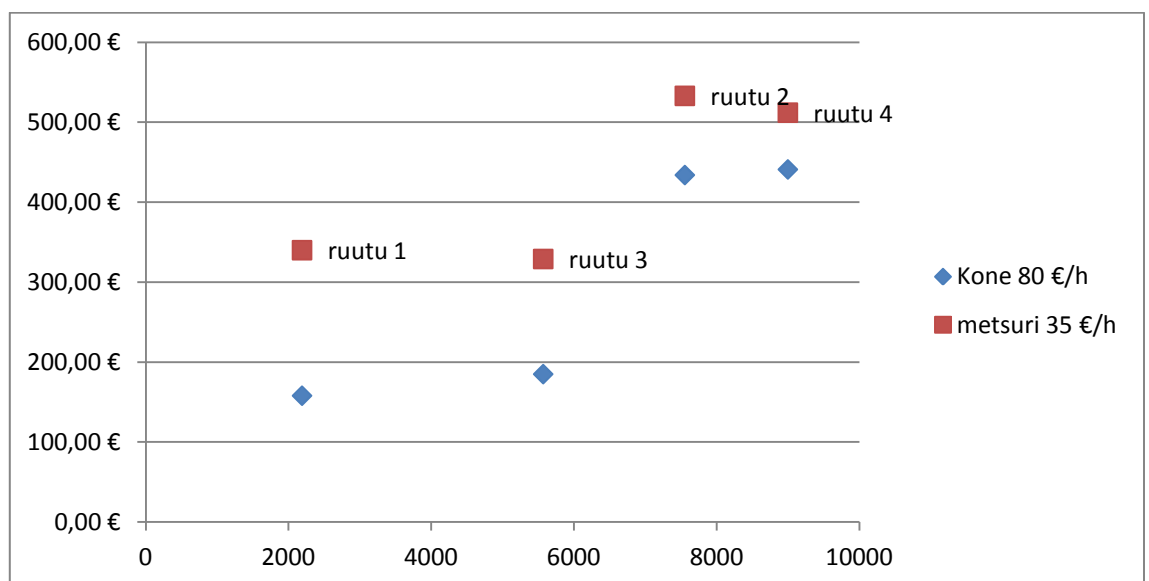
Kuviossa seitsemän on esitetty hakkuun tehotuntituottavuus. Edelleen, yhtenevällä sarjalla myös 3. ruudun pitäisi olla samalla tasolla ilman raivausta. Näin ei kuitenkaan ole. Ruudulla yhden puun käsittely on siis ollut hitaampaa.

### 6.1 Näkemäraivaus



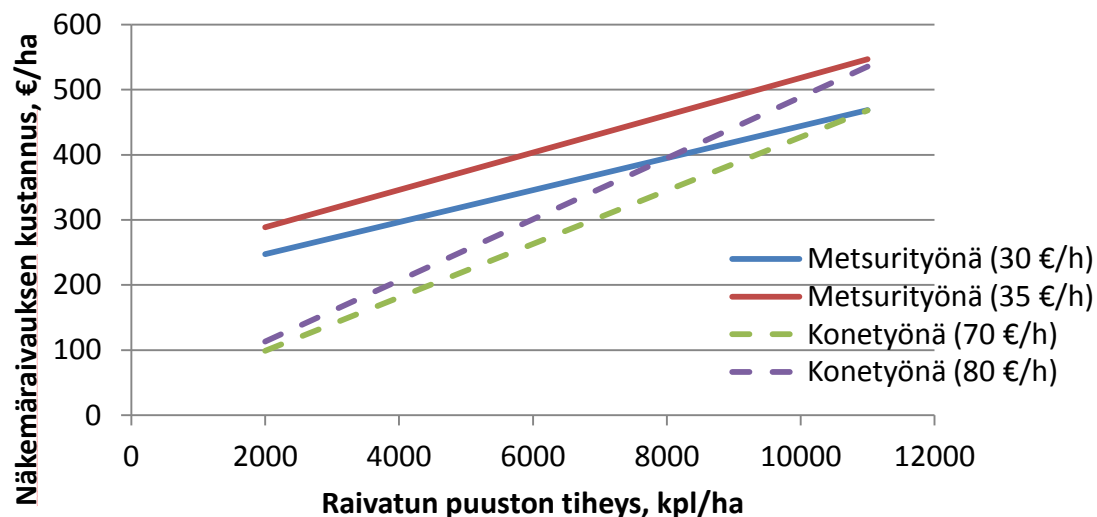
Kuvio 8: Koneella näkemäraivattujen ruutujen poistetun puuston läpimittajakauma.

Kuviossa kahdeksan on esitetty näkemäraivauskoeruutujen läpimittajakaumat. Jakaumissa esiintyy vaihtelua eli olosuhteissa on eroa muutenkin kuin alikasvoksen määrän suhteen. Ruutu yksi oli normaali ensiharvennus, muut nuoren metsän hoitoa.



