

OPINNÄYTETYÖ

SAMUEL NIKULA 2012

**ENERGIAPUUN KORJUU KYMPPIKOURA
OY:N E-100 HAKKUUPÄÄLLÄ**



Rovaniemen
ammattikorkeakoulu **METSÄTALOUS**
University of Applied Sciences

ROVANIEMEN AMMATTIKORKEAKOULU

LUONNONVARA-ALA

Metsätalouden koulutusohjelma

Opinnäytetyö

**ENERGIAPUUN KORJUU KYMPPIKOURA OY:N E-100
HAKKUUPÄÄLLÄ**

Samuel Nikula

2012

Toimeksiantaja Kymppikoura Oy

Ohjaaja Oiva Hiltunen

Hyväksytty _____ 2012 _____

Työ on kirjastossa lukusalikappale.

Tekijä	Samuel Nikula	Vuosi	2012
Toimeksiantaja Työn nimi	Kymppikoura Oy Energiapuun korjuu Kymppikoura Oy:n E-100 hakkuu- päällä		
Sivu- ja liitemäärä	62 + 5		

Opinnäytetyössä tutkittiin Kymppikoura Oy:n pienimmän energiapuukouran E-100 soveltumista energiapuuharvennuksen suorittamiseen. Kymppikoura Oy:n hakkuupäät ovat kaivinkonesovitteisia kaato-kasauslaitteita. Tutkimusmenetelmänä käytettiin aikatutkimusta, joka suoritettiin nuoren metsän kunnostuskohteella Kalajoella. Alustakoneena käytettiin yhdeksän tonnin painoista JCB 8080 ympäripyörivää telalustaista kaivinkonetta. Kaivinkone oli täysin vakiovarusteinen, ja sen ulottuma oli seitsemän metriä. Kuljettajia oli kaksi kappaletta. Aihe on ajankohtainen, sillä energiapuun hakkuutavoitteita on nostettu ja sen vuoksi energiapuun hakkuukoneita täytyy kehittää.

Tutkimuksessa hakattiin 0,52 hehtaaria metsää, johon sisältyi kolme kappaletta 140 neliömetrin aikatutkimuskoealaa. Koealojen poistumasta 82,5 prosenttia oli mäntyä ja loput kuusta koivua ja leppää. Poistuman rungon keskiarvokoko oli 11,3 kuutiodesimetriä. Koealoilla 1 ja 2 rinnankorkeusläpimittajakaumassa ennen hakkuuta sekä poistumassa eniten puita oli kolmen senttimetrin läpimittaluokassa ja koealalla 3 yhden senttimetrin läpimittaluokassa. Koealojen keskimääräinen hakkuukertymä oli 77,6 kiintokuutiometriä hehtaarille.

Koealoilta hakattiin yhteensä 3,3 kiintokuutiometriä puuta. Keskimääräinen tehotuntuotos oli 2,7 kiintokuutiometriä tunnissa. Koealojen puusto tiheni ja rungon keskikoko pieneni koealojen 1 ja 3 välillä. Ensimmäisellä koealalla poistuman rungon keskikoko oli 16,1 kuutiodesimetriä, jolloin tehotuntuotto oli 3,4 kiintokuutiometriä tunnissa. Koealalla 2 poistuman rungon keskikoko oli 9,2 kuutiodesimetriä, jolloin tehotuntuottavuus oli 2,5 kuutiometriä tunnissa. Koealalla 3 poistuman rungon keskikoon ollessa 8,9 kuutiodesimetriä, jäi tehotuntuottavuudeksi 2,2 kuutiometriä tunnissa. Kasojen parantelu ja kasaus veivät eniten aikaa jokaisella koealalla johtuen pyörittelijän puutteesta ja vakiopuomin kankeudesta.

Tutkimuksen tulos oli positiivinen, vaikka tuotos jäikin hiukan joidenkin koneiden tuotoksista, sillä tuotos paransi pienillä rakenteellisilla muutoksilla huomattavasti. Mielestäni on kaksi parannusvaihtoehtoa: puomin rakenteen muuttaminen tai pyörittelijän asentaminen. Molemmat muutokset yhdessä olisi paras vaihtoehto. Sellaisenaan hakkuuyhdistelmä soveltuu kuitenkin hyvin sinne, mihin se on suunniteltu eli tienreunojen ja pellon reunojen puuston hakkaamiseen. Yhdistelmä soveltuu hyvin myös oja- ja tielinjojen aukaisuun.

Author	Samuel Nikula	Year	2012
Commissioned by	Kymppikoura Oy		
Subject of thesis	Energywood harvesting with Kymppikoura Oy's E-100 grab		
Number of pages	62 + 5		

This thesis is a study of Kymppikoura Oy's smallest energy wood grab E-100 suitable for energy wood thinning. Kymppikoura Oy guillotine grabs are made for excavators and are feller-bunchers. The research method used was time study, which was conducted in a young stand forest in Kalajoki. The used excavator was a crawler-based nine ton JCB 8080. The excavator had standard equipment and the machining zone was seven meters. There were two men using the excavator at the time of the study. The topic is current because of the increase in energy wood harvesting. Due to this energy wood harvesters must be further developed.

At the time of research 0.52 hectares of forest were felled, which includes three experimental plots for time study. The size of experimental plots was 140 square meters. The drain from each experimental plot was 82.5 percent pine and the rest was spruce, birch and alder. The average-size of stems was 11.3 cubic decimeters. In experimental plots 1 and 2 most stems had a diameter of three centimeters before and after harvesting. In experimental plot 3 the diameter of most of the stems was one centimeter before thinning, after thinning the diameter of most of the stems was nine centimeters. The mean logging outturn of experimental plots was 77.6 solid cubic meters per hectare.

The total logging outturn was 3.3 solid cubic meters. The mean average efficient productivity per hour was 2.7 solid cubic meters. The stand thickened and trees decreased, between plot 1 to plot 3. The average-size of stem in the first plot was 16.1 cubic decimeters, when average efficient productivity per hour was 3.4 solid cubic meters. In the second plot the average-size of the stem was 9.2 cubic decimeters, when the average efficient productivity per hour was 2.5 solid cubic meters. Correspondingly in plot three the average-size of the stem was 8.6 cubic decimeters and the average efficient productivity per hour was 2.2 solid cubic meters. Improving wood stacks and bunching took most of the time in every plot, because of the lack of the rotator and stiff original excavator arm.

The research result was positive even though the average efficient productivity per hour was lesser than at some other machines, because productivity improved with minor adjustment. The combination needs at least a rotator and a good improvement is to change the excavator arm. The best option is to do both adjustments. This combination is still well applicable for what it is designed, i.e. felling trees from the side of the road and clearing land for cultivation. The combination is well suitable to open ditch line routes too.

Key words: energy wood, excavator, guillotine grab, time study

KIITOKSET

Haluan kiittää erikseen joitain henkilöitä, jotka ovat olleet suurena apuna opinnäytetyön teossa. Kiitän opinnäytetyön ohjaajaani Oiva Hiltusta aikatutkimuksen suunnittelussa. Kaivinkoneen vuokraamisesta kiitän maanrakennusliike Tapani Saari Oy:tä. Energiapuukouran ilmaisesta lainasta kiitän Kymppikoura Oy:n Jorma Haapakoskea. Aikatutkimuksen suorittamisessa avustamisesta kiitän veljeäni Jannea, sekä isääni Heikkiä. Kiitän myös vaimoani Jenniä kärsivällisyydestä ja ajan antamisesta työn tekemiseen.

SISÄLTÖ

TAULUKKO- JA KUVIOLUETTELO	1
KÄSITTEITÄ.....	2
1 JOHDANTO	4
2 ENERGIAPUU UUSIUTUVANA ENERGIANA	6
2.1 PERUSTEITA ENERGIAPUUN KÄYTÖLLE ENERGIANTUOTANNOSSA	6
2.2 ENERGIAPUUN LISÄYSTAVOITTEISTA JA TUISTA	8
2.3 METSÄNHOITORÄSTEISTÄ.....	11
2.4 PIENPUUN KORJUUKOhteista	12
3 KAIVINKONEET HAKKUUTYÖSSÄ.....	16
3.1 PERUSTELUITA KAIVINKONEEN KÄYTÖLLE HAKKUUTYÖSSÄ.....	16
3.2 KAIVINKONEEN MUUTTAMINEN HAKKUUKONEEKSI	17
3.3 TUOTOKSIA ENERGIAPUUN HAKKUUSSA ERI ENERGIAPUUKOURILLA.....	19
3.3.1 <i>Timberjack 720 –energiapuukouran tuotoksia</i>	19
3.3.2 <i>Risutec L3A –energiapuukouran tuotoksia</i>	21
3.3.3 <i>Muiden energiapuukourien tuotoksia</i>	22
4 TUTKIMUSMENETELMÄT- JA AINEISTOT	25
4.1 TUTKIMUSMENETELMÄT	25
4.2 MAASTOMITTAUSTULOSTEN PURKAMINEN	28
4.3 TUTKIMUSMETSIKKÖ.....	30
4.2.1 <i>Koeala 1</i>	32
4.2.2 <i>Koeala 2</i>	35
4.2.3 <i>Koeala 3</i>	37
4.4 TUTKITTU ENERGIAPUUKOURA.....	40
4.5 KAIVINKONE JA KULJETTAJAT.....	42
5 TUTKIMUSTULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	43
5.1 KOEALA 1:N TULOKSET	43
5.2 KOEALA 2:N TULOKSET	44
5.3 KOEALA 3:N TULOKSET	46
5.4 YHTEENVETO KOEALOISTA	48
5.5 HAKKUULAITTEEN TUOTTAVUUS	49
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	52
6.1 KAIVINKONEEN KÄYTTÖ	52
6.2 HAKKUUPÄÄN KÄYTTÖ.....	53
6.3 HAKKUUPÄÄN SOVELTUVUUS ENERGIAPUUHARVENNUKSEEN	54
LÄHTEET	58
LIITTEET	62

TAULUKKO- JA KUVIOLUETTELO

Kuvio 1. Uusiutuvan energian lähteet	6
Kuvio 2. Metsähakkeen kokonaiskäyttö 2000–2010.....	8
Kuvio 3. Kemera-tuki vyöhykkeet.....	10
Taulukko 1. VMI10:n ja VMI9:n hakkuuehdotuspinta-alat	11
Taulukko 2. Koko- ja rankapuuhakkeen hankinnan vahvuudet ja heikkoudet.....	13
Taulukko 3. Kokopuunkorjuun valintarajoitteet	14
Kuvio 4. Vuotuiset teknis-taloudelliset pienpuupotentiaalit maakunnittain	15
Kuvio 5. Timberjack 720 -energiapuukouran tehotuntuottavuus	20
Kuvio 7. Tehotuntuottavuus eri hakkuulaitteella	23
Taulukko 4. Kokopuunhakkuun tuotoksen vaihtelut vuosina 2002–2006.....	24
Kuvio 8. Puiden punnitus	27
Kuvio 10. Puuryhmä.....	32
Taulukko 5. Koealojen puustotunnuksia	32
Taulukko 6. Koealojen poistumien puulajiosuudet prosentteina.....	33
Kuvio 11. Läpimittajakauma ennen hakkuuta koealalla 1	33
Kuvio 12. Läpimittajakauma hakkuun jälkeen koealalla 1	34
Kuvio 13. Koeala 1 hakattuna	34
Kuvio 14. Läpimittajakauma koealalla 2 ennen hakkuuta.....	35
Kuvio 15. Läpimittajakauma koealalla 2 hakkuun jälkeen	36
Kuvio 16. Koeala 2 hakattuna	36
Kuvio 17. Läpimittajakauma koealalla 3 ennen hakkuuta.....	37
Kuvio 18. Läpimittajakauma koealalla 3 hakkuun jälkeen	38
Kuvio 19. Koeala 3 ennen hakkuuta	39
Kuvio 20. Koeala 3 hakattuna	40
Kuvio 21. Kymppikoura E-100	41
Kuvio 22. Katkaisuterä	41
Kuvio 23. JCB 8080 tela-alustainen kaivinkone.....	42
Kuvio 24. Koealan 1 tehoajan jakautuminen keskimääräisellä kouraisulla	43
Kuvio 25. Kokonaistehoajan jakautuminen koealalla 1	44
Kuvio 26. Koealan 2 tehoajan jakautuminen keskimääräisellä kouraisulla	45
Kuvio 27. Kokonaistehoajan jakautuminen koealalla 2	46
Kuvio 28. Koealan 3 tehoajan jakautuminen keskimääräisellä kouraisulla	47
Kuvio 29. Kokonaistehoajan jakautuminen koealalla 3	48
Kuvio 30. Koealojen keskimääräinen ajankuluminen per kouraisu	49
Kuvio 31. Tehotuntuottavuus suhteessa runkolukuun hehtaarilla	50
Kuvio 32. Tehotuntuottavuus suhteessa rungon keskikokoon.....	50
Kuvio 33. Koneen työvaiheiden prosenttiosuus koealan kokonaisajasta	51

KÄSITTEITÄ (Bioenergiatieto.fi)

Ainespuu

On mitoiltaan ja laadultaan puujalostusteollisuuden raaka-aineeksi soveltuva puutavara.

Energiapuu

Tarkoittaa latvusmassaa, harvennusenergiapuuta, tyveysiä, lumppeja ja kantopuuta sekä edellä mainituista tehtyä haketta ja mursketta. Energiapuu poltetaan lämmöksi tai käytetään energiatuotantoon.

Energiapuukoura

Tarkoittaa energiapuun hakkaamiseen kehitettyä laitetta, joka asennetaan metsäkoneeseen/harvesteriin/kaivinkoneeseen.

Erillishakkuu

On hakkuutapa, jossa hakataan vain energiapuuta tai ainespuuta.

Fossiilinen polttoaine

On eloperäisestä materiaalista pitkän ajan kuluessa syntynyt tai muuntunut polttoaine, joka on varastoitunut maaperään, esim. kivihiili, öljy ja maakaasu.

Giljotiinikoura

On energiapuun hakkaamiseen kehitetty hakkuulaite, jossa ei ole puun katkaisuun erillistä sahaa vaan puu katkeaa, kun se puristetaan vastaterää vasten. Ns. kaato-kasauslaite.

Hake

On tietynkokoisiksi palasiksi haketettu puubiomassa, joka on valmistettu mekaanisesti terävillä työkaluilla. Puuhakkeen palat ovat suorakaiteen muotoisia, tyypillinen pituus on 5–50 millimetriä.

Harvennusenergiapuu

On energiapuuharvennukselta tai harvennushakkuulta korjattava energiapuu, jonka korjuu voidaan toteuttaa kokopuun korjuuna tai rankapuun korjuuna.

Integroitu hakkuu

On yhdistetty hakkuutapa, jossa hakataan yhtä aikaa aines- ja energiapuuta.

Joukkokäsittely

Tarkoittaa useamman rungon yhtäaikaista käsittelyä hakkuupäällä.

Kokopuu

Tarkoittaa karsimatonta puuta, eli puu kaadetaan ja tarvittaessa katkotaan kuljetuksen helpottamiseksi.

Käyttötuntuotos

On tehotuntuotoksesta kertoimen avulla laskettu tuotosluku, jossa on mukana myös pidemmät tauot ja on todellinen koneen ja kuljettajan tuotosluku esim. leimikossa.

Latvusmassa

On ainespuuhakkuun sivutuote. Latvusmassaan kuuluvat latvat, oksat, neulas ja lehdet. Myös hakkuualalle jäävä pienikokoinen puu (ns. raivauspuu) luetaan latvusmassaksi. Latvusmassaa kerätään yleensä avohakkuualueilta.

Metsähake

On yleisnimitys metsästä energiakäyttöön tuleville hakkeille.

Pienpuu

On pieniläpimittainen energiaksi menevä puu, jota saadaan yleensä nuoren metsän harvennuksista ja taimikonhoidosta.

Polttohake

On polttoaineena käytettävää haketta, silloin kun halutaan erottaa se massa-teollisuuden hyödyntämästä puuhakkeesta.

Rankapuu

On karsittu puu, yleensä pienikokoista puuta, joka ei täytä ainespuun laatu- ja mittavaatimuksia.

Tehotuntuotos

On hakkuukoneen tunnissa tuottama kuutiomäärä, josta on vähennetty yli kahden minuutin seisokit.

1 JOHDANTO

Innostus opinnäytetyön aiheeseen lähti kotitilan harvennusrästeistä. Nuoren metsän kunnostusta ja ensiharvennusta on noin kymmenen hehtaaria yhteensä. Määrä on niin suuri, ettei sitä ehdi viikonloppuisin moottorisahalla suorittaa. Aloittelin syksyllä 2009 hakkaamaan tiheää nuoren metsän kunnostuskohdetta. Työ oli hidasta ja työtä tehdessä mietin erilaisia koneellisia vaihtoehtoja hakkuuseen. Aiempaa kokemusta koneellisesta hakkuutyöstä oli vuodelta 2007. Ajoin kotitilalla traktoriharvesteria, joka oli varustettu Patu 355 rh -rullavetoharvesterilla. Hakkasin koneella metsiä noin vuoden, josta puolet hakkasin nuoria metsiä. Kohteita ei ollut ennakkoraivattu ja osa oli Kemera-tuki -kohteita. Ongelmia esiintyi pienten risujen vuoksi hakkuupään viemisessä puun tyvelle ja risujen vuoksi teräketju lähti usein pois paikaltaan.

