

Bioenergiakeskuksen julkaisusarja  
(BDC Publications)  
Nro 7

**NUOREN METSÄN KONEELLISEN  
PUUNKORJUUN VAIHTOEHDOT**

Jari Tuikkanen  
Tero Vesisenaho  
2004



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU  
JYVÄSKYLÄ POLYTECHNIC



# **NUOREN METSÄN KONEELLISEN PUUNKORJUUN VAIHTOEHDOT**

**Jari Tuikkanen**

**Tero Vesisenaho**

**KESME II - hankeraportti**

**Kesäkuu 2004**



**JYVÄSKYLÄN  
AMMATTIKORKEAKOULU**

*Luonnonvarainstituutti*



## SISÄLTÖ

<b>1 TYÖN TAUSTA</b> .....	<b>4</b>
<b>2 TYÖN TAVOITE</b> .....	<b>4</b>
<b>3 TYÖN TOTEUTUS</b> .....	<b>5</b>
<b>3.1 Työmaa</b> .....	<b>5</b>
<b>3.2 Puustomittaukset</b> .....	<b>6</b>
3.2.1 Ennakkoraivattu energiapuukorjuu .....	7
3.2.2 Raivaamaton energiapuukorjuu.....	8
3.2.3 Ennakkoraivattu ainespuukorjuu.....	9
3.2.4 Raivaamaton ainespuukorjuu .....	11
3.2.5 Käsittelemätön kuvio.....	12
<b>3.3 Hakkuun aikatutkimus</b> .....	<b>13</b>
3.3.1 Työn toteutus.....	13
3.3.2 Tutkittu kalusto .....	13
<b>4 TULOKSET</b> .....	<b>16</b>
<b>4.1 Energiapuukertymä</b> .....	<b>16</b>
<b>4.2 Hakkuun tuottavuus</b> .....	<b>17</b>
4.2.1 Ainespuuhakkuu.....	17
4.2.2 Energiapuuhakkuu.....	19
<b>4.3 Korjuujälki</b> .....	<b>22</b>
<b>4.4 Kustannusanalyysi</b> .....	<b>23</b>
<b>5 TULOSTEN TARKASTELU</b> .....	<b>24</b>
<b>LÄHTEET</b> .....	<b>25</b>

LIITE 1: Koealojen puustotiedot ennen käsittelyä ja käsittelyn jälkeen.

## 1 TYÖN TAUSTA

Tämä hankeraportti liittyy Keski-Suomen Metsäenergia II –projektin ’nuorten metsien energiapuun korjuumenetelmien vertaileva tutkimus ja demonstroiinti’ –osioon, jonka tavoitteena on selvittää valittujen pienpuun tuotantoketjujen teknis-taloudelliset ominaisuudet ja työn laatu ensiharvennuksilla ja nuorten metsien kunnostuskohteilla tuotantoketju- ja työvaihetasolla sekä näin osoittaa eri korjuuketjujen mahdollisuudet ja kehittämistarpeet. Osion tavoitteena on myös tehdä menetelmät tunnetuiksi metsänomistajille ja korjuuyrittäjille sekä tuottaa tiedotus- ja koulutusmateriaalia energiapuuhankinnan tueksi.

## 2 TYÖN TAVOITE

Työn tavoitteena oli:

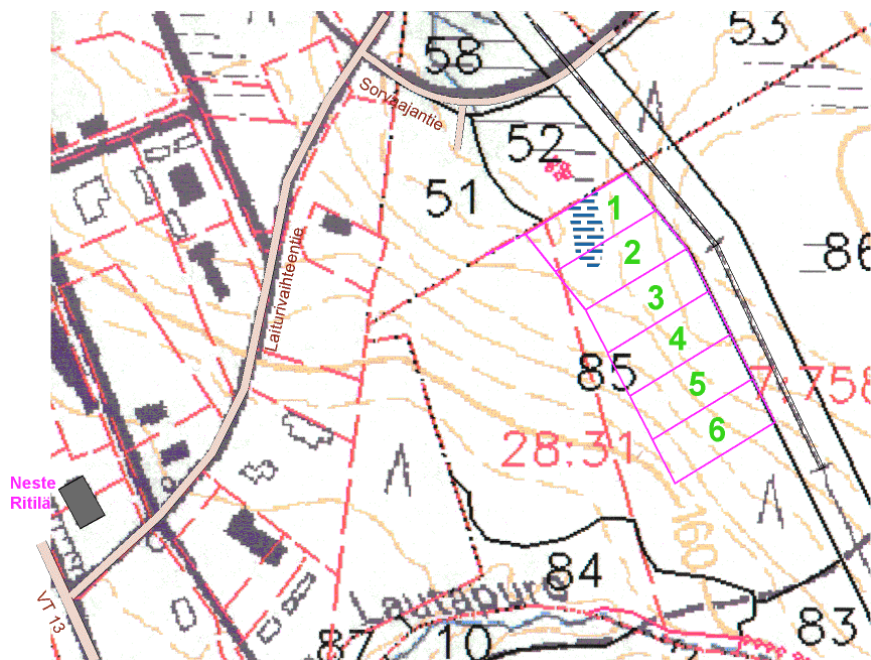
1. Perustaa hankkeen työnäytöstä varten vaihtoehtoisia nuoren metsän koneellisen aines- ja energiapuukorjuun käsittelyjälkiä käytännön olosuhteissa esittelevä kohde
2. Perustaa ja rauhoittaa viideksi vuodeksi Saarijärven Bioenergiakeskuksen koulutus- ja esittelytarkoituksiin vaihtoehtoisia nuoren metsän koneellisen aines- ja energiapuukorjuun käsittelyjälkiä käytännön olosuhteissa esittelevä pysyväiskohde
3. Verrata aines- ja energiapuun hakkuun tuottavuutta ja työn jälkeä nuoren metsän hoitokohteella ilman miestyönä tehtyä ennakkoraivausta ja sen jälkeen

### 3 TYÖN TOTEUTUS

Tutkimuksen toteutuksesta on vastannut Jyväskylän ammattikorkeakoulun Luonnonvarainstituutti. Tutkimusraportin kirjoituksesta ja aineiston analysoinnista ovat vastanneet agrologi (AMK) –opiskelija Jari Tuikkanen ja yliopettaja Tero Vesisenaho. Puuston ennakkomittaukset suorittivat Veli-Pekka Kauppinen Metsäkeskus Keski-Suomesta ja Jari Tuikkanen. Aikatutkimusaineiston keruusta sekä puutavaran mittauksista vastasi Jari Tuikkanen. Korjuujäljen tarkistuksen suoritti Veli-Pekka Kauppinen Metsäkeskuksissa käytössä olevalla otantamenetelmällä.

#### 3.1 Työmaa

Kenttätutkimukset tehtiin noin 25-vuotiaan viljelymännikön harvennustyömaalla. Kohde sijaitsi Saarijärven kaupungin maalla Saarijärven Kolkanlahdessa noin 6 km valtatieltä 13 Saarijärven keskustasta Kokkolan suuntaan. Tutkimus- ja esittelykäyttöön kuviosta varattiin kuusi 0,4 hehtaarin (40 m x 100 m) suuruista koealaa (Kuva 1).



KUVA 1. Tutkimus- ja esittelytyömaan kohdekartta.