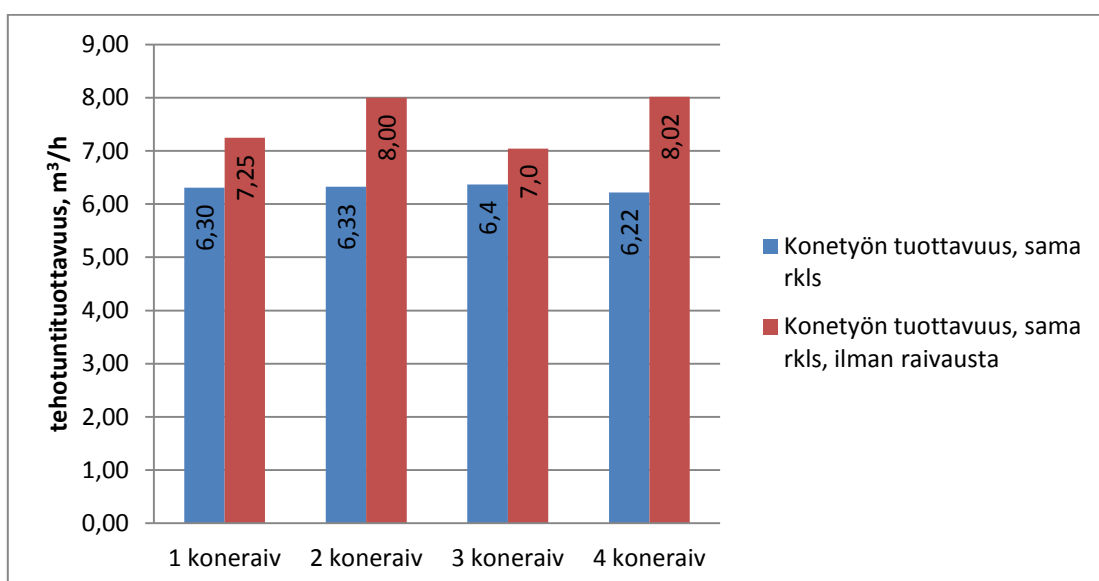
Kuvio 9: Näkemäraivauksen hehtaarikustannukset (Metsäteho Oy).

Näkemäraivaukselle lasketut kustannukset eivät nouse likimainkaan tasaisesti, kuten voidaan todeta kuviosta yhdeksän. Ruuduilla yksi ja kolme kustannukset ovat sekä koneella että metsurilla likimain samat, vaikka alikasvosta on ruutu kolmella 2,5-kertaisesti. Samoin ruuduilla kaksi ja neljä kustannus jopa laskee tiheyden kasvaessa.



Kuvio 10: Metsurin ja koneen raivauskustannukset €/ha (Metsäteho Oy).

Metsurin ja koneen raivauskustannuksista muodostettiin lineaariset mallit, jotka on esitetty kuviossa kymmenen. Aineiston epätasaisuudesta ja pienuudesta johtuen malli on vain suuntaa antava, mutta siitä voidaan tehdä päätelmiä. Mallit leikkaavat noin 11 000 poistettavan rungon kohdalla. Tällöin koneella suoritettu raivaus olisi halvempaa kohteilla, joilla raivatavaa on tätä vähemmän.

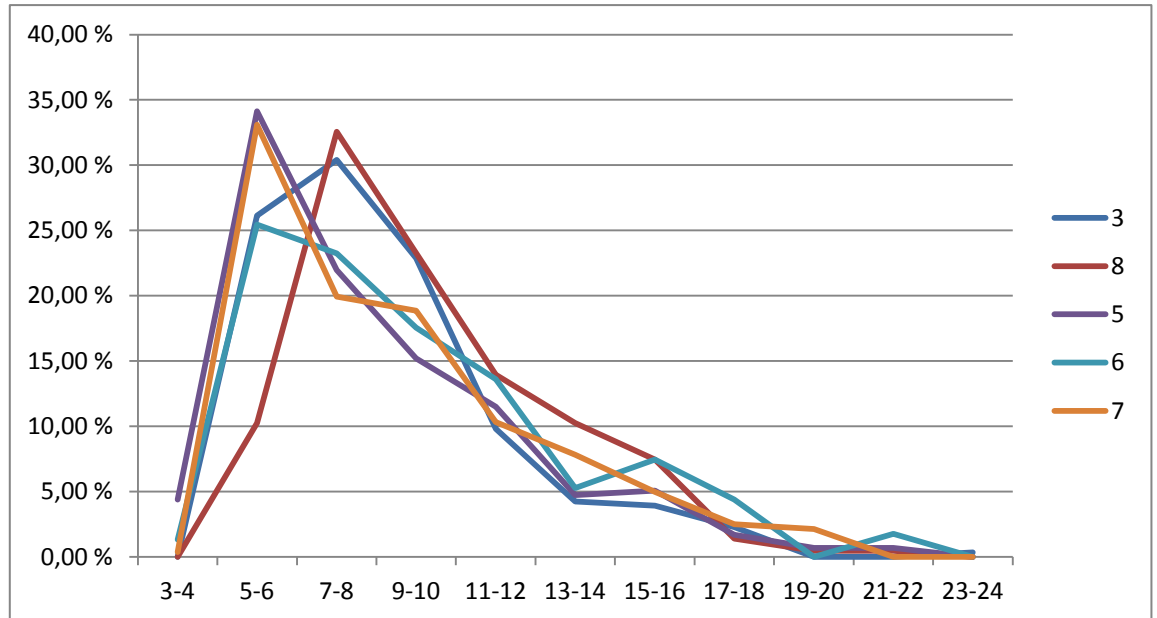


Tuottavuuden alenema, %      **13,0**      **20,9**      **9,6**      **22,4**

Kuvio 11: Koneityön tuottavuus samalla runkolukusarjalla, näkemäraivaus.