Talvella 2009 hakkautimme metsää aukoksi tela-alustaisella kaivinkoneella sekä Kymppikouran E-135 -kouramallilla, joka on Kymppikoura Oy:n järein malli. Mietin että voisiko pienemmällä kaivinkoneella ja hakkuupäällä onnistua harventamaan energiapuukohteita. Asia jäi hautumaan yli vuodeksi, koska lähdin vaihto- opiskelemaan Espanjaan.

Syksyllä 2010 tuli ajankohtaiseksi miettiä opinnäytetyön aihe. Kymppikouran kokeileminen harvennustyössä askarrutti edelleen mieltä ja soittelin asiasta Kymppikoura Oy:n Jorma Haapakoskelle, joka kertoi että muutamia pienemmän hakkuupään proto-tyyppejä on tehty ja myyty. Sain henkilöiden puhelinnumerot ja kyselin aikeista kokeilla harvennukseen E-100 hakkuupäätä. Hakkuupäähän on suunniteltu ja pääosin käytössä tienreunojen ja pellonreunojen raivauksissa.

Kaksi henkilöä aikoi talven 2010–2011 aikana harventaa Kymppikouralla nuorta metsää. Sovimmekin jo yhden hakkuupäänomistajan kanssa tutkimuksen suorittamisesta hänen metsässä, mutta alkuvuoden pitkä pakkasjakso siirsi hakkuiden aloitusta sillä seurauksella, että aloitusta täytyi siirtää ensi syksyille. Tällä hakkuupäänomistajalla olisi ollut vastaava JCB tela-alustainen kaivinkone ja sama hakkuupäämalli. Tutkimusmetsikkö olisi ollut huomatta-

vasti tiheämpi. Täytyi ottaa varasuunnitelma käyttöön ja suorittaa tutkimus vuokrakoneella kotitilani metsässä. Talven aikana kyseinen proto-tyyppi sai nimen E-100 ja tuli virallisesti myyntiin.

Hakkuupään soveltuvuutta ja tehokkuutta päätin tutkia aikatutkimuksen avulla. Valitsin tutkimuskohteeksi 0,6 hehtaarin luontaisesti syntyneen nuoren metsän kuvion. Kohteelle ei ollut tehty siemenpuiden poiston jälkeen mitään metsänhoitotöitä. Puusto kuviolla ei ollut silti kauhean tiheää, metsäsuunnitelman mukaan 3 480 runkoa hehtaarilla. Hakkuuta varten perustin kolme koealaa. Omilla koealoilla, joissa laskin mukaan kaikki pienemmätkin rungot alkaen yhden senttimetrin läpimittaluokasta, runkoluku oli keskimäärin 8 738 runkoa hehtaarilla. Koealojen puusto laskettiin ja mitattiin ennen ja jälkeen hakkuun. Hakkuussa olisimme kyenneet nopeampaan ja tehokkaampaan suoritukseen, jos esimerkiksi puukasojen paranteluun ei olisi käytetty niin paljon aikaa.

Tutkimusongelmina olivat työajan jakautuminen työvaiheittain ja työn tehokkuus. Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia kaivinkoneen ja energiapuukouran soveltuvuutta energiapuuharvennukseen. Aiempia tutkimuksia kaivinkoneen ja giljotiinienergiapuukouran käytöstä ei löytynyt.

Tutkimuksen aihe on mielestäni hyvin ajankohtainen myös koko Suomessa. Samalla kun fossiilisia polttoaineita pyritään korvaamaan uusiutuvilla energiälähteillä, niin nuoren metsän kunnostuksia jää rästiin sopivien tai riittävän tehokkaiden hakkuukoneiden puutteen vuoksi. Energiapuun käytön lisäämiselle energiantuotannossa on asetettu suuria tavoitteita ja jos harvennuksia on jäänyt rästiin jo nyt, on tarvetta tehokkaammille koneyhdistelmille. Toisaalta osa harvennusrästeistä johtuu energiapuun ja energiapuun tukien hinnoittelusta. Kaivinkoneen ja hakkuupään hinta sekä käyttökustannukset ovat huomattavasti alhaisemmat kuin perinteisillä harvestereilla, näin ollen myös alhaisemmilla energiapuutuilla hakkuut voivat olla kannattavia halvemmilla koneilla.

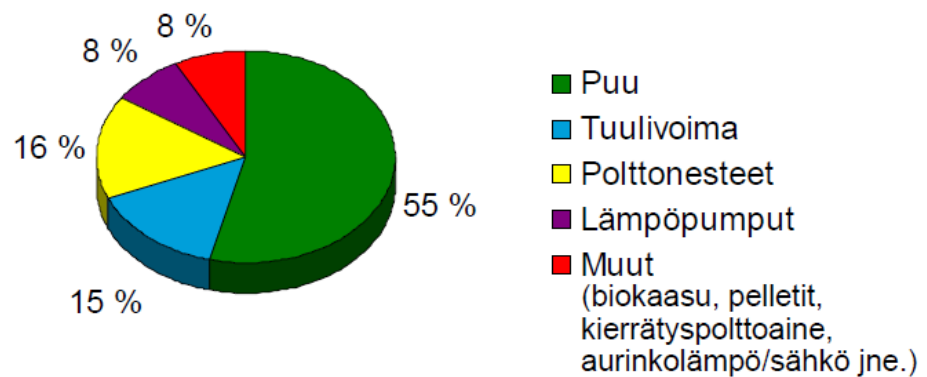
2 ENERGIAPUU UUSIUTUVANA ENERGIANA

2.1 Perusteita energiapuun käytölle energiantuotannossa

Ilmastonmuutos tarkoittaa ilmaston lämpenemistä. Ilmakehän lämpeneminen johtuu kasvihuonekaasujen, mm. hiilidioksidin lisääntymisestä ilmakehässä. Suurin hiilidioksidipitoisuuden nousun syy on fossiilisten polttoaineiden käyttö energiantuotannossa sekä liikenteessä. (Maa- ja metsätalousministeriö 2011b)

Ilmastonmuutosta voidaan kuitenkin hidastaa ja torjua, korvaamalla fossiilisia polttoaineita uusiutuvilla energianlähteillä. Vuoteen 2020 mennessä, Suomen tulisi tuottaa 38 prosenttia energiasta uusiutuvilla energianlähteillä EU:n asettaman tavoitteen mukaan (Kuvio 1). (Pekkarinen 2010, 3–6) Tärkeimmät uusiutuvan energian lähteet Suomessa ovat puu, tuuli ja vesi (Maa- ja metsätalousministeriö 2011b).

Uusiutuvan energian lisäys monista lähteistä

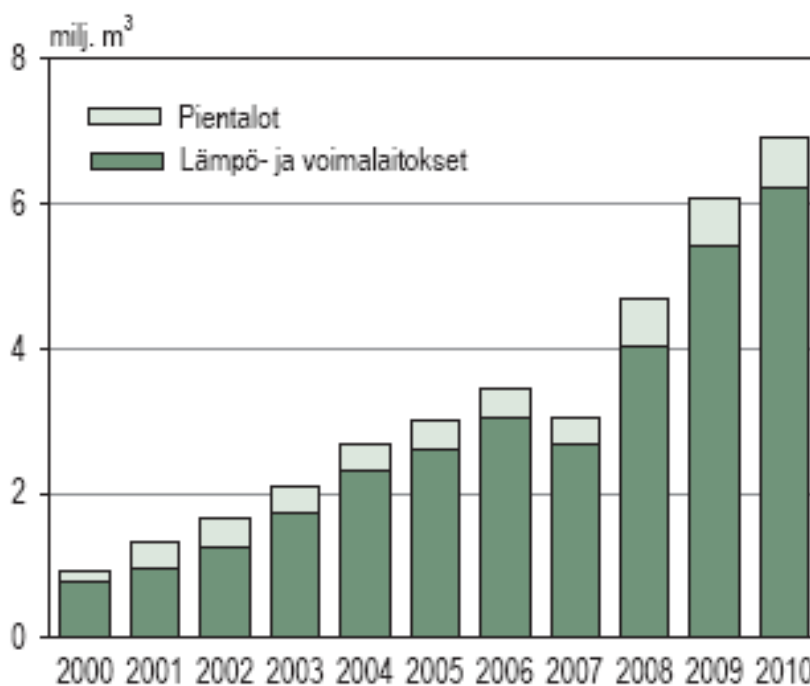


Kuvio 1. Uusiutuvan energian lähteet (Pekkarinen 2010, 6)

Uusiutuvaa energiaa puusta saadaan latvusmassasta, harvennuspienpuusta, kantoista, sahojen tukkienkuorista ja puruista sekä sellunkeiton jäteliemistä. Suurin osa energiapuusta menee polttolaitoksiin, joissa tuotetaan lämpöä ja sähköä. Kehitteillä on myös puupohjaisia polttonesteitä, jotka tulisivat korvaamaan osan öljynkäytöstä. Puun osuus Suomen energiankulutuksesta 2000-luvulla on ollut noin 20 prosenttia. Suurin osa puusta on tullut teollisuuden puunkäytön sivutuotteista, kuorista, puruista ja jäteliemistä. (Maa- ja metsätalousministeriö 2011b)

”Suomessa puu on lisäämispotentiaaliltaan merkittävin hiilidioksidineutraali polttoaine. Turpeen varannot ovat kertaluokkaa suuremmat, mutta se on päästökauppajärjestelmässä luokiteltu fossiiliseksi polttoaineeksi. Puuenergian lisääminen vähentää kasvihuonepäästöjä kuitenkin vain, jos sillä korvataan fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Puuta polttamalla pystytään Suomessa tuottamaan energiaa ilman, että sen kasvatus-, korjuu- ja tuotantoketjun yhteydessä syntyy merkittäviä hiilidioksidipäästöjä. Kasvihuonekaasupäästöjen leikkaamista ajatellen puu on siis varsin hyvä vaihtoehto fossiilisten polttoaineille.” (Laitila–Asikainen–Anttila 2008, 3)

Puuperäisten polttoaineiden käyttö oli vuonna 2010 viidennes energian kokonaiskulutuksesta, yhteensä 85 terawattituntia. Puupolttoaineet ovatkin Suomessa toiseksi merkittävin energialähde öljytuotteiden jälkeen. Vuonna 2010 talvi oli kylmä ja pakkasjakso lähes ennätyksellisen pitkä. Tämä vaikutti osaltaan puupolttoaineiden ennätysmäiseen käyttöön lämpö- ja voimalaitoksissa. Metsähakkeen käyttö on myös jatkanut kasvuaan, vuodesta 2009 vuoteen 2010 on lisäystä tullut 15 prosenttia (Kuvio 2). Lämpö- ja voimalaitosten, maatalojen sekä pientalojen yhteenlaskettu metsähakkeen käyttö vuonna 2010 oli 6,9 miljoonaa kiintokuutiometriä. Metsäteollisuuden sivutuotteena syntyvän energiapuun käyttö lisääntyi neljänneksen, tähän vaikutti osaltaan metsäteollisuuden tuotannon elpyminen. (Ylitalo 2010)



Kuvio 2. Metsähakkeen kokonaiskäyttö 2000–2010 (Ylitalo 2010)

Metsähakkeen raaka-aineena pienpuu on viime vuosina kasvanut merkittävimmäksi. Järeän runkopuun hakettaminen on vähentynyt, esimerkiksi viime vuonna sen käyttö puolittui. Järeä runkopuu onkin enimmäkseen ollut tuontipuuta ja vuonna 2010 sen tuonti väheni merkittävästi. Metsähakkeen tuonti on vastaavasti noussut ja vuonna 2010 tuotiinkin ennätyselliset 4,3 miljoonaa irtokuutiometriä metsähaketta. (Ylitalo 2010)

2.2 Energiapuun lisäystavoitteista ja tuista

Kansallisen metsäohjelman 2015 mukaan metsähakkeen teknis-taloudelliset tuotantomäärät olisivat arviolta 12–15 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Alkuperäisessä Kansallisessa metsäohjelmassa metsähakkeen vuosittaiseksi käyttötavoitteeksi on asetettu 8–12 miljoonaa kuutiometriä. (Kokkonen 2011, 19) KMO:n 16.3.2011 uudelleen tarkistetussa versiossa tavoite oli nostettu 10–12 miljoonaan kuutiometriin vuodessa (Maa- ja metsätalousministeriö 2008). Työ- ja elinkeinoministeriön tekemässä uusiutuvan energian velvoitepaketissa metsähakkeen vuosittainen käyttötavoite olisi 13,5 miljoonaa kuutiometriä vuoteen 2020 mennessä (Työ- ja elinkeinoministeriö 2010, 10).

Valtion asettaman kemeran, eli kestävän metsänhoidon rahoituslain tarkoituksena onkin puuntuotannon ja energiapuun käytön edistäminen sekä metsien biologisen monimuotoisuuden turvaaminen. Rahoitus kohdistuu vain metsätalousmaaksi luokitelluille maille, poissuljettuna suojelumaat sekä kaavoitetut maa-alueet. Tukien osalta valtionapuviranomaisena toimii Metsäkeskus. Tuki myönnetään yksityiselle maanomistajalle, jolla tarkoitetaan luonnollista henkilöä. Tukea myönnetään myös yhteisölle, yhteenliittymälle, säätiölle ja kuolinpesälle, jonka yhtiömiehenä, jäsenenä tai osakkaana on vain luonnollisia henkilöitä. Pääasiallisena tarkoituksena tulee tällöin olla maatila- ja tai metsätalouden harjoittaminen. Tuen piirissä ovat myös yhteismetsän osakaskunnat sekä yhteisen alueen osakaskunnat, joiden osuuksista vähintään puolet on luonnollisten henkilöiden omistuksessa. (Finlex 2007)

Kemera-varoin tuettavien töiden on taloudellisesti ja metsien biologisen monimuotoisuuden kannalta oltava tarkoituksenmukaisia. Työt on toteutettava taloudellisesti edullisimmalla tavalla sekä metsäalan hyvän ammattikäytännön mukaisesti. Tukea ei saa käyttää työhön tai toimenpiteeseen, joka laissa säädetään maanomistajan velvollisuudeksi. Tukea saa kuitenkin käyttää ympäristötukeen ja vähäpuustaisen tai vähäarvoista puustoa kasvavan metsän uudistushakkuun jälkeisiin tarpeellisiin toimenpiteisiin uuden puuston aikaansaamiseksi. (Finlex 2007)

Kemera-tuen saaminen edellyttää yleensä voimassa olevan hoitosuunnitelman. Tästä poikkeuksena ovat nuoren metsän hoito, energiapuun korjuu, kulotus ja juurikäävän torjunta. Liitteenä on oltava toteutus selvitys. Nämä ovat yleensä maksuttomia toimenpiteitä metsänomistajalle. Tilakohtaisesta metsäsuunnitelmasta on hyötyä jos se on ajan tasalla, sillä sen puuttuessa tukiprosentit alenevat kymmenen prosenttiyksikköä. (Koistinen 2009)

Nuoren metsän hoitotuen piiriin kuuluvat taimikonhoito sekä nuoren kasvatusemetsän harvennus ja sen yhteydessä pieniläpimittaisen puuston poistaminen. Myös pystykarsinta kuuluu nuoren metsän hoitotuen piiriin. Edellytykse-

nä tuelle kohteen on oltava kooltaan vähintään yksi hehtaari, mutta se voi koostua useammasta metsikkökuviosta. (Koistinen 2011c)

Nuoren kasvatusmetsän harvennuksella tarkoitetaan toisen kehitysluokan metsän harvennusta. Harvennuksessa tulee poistaa yli tuhat kappaletta hehtaarilta (kpl/ha) vähintään neljän senttimetrin kantoläpimitan puita. Jäävän puuston rinnankorkeusläpimitta on oltava keskimäärin alle 16 senttimetriä. Puulajista riippuen kasvatettavia puita jätetään 700–1 400 kpl/ha. Poikkeuksena ylitteet tuhoriskikohteet, joissa saa olla enintään 2 000 kpl/ha. Käsitteilyn jälkeen valtapituus ei saa olla havupuumetsikössä yli 14 metriä ja lehtimetsässä yli 15 metriä, poikkeuksena jos korjattava puu menee energiapuuksi, voi pituus olla suurempi. Tuen osuus keskimääräisistä toteutuskustannuksista riippuu tukivyohykkeestä jolla metsikkö sijaitsee (Kuvio 3). (Koistinen 2011b)

	Vyöhyke €/ha		
	1	2	3
Kun metsänomistaja tekee työn itse	135 (108)	162 (135)	189 (162)
Kun työn tekee palkattu ulkopuolinen työvoima	210,5 (168,4)	252,6 (210,5)	294,7 (252,6)
	Todellisista kustannuksista		
Kun teetetään työllisyystyönä	60 %	70 %	80 %



Suluissa tuki metsäsuunnitelman puuttuessa.

Kuvio 3. Kembra-tuki vyöhykkeet (Koistinen 2011)

Kemeran alaista energiapuun korjuutukea voi saada jos nuoren metsän hoitokohteelta kertyy energiapuuta vähintään 20 kiintokuutiometriä ja ne luovutetaan energiakäyttöön ulkopuoliselle henkilölle. Tuki on 7,0 euroa kiintokuutiometrille (€/kiinto-m³), josta kasaus 3,5 €/kiinto-m³ ja kuljetus 3,5 €/kiinto-m³. Jos työ teetetään työllisyystyönä, korjuuseen myönnetään lisätukea 1,7 €/kiinto-m³. Energiapuun haketuksen tuki on 1,7 euroa hakettua irtokuutiota kohden. Tuki maksetaan hakkeen toimittajalle vasta sitten, kun hakkeen

ostaja on vastaanottanut energiakäyttöön ostamansa hakkeen. (Koistinen 2011a)

Pienpuun energiatukilain tarkoituksena on puun energiakäytön edistäminen. Tuen myöntämisperusteet ovat hyvin samankaltaiset kuin kestävän metsänhoidon rahoituslaissa, eli tuki koskee vain yksityisiä henkilöitä. Tukea voidaan myöntää nuorten metsien hoito- tai ensiharvennuskohteilta saatavalle energiapuulle, jos energiapuu luovutetaan energiakäyttöön ja sitä on vähintään 40 kiintokuutiometriä, sekä siitä on mittaustodistus. (Finlex 2011). Pienpuun energiatuki korvaa voimaantullessaan nykyisen Kemeran nojalla maksettavat energiapuun korjuu- ja haketustuet (Maa- ja metsätalousministeriö 2011a).