**Työmaalla verrattiin kuvan 1 mukaisilla koealoilla seuraavia työmenetelmiä:**

1. Ennakkoraivaus ( $d_{1,3} < 3$  cm) miestyönä maaliskuussa, koneellinen energia-puukorjuu työnäytöksessä 1.4.2004
2. Ennakkoraivaus ( $d_{1,3} < 3$  cm) miestyönä maaliskuussa, koneellinen energia-puukorjuu 29.3.2004, aikatutkimus
3. Ei raivattu, koneellinen energiapuukorjuu 30.3.–1.4.2004, aikatutkimus
4. Ennakkoraivaus ( $d_{1,3} < 6$  cm) miestyönä maaliskuussa, koneellinen ainespuukorjuu 25.3.2004, aikatutkimus
5. Ei raivattu, koneellinen ainespuukorjuu 26.3.2004, aikatutkimus
6. Ei käsittelyä

### **3.2 Puustomittaukset**

Kuvan 1 mukaiset koealat rajattiin metsään 10 cm:n tarkkuudella ja merkittiin linjakepein sekä punaisella nauhoituksella. Alueiden rajauksen jälkeen koealoille 2–6 merkittiin keskilinjat kolmelle mittauslinjalle: linja A 20 metriä, linja B 50 metriä ja linja C 80 metriä koealojen sähkölinjan puoleisesta päästä lukien. Mittauskoealojen leveys oli 3 metriä ja pituus 40 m. Kun näiltä mittauslinjoilta mitattiin puuston ominaisuudet, saatiin otannan kattavuudeksi 9 % koealan pinta-alasta. Tämän otannan puustotietojen perusteella johdettiin koko koealaa koskevat puustotiedot.

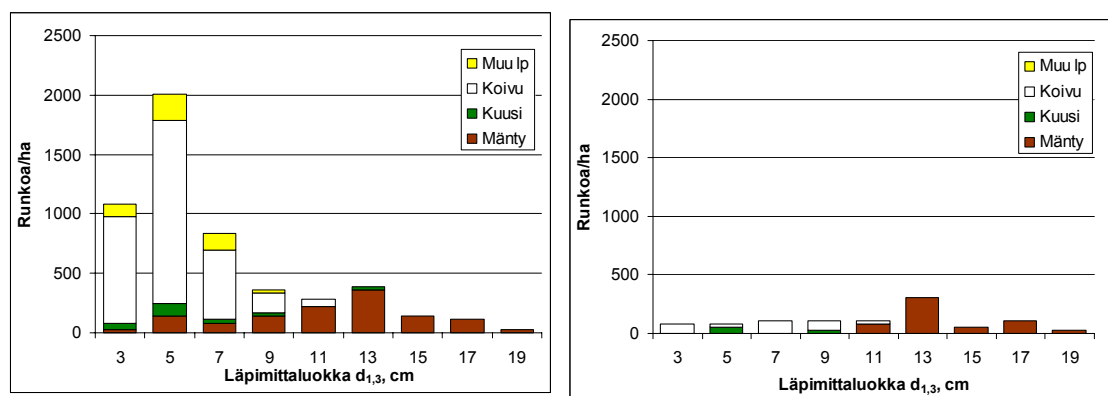
Ensimmäisenä tehtiin runkolukujen mittaus rinnankorkeusläpimitan mukaan 2 cm:n tasaavin luokin puulajeittain (mänty, kuusi ja koivu puulajeittain ja muut puut yhteisenä vähäisyydestä johtuen). Läpimittaluokan 1 cm puulajeja ei eroteltu. Rinnankorkeusläpimitan mittauksen jälkeen puiden runkoihin merkittiin merkkusmaalilla rinnankorkeudelle läpimitta. Tämä vaihe lisäsi työn määrää ennakkomittausta suoritettaessa, mutta vähensi sitä jälkimittausvaiheessa. Koealoilta 2 ja 4 suoritettiin lisäksi mittaukset läpimittaluokittain ennen ja jälkeen raivauksen, jolloin saatiin tietoon rai-

vauksessa poistetun puuston määrä. Koepuita valittiin satunnaisesti kunkin puulajin jokaisesta läpimittaluokasta. Koepuut merkittiin maastoon oransseilla kuitunauhoilla ja niistä mitattiin tuore- ja kuivaoksaraja sekä pituus.

Puiden oksarajoja mitattaessa käytettiin kahdeksan metrin pituista hiilikuituista ongenvapaa, johon oli merkitty kirkkain erivärisin teipein ja kuitunauhoin pituudet 50 cm:n välein. Toinen mittaajista piti vapaa pystyssä ja toinen katsoi etäältä oksarajat. Puiden pituuden mittaamisessa käytettiin samaa välinettä lyhyillä puilla ja hypsometriä pidemmällä puilla.

### 3.2.1 Ennakkoraivattu energiapuukorjuu

Koelalla numero 2 suoritettiin manuaalinen ennakkoraivaus ennen koneellista energiapuukorjuuta. Ennakkoraivaus tehtiin maaliskuun 2004 alkupuolella, kun koaloilla oli lunta noin 70 cm. Raivaaja käytti työssään raivaussahaa ja lumikenkiä. Raivauksen työohjeena oli kaikkien rinnankorkeudelta alle 3 cm vahvuisten runkojen poistaminen. Ennen raivausta koelalla oli 10 674 r/ha, joista jäi jäljelle raivauksen jälkeen 5240 r/ha. Energiapuuhakkuun jälkeen runkoluvuksi kuviolle jäi 1004 r/ha, joista yli 7 cm:n läpimittaluokkaan eli vallitsevaan latvuserrokseen kuuluvia mänty-, koivu- ja kuusi-runkoja on 836 r/ha. Runkomäärällisesti kaikkein eniten hakkuussa poistettiin läpimittaluokkien 3–7 cm lehtipuita (Kuvio 1, kuva 2).



KUVIO 1. Koealan 2 puuston runkolukusarja ennen ja jälkeen energiapuuhakkuun.

Koealan 2 visuaalisessa ilmeessä tapahtui merkittävä muutos toimenpiteiden myötä, kun puuston runkoluvusta poistui peräti 90 %. Koeala oli hakkuun jälkeen erittäin siisti (Kuva 2) ja kasvatettava puusto selkeästi esillä. Puuston pohjapinta-ala laski har-

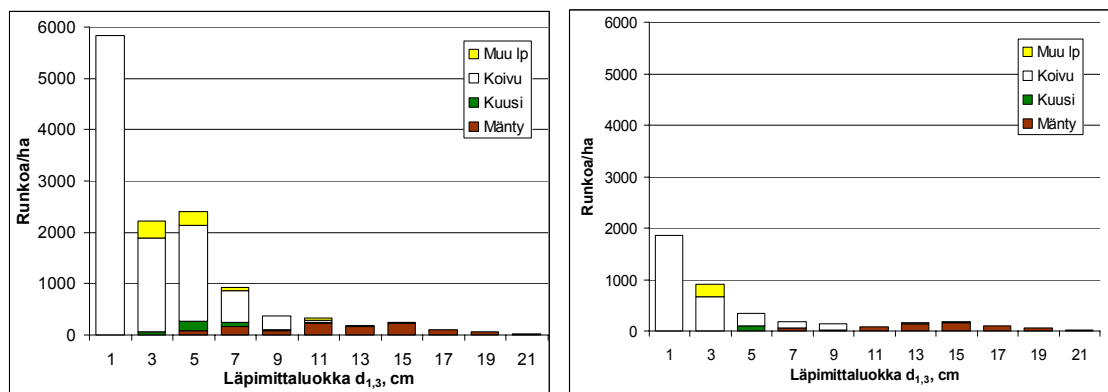
vennuksen myötä hieman alle puoleen alkuperäisestä ja sekametsästä tuli selkeä män-  
tymetsä (Liite 1).