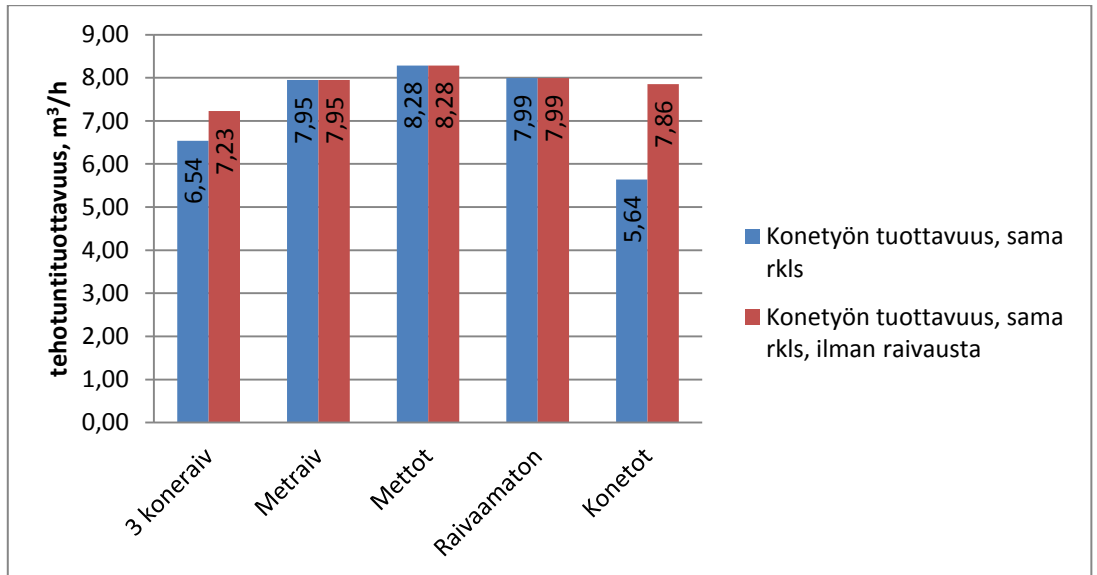
Yksittäisellä koeruudulla tuottavuuden alenema raivauksen johdosta on yhtä suuri kuin raivauksen osuus työajasta. Koska sama runkolukusarja taasaa puustosta johtuvia tuottavuuseroja, on eron löydyttävä muista seikoista, kuten puutteellisesta valmistautumisesta kokeeseen.

## 6.2 Vertailukoesarja



Kuvio 12: Vertailuruutujen poistetun puuston läpimittajakauma.

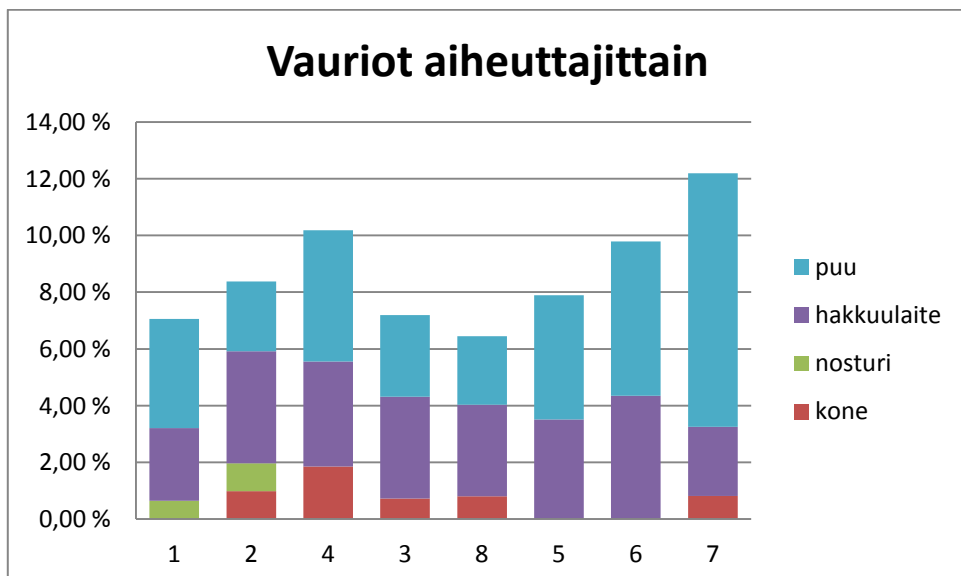
Poistettujen puiden läpimittajakaumat, jotka on esitetty kuviossa 12, ovat hyvin yhtenevät ruutua kahdeksan huomioon ottamatta. Koneen totaali-raivaamalla ruudulla oli pientä, läpimitaltaan viidestä kuuteen senttimetristä puuta selvästi vähemmän kuin muilla ruuduilla. Yhdistettynä pienempään hakkuun jälkeiseen tiheyteen ja ruudulta saatuun pienempään saantoon voidaan olettaa, että todellisuudessa koneella suoritettu totaliraivaus olisi vielä kalliimpaa kuin testin tulos kertoo. Vastaavissa olosuhteissa itse hakkuutyön ajanmenekki kasvaisi, samoin kuin raivauksen ajanmenekki, koska tiheämmän puuston välissä raivaaminen vaatii suurempaa tarkkuutta.