2.3 Metsänhoitorästeistä

Suomen metsien kasvu on ollut noususuuntainen. Puuston vuotuinen kasvu on noussut 99 miljoonan kuutiometriin ja kokonaistilavuus on noussut 2,2 miljardiin kuutiometriin. (FINBIO 2010). Valtakunnan metsien inventoinnin VMI9 ja VMI10 mukaan Suomen metsissä on 6 171 neliökilometriä myöhästyneitä ensiharvennuskohteita (Taulukko 1), sekä 6 928 neliökilometriä myöhästyneitä taimikonhoitokohteita (Metla 2011b).

Taulukko 1. VMI10:n ja VMI9:n hakkuuehdotuspinta-alat (Metla 2011b)

Hakkuuehdotuspinta-alat seuraavalle 10-vuotiskaudelle			
Alue	Ehdotetun hakkuun ajankohta	Pinta-ala neliökilometriä	
		Taimikon perk./harv.	Ensiharvennus
Koko maa	Lähin 5- vuotiskausi, myöhässä	6 928	6 171
Koko maa	Lähin 5- vuotiskausi, muut	10 320	12 316
Koko maa	Toinen 5-vuotiskausi	7 196	13 681
Koko maa	10-vuotiskausi yhteensä	24 444	32 168
Metla/Metinfo/Tilastopalvelu/05.10.2011			

Ensiharvennusten rästikohteissa on lähes 30 miljoonan kuutiometrin ainespuuvarannot, pääosin mänty- ja koivukuitupuuta. Se on melkein metsäteolli-

suuden vuodessa käyttämä kuitupuun määrä. Töitä on paljon rästissä ja lisää on tulossa. (FINBIO 2010) Olisikin tärkeä saada kehitettyä entistä tuottavampia nuorten metsien käsittelymenetelmiä käsittelyrästien purkuun, jotta vuotuiset käsittelytarpeet saadaan hoidetuksi niin, että rästejä ei syntyisi. Koneellisten menetelmien kehittäminen tehokkaammaksi on tärkeää myös sen tähden, että metsänhoitotöihin on tarjolla yhä vähemmän ammattitaitoista työvoimaa. (Hämäläinen–Poikela–Rieppo 2001, 6)

2.4 Pienpuun korjuukohteista

Taimikon perkauksessa(T1) poistuva pieniläpimittainen puu on niin pientä, että sitä ei ole kannattavaa eikä järkevää hyödyntää. Taimikonharvennuksessa (T2) poistettavat rungot sen sijaan ovat jo riittävän kookkaita kerättäväksi kokopuuna. Taimikon harvennuskohdeilla tyypilliset korjuukertymät ovat 20–40 kuutiota hehtaarilta (m³/ha) karsinta-asteesta riippuen. Energiapuun korjuu taimikon harvennuskohdeella edellyttää taimikolta kuitenkin riittävän suurta pinta-alaa, puiden kasaamista kaatotyön yhteydessä (siirtelykaatotekniikka) sekä ajourien tekemistä puiden ajoa varten. (Alakangas–Moisio–Knuutila 2003, 37)

Taimikon perkauksen ja harvennuksen jäädessä tekemättä, on seurauksena riukuuntunut tiheä metsä. Tällaisen metsän harvennuksessa, niin kutsutussa nuoren metsän kunnostuksessa energiapuukertymät vaihtelevat 30–80 kuutiometriin hehtaarilta. Nuoren metsän kunnostuskohdeilta tuleva energiapuukertymä on laadultaan ja määrältään yleensä hyvä. Nuoren metsän kunnostuksessa sekä ensiharvennuksessa energiapuuksi voidaan korjata ainespuuksi kelpaamattomia puulajeja, ainespuun laatu- ja mittavaatimusten täyttämättömiä runkoja sekä latvuksia. (Alakangas ym. 2003, 37–38)

Hakkuu voidaan suorittaa joko perinteisenä erillishakkuuna, jossa hakataan vain energia- tai ainespuuta tai integroituna hakkuuna, jossa hakataan yhtäaikaisesti aines- ja energiapuuta. Molemmissa hakkuutavoissa poistettava puu voidaan korjata joko karsittuna tai karsimattomana, toisinsanoin kokopuuna. (Kärhä 2010)

Metsäteho Oy:n tutkimuksessa aines- ja energiapuun hakkuu eri kasoihin ei lisännyt merkittävästi hakkuutyön ajanmenekkiä, verrattuna tavanomaiseen kokopuun hakkuuseen. Kokopuun integroidussa hakkuussa tuottavuus oli lähes samalla tasolla kuin kokopuun erillishakkuussa, poistuman runkojen keskikoon ollessa 7–14 senttimetriä. Integroidun ja erilliskorjuun välillä ei siis ole suurta tuottavuus eroa, mutta kokopuun ja rankapuun välillä ero oli merkittävä. Rankapuun hakkuu on huomattavasti kalliimpaa johtuen pienemmistä hakkuukertymistä sekä suuremmasta runkojen käsittelyajasta. Vastaavasti rankapuuhakkeen laatu on taas parempaa (Taulukko 2). Kuitu- ja energiapuun kysyntä sekä niiden kanto- ja tehdashinnat määrittävät korjuumenetelmän käytön. (Kärhä 2010)

Taulukko 2. Koko- ja rankapuuhakkeen hankinnan vahvuudet ja heikkoudet (Kärhä 2010)

Kokopuuhake	Rankapuuhake
Vahvuudet	Vahvuudet
Korkea hakkuukertymä	Kuormakoko isompi kuin kokopuulla
Runkojen turhaa käsittelyä mahdollisimman vähän	Matalat metsäkuljetuskustannukset
Korkea hakkuun tuottavuus	Korjuukohteina myös kuusikot, karut kasvupaikat ja heikosti kantavat maat
Matalat hakkuukustannukset	Puutavara-auto mahdollinen kaukokuljetuksessa
	Kilpailukykyiset kaukokuljetuskustannukset
	Käyttöpaikkamurskausoptio
	Kilpailukykyiset haketuskuustannukset
	Laadukasta polttohaketta
Heikkoudet	Heikkoudet
Pieni kuormakoko metsäkuljetuksessa	Hakkuukertymä pienempi kuin kokopuulla
Korkeat metsäkuljetuskustannukset	Kaato-kasauslaitteet hakkuussa
Huolellinen korjuukohdevalinta (esim. kuusikot, karut kasvupaikat ja heikosti kantavat maat ongelmallisia)	Hakkuun tuottavuus matalampi kuin kokopuulla
	Korkeat hakkuukustannukset

Ensiharvennukset ovat aina kiinnostaneet metsäkoneyrittäjiä vähemmän kuin, esimerkiksi uudistushakkuut ja myöhemmät harvennukset. Syitä tähän ovat korkeat korjuukustannukset, ensiharvennusmännyn markkinointivaikeudet sekä ensiharvennuskuitupuun lyhyet, ohutseinäiset nuorpuukuidut sekä

korkeahko kuoripitoisuus. Korkeat korjuukustannukset johtuvat pienestä hehtaarikohtaisesta ainespuukertymästä, tiheästä alikasvoksesta, pienestä rungon koosta sekä jäävien puiden suuresta lukumäärästä, jotka vaikeuttavat ja hidastavat hakkuuta. (Kärhä–Keskinen–Kallio–Liikkanen–Lindroos 2006, 11)

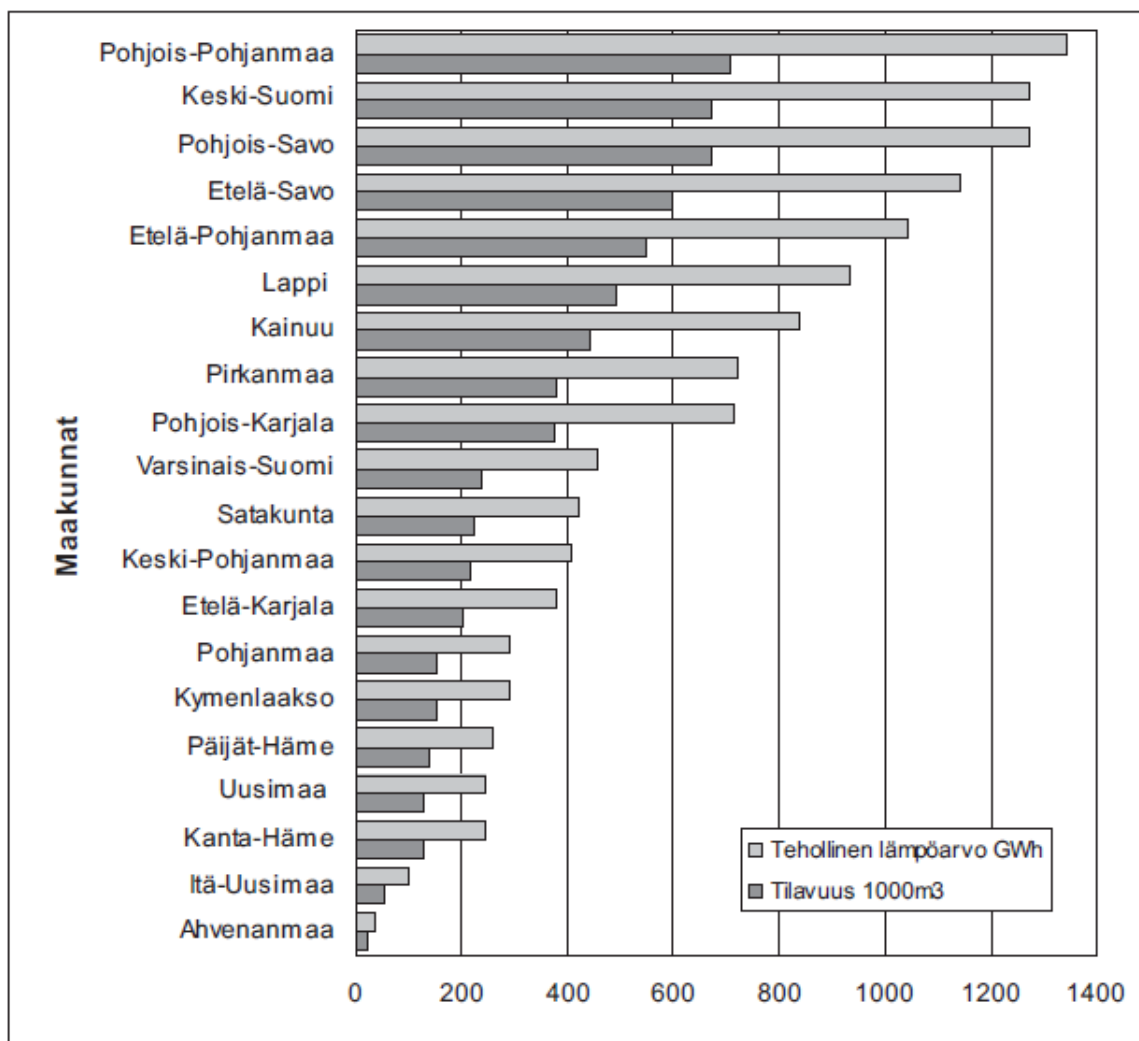
Energiapuuharvennus kokopuukorjuuna soveltuu harvennustavaksi niin hoidetuille kuin hoitamattomille kasvatusmetsille. Energiapuun korjuu rankapuuna soveltuu ravinnetalouden ja muiden korjuun kestävyysnäkökohtien puolesta kaikille talousmetsien harvennuskohteille, mutta jos energiapuu korjataan osittain tai kokonaan karsimattomana, niin leimikon viljavuustason suhteen on rajoituksia (Taulukko 3). Energiapuun korjuuseen kokopuuna soveltuvat parhaiten viljavuustasoltaan vähintään kuivahkon kankaan metsiköt. Kokopuun korjuuta boorinpuutoksesta kärsivissä kuusikoissa ei suositella ilman boorilannoitusta. Mustikka- ja puolukkaturvekangas II -tyypin kohteilla suositellaan ravinne epätasapainon ehkäisemiseksi PK- tai tuhkalannoitusta. (Äijälä–Kuusinen–Koistinen 2010, 13)

Taulukko 3. Kokopuunkorjuun valintarajoitteet (Äijälä ym. 2010, 13)

Kyllä = suositellaan korjuukohteeksi Ei = ei suositella korjuukohteeksi	Kokopuun korjuu
Kuivahkot kankaat ja niitä viljavammat kivennäismaat sekä vastaavat turvemaat	Kyllä
Kuivat kankaat ja karukkokankaat sekä vastaavat turvemaat	Ei
Kivennäismaiden kuusivaltaiset metsät, joissa kuusen osuus runkoluvusta on ennen harvennusta yli 75 %	Ei

Suomen teoreettinen pienpuupotentiaali on 13,4 miljoonaa kuutiometriä, eli 25,5 terawattituntia (TWh). Teoreettisesta potentiaalista laskettu 49 prosentin teknis-taloudellinen pienpuupotentiaali on 6,5 miljoonaa kuutiometriä

(12,4TWh), joka koostuu 4,2 miljoonaa kuutiometriä (7,9TWh) nuoren metsän kunnostuskohteilta ja 2,4 miljoonaa kuutiometriä (4,5TWh) ensiharvennusten pienpuusta. Maakunnittain suurimmat kokonaispotentiaalit (Kuvio 4) ovat Pohjois-Pohjanmaalla, 706 000 kuutiometriä (1,3TWh) ja Keski-Suomessa 672 000 kuutiometriä (1,3TWh). (Simola–Kola 2010, 22,24)



Kuvio 4. Vuotuiset teknis-taloudelliset pienpuupotentiaalit maakunnittain (Simola–Kola 2010, 25)

3 KAIVINKONEET HAKKUUTYÖSSÄ

3.1 Perusteluita kaivinkoneen käytölle hakkuutyössä

Varttuneiden taimikoiden harvennuksessa miestyönä tehtävä raivaussahatyö on vielä vahva kilpailija nykyisille koneille. Konetyön tuottavuutta ja kustannuskilpailukykyä on pystyttävä kohentamaan huomattavasti hakkuukoneita, sekä kuljettajan apuna olevaa automaatiota kehittämällä. Varttuneen taimikon kohdalla olevia puuntuottamisen reunaehtoja on myös tarkasteltava kriittisesti. Merkittäviä raivaussahalla tehtäviä työlajeja on myös uudistusalan ja ensiharvennuskohteiden ennakkoraivaukset. Ensiharvennusmetsien hakkuut ovat kasvamassa ja ennakkoraivauksella luodaan edellytykset kannattavalle konetyölle. Raivausten koneellistamiseksi kaivataankin uusia joko hakkuuseen yhdistettyjä, tai erillisiä ratkaisuja. (Strandström–Hämäläinen–Pajuoja 2009, 6)

”Tavoitteena on koneellistaa metsänhoitotöitä merkittävästi nykyistä enemmän mutta hallitusti osana kannattavaa puuntuottamista ja koneyrittämistä. Koneellistaminen ei ole itseisarvo vaan sen on tuettava kustannus- ja resurssitehokasta metsänkäsittelyketjua, edistettävä metsänhoitotöiden toteutusta ja puuntuotantoa sekä parannettava puuntuotannon kannattavuutta.” (Strandström ym. 2009, 6)

Konekehittelylle on asetettu tietyt periaatteet, joita noudattamalla koneet pärjäisivät ihmistyölle. Koneen täytyy tehdä työ selvästi ihmistä nopeammin, jotta tuen konetyön suuremmista kustannuksista. Koneen täytyy tehdä useita työvaiheita samanaikaisesti tai niitä limittäen. Jotkut työvaiheet olisi automatisoitu ja kone käsittelisi useita puita kerrallaan. Koneen täytyisi olla tarpeeksi yksinkertainen, että se on luotettava ja hinta olisi oikeassa suhteessa tuottavuuteen ja vuotuisen käyttömäärään. Työn laadun tulisi myös olla hyvää. (Strandström ym. 2009, 14)

Tela-alustaisia kaivinkoneita on Suomessa käytetty harvestereiden peruskoneina 1980-luvulta lähtien. Kaivinkoneharvestereiden määrä on kuitenkin py-

synyt pienenä vaikkakin, useissa tutkimuksissa on todettu niiden olevan oikeissa käyttöolosuhteissa kilpailukykyisiä perinteisten harvestereiden kanssa. 1990-luvulla kaivinkoneiden käyttöä puunkorjuussa lisäsi jonkin verran erikseen sitä varten kehitetyt metsämallit. Parhaita korjuukohteita kaivinkoneharvestereille ovat suometsien talviharvennukset ja ojalinjojen aukaisut. Tutkimusten mukaan käyttöpotentiaali kaivinkoneharvesterilla voisi olla osaikaisessa puunkorjuussa. Puunkorjuun lisäksi kaivinkonetta voidaan käyttää myös perinteisissä kaivinkonetöissä, mikä lisää niiden käyttöastetta. (Bergroth 2006, 2)