KUVA 2: Koealan 2 puusto ennen ja jälkeen käsittelyn.

### 3.2.2 Raivaamaton energiapuukorjuu

Koealalla numero 3 tehtiin koneellinen energiapuuhakkuu. Ennen hakkuuta koealalla oli 12 723 r/ha, joista jäi jäljelle hakkuun jälkeen 4079 r/ha. Näistä 7 cm:n läpimittaluokkaan tai suurempaan eli vallitsevaan latvuskerrokseen kuuluvia mänty-, koivu- ja kuusirunkoja oli 945 r/ha. Runkomäärällisesti kaikkein eniten hakkuussa poistettiin läpimittaluokkien 1–7 cm lehtipuita (Kuvio 2, kuva 3). Raivattuun koealaan nro 2 verrattuna suurin ero hakkuun jälkeisessä runkoluvussa on läpimittaluokkien 1–3 cm runkojen määrässä. Näillä ”rungoilla” ei ole vaikutusta metsän kasvatuksen kannalta, mutta ne vaikuttavat alueen yleisilmeeseen. Läpimittaluokan 1 cm runkoja ei ole mitauksessa eikä kuviossa jaoteltu puulajin suhteen.



KUVIO 2. Koealan 3 puuston runkolukusarjan ennen ja jälkeen energiapuuhakkuun.



Koealan 3 hakkuun jälkeinen tilanne on kasvatettavan puuston kehitystä ajatellen erittäin hyvä (Kuva 3). Kasvamaan jäänyt pieniläpimittainen alikasvos ei haittaa puuston jatkokehitystä, ja se kuolee todennäköisesti ennen seuraava harvennusta eikä ole näin ollen haitta myöskään tulevilla puunkorjuuvaiheissa. Numeeristen tunnusten valossa alikasvoslehtipuut aiheuttavat sen, että verrattuna koealaan 2 koealan 3 puustosta suurempi osuus on lehtipuuta eikä pohjapinta-alakaan ole pienentynyt tällä raivaamattomalla alueella siinä määrin kuin raivatulla ja hakatulla alueella (Liite 1).

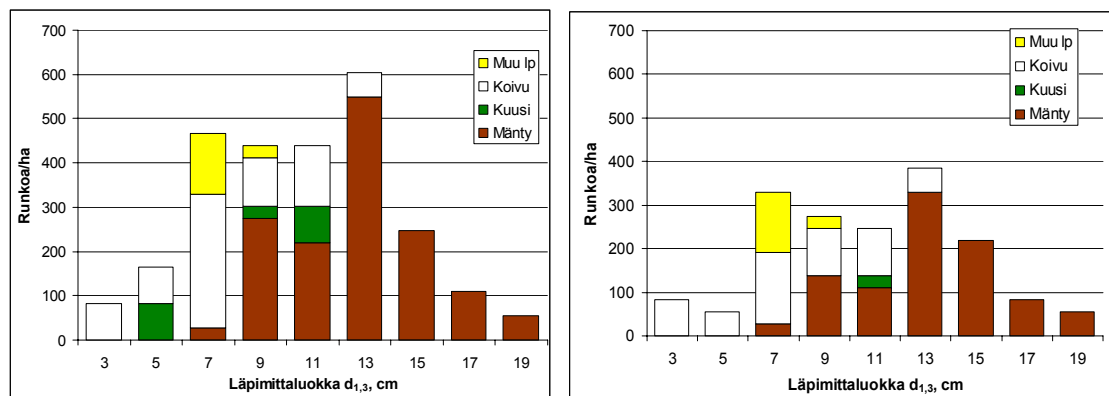


KUVA 3. Koealan 3 puusto ennen ja jälkeen energiapuuhakkuun.

### 3.2.3 Ennakkoraivattu ainespuukorjuu

Koealalla numero 4 suoritettiin manuaalinen ennakkoraivaus ennen koneellista ainespuukorjuuta maaliskuussa 2004. Raivauksen työohjeena oli kaikkien rinnankorkeudelta alle 6 cm vahvuisten runkojen poistaminen. Kuten kuvion 3 runkolukusarjoista nähdään, osa alle 6 cm:n vahvuisista rungoista oli kuitenkin jäänyt raivaamatta. Kokonaisrunkoluku koealalla ennen raivausta oli 7368 r/ha, josta raivauksen jälkeen jäi kasvamaan 2602 r/ha. Ainespuuhakkuun jälkeen kuviolle jäi 1725 r/ha (Kuvio 3). Mikäli kasvatettavaksi puustoksi kohteella luokitellaan vain läpimittaluokan 7 cm ja suu-

remmat männyt, kuuset ja koivut, on kasvatettavaksi jäävän puuston runkoluku 1428 r/ha.



KUVIO 3. Koealan 4 puuston runkolukusarja ennen harvennusta ja sen jälkeen.

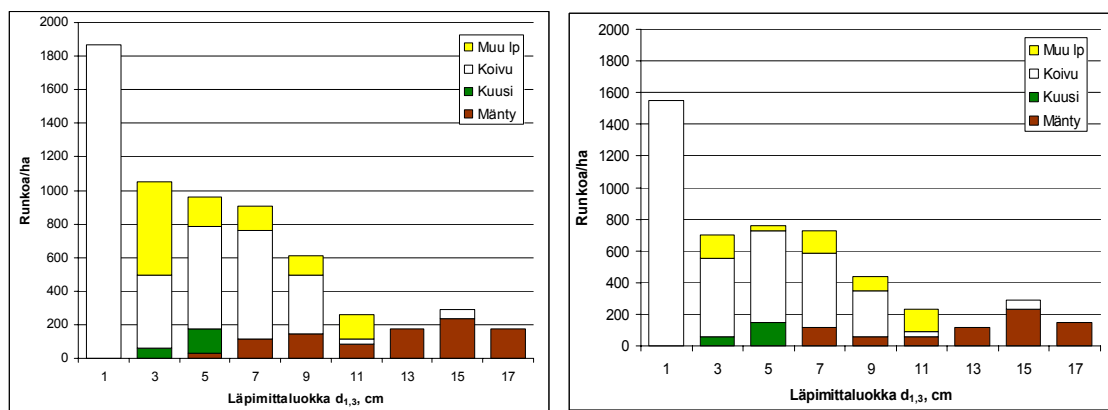
Koealan 4 hakkuun jälkeinen tilanne on hyvin tavanomainen ennakkoon raivatus harvennuksen siisti työjälki (Kuva 4). Hakkukoneen kuljettaja poisti puustoa selvästi varovaisemmin kuin energiapuuhakkuun kuljettaja, ja hakkuun jälkeen koealalle jäi kasvamaan selvästi enemmän lehtipuuta kuin energiapuuhakuualoilla. Pohjapinta-ala aleni hakkuussa noin kolmanneksen, kun se energiapuuhakuualoilla aleni n. 50 %. Hakkuussa koealalta poistui hakkuukonemittauksen mukaan ainespuuta 21,3 m<sup>3</sup>/ha. Pysytymittauskoealojen kohdalla poistuma oli keskimääräistä suurempi, n. 35 m<sup>3</sup>/ha (Liite 1).