Kuvio 13: Konetyön tuottavuus vertailuruuduilla yhtenevillä runkolukusarjoilla.

Konetyön tuottavuus ilman raivausta tasoittuu vertailukoearjassa yhtenevällä runkolukusarjalla muiden kuin koneen näkemäraivausrudun osalta. Minkäänlaista totuttelua ei siis ollut takana. Mahdollisella hitaammalla työtahdilla ei ole vaikutusta raivaustyön hintaan: työskentelyn nopeutuessa raivauksen todellinen ajanmenekki tuskin kasvaa. Raivauksen osuus työajasta kasvaa lyhenemisen myötä, mutta vaikutus poistuu pinta-ala tuottavuuden kasvaessa.

### 6.3 Korjuujälki



Kuvio 14: Puustovauriot koeruuduilla.

Metsäkeskukset tekevät harvennuskohteiden korjuujäljen tarkastuksia vuosittain. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion koostamissa tuloksissa vuoden 2010 energiapuuharvennusten keskimääräinen vauriomäärä oli 5,4

%, vuonna 2009 puolestaan 6,3 %. Millään koeruudulla korjuujälki ei ole edes keskiarvoista, kuten voidaan todeta kuviosta 14. Metsäkeskusten välinen vaihtelu tosin oli vuonna 2010 Etelä-Savon 1,9 prosentista Häme-Uusimaan 14,9 prosenttiin. (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2011, Korjuujäljen valtakunnalliset tarkastustulokset 2010, 20.)

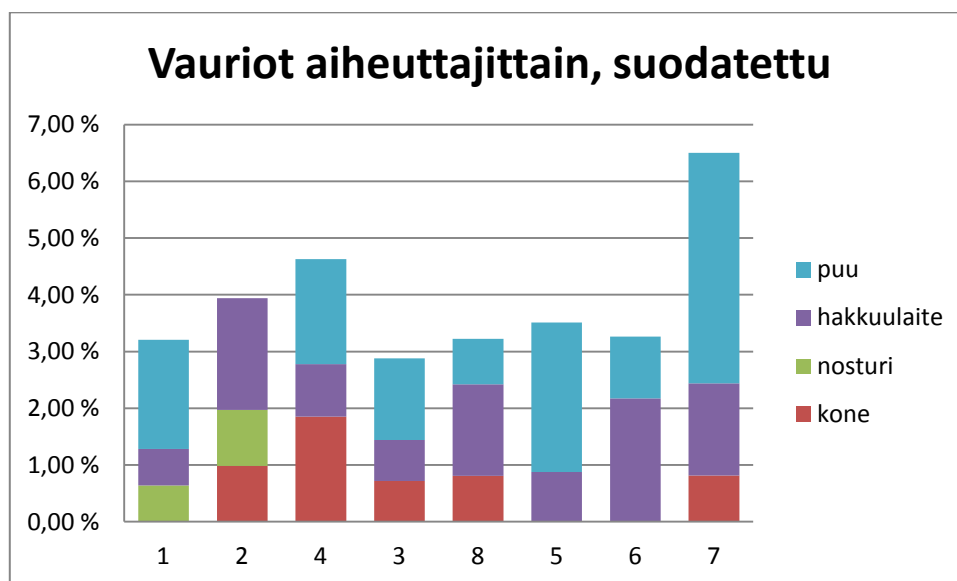
Yleisesti on todettu, että ennakkoraivaus vähentää korjuussa syntyviä vaurioita (Metsäteho 2001). Kokeen tulokset eivät ole linjassa tämän kanssa. Vertailukokeissa metsurin raivaamalla ruuduilla kuusi ja seitsemän vaurioita oli jopa 1,5 ja 2,5 prosenttiyksikköä enemmän kuin koneella näkemä-raivatulla ruudulla kolme.

Vauriot altistavat vaurioituneen puun hyönteis- ja sienituhoille, minkä lisäksi usein aiheutuu puun kasvaessa laatuhäviöitä. Tämän takia korjuujälkeen on harvennuskohteilla kiinnitettävä erityistä huomiota. Millään koeruudulla vauriopuiden määrä ei alita sertifiointin mukaista neljää prosenttia jäävästä puustosta.

Hakkuukokeet suoritettiin heinä- ja elokuun aikana, eli kuorivauroiden syntymiselle aika oli otollinen kuoren irrotessa puusta herkemmin. Lisäksi vauriotietoja tarkasteltaessa on huomioitava, että vauriokartoitus on suoritettu ennen metsäkuljetusta.