Tutkimuksen mukaan suurimpina kaivinkoneharvestereiden etuina pidettiin perinteisiä harvestereita edullisempaa hankintahintaa, parempaa kantavuutta maastossa ja monipuolisempia työskentelymahdollisuuksia. Heikkouksina kaivinkoneharvestereille nähtiin huonompi maastoliikkuvuus epätasaisissa, kivisissä ja mäkisissä maastoissa. Lisäksi kaivinkoneita kohtaan asenteet ovat negatiivisia. Tela-alustaisten kaivinkoneiden valmistusmäärät ovat huomattavasti suuremmat kuin perinteisten harvestereiden, minkä vuoksi niiden valmistuskustannukset ovat alhaisemmat. Muualla maailmalla kaivinkonetta käytetään yleisesti hakkuukoneena. Useissa maissa kaivinkone on ainoa vaihtoehto hakkuukoneena. Syinä tähän voivat olla puusto, hankintahinnat, hakkuukustannukset tai koneiden huoltoverkostot. (Bergroth 2006, 2,6–7)

3.2 Kaivinkoneen muuttaminen hakkuukoneeksi

Tela-alustainen kaivinkone tarvitsee lisälaitteita ja modifiointeja, jotta sitä voidaan käyttää tehokkaasti hakkuutyössä. Nykyisin hakkuukoneiksi muokkaaminen aloitetaan yleensä valmiiden metsämallien pohjalta. Metsämallit sopivat ja ovatkin yleisesti käytössä myös muissa metsätöissä kuin hakkuussa, kuten ojituksissa ja maanmuokkauksissa. Nämä metsämallit poikkeavat perusmalleista yleensä suuremmalla maavaralla, järeämmällä ja pidemmällä telastolla ja ylöspäin taivutetuilla telalapuilla. (Bergroth 2006, 9)

Näiden metsämalleissa olevien ominaisuuksien lisäksi tehdään usein vielä jälkiasennuksena muutoksia. Kuten telaston ohjurien ja tukisuksien asennus, ylävaunun ja ohjaamon suojaaminen (kaatuvat puut), lisätyövalojen asennus, kattoikkunan asennus, lasien korvaaminen suojalaseilla, tietokoneen, ohjainvipujen ja mittalaitteen asennus, välijäähdyttimen asennus (lisää tehoa), lisäpolttoainesäiliön asennus, hakkuulaitteen asennus sekä siihen liittyvät puomin muutokset. (Bergroth 2006, 9)

Tärkein ja eniten hakkuutyöhön vaikuttava muutos on hakkuulaitteen asentaminen puomistoon, johon on useita tapoja. Suomessa yleisin tapa asentamiseen on, asentaa puomin päähän erillinen yletin, jonka päähän hakkuulaite asennetaan. Yletin on yleensä vielä varustettu hydraulisella jatkeella, jolloin puomille saadaan lisää ulottuvuutta. (Bergroth 2006, 9–10)

Toinen yleinen tapa hakkuulaitteen asentamiseen on kaivupuomin vaihtaminen liukupuomiin, minkä päähän hakkuulaite asennetaan. Liukupuomit ovat perinteisissä harvestereissa yleisiä. Liukupuomilla ylettymää saadaan enemmän kuin ylettimellä, mutta toisaalta liukupuomilla ei voi auttaa kaivinkoneen kulkemista hankalissa maastonkohdissa. Liukupuomin asennustyö vaatii noin yhden työpäivän, kun taas ylettimen ja hakkuupään asennuksen voi tehdä jopa alle tunnissa. Vaihtoehtona on myös asentaa hakkuulaite puomiin ilman yletintä, erillisen riipukkeen avulla. Riipuke ei ole Suomessa kuitenkaan juuri käytössä, koska ylettyvyys on melko vähäinen. (Bergroth 2006, 10–11)

Koneplaneetta Oy on osana kehittämässä kustannustehokasta ratkaisua energiapuun korjuuseen. Koneplaneetta Oy:n Koneforest asentaa haluamaasi kaivinkoneeseen, harvesteriin, kuormatraktoriin tai jopa maataloustraktoriin metsänhoitotöitä helpottavia lisälaitteita. Varustelutasoja on yhteensä viisi erilaista. Puomin varustelut käsittävät kaksi REGULUS -harvesterinosturia, 8,5- ja 10,5 metrin ulottuvuudella, hydraulisen jatkopuomin sekä ylettimen. Näiden puomien jatkoksi on asennettavissa SIRIUS -harvesteripää, jolla voi raivata sekä tehdä energia- ja ainespuut samalla kertaa. Harvesteripäällä katkaisu tehdään 600 millimetrin halkaisijaltaan olevalla pyöröterällä, jolla

tehdään myös raivaus. Harvesteripäässä on myös karsintaterät, vetorullat sekä mittalaitteet ainespuun tekoon. (Koneplaneetta Oy 2010)

Puuppolan konepalvelu Oy on kehittänyt energiapuun tekoon ja taimikonhoitoon Risumoto -työnimeä kantavaa konetta. Alustakoneena on telalustainen kaivinkone, jonka alusta on muutettu joustavaksi. Näin on saatu kaivinkoneen yksi suurimmista metsänhoitotöitä rajoittavista tekijöistä suljettua pois, eli maastoliikkuvuus epätasaisissa maastoissa. Lisäksi puomisto on vaihdettu saksipuomiin, millä ulottuvuutta on saatu yli kymmenen metriä. Risumotolla on meneillään kenttätestausvaihe ja ensimmäiset asiakastoimitukset pyritään suorittamaan vuoden 2011 aikana. Alustan muutokset nostavat koneen hintaa alkuperäisestä koneesta melkoisesti, mutta se on silti alle puolet keskimääräisen harvesterin hinnasta. Koneen tuotoksia ei ole vielä tutkittu. (Metsäalan ammattilehti 2010)

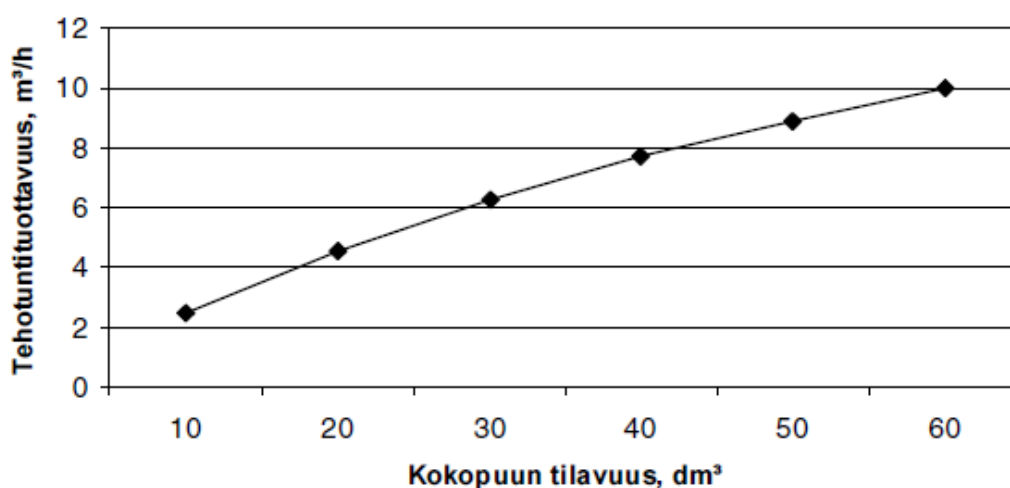
3.3 Tuotoksia energiapuun hakkuussa eri energiapuukourilla

Mitä pienempi on korjattavien runkojen keskikoko, sitä alhaisempi on työn tuottavuus ja sitä suuremmat ovat hakkuun ja metsäkuljetuksen yksikkökustannukset. Lisäksi, mitä alhaisempi on puuston tiheys (m³/ha), sitä alhaisempi on työn tuottavuus ja sitä suuremmat ovat yksikkökustannukset. Samoin, mitä alhaisempi on leimikon hakkuukertymä, sitä suuremmat ovat korjuun yksikkökustannukset. Lisäksi koneyksikkö, työmenetelmä, kuljettaja, säätelijät sekä muut olosuhdetekijät vaikuttavat pienpuun korjuun tuottavuuteen ja kustannuksiin. Kokonaisuus kytkeytyy näihin kaikkiin tekijöihin yhdessä ja erikseen. (Lauhanen–Laurila 2007, 15)

3.3.1 Timberjack 720 –energiapuukouran tuotoksia

Metlan suorittaman tutkimuksen mukaan Timberjack 720 -energiapuukouralla hakkuutyön tuottavuus nousi kahdesta kiintokuutiometristä kymmeneen kiintokuutiometriin tehotunnissa (Kuvio 5), kun kokopuun keskikoko kasvoi 10 kuutiodesimetrinä 60 kuutiodesimetriin. hakkuupäähän kerättiin kahdesta

viiteen runkoa kerrallaan puulajista riippuen ja puut katkottiin 5–6 metrin pituisiksi. Timberjack 720 on joukkokäsittelyyn soveltuva hakkuupää ja katkaisu tehdään veitsiterällä. Tutkittu energiapuukoura oli asennettu talvikokeissa Timberjack 870 -harvesteriin ja kesäkokeissa Valmet 901 -harvesteriin. Molemmat hakkuukoneet pystyivät työskentelemään 20 metrin ajouravälillä. Kuljettaja oli molemmissa sama ja metsät olivat nuoria mänty-koivu-sekametsiä. Tutkimuksen yhteydessä tutkittiin myös hakkuutapaa, jossa puusta poistettiin 1–3 metrin latvakappale ja se jäi ravinteeksi metsään. Tutkimuksen tuloksena oli, että tehotuntituotos aleni keskimäärin kaksi kuutiometriä tehotunnissa. (Laitila–Asikainen–Sikanen–Korhonen–Nuutinen 2004, 17–18, 22)



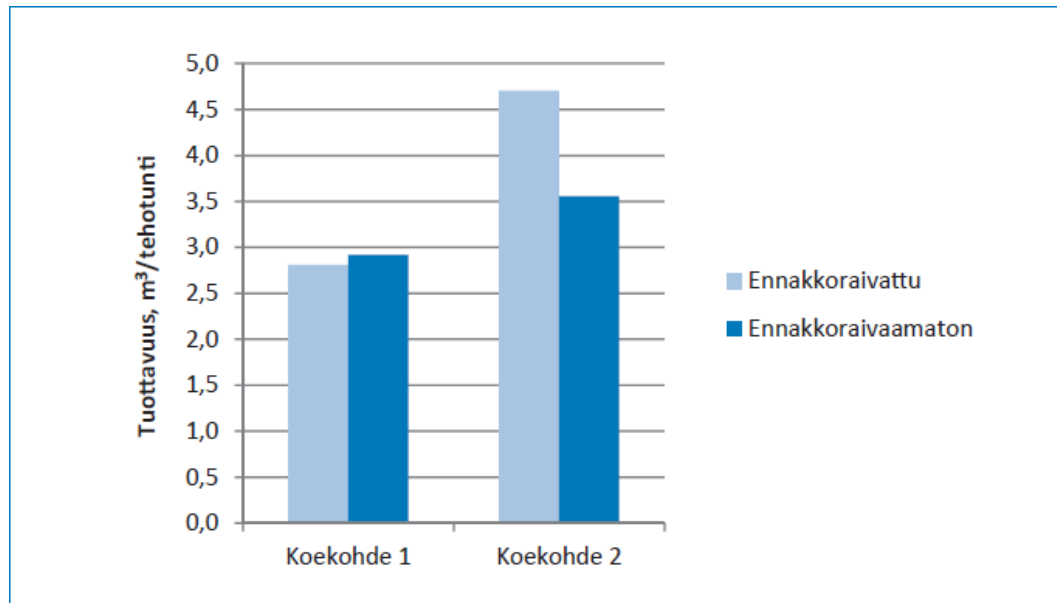
Kuvio 5. Timberjack 720 -energiapuukouran tehotuntituottavuus (Laitila ym. 2004, 21)

Metsäntutkimuslaitoksen tekemässä tutkimuksessa Timberjack 720 -energiapuukouran tuottavuus oli 2–6 m³/h, puun koon ollessa 10–50 kuutiodesimetriä kokopuuta. Työtehoseuran tekemässä tutkimuksessa energiapuu- ta hakattiin kokopuuna maataloustraktorilla, jolloin tuottavuus oli 1,5–3 m³/h, puun koon ollessa 10–40 kuutiodesimetriä. Käytössä oli keräävä kaatolaite. (Korpilahti–Örn 2002, 17)

3.3.2 Risutec L3A –energiapuukouran tuotoksia

Työtehoseura (TTS) tutki Risutec L3A -energiapuukouran tuottavuutta kahdessa ennakkoraivatussa ja kahdessa ennakkoraivaamattomassa nuoren metsän kunnostuskohteessa. Risutec L3A -hakkuulaite on tarkoitettu energiapuun hakkuuseen kokopuuna, jolla voidaan tehdä pieniläpimittaisen puuston raivaus samalla kun tehdään varsinainen energiapuun hakkuu. Ensimmäisenä tutkimuskohteena hakattiin nuoren metsän kunnostuskohde Kokemäellä elokuussa 2010. Puuston kappalemäärästä koivua oli 73 prosenttia, kuusta 19 prosenttia ja mäntyä 8 prosenttia. Lähtöpuuston tiheys oli raivatulla kohteella 3 280 runkoa hehtaarilla ja raivaamattomalla kohteella 3 840 runkoa hehtaarilla. Rungon keskikoko oli raivaamattomalla kohteella 27 kuutiodesimetriä ja raivatulla kohteella 22 kuutiodesimetriä. (Rieppo–Mutikainen 2011, 1-2)

Toisen kohteen kokeet toteutettiin toukokuussa 2011 mäntyvaltaisella ensiharvennuskohteella Eurajoella. Tällä kohteella oli puuston kappalemäärästä 72 prosenttia mäntyä, 18 prosenttia kuusta ja 10 prosenttia koivua. Lähtöpuuston tiheydet olivat raivatulla kohteella 4 520 ja raivaamattomalla kohteella 5 000 runkoa hehtaarilla. Rungon keskikoko oli raivatulla kohteella 22 kuutiodesimetriä ja raivaamattomalla kohteella 19 kuutiodesimetriä. Ensimmäisellä koekohteella hakkuun tuottavuus oli ennakkoraivaamaton-menetelmällä 2,92 m³/tehotunti ja ennakkoraivattu-menetelmällä 2,81 m³/tehotunti (Kuvio 6). Toisella koekohteella, varsinkin ennakkoraivatulla menetelmällä tuottavuus oli selvästi parempi kuin ensimmäisellä koekohteella, ollen 4,70 m³/tehotunti. Ennakkoraivaamattomalla menetelmällä päästiin 3,56 kuutiometriin tehotunnissa. (Rieppo–Mutikainen 2011, 1-3, 7)



Kuvio 6. TTS:n tutkimuksen tehotuntituotot kahdella koekohteella (Rieppo–Mutikainen 2011, 7)

3.3.3 Muiden energiapuukourien tuotoksia

Työ- ja elinkeinoministeriön tiedotteessa olevan tuottavuustutkimusten mukaan hakkuukoneella kokopuun hakkuussa käyttötuntituottavuus oli 5,8 kuutiometriä tunnissa (m^3/h). Energiapuukorjurilla vastaava luku oli 3,2 kuutiometriä käyttötunnissa. Tehotuntituotoksen muuttamisesta käyttötuntituotokseksi ei ole tietoa millä kertoimella se on suoritettu. Näistä luvuista ei myöskään ole saatavissa muuta tietoa, kuten puuston keskikoko. Käyttötuntituotos ja tehotuntituotos eivät ole suoraan verrattavissa (Työ- ja elinkeinoministeriö 2010, 31)

Metsätehon tutkimuksen aikatutkimuksissa oli neljä energiapuukorjuria. Yksi pyöriväohjaamoinen (Valmet 801 Combi) ja kolme kuormatraktorialustaista, Ponsse S15 Bison, Timberjack 1110C ja Ponsse S16 Buffalo. Kokopuun hakkuun aikatutkimuksissa oli yhteensä viisi hakkuulaitetta: kolme kaato-kasauslaitetta (Abab Klippen 250, Moipu 400E ja Ponsse EH25) ja kaksi rullasyöttöistä, karsivaa energiapuun hakkuulaitetta (Logset 4M Hamster ja Valmet 945 Saksi). Hehtaarikohtainen kertymä oli keskimäärin $52 \text{ m}^3/\text{ha}$, vaihdellen $30\text{--}69 \text{ m}^3/\text{ha}$ välillä. Valtaosa korjatuista rungoista oli rinnankorkeusläpimitaltaan $3\text{--}8$ senttimetriä. Poistuman keskikoko oli 18 kuutiodesi-

metriä ja poistuman tiheys oli keskimäärin 2 880 runkoa hehtaarilla (r/ha). (Kärhä–Keskinen–Liikkanen–Lindroos 2006, 8)