KUVA 4. Koealan 4 puusto ennen ja jälkeen harvennuksen.

### 3.2.4 Raivaamaton ainespuukorjuu

Koelan 5 eli raivaamattoman ainespuukorjuukoelan puuston kokonaisrunkoluku ennen toimenpiteitä oli 6305 r/ha, josta 1 cm:n läpimittaluokkaan kuuluvia runkoja oli 1868 r/ha. Ainespuuhakkuun jälkeen kuviolle jäi kasvamaan 4962 r/ha ja näistä 1 cm:n läpimittaluokkaan kuuluvia puita oli 1547 r/ha (Kuvio 4). Läpimittaluokan 1 cm runkoja ei ole jaoteltu puulajin suhteen. Mikäli kasvatettavaksi puustoksi kohteella luokitellaan vain läpimittaluokan 7 cm ja suuremmat männyt, kuuset ja koivut, on kasvatettavaksi jäävän puuston runkoluku 1576 r/ha.



KUVIO 4. Koealan 5 runkolukusarjat ennen hakkuuta ja hakkuun jälkeen.

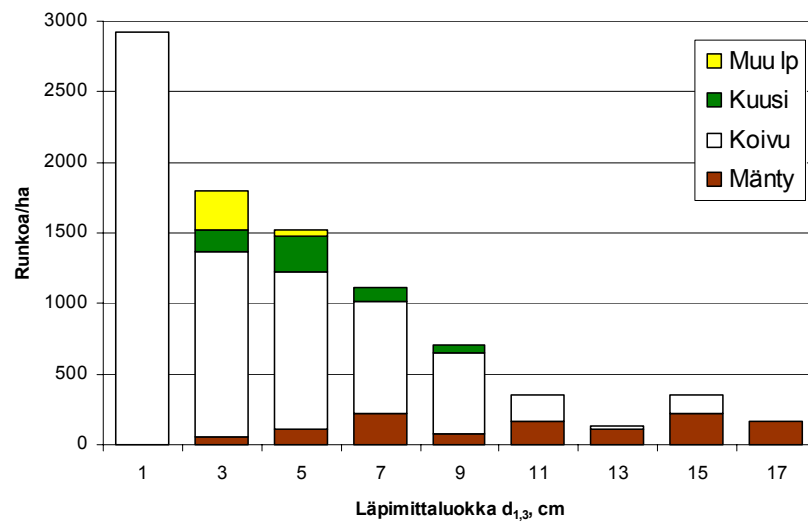
Raivaamattomalta ainespuuhakkuualalta kertyi hakkuussa hakkuukonemittauksen mukaan ainespuuta vain 13,9 m<sup>3</sup>/ha. Koealan sisällä sijainneiden pystymittauskohtien kohdalla ainespuupoistuma oli n. 15 m<sup>3</sup>/ha. Poistettavista puista merkittävä osa kertyi ajouralta – ja hakkuun jälkeen koela jäi merkittävän risukkoiseksi (Kuva 5), vaikka hakkuukone lahmasikin osan pienestä alikasvospuustosta nurin. Puulajien tilavuussuhteisiin hakkuu ei vaikuttanut.



KUVA 5. Kuvion 5 puusto ennen ja jälkeen ainespuuhakkuun.

### 3.2.5 Käsittelemätön kuvio

Koelalla 6 ei tehty mitään metsänhoidollisia toimenpiteitä, vaan se jätettiin käsittelemättömäksi vertailukuvioksi. Koelalan puuston runkoluku on 9083 r/ha, joista 2919 r/ha on läpimittaluokkaan 1 cm kuuluvia (kuvio 5, liite 1). Läpimittaluokkaan 7 cm ja suurempia vallitsevan latvuskerroksen runkoja koelalla on 2837 r/ha.



KUVIO 5 Koelalan 6 puuston runkolukusarja.

### **3.3 Hakkuun aikatutkimus**

#### **3.3.1 Työn toteutus**

Aika- ja tuotostutkimuksien tarkoituksena oli selvittää aines- ja energiapuun hakkuun ajanmenekki- ja tuotoseroja raivaamattoman ja raivatun kohteen välillä. Kuljettajille ohjeistus oli tehdä normaali urakanantajan ohjeiden mukainen harvennus. Aikatutkimustiedot kerättiin Husky Hunter –maastomikron SIWORK-aikatutkimusohjelmalla.

Aikatutkimusta tehtäessä jokaiselta koealalta otettiin kuusi otantamittausta työtä suoritettaessa. Energiapuun korjuussa tämä tarkoitti kutakin otosta kohden noin 15 kasatun ja kaadetun kourallisen käsittelyä. Kunkin otoksen puumäärä määritettiin mittaamalla runkojen rinnankorkeusläpimitat puulajeittain ja laskemalla näiden, pystymitan pituus- ja oksarajatietojen sekä Hakkilan (1991) latvusmassayhtälöiden perusteella erän tilavuus.

Ainespuukorjuussa kukin otos sisälsi n. 20 rungon käsittelyajat. Kuljettajan tehtyä sovitun otoksen koneelta otettiin tuloste, josta ilmeni tehtyjen puiden tilavuus ja puulaji. Tämän tulosteen avulla pystyttiin todentamaan puulajeittain ja läpimittaluokittain puun käsittelyyn kulutettu aika.

#### **3.3.2 Tutkittu kalusto**

Kohteella käytettiin kahta erilaista hakkuukonetta. Ainespuuhakkuut suoritettiin Pohjoisen Keski-Suomen oppimiskeskuksen (POKE) Valtran runko-ohjattavalla traktorilla, jossa varusteina oli Kronos 5000 -kuormain, hakkuupäänä Keto 51 ja mittalaitteistona Epec 3000 (Kuva 6). Kuljettajana koneessa oli harjaantunut metsätalouden opiskelija.



KUVA 6. Ainespuun hakkuussa käytetty hakkuukone.

Energiapuukorjuussa käytettävänä koneena oli Timberjack 1070D liikeratakuorimaimella (Kuva 7). Koneessa oli energiapuukourana Timberjack 730. Tutkimuksen ajan käytettävissä oli kaksi kokenutta kuljettajaa, joilla oli taustaa koneellisesta puunkorjuusta pidemmältä ajalta.



KUVA 7. Energiapuun hakkuukalusto.

Aines- ja energiapuun metsäkuljetuksessa käytettiin samaa Ponsse S10 – kuormatraktoria (KUVA 8). Metsäkuljetuksesta vastasivat POKEn metsätalouden perustutkinto-opiskelijat lehtori Matti Puttosen johdolla. Metsäkuljetusta ei tässä työssä tutkittu.



KUVA 8. Metsäkuljetuksen kalusto.