Valtaosan vaurioista on aiheuttanut puu kaatuessaan tai toista puuta päin syötettynä tai hakkuulaite puuta toisen vierestä poimittaessa. Yhtään raivauslaitteen aiheuttamaa vauriota koeruuduilta ei löytynyt.

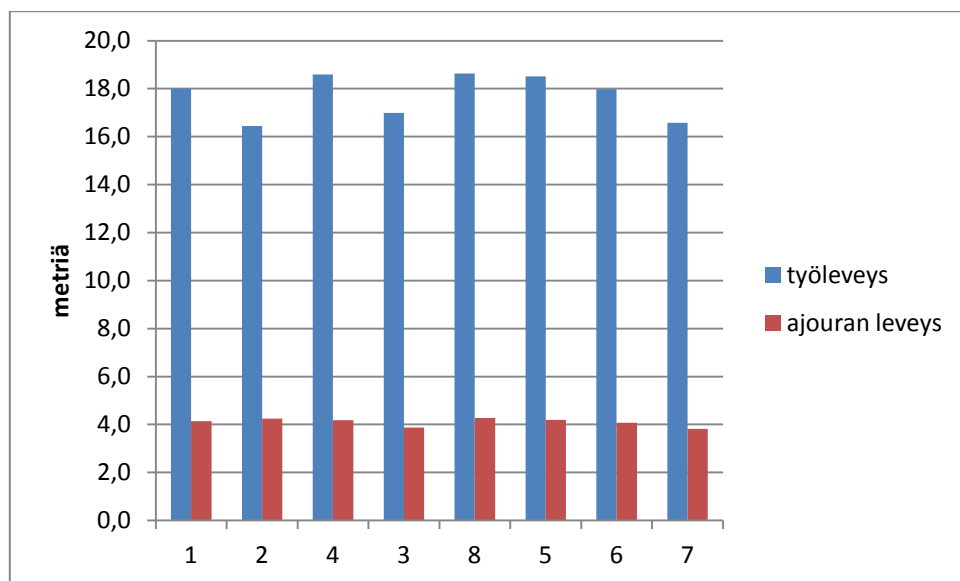
Korjuujäljen tarkastuslomakkeiden avulla oli mahdollista siivota aineistosta virheiden aiheuttamia pienempiä vaurioita, kuten kaadettavan puun poiminnassa tai puuta päin syöttämisestä johtuvia vaurioita.



Kuvio 15: Suodatetut puustovauriot koeruuduilla

Kuviossa 15 esitetty suodatettu vaurioaineisto on parempi. Näkemäraivauskoealoista 2 ja 4 erottuvat suuremmilla vauriomäärillään, jälkimmäinen on vielä yli 4 prosenttia. Tiheällä kohteella on siis raivauslaitteesta huolimatta odotettavissa huonompi korjuujälki.

Metsurin raivaamalla verrokkikoealoilla vaurioita on edelleen enemmän kuin koneen raivaamalla ruuduilla. Ennakkoraivaus voi aiheuttaa työtahdin paranemisen myötä kokemattomalla kuskilla enemmän korjuuvaurioita: vauhdin kasvaessa myös virheet lisääntyvät. Verrokkikoealoista parhaan ja huonoimman ero on kuitenkin vain puoli prosenttiyksikköä, eli pitkälle meneviä johtopäätöksiä on hankala tehdä. Koneen totaaliraivaaman ruudun analysointi kärsii tässäkin epätasaisesta aineistosta. Jos ruudun lopputiheys olisi ollut vastaava kuin muilla verrokkiruuduilla, olisi vaurioitakin enemmän. Toisaalta moni muutoin jätettävä puu on mahdollisesti poistettu pahojen vaurioiden takia.



Kuvio 16: Ura- ja työleveydet koeruuilla

Koeruuilta mitatut ura- ja työleveydet on esitetty kuviossa 16. Työleveys on koeruuilla parhaimmillaan siellä, missä näkyvyys on ollut hyvä. Kuitenkaan millään ruudulla työleveys ei saavuttanut 20 metrin ajouravälitavoitetta. Pehmeällä ruutu kahdella tämä on ymmärrettävää, mutta muualla maan kantavuuden ja siten koneen vakauden puolesta olisi ollut edellytykset tavoitteen täyttämiseen. Tavoiteleveys olisi ollut mahdollista saavuttaa pieniä pistouria tekemällä, mitä koneenkuljettaja ei tehnyt.

Vertailuruuduilla parhaat tulokset saatiin koneen totaaliraivauksesta ja metsurin näkemäraivauksesta. Koneen totaaliraivaamalla ruudulla kahdeksan alkupohjapinta-ala on matalampi kuin ruudulla kolme. Samoin jäävä runkoluku on yli viidesosan pienempi. Tällöin suurempi työleveys on helpompi saavuttaa.

Tapion korjuujäljen seurannassa energiapuuharvennusten keskimääräinen ajouraväli on ollut hieman yli 20 metriä. Ajourien leveys on puolestaan

noin 4,3 metriä, kun suositusten yläraja on 4,5 metriä. Ajourien leveys koeruuduilla oli noin neljä metriä, raivaamattomalla ruudulla jopa alle, eli ajourien osalta työn laatu on hyvä kaikilla ruuduilla.