Kun hakattavan puuston rungon koko oli 20 kuutiodesimetriä, kokopuun hakkuun tehotuntituottavuus oli rullasyöttöisillä hakkuulaitteilla 6,1 m³/h ja kaato-kasauslaitteilla 5,5 m³/h. Kun hakattiin hyvin pienikokoisia, alle viiden kuutiodesimetrin puita ($d_{1,3} \leq 4$ cm), kokopuun hakkuun tuottavuus jäi pieneksi, alle kaksi kuutiometriä tehotunnissa sekä kaatokasauslaitteilla että rullasyöttöisillä hakkuulaitteilla (Kuvio 7). Kun hakattavan rungon koko oli alle kahdeksan kuutiodesimetriä, hakkuun tuottavuus kaato-kasauslaitteilla oli korkeampi kuin rullasyöttöisillä hakkuulaitteilla. Puun koon kasvaessa osat vaihtuivat ja rungon koon ollessa 50 kuutiodesimetriä, tuottavuusero oli lähes kaksi kuutiometriä tehotunnissa. (Kärhä ym. 2006, 9, 54)



Kuvio 7. Tehotuntituottavuus eri hakkuulaitteella (Kärhä ym. 2006, 55)

Janne Jalkasen opinnäytetyössään käyttämässä Kärhän (2006) taulukossa (Taulukko 4) on vuosien 2002 ja 2006 välisen ajan kokopuunhakkuun tuotoksen vaihtelut poistuman litrakoon mukaan. Näistä tutkimustuloksista on tosin ainakin osa saatu ainespuun hakkuun yhteydessä rungon latvaosien hakkaamisesta kokopuuna. (Jalkanen 2010, 20)

Taulukko 4. Kokopuunhakkuun tuotoksen vaihtelut vuosina 2002–2006 (Jalkanen 2010, 20)

Poistuman litrakoko	m ³ /tehotunti
10	1—3,7
20	3—6
30	4,5—8
40	5,5—10,5
50	6—12
60	7—14
70	7,5—16

Metla tutki puustotunnusten vaikutusta kaato-kasauslaitteiden tuotokseen hieskoivikossa, männikössä ja koivu-kuusi-mänty sekametsässä. Puustotiheys vaihteli välillä 2 000–7 700 runkoa hehtaarilla ja valtapituus vaihteli 5–10 metrin välillä. Kaato-kasauslaitteella varustetun hakkuukoneen tuotos vaihteli annetuissa puustoissa 4,3–8,5 m³/tehotunti. Merkittävin tuotokseen vaikuttanut puustotunnus oli rungon tilavuus. Varhaisessa vaiheessa tehdyllä puuston raivauksella oli tuotosta lisäävä vaikutus. Havainto korostaa metsänhoidollisten toimien tärkeyttä. Tiheissä, pieniläpimittaisissa puustoissa korjuun tuotos oli alhaisin. (Nurmi ym. 2009)

4 TUTKIMUSMENETELMÄT- JA AINEISTOT

4.1 Tutkimusmenetelmät

Tärkeimpänä tutkimusmenetelmänä oli aikatutkimuksen suorittaminen. Aikatutkimuksessa selvitetään koneen työskentelyn tehoajan jakautuminen eri työvaiheisiin. Tässä tutkimuksessa työvaiheet poikkesivat jonkin verran perinteisistä aikatutkimuksista, joita on tehty rullavetoisten harvestereiden työskentelystä. Johtuen siitä, että kyseessä on niin sanottu kaato-kasaus-hakkuupää. Työvaiheet olivat vienti tyvelle, aisaus, katkaisu, kasaus, kasojen parantelu, ajo ja muu aika. Tutkimusta varten perustin hakattavaan nuoren metsän kunnostuskuviolle kolme koealaa. Tavoitteena oli hakata myös seuraavalta kuviolta 2–3 koealaa, koska sillä kuviolla olisi pääpuulajina koivu. Valitettavasti kaivinkoneen puomin hydrauliletku oli kulunut huonoksi ja hajosi kolmannen koealan jälkeen. Tämän vuoksi hakattujen kuvioiden määrä jäi kolmeen.

Perustin koealat mittanauhan ja bussolin eli käsisuuntakehän avulla. Jokainen koeala oli suorakulmion muotoinen. Kooltaan nämä olivat 14 metriä leveitä ja 10 metriä pitkiä, eli yhteensä 140 neliömetriä. Jokaisen koealan välissä oli kymmenen metriä väliä. Päädyin tällaiseen kuvionkokoonten siksi, että mittasin kaivinkoneen ylettyvyydeksi seitsemän metriä. Näin ollen hakkuuta tulisi kaikkiin ilmansuuntiin sekä puomin koko ulottumalla. Päätin kuvion pituudeksi kymmenen metriä. Halusin kuviosta sen verran pitkän, että kaivinkoneelle tulisi myös tarpeeksi ajoa, eikä kaikkia puita pystyisi hakkaamaan samalta paikalta. Aikaa ja resursseja oli kuitenkin rajallisesti käytettävissä, joten kuvioista ei ollut järkevää tehdä liiankaan pitkiä, jotta koealan puiden mittaamisen ei menisi liian paljon aikaa.

Koealat merkattiin maastoon kuitunauhalla niin, että jokaisessa kulmassa oli nauha sekä kulmien välillä oli yksi nauha. Useissa aikatutkimuksissa koealoja ei merkata maastoon sen vuoksi, että kuljettaja ei vaihtaisi hakkuutyöliä nauhoitetulla. Tässä tutkimuksessani oli kuitenkin välttämätöntä merkata koeala

tarkasti maastoon, koska puita ei erikseen merkattu ja koneessa ei ollut puustotietojen mittausautomaatiikkaa. Mittasin ja merkkasin ylös jokaisen koealan jokaisen puun rinnankorkeusläpimitan kahden senttimetrin tasaaviin luokkiin, aloittaen yhdestä senttimetristä. Jokaisen puulajin läpimittaluokasta, jossa oli eniten puita, mitattiin myös pituus. Mittauksessa käytin kaulainta, joka oli varustettu 1,3 metrin varrella rinnankorkeusläpimitan mittaamisen helpottamiseksi. Kirjaaminen tapahtui ”tukkimiehen kirjanpidon” avulla paperille.

Koealat hakattiin Kymppikouran E-100 hakkuupäällä. Alustakoneena oli JCB 8080 tela-alustainen kaivinkone. Hakkuu suoritettiin kokopuumenetelmänä, mutta tarpeen tullen isoimpia puita aisattiin eli karsittiin. Hakattava nuoren metsän kunnostuskohde on ravinteisuustasoltaan kuivahkoa kangasta. Se on karuin ravinteisuustaso jolle kokopuumenetelmää suositellaan. Sen vuoksi osa latvuksista ja pienimmistä puista jätettiin maahan ravinteeksi. Hakkuun yhteydessä jokaisen koealan hakkaus kuvattiin videolle niin, että videolta erottaa hakkuupäässä olevien puiden lukumäärän sekä hakkuupään eri työvaiheiden vaihtumisen. Hakkuut videoitiin Canonin digitaalisella videokameralla, jossa oli kalansilmä- linssi paikalla laajentamassa näkökenttää.

Koealojen jäävä puusto mitattiin uudestaan samalla menetelmällä, eli jokainen puu mitattiin ja kirjattiin ylös yhden senttimetrin tasaaviin luokkiin, aloittaen yhdestä senttimetristä. Alueen pinta-alan ollessa tiedossa sekä koneen mittariin jäävän tuntimäärän avulla, sain tietoa myös polttoaineen kulutuksesta pidemmällä aikavälillä. Hakkuun yhteydessä koealojen ulkopuolella oli aikaa seurata hakkuukoneen työskentelyä. Näin pystyin tutkimaan myös kaivinkoneen kulkemista maastossa sekä työskentelyä hakkuutyössä. Hakkuun jälkeen haastattelin kuljettajia ja kirjasin ajatukset ylös mitä ilmeni kaivinkoneen käytössä hakkuussa. Otin valokuvia ennen hakkuuta, hakkuun yhteydessä sekä hakkuun jälkeisestä metsiköstä.

Hakattu puusto ajettiin koealoittain kotitalalle, jonne on matkaa noin 2,3 kilometriä. Puut ajettiin maatila-traktorilla ja Kronos -metsäperävaunulla. Puut punnittiin Seko -seosrehuvaunun avulla (Kuvio 8).



Kuvio 8. Puiden punnitus

Seosrehuvaunussa on paalikauha (Kuvio 9), mihin mahtui hyvin koko koealan puut kerralla. Seosrehuvaunun punnitusvaaka mittaa viiden kilon tarkkuudella. Punnitustulokset vaihtelivat 775 kilogramman ja 1 330 kilogramman välillä.



Kuvio 9. Seko Sam 5 –seosrehuvaunun paalikauha

4.2 Maastomittaustulosten purkaminen

Kirjasin tulokset paperilta Microsoft Office Excel -taulukkolaskentaohjelmaan tarvittavien laskelmien helpottamiseksi. Aikatutkimuksessa kuvatut videot jaoin myös Excel -ohjelman avulla eri työvaiheisiin. Tein taulukkopohjan jossa oli kaikki työvaiheet ja kopioin siitä kolme kappaletta. Videota pysäyttelemällä ja kelailemalla kirjasin taulukkoon aluksi ylös videon ajankohdan missä kyseinen työvaihe loppui. Sen jälkeen laitoin kuhunkin työvaiheeseen ajan keston. Näin minulla oli koko video jaettu sekunneissa eri työvaiheisiin, mutta taulukossa ajat olivat videon kellonaikoja. Sen jälkeen Excel -ohjelman avulla laskin työvaiheiden ajan erotuksesta jokaisen työvaiheen keston sekunneissa. Videoiden tiedostokoko on melko suuri, joten videot täytyi tallentaa erilliselle kovalevyllä.

Kun työskentelyajat koealoilla oli tiedossa, sekä koealoilta hakatun puuston poistumatiedot, pystyin laskemaan Excel -ohjelmalla haluttuja arvoja ja tun-

nuksia. Puuston kuutiomäärät laskettiin Eppu- energiapuun mittauslaskurin version 1.62 avulla. Mittausraportti on liitteenä (Liite 5).

Kokonaisaika kouraisulle saatiin laskemalla yhteen jokaisen kouraisun hakkaamiseen viemä aika yhteen, eli vienti tyvelle+ aisaus+ katkaisu+ kasaus+ kasojen parantelu+ ajo+ muu aika. Kokonaisaika koealalle saatiin laskemalla yhteen koealan jokaisen kouraisun kokonaisaika. Kokonaisaika muutettiin tunneiksi jakamalla sekunnit minuuteiksi ja minuutit tunneiksi, jakamalla luku kuudellakymmenellä. Koealakohtaiset tehotuntuottavuudet saatiin jakamalla koealan poistuman kuutiomäärä koealan kokonaisajalla tunneissa. Tutkimuksen keskimääräinen tehotuntuottavuus saatiin laskemalla yhteen koealakohtaiset tehotuntuottavuudet ja jakamalla ne kolmella, eli laskukaavalla: $(\text{tehotuntuottavuus}_{\text{koeala1}} + \text{tehotuntuottavuus}_{\text{koeala2}} + \text{tehotuntuottavuus}_{\text{koeala3}}) / 3$.

Sekuntia per puu -aika laskettiin jakamalla koealan kokonaisaika koealakohtaisella poistuman runkolukumäärällä, eli laskukaava oli muotoa: sekuntia per puu = $\text{kokonaisaika}_{\text{koeala}} / \text{poistuma}_{\text{r}_{\text{koeala}}}$. Kappaletta per kouraisu laskettiin kouraisemalla poistuneiden puiden lukumäärä jaettuna kouraisujen määrällä. Poistuman rungon keskimääräinen koko koealalla laskettiin jakamalla koealakohtainen poistuman kokonaiskuutiomäärä koealakohtaisella poistuman runkolukumäärällä. Todellinen rungon keskikoko on hiukan pienempi johtuen siitä, että kaikkia pieniä risuja ei kuljetettu punnitukseen. Koealakohtainen kokonaisaika saatiin laskemalla yhteen jokaisen kouraisun viemä aika, eli laskukaava oli muotoa: $\text{kokonaisaika}_{\text{kouraisu}} + \text{kokonaisaika}_{\text{kouraisu}} + \dots$

Työaika hakkuukoneella jakaantui siis seitsemään eri työvaiheeseen. Seuraavassa olen kertonut mitä työvaihe sisältää ja mistä työvaiheen aika alkaa sekä mihin työvaiheen aika loppuu.

Vienti tyvelle -työvaihe tarkoittaa aikaa, kun hakkuupää viedään puun tyvelle tai haluttuun katkaisukohtaan. Aika alkoi siitä, kun hakkuupäätä aletaan viedä edellisen työvaiheen jälkeen uuden puun katkaisukohtaan. Aika loppui siihen, kun hakkuupää oli puun tyvellä. Aisaus eli karsinta. Aisauksessa hakkuupäätä puristetaan puun ympärille niin, että se vastaa runkoon, mutta ei vielä kat-

kaise sitä ja sitten hakkuupäätä nostetaan tai lasketaan rungolla, jolloin oksat katkeavat. Aika alkoi hakkuupään alkaessa puristumaan puun ympärille ja loppui, kun hakkuupää oli liikutettu haluttuun katkaisukohtaan. Aisausta ei suoritettu jokaiselle puulle vaan tarvittaessa, yleensä isokokoisemmille puille. Katkaisu -työvaiheen aika alkoi, kun hakkuupää alkoi puristua ja loppui, kun puu oli selvästi kokonaan poikki. Aisatuissa puissa katkaisuaika oli hiukan pienempi johtuen siitä, että hakkuupää on jo osittain valmiiksi kiinni.

Kasaus -aika alkoi kun puu oli katkaistu ja sitä alettiin siirtää. Aika päättyi kun puu oli kasassa. Kasojen parantelu -työvaihe sisälsi latvojen katkaisua ja kasojen kohentelua eli pyrittiin saamaan kasoista tiiviimpiä ja helpommin kuljettavia. Välillä puita hakattiin ajouralle ja ne siirrettiin yhtenä taakkana lopulliseen kasaan, jolloin se aika meni kasojen parantelu -vaiheeseen. Kasojen parantelu vaihe oli tarpeellinen sen vuoksi, että hakkuupäässä ei ollut pyöritelijää ja se vaikeutti puiden kasaamista. Kasojen parantelu aika sisältää siis katkaistujen ja kasattujen puiden laittamista parempaan metsäkuljetusasentoon. Ajo -aika käsitti ajamisen eli kaivinkoneen siirtelyn. Jokaiselle puulle ei tullut ajoa, vaan puita saatettiin hakata useita samalta paikalta. Muu aika on verrattavissa muissa tutkimuksissa olevaan apuaikaan. Tämä aika sisälsi mm. risujen raivaamista, alle viiden minuutin tauot ja muut ylimääräiset työt.

4.3 Tutkimusmetsikkö

Tutkimuksessa hakattu nuoren metsän kunnostuskohde (Liite 4) sijaitsee Kalajoen Mehtäkylässä, yksityisellä tilalla. Kalajoki sijaitsee Pohjois-Pohjanmaan eteläosassa. Hakattu kuvionumero 28 on nuori kasvatusmetsikkö, jonka puusto on keskimäärin 30-vuotiasta ja pääpuulaji on mänty. Kuvion kasvupaikka on kuivahko kangas ja maalaji keskikarkea tai karkea kangasmaa. Kuvion pinta-ala on 0,6 hehtaaria, mutta siitä hakattiin tutkimuksen aikana 0,52 hehtaaria. Koealojen ulkopuolinen hakkuu ei sisältynyt aikatutkimukseen, vaan sillä saatiin tuntumaa kyseessä olevaan hakkuukoneeseen sekä harvennusmetsikköön. Isomman alueen hakkuulla saatiin myös tarkempi kuva polttoaineen kulutuksesta hakkuussa.

Puusto on iän mukaan kaksijaksoista (Liite 3), niin että vallitsevana jaksena on 30-vuotiasta mäntyä 73 m³/ha ja kuusta 7 m³/ha. Männyn läpimitta on 10 senttimetriä ja pituus 10 metriä, kuusen läpimitta 14 senttimetriä ja pituus 11 metriä. Toisessa jaksossa on mäntyä 12 m³/ha, jonka läpimitta on 8 senttimetriä ja pituus 8 metriä sekä hieskoivua 10 m³/ha, jonka läpimitta on 8 senttimetriä ja pituus 7 metriä. Toisen jakson puusto on 25-vuotiasta. Hehtaari-kohtainen runkoluku oli kuviolla keskimäärin 3 480 kpl/ha. Vallitsevan jakson männyllä runkoluku on 2 110 kpl/ha ja kuusella 120 kpl/ha. Toisen jakson runkoluku hehtaarille oli männyllä 630 kpl/ha ja hieskoivulla 630 kpl/ha. Kuvi-
on puusto on syntynyt luontaisesti siemenpuiden avulla.

Puut olivat ryhmittäin (Kuvio 10) ja ryhmien väleissä oli paikoitellen aukkoisuutta, etenkin eteläpäähän kuviota mentäessä. Kuvion puusto on ollut ilman metsänhoitotoimenpiteitä siemenpuiden poiston jälkeen. Kuvio on pitkittäis-suuntaisesti harjanteen reunalla ja puusto onkin hiukan erilaista kuvion itä- ja länsisuunnassa. Itäpuolella kuviota alue on kosteampaa ja hieskoivua olikin runsaasti (Liite1), kun taas länsipuoli on kuivempaa ja muutamaa kuusta lukuun ottamatta lähes puhdasta männikköä. Koealat sijoituivat kuvion länsireunalle nauhamaisesti niin, että koeala 1 sijoittui pohjoisreunasta 15 metrin päähän ja loput kuviot siitä eteenpäin kymmenen metrin välein (Liite 2).