## 4 TULOKSET

### 4.1 Energiapuukertymä

Koealojen 2 ja 3 energiapuukertymän määrittäminen perustui poistetun puuston runkolukusarjaan sekä Hakkilan (1991) latvusmassayhtälöillä laskettuihin oksa- ja neulasbiomassamääriin. Laskennoissa oletettiin, että kuivat oksat karsiutuvat pääosin hakkuussa, metsäkuljetuksessa ja/tai varastoinnissa eikä niiden tilavuutta ole mukana laskelmissa.

Energiapuukertymä koealoilta nousi varsin korkeaksi, noin 80 m<sup>3</sup>/ha (Taulukko 1), koska hakkuussa poistettava runkoluku oli 4000–5000 r/ha (liite 1) ja poistumassa oli myös suuria etukasvuisia mäntyjä. Koealojen 2 ja 3 käsittelyssä erona oli se, että koealalta 3 kertymään tuli myös alle 3 cm:n runkoja, joiden merkitys kokonaiskertymään oli kuitenkin hyvin vähäinen. Mikäli energiapuun annettaisiin kuivua maastossa niin, että neulaset varisisivat, pienenesi energiapuukertymä vain n. 4 %.

TAULUKKO 1. Energiapuukertymä kokopuukorjuukoealoilta.

	<b>Energiapuukertymä m<sup>3</sup>/ha</b>	<b>Kertymän jakauma</b>	<b>Kertymä lpm-luokittain</b>
<b>Koeala 2</b>	81,4 mä 40,3 ku 5,3 lp 35,8	Runkopuu 77 % Oksat 19 % Neulaset 4 %	1–5 cm: 24 % 7–9 cm: 30 % 11–13 cm: 25 % 15–17 cm: 18 %
<b>Koeala 3</b>	76,4 mä 28,9 ku 6,0 lp 41,6	Runkopuu 80 % Oksat 16 % Neulaset 4 %	1–5 cm: 28 % 7–9 cm: 31 % 11–13 cm: 25 % 15–17 cm: 17 %



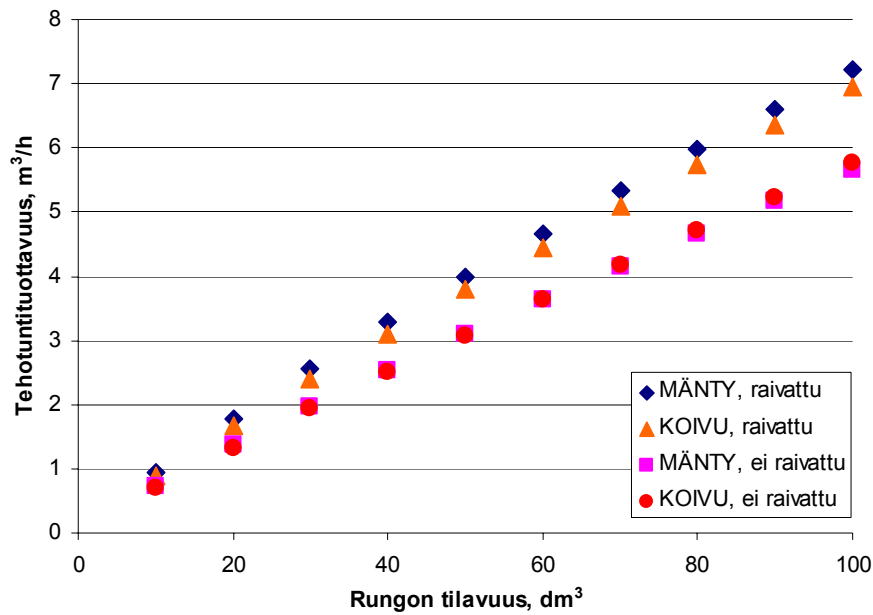
## 4.2 Hakkuun tuottavuus

### 4.2.1 Ainespuuhakkuu

Ainespuuhakkuussa raivaamattomalla kohteella alikasvosrisujen näkyvyyttä haittaava vaikutus näkyi työn jäljessä; jääviin puihin jäi korjuuvaurioita. Myös keskeytysten määrä kasvoi raivaamattomalla kohteella. Kun hakkuupäällä tartutaan koivupuskaan tai yksittäiseen pieneen runkoon, risujen jännitys saa ketjun lähtemään pois paikoiltaan useasti, eikä laipan vaurioitakaan aina välttyä.

Ennakkoraivauksella ei ollut vaikutusta runkojen käsittelyajanmenekkiin koivulla, mutta mäntyrunkojen käsittelyaika oli 20 % suurempi raivaamattomalla koealalla. Suurin ero raivaamattoman ja raivatun koealan välillä tuli kuitenkin apuaikojen määrässä; raivaamattomalla koealalla hakkuuta, kasausta ja/tai siirtoja haittaavan alikasvoksen raivaukseen meni aikaa 2,5–kertaisesti raivattuun koealaan verrattuna. Lisäksi raivaamattomalla alueella konesiirtojen ajanmenekki oli n. 50 % suurempi kuin raivatulla.

Tuottavuusero raivaamattoman ja raivatun alueen välillä oli samansuuruinen sekä männyllä ja koivulla. Hakkuun tehotuntituottavuus jäi 20 % pienemmäksi, mikäli alikasvosta ei ollut raivattu (Kuvio 6). Käyttöaikaa kohden ero olisi vielä suurempi raivatun alueen eduksi, koska konekeskeytysten määrän havaittiin kasvavan merkittävästi jo lyhyessäkin aika-aineistossa. Ajanmenekin lisäksi yrittäjälle koituu raivaamattomalla alueella lisäkustannuksia myös varaosista, kuten teräketjuista ja –laipoista sekä hydrauliletkuista.



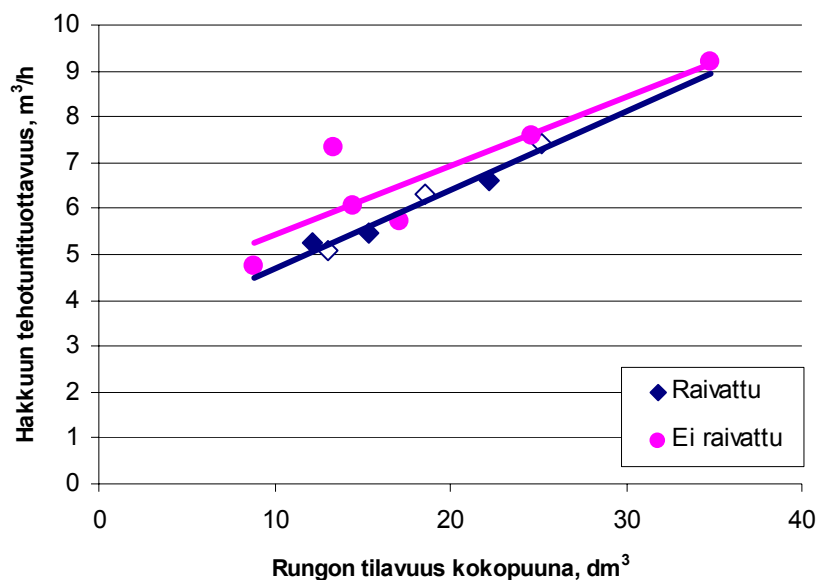
KUVIO 6. Ennakkoraivauksen vaikutus ainespuuhakkuun tuottavuuteen koivulla ja männyllä.