### 6.4 Raivaustyön laatu

Raivauslaitteella kaadetun puun kannon korkeus on silmämääräisesti arvioituna useimmiten 20–30 senttimetriä. Metsurit kaatavat puut ennakkoraivauksessa huomattavasti lyhyempään kantoon, useimmiten lähes maanmyötäisesti. Paikoitellen koneella raivattuja puita löytyi puutavarakasojen päältä. Näin ei saa tapahtua, koska se vaikuttaa lähikuljetuksen tuottavuuteen.

Metsurin raivaamien koeruutujen puusto oli tiheää. Näkemäraivauksessa ohjeistetaan poistamaan poistettavan puun juurelta hakkuuta haittaava puusto metrin etäisyydeltä. Tämän takia näkemäraivausruutu tuli käytännössä kauttaaltaan raivatuksi ja kaatamattomia puita oli vain paikoitellen.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen mukaan näkemäraivaus MenSe RT-25 -raivauslisälaitteella on kannattavaa, kun raivauksessa poistuvaa puustoa on vähemmän kuin 11 000 runkoa hehtaarilla ja metsurin taksa on 35 euroa tunnissa ja koneen 80 euroa tunnissa. Eri taksojen leikkauspisteitä voidaan tarkastella kuviosta yhdeksän: metsuri on suorien leikkauspisteen ylittävillä tiheyksillä halvempi.

Tutkimuksen perusteella voidaan myös todeta, että koneella ei kannata tehdä muuta kuin näkemäraivausta. Totaaliraivaus koneella on työläjina kannattamaton, koska hakkuulaite joudutaan viemään puuston seassa sellaisiin paikkoihin, joihin sitä ei hakkuun takia tarvitsisi viedä. Tämä lisää ajanmenekkiä ja aiheuttaa riskin suuremmista korjuuvaurioista.

Näkemäraivauksen osalta korjuuvaurioista voidaan todeta, että puuston ja alikasvoksen tihentyessä myös korjuuvaurioiden määrä lisääntyy. Tämä on luonnollista ja toistuu myös muilla menetelmillä. Tutkimuksessa vertailu perinteisiin menetelmiin kuitenkin tuotti tuloksen, joka oli ennakkoodotuksen vastainen. Tutkimuksen mukaan korjuuvauriot lisääntyvät kun kohde on raivattu ennakkoon, eli tulokseen on syytä suhtautua varauksellisesti. On kuitenkin mahdollista, että hieman kokematon kuljettaja on hakanut ennakkoraivatuilla ruuduilla liian nopeasti taitotasoonsa verrattuna. Metsurin raivauksen lopputuloksien samankaltaisuuden vuoksi on todettava, että työmallit eivät ole erotettavissa selkeästi näkemä- ja totaaliraivaukseksi. Toisen ennakkoodotus, eli raivaamattoman kohteen korjuuvauriot olisivat suurimmat, puolestaan toteutui.

Tutkimuskohteilla ei saavutettu 20 metrin työleveyttä ja siten uraväliä, jota on pidetty harvennushakkuilla hyvän laadun vähimmäisarvona. Valtakunnallisesti 20 metrin työleveys on saavutettu myös energiahakkuilla. Ennakkoraivaamattomuus vaikuttaa työleveyteen, mutta tutkimuksessa työleveyttä kavensi eniten kokematon kuljettaja ja kevyehkö alustakone. Oma vaikutuksensa työleveyteen on varmasti myös raivauslaitteen myötä lisääntyneellä hakkuulaitteen painolla. Tutkimuksessa uraleveys oli keskimääräinen kaikilla ruuduilla, raivauksella ei siten ole siihen merkittävää vaikutusta.

Tutkimus on tehty energiaharvennuskohteilla, eli se ei suoraan ole sovellettavissa ainespuun korjuuseen. Energiakohteille on ominaista suuri lähtötiheys, pieni puusto ja se, että raivauksessa poistetaan alle 4-senttimetriset puut. Jos kohteet olisi käsitelty ainespuun hakkuuna, raivattavaa olisi ollut paljon enemmän ja se olisi vaikuttanut tuottavuuteen.

Koneella tehty raivaus eroaa monella tavalla metsurin suorittamasta ennakkoraivauksesta. Suurin ero on, että metsuriraivauksessa pystytään tuottamaan leimikolle paremmat näkyvyysolosuhteet kuin koneraivauksessa. Raivauslaitteella kuljettaja voi raivata työpisteen alueen ja yleisnäkyvyys syntyy vain jo hakatulle alueelle. Hakkuun taktisen suunnittelun kannalta olisi hyvä, että eteenpäin voitaisiin nähdä noin 3–5 työpisteen alueelle,



mutta koneraivauksessa tulee raivatuksi vain seuraavaksi käsiteltävä työpiste ja sitä seuraavan voi suunnilleen asettaa paikalleen. Tämä voi vaikeuttaa esimerkiksi ajouralle sattuvien kivien kiertämistä. (Metsäteho, koneellinen puunkorjuu 2012.)