Koealoilla ja koko kuviolla oli paljon pientä puustoa (1–3 cm d_{1,3}), jota ei monestikaan harvennuksen yhteydessä oteta, koska se on hakkuun kannalta merkityksetöntä. Yleensä pienikokoinen puusto on raivattu ennakkoraivauksessa maahan. Halusimme hakata tai raivata myös pieniläpimittaisen puuston, koska suoritimme samalla ennakkoraivausta hakkuupäällä. Jos pieniläpimittaiset puut sijaitsivat tarpeeksi lähellä muutenkin otettavia puita, ne lähtivät samalla kouraisulla ja menivät puukasoihin. Jos ne taas sijaitsivat yksinään, ne katkaistiin ja jätettiin maahan. Runkoluku hehtaarilla ennen hakkuuta vaihteli koealoilla 7 786 r/ha ja 10 000 r/ha välillä, keskiarvon ollessa 8 738 runkoa hehtaarilla.



Kuvio 10. Puuryhmä

4.2.1 Koeala 1

Koeala 1:n runkoluku hehtaarille ennen hakkuuta oli 7 786 kappaletta (Taulukko 5). Koealalta poistui hakkuussa runkoja 89 kappaletta. Hakatun koealan runkoluku on 1 429 runkoa hehtaarille. Punnituspaino koealan puustolla oli 1 330 kilogrammaa. Eppu energiapuun mittauslaskurilla poistuman painon mukainen kuutiomäärä oli 1,43 kiintokuutiometriä.

Taulukko 5. Koealojen puustotunnuksia

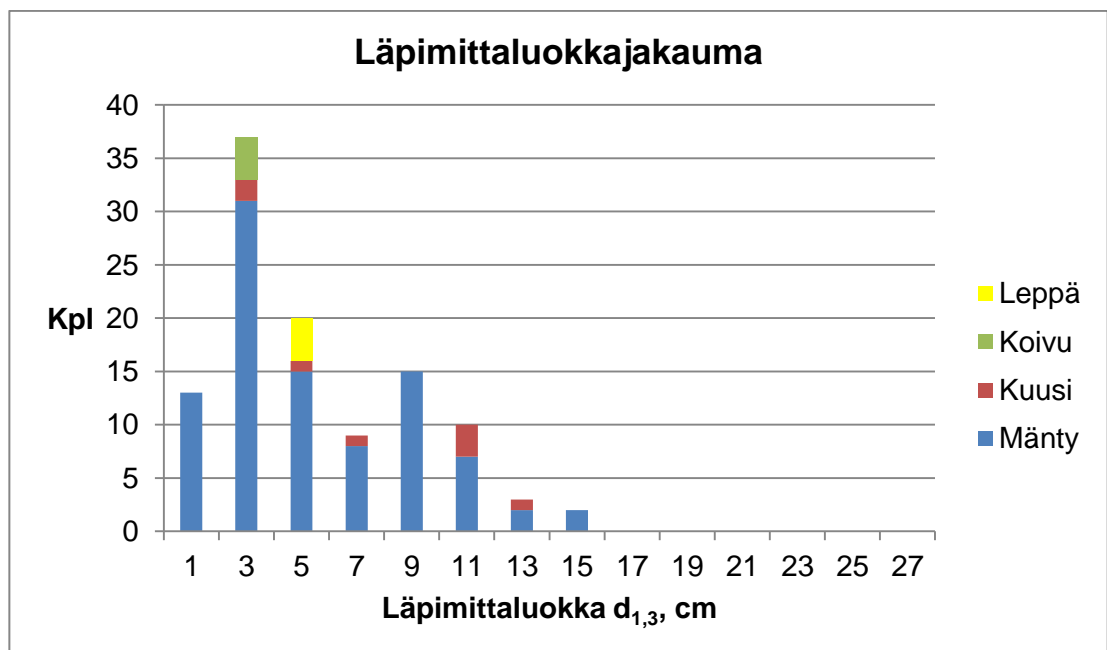
Koeala	poist.kpl	rl.alussa	rl.lopussa	Poistuma kg	poistuma m3	r. kesik. dm3
1	89	7 786	1 429	1 330	1,43	16,07
2	91	8 429	1 929	775	0,833	9,15
3	116	10 000	1 714	925	0,995	8,58
keskiarvo	98,7	8 738	1 691	1 010	1,09	11,27

Jokaisella koealalla pääpuulajina oli mänty, näin ollen myös poistumasta suurin osa oli mäntyä. Koealan 1 poistumasta mäntyä oli 87,6 prosenttia, koivua 4,5 prosenttia, leppää 4,5 prosenttia ja kuusta 3,4 prosenttia (Taulukko 6).

Taulukko 6. Koealojen poistumien puulajiosuudet prosentteina

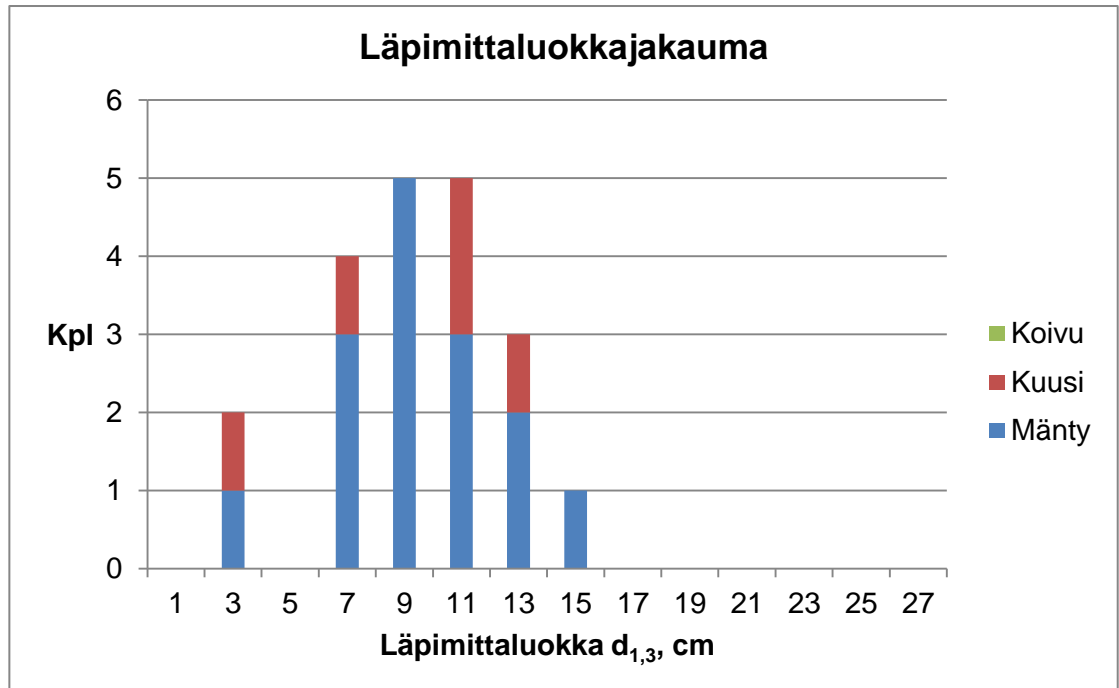
Koeala	1	2	3
mä	87,6	81,3	78,5
ku	3,4	8,8	3,5
ko	4,5	9,9	18,1
leppä	4,5		
yht.	100,0	100,0	100,0

Ennen hakkuuta suurin osa puustosta koostui kolmen senttimetrin rinnankorkeusläpimittajakaumaan kuuluvista puista (Kuvio 11). Toiseksi eniten puuta oli viiden senttimetrin läpimittaluokassa.



Kuvio 11. Läpimittajakauma ennen hakkuuta koealalla 1

Hakkuun jälkeisessä läpimittajakaumassa eniten oli yhdeksän ja yhdentoista senttimetrin rinnankorkeusläpimittajakaumaan kuuluvia puista (Kuvio 12), josta 75 prosenttia oli mäntyä ja loput kuusta. Koealan 1 hakkasi kuljettaja numero yksi.



Kuvio 12. Läpimittajakauma hakkuun jälkeen koealalla 1

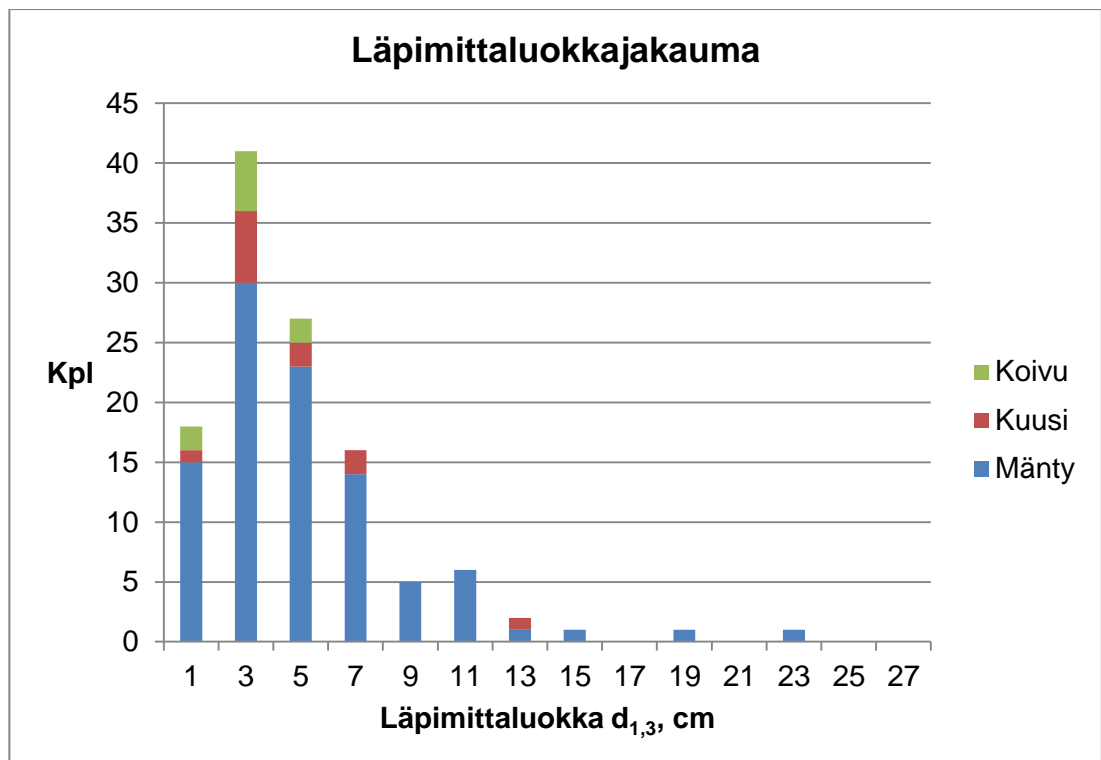
Koealalle 1 jäi muutamia kuusia alikasvokseksi hakkuun jälkeen (Kuvio 13). Koealan 1 puusto oli suurikokoisinta kolmesta koealasta.



Kuvio 13. Koeala 1 hakattuna

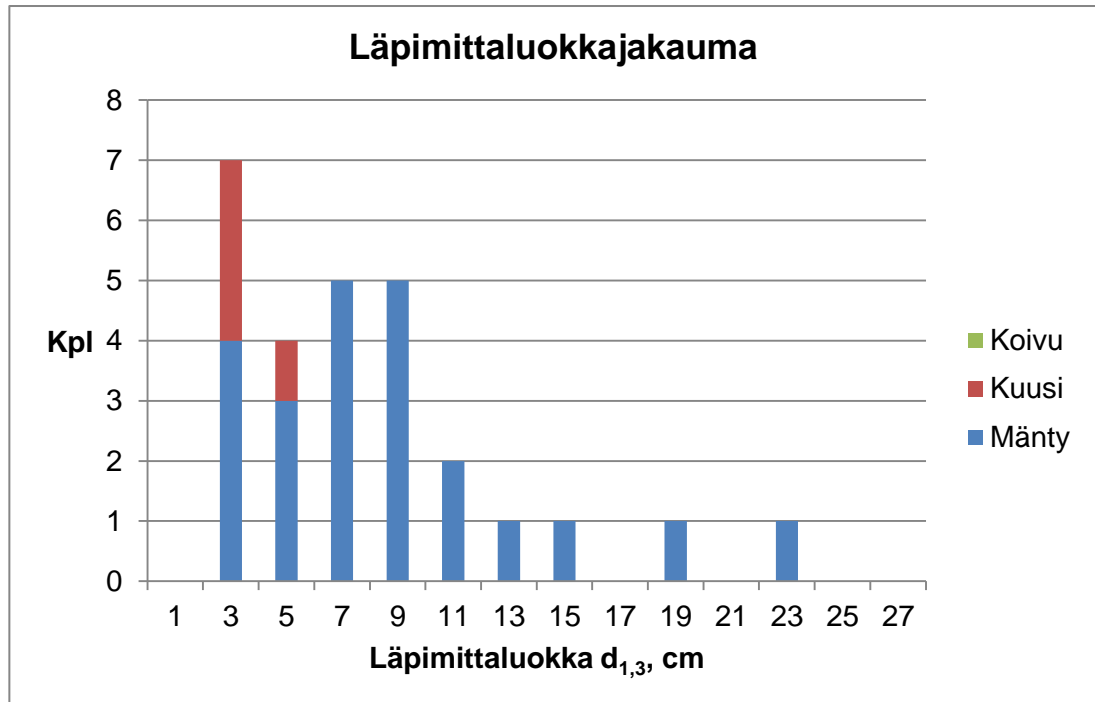
4.2.2 Koeala 2

Koealan 2 runkoluku hehtaarille ennen hakkuuta oli 8 429 kappaletta (Taulukko 5). Ennen hakkuuta suurin osa puista oli kolmen senttimetrin rinnankorkeusläpimittaluokan puita (Kuvio 14). Koealalta hakattiin runkoja 91 kappaletta. Punnituspaino koealan puustolla oli 775 kilogrammaa. Eppu energia-puun mittauslaskurilla poistuman painon mukainen kuutiomäärä oli 0,83 kiintokuutiometriä. Koealan 2 poistumasta mäntyä oli 81 prosenttia, koivua 10 prosenttia ja kuusta 9 prosenttia (Taulukko 6).



Kuvio 14. Läpimittajakauma koealalla 2 ennen hakkuuta

Hakkuun jälkeinen koealan runkoluku on 1 929 runkoa hehtaarille. Hakkuun jälkeinen puusto koostui pääosin 3–9 rinnankorkeusläpimitan puista (Kuvio 15), josta eniten oli kolmen senttimerin luokassa.



Kuvio 15. Läpimittajakauma koealalla 2 hakkuun jälkeen

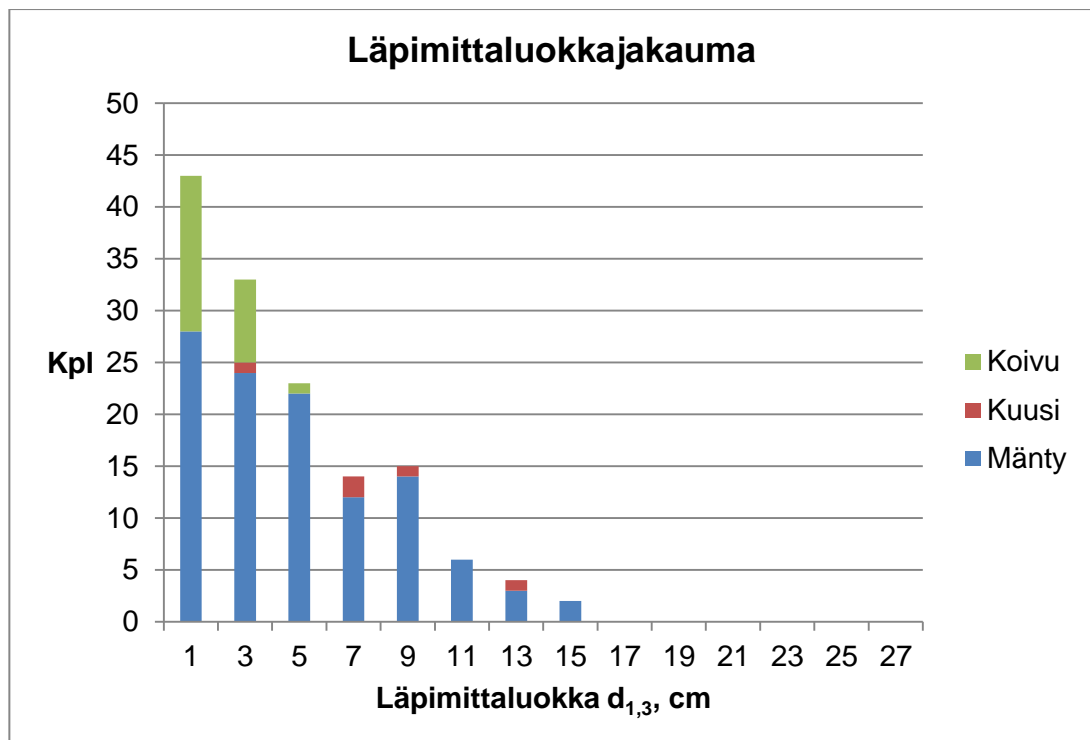
Jäävästä puustosta on noin 85 prosenttia mäntyä ja loput kuusta (Kuvio 16). Koealan 2 hakkasi kuljettaja numero kaksi.