Tuottavuuseron lisäksi etenkin nuorissa metsissä myös korjuuvauriot nousevat esille, koska jäljelle jäävistä puista tulisi tulevaisuudessa saada tuottoa. Raivaamattomalla kohteella korjuuvaurioiden riski kasvaa selvästi, mikäli puusto pyritään harventamaan täysimääräisesti. Myös korjuun visuaalinen jälki jää huonommaksi risujen ja ainespuuksi kelpaamattoman puuston osaksi lahmaantuessa maastoon. Raivaamattomalla kohteella tulisi kuljettajan raivata koneellisesti kouraisutaakkojen alustat, jolloin välttyttäisiin kuljetusvaiheessa risujen ja maan kertymistä puutavaran sekaan. Huomioitavaa on myös, että ainespuun korjuu suoritettiin keväällä, jolloin näkyvyyttä haittaavaa lehtimassaa puissa ei ollut ja näin ollen alikasvoksen haittaava vaikutus oli selvästi pienempi kuin kesäaikana.

#### 4.2.2 Energiapuuhakkuu

Energiapuun hakkuussa kaato-kasausta käyttäen on kaksi erilaista työmenetelmää: 1. latva- ja tyvi-osapuiden erillinen keruuvaihe ja 2. kokonaisten runkojen keruu rungoitain. Hakkuussa kumpikin kuljettaja käytti tilanteen mukaan molempia menetelmiä. Liikeratanosturia käytettäessä ei kuitenkaan ole mahdollista katkaista puuta yli 3 metrin korkeudesta koneen välittömästä läheisyydestä, mikä olisi tarpeen yli 8 metrin pituisilla puilla. Tällöin välttyttäisiin energiapuun ajovaiheessa korjuuvaurioiden syntymiseltä. Ajouraverkkoa suunniteltaessa tulisikin ottaa huomioon pitkien kuormien peräylitykset mutkissa.

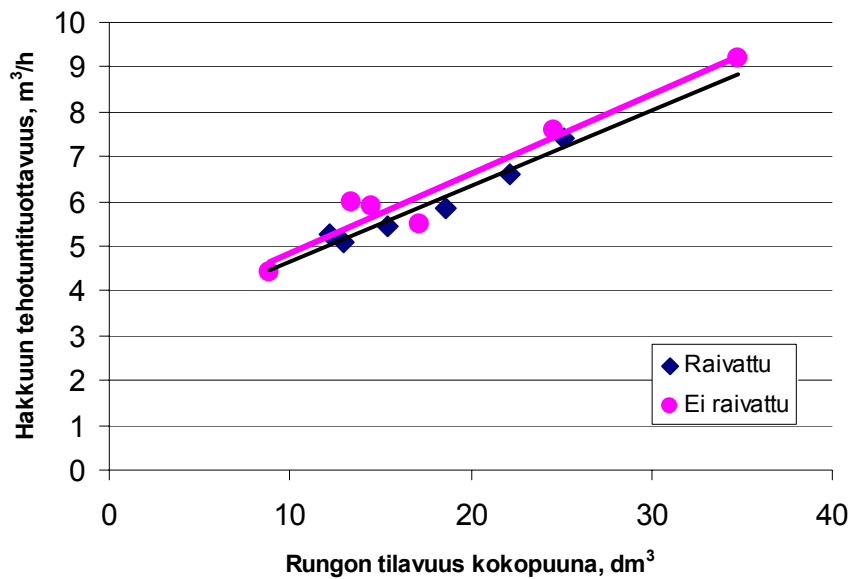
Energiapuukorjuussa tarkoituksena oli vertailla kahden eri kuljettajan tuotosta raivaamattomalla ja raivatulla koealalla, mutta sairastapauksen takia verrokki saatiin vain raivatulta koealalta. Tällä koealalla kuljettajien välinen ero oli hyvin pieni (Kuvio 7; eri kuljettajat merkitty erilaisin ruuduin). Tästä voidaan päätellä, että kyseisten ammattikuljettajien välinen ero oli pieni ja tuottavuus kasvoi samassa suhteessa rungon tilavuuden kasvaessa. Olettaa voidaan että tuotos olisi kasvanut yhtäläillä raivaamattomalla kohteella molemmilla kuljettajilla.



KUVIO 7. Energiapuuhakkuun tehotuntituottavuus raivatulla ja raivaamattomalla kohteella ilman apuaikoja.

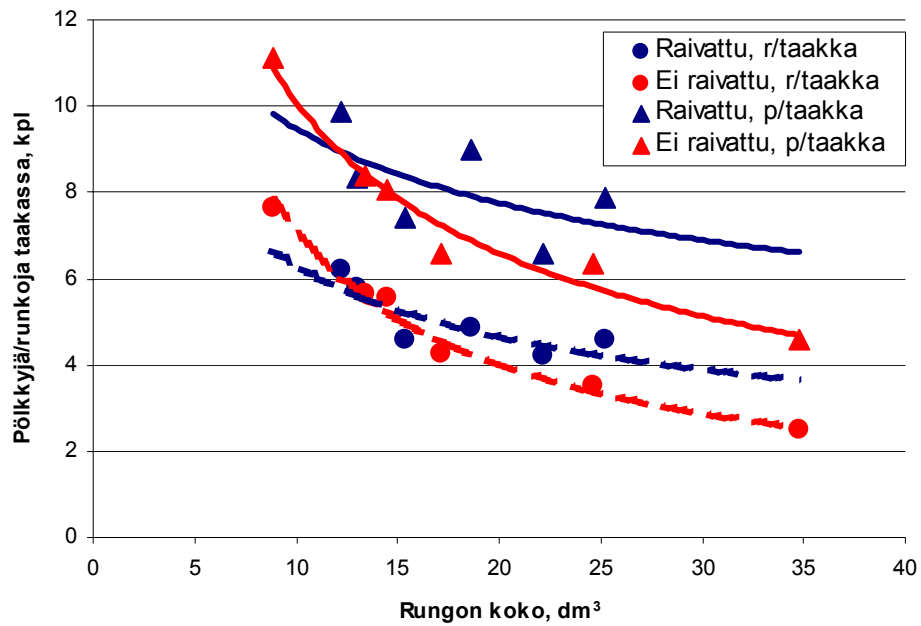
Puhtaan hakkuun tehotuntuottavuus oli parempi raivaamattomalla koealueella. Tätä voidaan selittää sillä, että rungon pituuden kasvaessa yli 8 metrin, runkojen käsittely-aika kasvoi, koska tätä pidempiä puita joudutaan keräämään osapuuna kouraan. Raivaamattomalla alueella näitä yli 8-metrisiä runkoja oli vähemmän kuin raivatulla. Toisaalta raivaamattomalta kohteelta poistui huomattavasti suurempi määrä nippuina käsiteltäviä rinnankorkeuslöpimitaltaan 3 ja 5 cm:n puita, jotka nostivat tehotuntuottavuutta pienemmillä läpimitoilla.