Raivaustyön laadussakin on eroa koneen ja metsurin välillä. Koneen raivaamien puiden kannot ovat usein jopa 30 senttimetriä korkeita. Lisälaitteen pidemmät kannot selittyvät osin sillä, että pidempi kanto väistää prototyypin kulmikasta muotoa paremmin kuin lyhyt kanto. Toisaalta mikäli jokainen runko kaadetaan maanmyötäisesti, alkaa raivauksen osuus työajasta kasvaa. Pitkästä kannosta voi joskus olla jopa enemmän haittaa kuin raivaamattomasta puusta. Puuta kaataessa ketjuun osuva pitkä kanto voi liikkua ja haitata sahan toimintaa jopa enemmän kuin kouran välissä oleva katkaisematon puu. Pitkä kanto kourakasan seassa puolestaan on huomomin havaittavissa kuin katkaisematon puu ja voi päätyä kuormatilaan täysin huomaamatta. Pelkästään näkyvyyden takia kaadetun puun pitkä kanto puolestaan tuskin haittaa muutoin kuin esteettisesti.

Tarkempaa tutkimusta varten on kerättävä lisätietoa. Kaikki metsurin suorittaman raivauksen hyödyt on hinnoiteltava, tarvitaan myös tarkempaa tietoa ennakkoraivaustyön ajanmenekistä. Esimerkiksi hakkuussa poistettavan puuston tiheyden vaikutus metsurin ennakkoraivauksen tuottavuuteen on arvailujen varassa. Siten tiheän nuoren metsän hoitokohteen ennakkoraivaus voi todellisuudessa olla huomattavasti kalliimpaa kuin tässä tutkimuksessa on työehtosopimuksen perusteella oletettu. Tällöin voi olla, että koneraivaus on kannattavampaa suuremmilla poistumilla kuin tutkimuksen perusteella on voitu laskea. Toisaalta jos ennakkoraivauksen takia parantuneelle näkyvyydelle saadaan hinta, voi koneraivauksen kannattavuusraja siirtyä pienemmille tiheyksille.

Kaikkiaan työtapa vaikuttaa lupaavalta. Koska menetelmä eroaa totutusta huomattavissa määrin, on jatkotutkimus tarpeen. Vertailua erilaisten kohteiden välillä olisi syytä tehdä enemmän, siten kone- ja metsuriraivauksen kustannuksia voitaisiin analysoida tarkemmin. Useiden koeruutujen avulla voitaisiin tutkia koneella suoritettua näkemäraivauksen sekä metsurin tekemien näkemä- ja totaaliraivauksien kustannuksia. Samalla voitaisiin tuottaa tietoa metsurin tuotoksesta näkemä- ja totaaliraivauksessa erilaisissa olosuhteissa. Koneen totaaliraivausta ja raivaamattoman hakkuuta on tuskin syytä tutkia.

Koska kyseessä on uusi työtapa, on syytä myös tehdä tutkimusta raivauslaitteelle parhaiten soveltuvasta työtavasta. Kourakasojen alustojen raivaus on syytä tehdä lyhyeen kantaan ja jo ennen kuin paikalle ryhdytään katkomaan puutavaraa. Näin siksi, että raivattujen puiden päätyminen kasojen päälle voidaan välttää. On siis tarpeen kehittää työmallit raivauslaitteen tehokkaaseen hyödyntämiseen.

Jatkotutkimuksen perusteella on myös syytä kehittää työtavalle sekä puunostajaa että korjuuyrittäjää tyydyttävä, selkeä hinnoittelumalli. Lisälaitteen hankinta ei kiinnosta yrittäjiä ellei siitä saa sopivaa korvausta.

Jatkotutkimuksissa olisi syytä keskittyä kaikkiin potentiaalsiin käyttökohteisiin. Käytännössä tutkimus siis voisi kattaa kaikki erilaiset hakkuuvaihtoehdot energiapuun korjuusta päätehakuuseen. Tiheällä ensiharvennuskohteella joudutaan raivaamaan runsaasti, koska myös poistettavat rungot ovat tiheässä. Myöhemmällä harvennuksella näkemäraivauksen merkitys korostuu, kun alikasvosta voidaan jättää enemmän. Myöhemmillä harvennuksilla myös ajouralinjat ovat valmiina, eikä siten ole välttämättä niin tarpeen nähdä välitöntä työaluetta kauemmas. Päätehakkuilla laitetta voitaisiin käyttää pienialaiseen raivaukseen vaikkapa hakkuutähdekasojen alustoilla.

## 8 ARVIOINTI

Tutkimuksessa saavutettiin kaksi kolmesta sille asetusta tavoitteesta ja tuloksia voidaan niiden osalta pitää luotettavina. Kysymykset raivauksen kustannuksista ja työajan lisäyksestä saivat vastauksen. Menetelmän vaikutukset korjuujälkeen eivät tulleet aukottomasti selvitetyiksi. Pienen aineiston johdosta tuottavuustutkimuksen tuloksia ei kuitenkaan voida soveltaa kuin tyypillisillä energiaharvennuskohteilla.

Keskeiset virhelähteet tutkimuksessa olivat kokematon kuljettaja, joka ei lomalta palattuaan ehtinyt harjoitella työskentelyä ennen varsinaisten koeruutujen hakkaamista, sekä vain katkaistuista rungoista mitattu raivauspoistuma.