Kuvio 16. Koeala 2 hakattuna

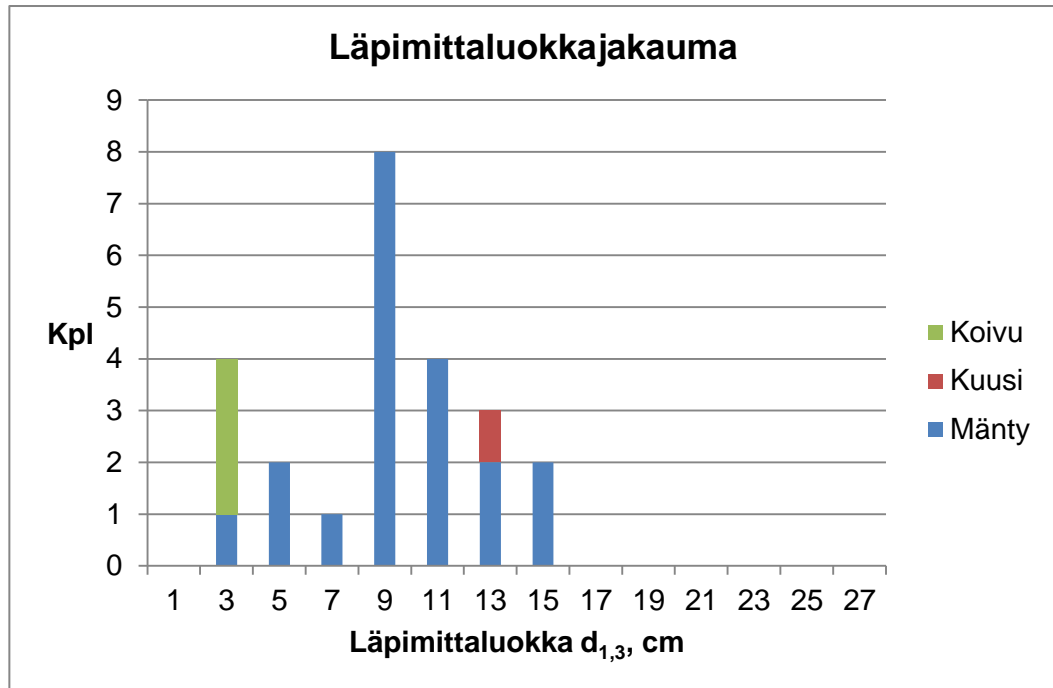
4.2.3 Koeala 3

Koealan 3 puustosta ennen hakkuuta suurin osa oli yhden ja kolmen senttimetrin rinnankorkeuslähpimitan puita (Kuvio 17). Koealalta hakattiin 116 kappaletta runkoja (Taulukko 5), joka vaati 65 kouraisua. Punnituspaino koealan puustolla oli 925 kilogrammaa. Eppu energiapuun mittauslaskurilla poistuman painon mukainen kuutiomäärä oli 0,99 kiintokuutiometriä. Koealan 3 poistumasta mäntyä oli 78 prosenttia, koivua 18 prosenttia ja kuusta 3 prosenttia (Taulukko 6).



Kuvio 17. Lähpimittajakauma koealalla 3 ennen hakkuuta

Hakkuun jälkeisessä puustossa eniten oli yhdeksän senttimetrin rinnankorkeuslähpimittaluokan puita (Kuvio 18). Toiseksi eniten puita oli kolmen ja yhdentoista senttimetrin lähpimittaluokissa.



Kuvio 18. Läpimittajakauma koealalla 3 hakkuun jälkeen

Hehtaarikohtainen runkoluku koealalla 3 oli 10 000 kappaletta ennen hakkuuta (Kuvio 19). Runkoluku oli suurin kolmesta koealasta. Koeala 3:n valokuva ennen hakkuuta on valitettavasti ainoa valokuva koealueesta ennen hakkuuta.



Kuvio 19. Koeala 3 ennen hakkuuta

Hakkuun jälkeiseksi runkoluvuksi jäi 1 714 runkoa hehtaarilla (Kuvio 20). Koealan 3 hakkasi myös kuljettaja numero kaksi. Jäävästä puustosta oli mäntyä 83 prosenttia, koivua 13 prosenttia ja kuusta 4 prosenttia. Koeala oli ainoa mihin jäi myös koivua hakkuun jälkeen.



Kuvio 20. Koeala 3 hakattuna

4.4 Tutkittu energiapuukoura

Tutkimuksessa käytetty energiapuukoura oli Kymppikoura Oy:n E100 hakkuupää (Kuvio 21), joka on Kymppikoura Oy:n pienin malli. Sain hakkuupään tutkimusta varten ilmaiseksi käyttöön. Hakkuupäässä on vain yksi hydraulisylinteri. Hakkuupään kiinnikkeet ovat vakiona S45 –sovitteilla, mutta muutkin kiinnikkeet ovat mahdollisia. Hakkuupää poikkesi sen verran vakio E-100 hakkuupäästä, että siitä puuttui hakkuupään puomin alla oleva tassu. Hakkuupäässä oli myös muita pieniä rakennemuutoksia vakiohakkuupäähän verrattuna. Vakiohakkuupää painaa 450 kilogrammaa, mutta tutkimuksessa ollut hakkuupää oli hiukan kevyempi, noin 400 kilogrammaa. Kouria valmistaa Kymppikoura Oy Haapavedellä. Hakkuupäät ovat yksinkertaisia rakenteeltaan ja siten toimintavarmoja. Hakkuupäistä on tehty lujia, jotta ne kestävät kaivinkoneella käyttöä, sekä tarpeen tullen avittamista kaivinkoneen kulemisessa vaikeassa maastossa. Paino on silti pysynyt sellaisena, että se ei vielä haittaa työskentelyä.



Kuvio 21. Kymppikoura E-100

Hakkuupäässä ei ole erillistä katkaisulaitetta, vaan katkaisu tapahtuu giljoitiinimaisesti vastaterää vasten puristamalla (Kuvio 22). Hakkuupään leveys hakkuupään ollessa auki on 133 senttimetriä ja pihlien pituus 56 senttimetriä.



Kuvio 22. Katkaisuterä

4.5 Kaivinkone ja kuljettajat

Hakkuukonetta ajoivat tyydyttävän harvesterikokemuksen omaava kuljettaja, kuljettaja 1 sekä kokenut kaivinkoneen kuljettaja, kuljettaja 2. Tuloksissa eroa kuljettajien välillä oli 3,4 sekuntia per hakattu puu. Tehotuntuottavuudessa eroa kuljettajien välillä oli 1,05 kiintokuutiometriä tunnissa. Ero ei kokonaisuudessaan johdu kuljettajien eroista, vaan koealojen puustojen eroavaisuudesta. Kuljettajalla 1 on harvennuskokemusta traktoriharvesterista, jossa oli Keslan rullavetoharvesteri. Toisella kuljettajalla kokemus painottuu maansiirtotöihin, mutta hän on hakannut aukkohakkuuta isommalla kaivinkoneella, sekä Kymppikoura Oy:n isommalla hakkuupäällä. Harvennuskokemusta hänellä on moottorisahatyönä.

Kaivinkoneena oli JCB 8080 -tela-alustainen kaivinkone, joka painaa noin yhdeksän tonnia. Kaivinkoneen sain kesätyöpaikastani vuokralle siedettävään hintaan. Kaivinkoneessa on kumitelat ja peräylitystä ei ole lainkaan (Kuvio 23). Puomin ulottuma käytännössä oli seitsemän metriä eli puu, jonka vielä voi ottaa voi sijaita maksimissaan seitsemän metrin päässä ajouran keskeltä. Maavara koneessa on 33 senttimetriä. Kaivinkoneen leveys telojen reunoista mitattuna on 229 senttimetriä.



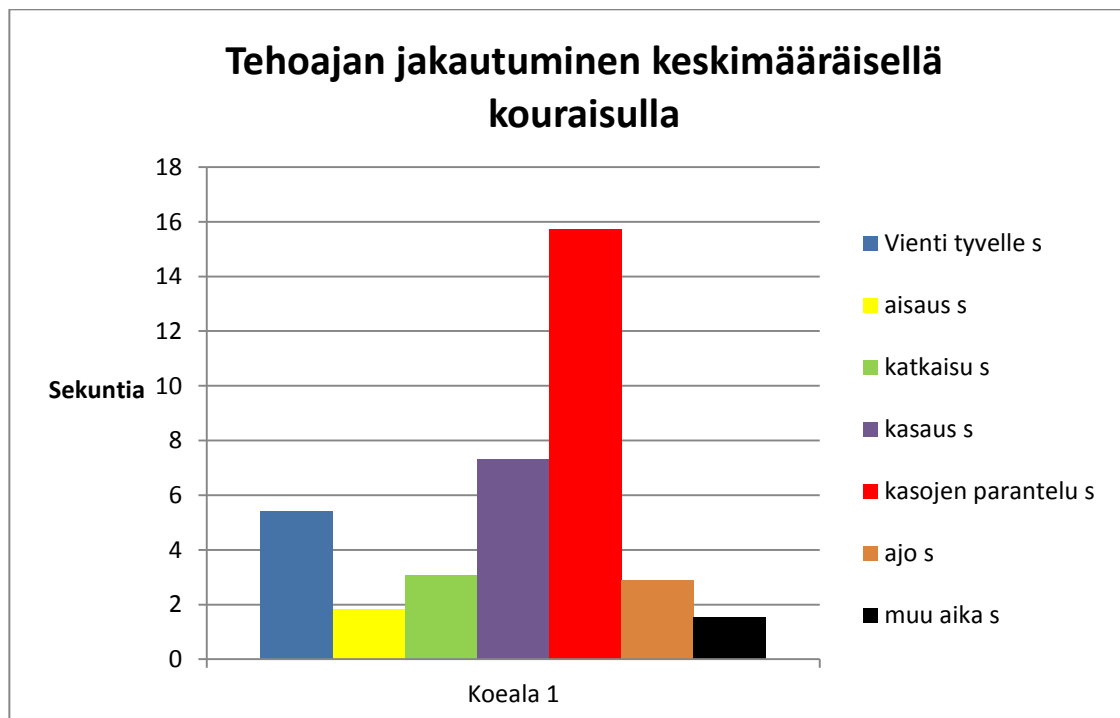
Kuvio 23. JCB 8080 tela-alustainen kaivinkone

5 TUTKIMUSTULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

5.1 Koeala 1:n tulokset

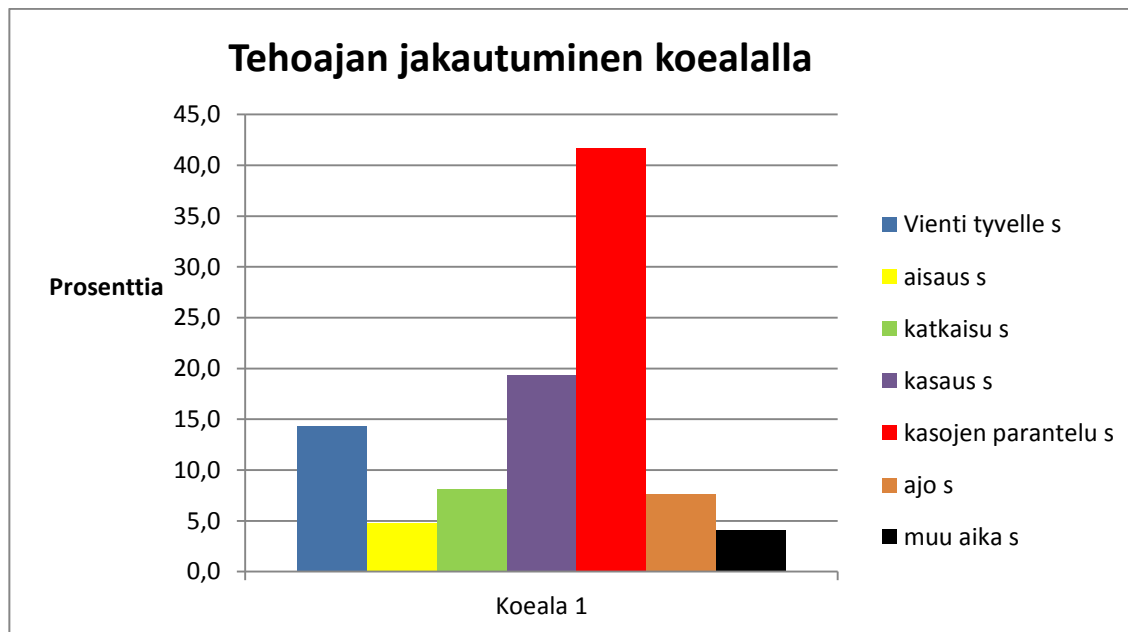
Koealan hakkaamiseen vaadittiin 40 kouraisua hakkuupäällä ja hakkuun suorittamiseen kului aikaa 25 minuuttia ja kymmenen sekuntia. Koealan puista 30 prosenttia aisattiin, eli 25 runkoa. Yhdessä kouraisussa puita oli keskimäärin 1,98 kappaletta vaihteluvälillä 1–6. Kouraisun keskimääräinen käsitteilyaika hakkuussa oli 37,8 sekuntia. Koealan puista yhdeksän kappaletta pienikokoisia runkoja poistui hakkuun aikana raivauksessa, eli kohdassa muu aika. Muut pienikokoiset rungot poistuivat isompia puita kouraisussa. Hakkuukertymä koealalla oli 102 m³/ha. Rungon keskikoko poistumalla oli 16,1 kuutiodesimetriä.

Tarkastellessa koealan tehoajan jakautumista keskimääräisessä kouraisussa, kasojen parantelu vei suurimman osan ajasta (Kuvio 24) tällä koealalla. Koealan tehotuntituotos oli suurin koealoista, 3,4 k-m³/h.



Kuvio 24. Koealan 1 tehoajan jakautuminen keskimääräisellä kouraisulla

Kasojen parantelu vei suurimman osan ajasta myös koealan kokonaisajasta, noin 42 prosenttia (Kuvio 25). Toiseksi eniten aikaa kokonaisajasta kului kasaukseen. Kasaukseen aikaa kului lähes 20 prosenttia tehoajasta.



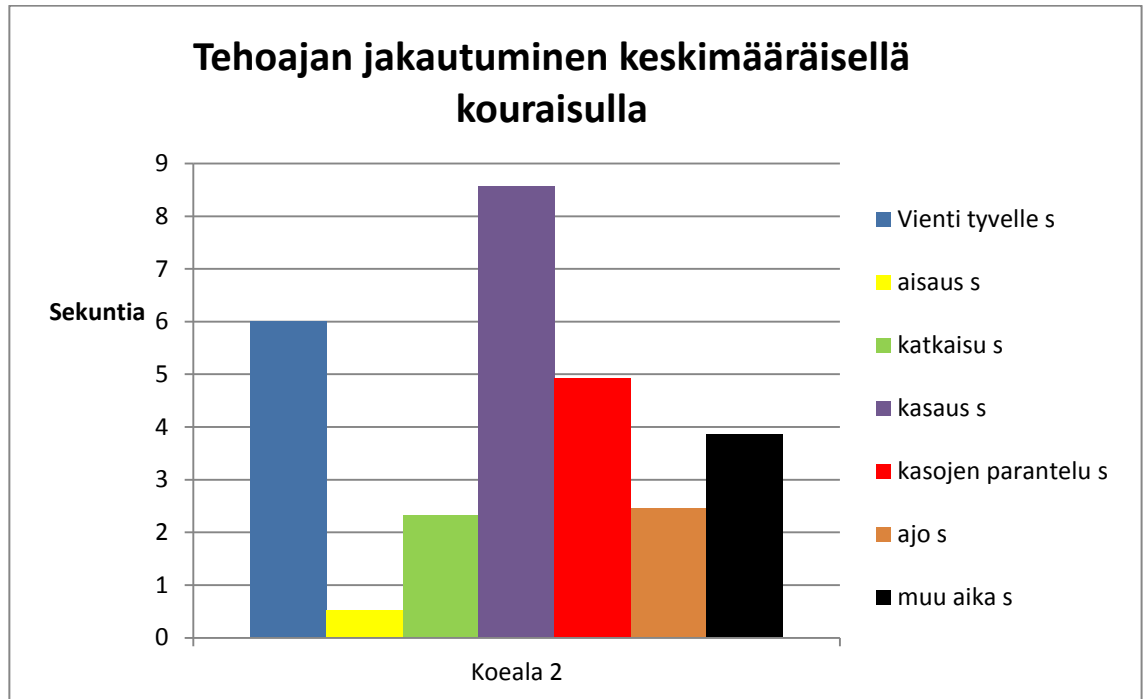
Kuvio 25. Kokonaistehoajan jakautuminen koealalla 1

5.2 Koeala 2:n tulokset

Koealan hakkaamiseen vaadittiin 42 kouraisua hakkuupäällä ja hakkuun suorittamiseen kului aikaa 20 minuuttia ja neljä sekuntia. Koealan puista yhdeksän prosenttia aisattiin, eli kahdeksan runkoa. Yhdessä kouraisussa puita oli keskimäärin 1,76 kappaletta vaihteluvälillä 1–4. Yhden kouraisun keskimääräiseksi käsittelyajaksi tuli 28,7 sekuntia. Koealan puista 17 kappaletta pienikokoisia runkoja poistui hakkuun aikana raivauksessa. Muut pienikokoiset rungot poistuivat isompia puita kouraisussa. Hakkuukertymä koealalla oli 60 m³/ha. Keskimääräinen poistuman rungon koko oli tällä koealalla 9,2 kuutiodesimetriä.