Työn tuottavuuteen vaikuttavat kuitenkin olennaisesti myös työhön suoraan liittyvät apuajat (Kuvio 8). Raivaamattomalla koealalla koneella suoritettavan raivauksen ja järjestelyn määrä kasvoi, mikä alensi tehotuntuottavuutta, mutta tuottavuus oli kuitenkin samaa tasoa tai hieman parempi kuin raivatulla koealalla. Huomioitavaa on kuitenkin, että energiapuun korjuu suoritettiin nyt kevättalvella, jolloin näkyvää haittaavaa lehtimassaa puissa ei ollut ja raivauksen vaikutus jäi olemattomaksi.



KUVIO 8. Energiapuuhakkuun tehotuntuottavuus raivatulla ja raivaamattomalla alueella apuajojen kanssa.

Kourataakassa olevien runkojen ja pölkkyjen määrä pienenee luonnollisesti runkojen keskimääräisen koon kasvaessa (Kuvio 9). Raivaamattoman alueen pienirunkoisimissa osissa taakkaan saatettiin ottaa keskimäärin lähes 10 runkoa, kun taas järeämissä osissa keskimääräinen runkoluku taakassa jäi vain kahteen runkoon. Raivatulla alueella taakoissa oli keskimäärin enemmän runkoja kuin raivaamattomalla alueella, koska tasakokoisista rungoista on helpompi koota taakka kuin sekalaisista.



KUVIO 9. Taakkakoko poistettavan puuston keskitilavuuden suhteen.

### 4.3 Korjuujälki

Korjuujäljen tarkastuksessa käytettiin Metsäkeskuksissa käytössä olevaa inventointimenetelmää. Juurivaurioita tai urapainauksia ei todettu yhdelläkään koealalla, mikä selittyy talvisella korjuuajankohdalla (Taulukko 2). Vaurioituneiden jäävien yli 7 cm:n läpimittaisten puiden määrä ylitti kaikilla koealoilla selkeästi koneellisten hakkuiden valtakunnan keskitason 3,1 % (Ranta 2004). Vaurioiden määrä raivaamattomalla ainespuuhakkuualueella (koeala 5) jäi kaikkein pienimmäksi, koska alikasvoksen hakkuuta haittaavan vaikutuksen takia ainespuurunkoja poistui lähinnä ajouralta ja vain vähän jäävän puuston seasta. Ajouraväli oli energiapuukoealoilla suositusten mukainen – yli 20 m – mutta ainespuukoealoilla ajouraväli jäi ilmeisesti käytetyn hakkukoneen kuormaimen lyhyen ulottuvuuden takia alle 20 metrin. Ajourien leveys oli kaikilla koealoilla hyvää tasoa.

TAULUKKO 2. Korjuujälki koealoilla aines- tai energiapuun korjuun jälkeen.

	<b>Runkovauriot</b>	<b>Ajouraväli</b>	<b>Ajourien leveys</b>
<b>Koeala 2</b>	9,1 %	20,0 m	4,1 m
<b>Koeala 3</b>	8,9 %	20,5 m	4,0 m
<b>Koeala 4</b>	13,7 %	19,0 m	3,8 m
<b>Koeala 5</b>	6,3 %	17,8 m	4,1 m

#### 4.4 Kustannusanalyysi

Kustannusanalyysissä tarkasteltiin toiminnan taloutta kunkin koealan mukaisilla puustotiedoilla (liite 1) pystykaupan ja palkatun raivaussahamiehen tapauksessa yksityismetsässä. Laskelmassa käytettiin pohjana Metsäliiton hinnoittelua nuoren metsän hoitokohteiden puukertymälle: arvioidun kuitupuukertymän arvo 8 €/m<sup>3</sup> ja energiapuuositteen 0,3 €/m<sup>3</sup>. Ennakkoraivauksen osalta kustannustasona käytettiin energiapuukoealalla (alle 3 cm:n runkojen raivaus) yhtä metsurityöpäivää ja ainespuukoealalla (alle 6 cm:n runkojen raivaus) kahta metsurityöpäivää hehtaaria kohti. Energiapuukoealoilla tukialue 1:n vuoden 2004 tilanteen mukaisen KEMERA-tuen oletettiin ohjautuvan puunhankkijalle ja ainespuukohteilla metsänomistajalle raivauskustannuksien kattamiseksi.

Taulukon 3 mukaisesti metsänomistaja pääsee parhaaseen taloudelliseen tulokseen koealan 3 toimintamallilla, jossa ei suoriteta ennakkoraivausta ja koko puusto korjataan energiapuuksi. Mikäli puusto korjataan energiapuuksi, heikentää ennakkoraivaus toiminnan taloutta ja saatava lisähyöty puuston kehitykselle on mitätön. Toiminnan talous jää heikoksi myös raivaamattoman kuvion tapauksessa, koska ainespuukertymä jää pieneksi eikä työhön saa tukea.

TAULUKKO 3. Aines- ja energiapuun korjuun tulot ja kustannukset tutkimuskohteen koealoilla.

Koeala	ENERGIAPUUKORJUU			AINESPUUKORJUU			
	tulot	raivaus	tulos €/ha	tulot	raivaus	KEMERA	tulos €/ha
<b>2</b>	278	-161	<b>117</b>				
<b>3</b>	246	0	<b>246</b>				
<b>4</b>				279	-322	211	<b>168</b>
<b>5</b>				119	0	0	<b>119</b>
<b>6</b>							0

## 5 TULOSTEN TARKASTELU

Koealojen rajaaminen kohteelle aloitettiin vasta maaliskuun alussa paksun lumen aikaan. Koealoilla 2 ja 4 työn jälki raivauksen jälkeen oli hyvää, mutta lumen haittaavasta vaikutuksesta johtuen kannot jäivät pitkiksi ja työajan menekki kasvoi. Koealojen tarkka rajaaminen maastoon oli myös kohtuullisen vaikeaa, koska välillä lunta oli vyötäröä myöten. Toiminnan kannalta olisi ollut parempi, jos rajaukset ja koealojen raivaukset olisi tehty vähäisen lumen aikaan tai syksyllä; tämä ei kuitenkaan ollut mahdollista projektin aikataulun puitteissa.

Aika- ja tuotostutkimusten valossa ennakkoraivaus on energiapuuhakkuun kannalta tarpeeton lisätyövaihe ja -kustannus niin itse työskentelyn kuin metsikön jatkokehityksenkin kannalta. Ainespuuhakkuun kannalta ennakkoraivaus on kohteen kaltaisilla tiheäpuustoisilla työmailla ehdottoman välttämätöntä sekä ainespuuhakkuun talouden ja tuottavuuden että metsän jatkokäsittelytoimenpiteiden kannalta.

Tutkimustyömaan kaltaisilla kohteilla energiapuun korjuu joukkokäsittelytekniikalla on erittäin houkutteleva vaihtoehto, koska energiapuun kertymä on korkea ja vaihtoehtoisten käsittelyketjujen talous heikko. Jotta energiapuun korjuuta nuorista metsistä voidaan markkinoida metsänomistajalle kestävältä pohjalta, on energiapuukorjuun aiheuttamia jäävän puuston korjuuvaurioita pystyttävä kuitenkin vähentämään nykyisestä.



## LÄHTEET

Hakkila, P. 1991. Hakkuupoistuman latvusmassa. Folia Forestalia 773.

KEMERA-tuet: <http://www.metsavastaa.net>

Ranta, R. 2004. Harvennushakkuiden korjuujäljen tarkastukset v. 2003. Tapio, metsänhoitopalvelut. Raportti 16.4.2004.