Tutkimuksen ennakkovalmisteluissa tehtiin virhe, kun kuljettajan harjaantumista loman jälkeen ei otettu huomioon. Lisäksi ensimmäinen Liippi-korvessa hakattu ruutu oli osa vertailukoesarjaa ja siinä tutkittiin nimenomaisesti näkemäraivausta koneella. Koesarjan tärkein ruutu ei siten ole täysin vertailukelpoinen muiden ruutujen kanssa. Ruudulla raivaukseen käytetty aika ei todennäköisesti olisi lisääntynyt, jos kuljettaja olisi ehtinyt harjaantua. Harjaantuminen olisi tehostanut hakkuutyötä, jolloin nyt esiintynyt hakkuutyön tehottomuus olisi poistunut. Voidaankin olettaa, että ruudulle lasketut raivauskustannukset eivät kasvaisi ja raivauksen osalta tulosta voidaan pitää luotettavana.

Kokematon kuljettaja vaikutti myös korjuujälkeen. Kokeneempi kuljettaja olisi todennäköisesti tehnyt vähemmän vaurioita ja myös työleveys olisi mitä todennäköisimmin kasvanut. Kokemuksen vaikutusta on kuitenkin hankala määritellä, joten se on vain otettava huomioon tuloksia tulkittaessa.

Raivatun puuston mittaustavan johdosta tutkimuksen perusteella ei voida tehdä päätelmiä raivaukselta säästyneestä puustosta tai alikasvoksen alkutiheydestä. Tällöin ei myöskään ole mittaustietoa vertailukoesarjan alkutilanteen yhtenevyydestä. Metsätehon ennakkoraivaustutkimuksessa oli mitattu sekä raivattu että raivaamaton puusto. Mittausten tekeminen hakatulla alalla oli kuitenkin hankalaa jo nyt kourakasojen ja hakkuutähteiden johdosta. (Kärhä, ym. 2006, 14. )

## LÄHTEET

Alhola, A. 17.12.2012. VS:Metka – ennakkoraivauskommentti. Vastaanottaja Tuomo Väre. [Sähköpostiviesti] Viitattu 18.12.2012.

Haarlas, R., Harstela, P., Mikkonen, E. & Mäkelä, J. 1984. Metsätyöntutkimus. Helsingin yliopiston metsäteknologian laitoksen julkaisuja n:o 46. Helsinki.

Koneplaneetta Oy 2012a, viitattu 28.12.2012  
[http://www.koneplaneetta.fi/fi/sirius\\_250\\_harvesteripaa/](http://www.koneplaneetta.fi/fi/sirius_250_harvesteripaa/)

Koneyrittäjien liitto 2008a. Ensiharvennusten monipuolinen kehittäminen välttämätöntä. Viitattu 28.12.2012.  
[http://www.koneyrittajat.fi/?action=news&news\\_id=192](http://www.koneyrittajat.fi/?action=news&news_id=192)

Koneyrittäjien liitto 2012a. Lisälaitteinvestoinnin on tuotava tulosta, pelkkä työn ilo ei riitä. Viitattu 28.12.2012.  
[http://www.koneyrittajat.fi/?action=news&news\\_id=296](http://www.koneyrittajat.fi/?action=news&news_id=296)

Kärhä, K., Keskinen, S., Kallio, T., Liikkanen R. & Lindroos J. 2006. Ennakkoraivaus osana ensiharvennuspuun korjuuta, Metsäteho raportti 187, Helsinki.

Mense RT-25 –esite 8/2012, viitattu 28.12.2012  
[http://www.mense.fi/userData/mense-oy/esitteet/suomi/RT25\\_suomi\\_A4\\_8-2012.pdf](http://www.mense.fi/userData/mense-oy/esitteet/suomi/RT25_suomi_A4_8-2012.pdf)

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2011. Korjuujäljen valtakunnalliset tarkastustulokset 2010.

Metsäteho Oy 2001, Hakkuukonetyömaan ennakkoraivausopas, Metsäteho Oy, Helsinki.

Metsäteho Oy 2012, Koneellinen puunkorjuu, suunnittelutasot. Viitattu 7.1.2013.  
[http://www.metsateho.fi/puuhuolto-opas/koneellinen\\_puunkorjuu/suunnittelutasot](http://www.metsateho.fi/puuhuolto-opas/koneellinen_puunkorjuu/suunnittelutasot)

Risutekniikka Ky 2012a, viitattu 28.12.2012  
<http://www.risutec.fi/tuotteet/risutec-l3a-energiapuukoura>

Tahvanainen, M. 2001. Alikasvoksen ennakkoraivauksen vaikutukset kestävässä koneellisessa ensiharvennushakkuussa, Työtehoseuran monistetta 1/2001, Helsinki.

Ylimäki, R., Väätäinen, K., Lamminen, S., Sirén, M., Ala-Ilomäki, J., Ovaskainen, H. & Asikainen, A. 2012. Kuljettajaa opastavien järjestelmien tarve ja hyötypotentiali koneellisessa puunkorjuussa, Metsäntutkimuslaitoksen työraportteja 224, Vantaa.