LIITE 1. Koealojen puustotiedot ennen käsittelyä ja käsittelyn jälkeen.

		MEDIAANI											
		r/ha	r/ha	m	cm	m2/ha	m3/ha	m3/ha	m3/ha				
ENERGIA		Jälkeen	Ennen	Pituus	Lpm	Ppa	Ainespuu	Latva	Yhteensä	Mä	Ku	Lp	
RAIVATTU	1	4561	7629	10,1	12,9	31	141	29	170	76 %	5 %	19 %	
KOEALA 2	2	5290	10747	8,5	8,8	21	65	38	103	51 %	2 %	46 %	
	3	5877	13686	8,3	8,4	20	56	39	96	55 %	1 %	44 %	
	ka.	5240	10674	9,0	10,0	23,9	87	35	123	61 %	3 %	36 %	
		--> raivattu		r/ha									
		5435											
JÄÄ		Jälkeen		Pituus	Lpm	Ppa	Ainespuu	Latva	Yhteensä	Mä	Ku	Lp	
KASVAMAAN	1	1244		10,4	13,9	16	87	6	93	89 %	3 %	8 %	
KOEALA 2	2	756		10,1	12,8	7	33	5	38	82 %	0 %	18 %	
	3	1008		10,2	13,3	9	44	6	49	86 %	1 %	13 %	
	ka.	1004		10,2	13,3	10,8	55	6	60	86 %	1 %	13 %	
<b>HAKATTU</b>		<b>4236</b>		<b>1,3</b>	<b>3,3</b>	<b>-13,0</b>	<b>-32,9</b>	<b>-30,0</b>	<b>-62,9</b>	<b>25 %</b>	<b>-1 %</b>	<b>-23 %</b>	
				+ oksat								<b>18,6</b>	<b>m<sup>3</sup>/ha</b>
ENERGIA		Rulu >2 cm	Rulu <2 cm	Pituus	Lpm	Ppa	Ainespuu	Latva	Yhteensä	Mä	Ku	Lp	
RAIVAAMATON	1	4750	4250	10,4	13,7	27	114	31	145	50 %	19 %	30 %	
KOEALA 3	2	7488	5556	9,3	10,6	30	104	47	151	57 %	5 %	38 %	
	3	8333	7619	8	7,9	25	73	50	123	52 %	5 %	43 %	
	ka.	6888	5835	9,2	10,7	27,0	97	43	140	53 %	10 %	37 %	
	Yht.	12723											
JÄÄ		Rulu >2 cm	Rulu <2 cm	Pituus	Lpm	Ppa	Ainespuu	Latva	Yhteensä	Mä	Ku	Lp	
KASVAMAAN	1	1500	1500	11,1	16,3	15	82	7	89	54 %	31 %	14 %	
KOEALA 3	2	2335	1449	10,5	14,2	14	63	11	74	80 %	5 %	15 %	
	3	2778	2619	10,2	13,3	13	58	14	72	80 %	1 %	19 %	
	ka.	2215	1864	10,6	14,6	14,1	67	11	78	72 %	12 %	16 %	
JÄÄ		4079											
<b>HAKATTU</b>		<b>4673</b>	<b>3971</b>	<b>1,4</b>	<b>3,9</b>	<b>-12,9</b>	<b>-29,3</b>	<b>-32,0</b>	<b>-61,4</b>	<b>19 %</b>	<b>3 %</b>	<b>-21 %</b>	
				+ oksat								<b>15,1</b>	<b>m<sup>3</sup>/ha</b>
AINESPUU		Jälkeen	Ennen	Pituus	Lpm	Ppa	Ainespuu	Latva	Yhteensä	Mä	Ku	Lp	
RAIVATTU	1	3091	8605	10,1	12,8	31	150	19	169	78 %	7 %	15 %	
KOEALA 4	2	2551	6091	9,8	12,1	21	93	19	112	64 %	5 %	32 %	
	3	2179	7425	10,2	13,2	25	128	12	140	89 %	0 %	11 %	
	ka.	2602	7368	10,0	12,7	25,5	123	16	140	77 %	4 %	19 %	
		--> raivattu		r/ha									
		4766											
JÄÄ		Jälkeen	Ei ainespuu	Pituus	Lpm	Ppa	Ainespuu	Latva	Yhteensä	Mä	Ku	Lp	
KASVAMAAN	1	1587	0	10,5	14,2	18	91	9	100	80 %	0 %	20 %	
KOEALA 4	2	1564	494	9,9	12,1	17	76	15	91	63 %	5 %	32 %	
	3	1533	0	10,3	13,5	19	99	8	107	87 %	0 %	13 %	
	ka.	1561	164	10,2	13,3	17,9	88	11	99	77 %	2 %	22 %	
<b>HAKATTU</b>		<b>876</b>		<b>0,2</b>	<b>0,6</b>	<b>-7,6</b>	<b>-34,9</b>	<b>-5,5</b>	<b>-40,4</b>	<b>0 %</b>	<b>-2 %</b>	<b>2 %</b>	
AINESPUU		Rulu >2 cm	Rulu <2 cm	Pituus	Lpm	Ppa	Ainespuu	Latva	Yhteensä	Mä	Ku	Lp	
RAIVAAMATON	1	4103	1538	10,1	12,7	23	97	28	124	70 %	2 %	28 %	
KOEALA 5	2	6632	2618	8,8	9,5	28	103	44	147	40 %	0 %	60 %	
	3	2523	1441	10,6	14,3	20	94	18	112	60 %	0 %	40 %	
	ka.	4437	1868	9,8	12,1	24,0	98	30	128	57 %	1 %	43 %	
		6305											
JÄÄ		Rulu >2 cm	Rulu <2 cm	Pituus	Lpm	Ppa	Ainespuu	Latva	Yhteensä	Mä	Ku	Lp	
KASVAMAAN	1	3077	1538	10,5	14,1	18	74	20	94	68 %	3 %	29 %	
KOEALA 5	2	5061	1658	9	9,9	26	98	36	134	43 %	0 %	56 %	
	3	2072	1441	10,5	14,3	17	77	15	91	58 %	0 %	42 %	
	ka.	3415	1547	10,0	12,8	19,9	83	24	107	56 %	1 %	42 %	
JÄÄ		4962											
<b>HAKATTU</b>		<b>1022</b>	<b>321</b>	<b>0,2</b>	<b>0,6</b>	<b>-4,2</b>	<b>-14,9</b>	<b>-6,2</b>	<b>-21,1</b>	<b>0 %</b>	<b>0 %</b>	<b>0 %</b>	
LEPOKUVIO		Rulu >2 cm	Rulu <2 cm	Pituus	Lpm	Ppa	Ainespuu	Latva	Yhteensä	Mä	Ku	Lp	
KOEALA 6	1	7680	3676	9	9,9	33	120	50	170	41 %	4 %	56 %	
	2	7964	4433	9	9,9	33	124	49	172	36 %	4 %	60 %	
	3	2859	654	10	12,6	19	81	21	102	70 %	3 %	28 %	
	ka.	6165	2919	9,3	10,8	28,3	108	40	148	49 %	4 %	48 %	
	Yht.	9083											