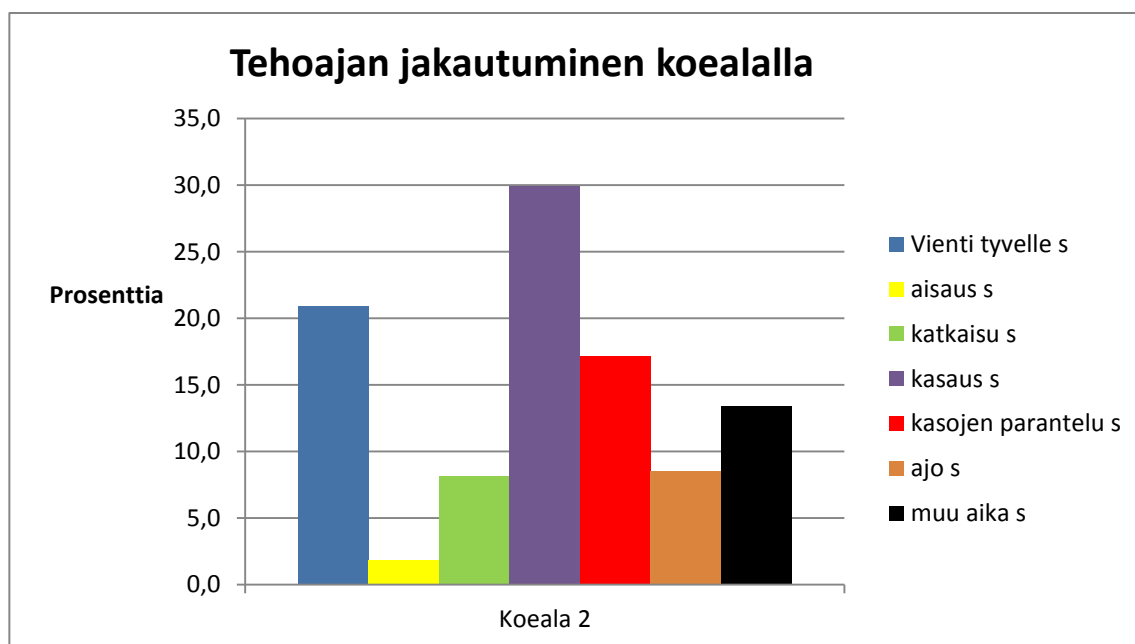
Koealan tehotuntituotos oli 2,49 k-m³/h. Kasaus vei suurimman osan tehoajasta keskimääräisessä kouraisussa (Kuvio 26). Aisaukseen meni 1,3 sekuntia vähemmän aikaa kuin koealalla 1. Toisaalta aisattuja puita oli vain kahdeksan kappaletta. Muu aika eli raivauksen viemä aika kasvoi yli kaksin-

kertaiseksi koealaan 1 verrattuna. Vienti tyvelle kasvoi myös koealaan 1 verrattuna.



Kuvio 26. Koealan 2 tehoajan jakautuminen keskimääräisellä kouraisulla

Kokonaistehoajan jakautumisessa (Kuvio 27) koealalla 2, suurimman osan vei myös kasaus 30 prosentilla. Suurimman ajanviejän koealalla 1 (kasojen parantelu) vaihtuminen kasaukseen koealalla 2, johtuu kuljettajan vaihtumisesta. Periaatteessa kasauksen ajasta osan olisi voinut laittaa kasojen parantelu-osioon, koska kyseessä on kuitenkin lähes sama asia. Hakkuukoneen kuljettajilla oli vain erilainen tyyli puiden kasauksessa. Kuljettaja 1 kasasi puita yhteen kasaan ja paranteli kasaa sitten lopuksi, kun kasaan ei enää tullut lisää puita. Kuljettaja 2 sen sijaan asetteli puut paremmin ja katkoi tarvittaessa latvan heti kasauksen yhteydessä. Näin ollen kyseessä on sama työ, mutta eri vaiheessa. Myös tiheämpi puusto hidastaa kasausta jonkin verran. Vienti tyvelle työvaiheen ajankasvu johtuu myös tiheämmästä puustosta.



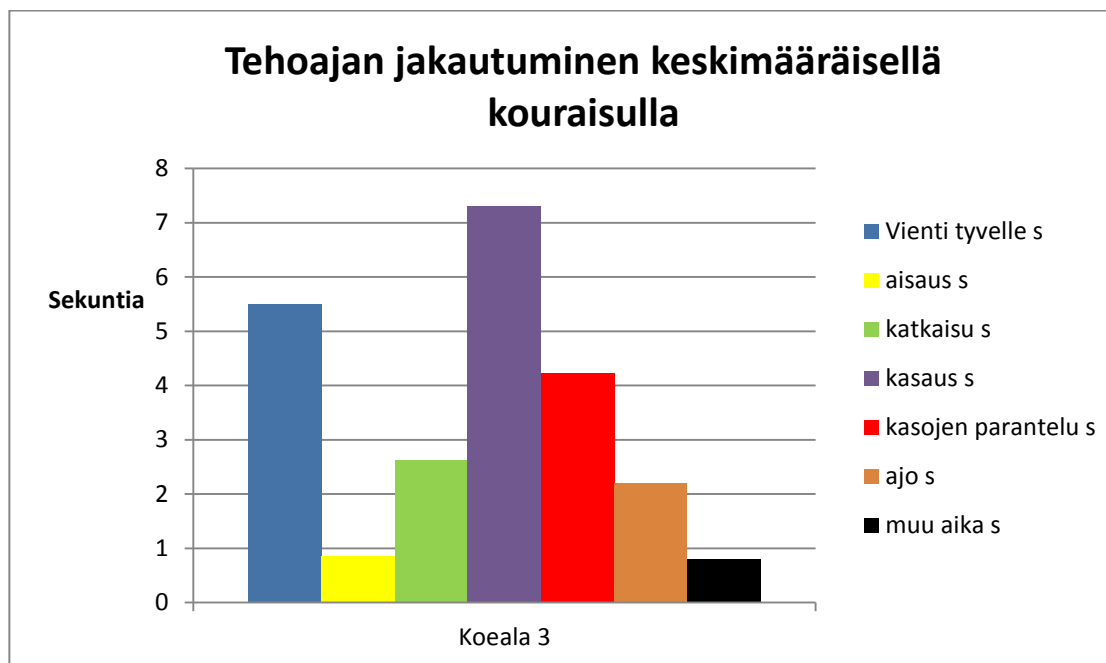
Kuvio 27. Kokonaistehoajan jakautuminen koealalla 2

5.3 Koeala 3:n tulokset

Yhdessä kouraisussa runkoja oli keskimäärin 1,48 kappaletta, vaihteluvälillä 1–5. Koealan hakkaamiseen kului aikaa yhteensä 26 minuuttia ja 51 sekuntia. Hakatuista puista aisattiin 20 prosenttia, eli 23 kappaletta. Koealan pienikokoisista rungoista 20 kappaletta poistui hakkuun aikana raivauksessa. Muut pienikokoiset rungot poistuivat isompia puita kouraisesta. Koealan poistuman keskimääräinen rungon koko oli 8,6 kuutiodesimetriä. Hakkuukertymä koealalla oli 71 m³/ha.

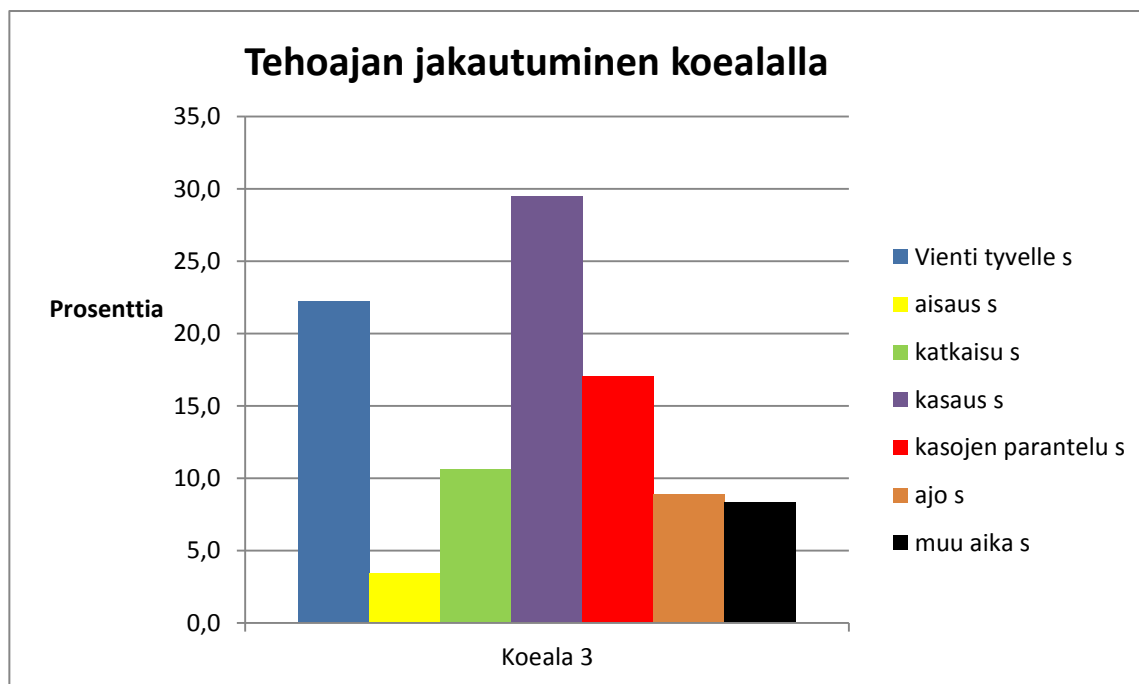
Ajamiseen kulunut aika kasvoi edellisiin koealoihin verrattuna jonkin verran koealalla 3. Syynä oli puiden sijainti ryppäissä, joten samalta kohdalta ei voinut hakata kaikkia puita, vaan kone täytyi ajaa eripuolelle rypästä. Ajoon kuuluneen ajan syynä on myös hakkuutapa, jossa puut hakattiin ajouralle kasaan ja kasa vietiin ajamalla sopivaan kohtaan. Kokopuukasat voivat olla joskus aika isoja ja tiheässä isojen puukasojen paikkoja ei ole aina tarpeeksi. Ajoajan määrään vaikutti myös puuston tiheys erityisesti ajouran kohdalla, jolloin konetta piti liikuttaa kauempana olevien puiden saamiseksi.

Lisääntynyt puuston tiheys (runkoluku) vaikutti myös hakkuupään tyvelle viennin pieneen kasvuun jälleen. Tämänkin koealan hakkasi kuljettaja 2, jolla oli enemmän ajoa käyttävä hakkuutapa. Koealan tehotuntituotos oli 2,2 k-m³/h. Koealan kolme suurinta ajan kuluttajaa olivat kasojen parantelu, ajo ja kasaus (Kuvio 28). Kaikkien näiden kolmen viemää aikaa olisi myös saanut vähennettyä suuresti pyörittelijän avulla.



Kuvio 28. Koealan 3 tehoajan jakautuminen keskimääräisellä kouraisulla

Myös koealalla 3 on nähtävissä sama ilmiö, kuin koealalla 2, eli kasaus vei suurimman osan ajasta (Kuvio 29), vieden lähes 30 prosenttia kokonaisajasta. Myös tässä syy löytyy kuljettajan 2 hakkuutavasta, jossa puut asetettiin jo kasauksessa lopulliseen asentoon ja muotoon kasassa. hakkuupään vienti tyvelle vei yllättäen toiseksi eniten aikaa kokonaisajasta, vaikka se keskimääräisen puun hakkuussa olikin vasta neljäntenä. Vienti tyvelle vei 22 prosenttia kokonaisajasta.



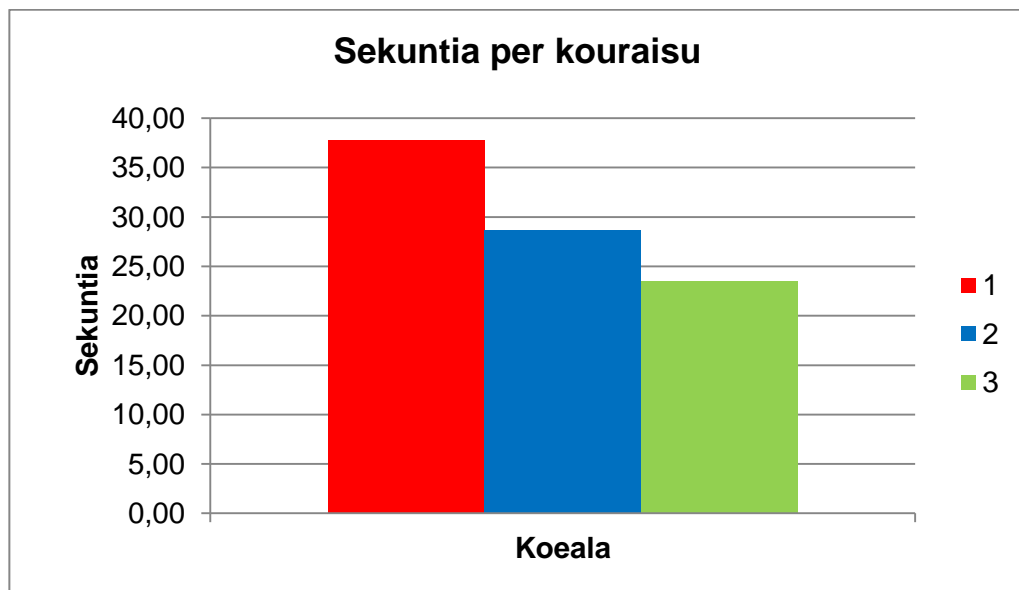
Kuvio 29. Kokonaistehoajan jakautuminen koealalla 3

5.4 Yhteenveto koealoista

Koealoilta hakattiin yhteensä 3 030 kilogrammaa puuta. Tuoretiheysluvun (kg/m^3) ollessa 930, tulee 3 030 kilogrammasta 3,26 kiintokuutiometriä. Puuta hakattiin yhteensä 296 kappaletta. Keskimääräinen rungon koko poistumassa oli 11,3 kuutiodesimetriä. Keskimääräinen tehotuntituotos oli 2,7 kiintokuutiometriä tunnissa. Koealoilla poistuma oli keskimäärin $77,6 \text{ m}^3/\text{ha}$. Koealojen hakkaamiseen kului aikaa yhteensä 1 tunti, 12 minuuttia ja viisi sekuntia.

Vienti tyvelle -vaiheen viemä aika tehoajasta kasvoi melko tasaisesti kaikilla koealoilla. Koealan 2 ja 3 välillä eroa oli kuitenkin vain 1,3 prosenttia. Koeala 1 poikkesi 6,6 ja 7,9 prosenttia koealoista 2 ja 3, ja ero johtuneekin kuljettajista. Aisaukseen kuluneen ajan vaihtelu on myös melko pientä, sillä vaihtelu mahtuu kolmen prosentin sisään. Toisaalta aisauksen kestokin on hyvin lyhytkestoista jokaisella koealalla. Suurimmat erot koealojen välillä ovat kuljettajista johtuvia. Muu aika vaihteli raivattavan pieniläpimittaisen puuston mukaan. Tasainen aikojen kasvu johtui puuston muutoksista.

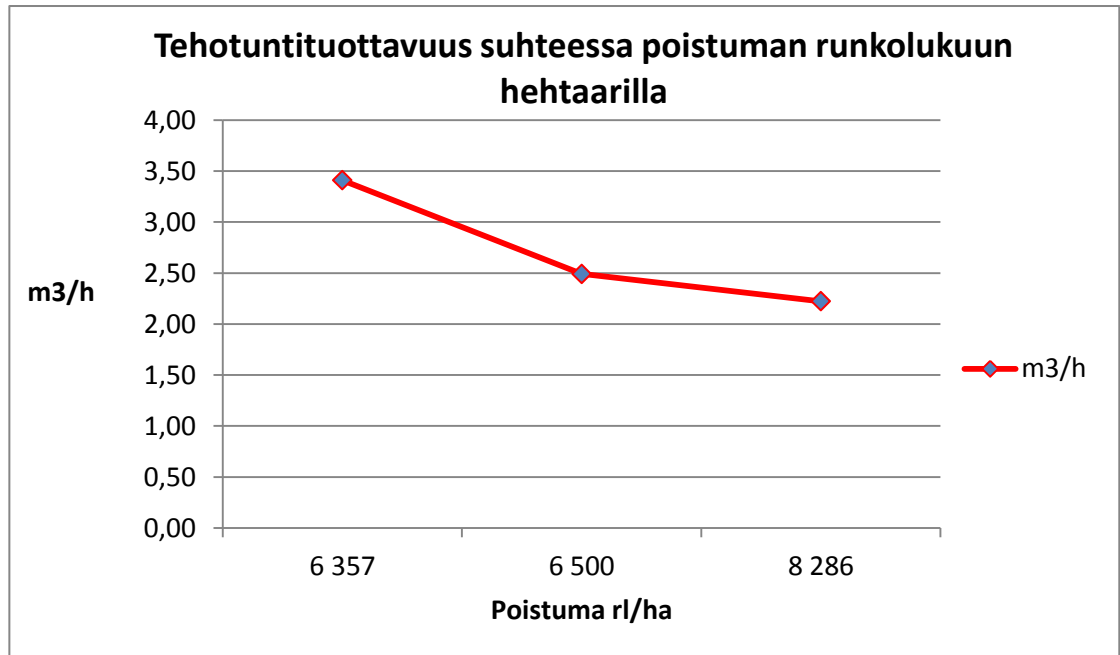
Sekuntia per kouraisu kuvaajasta (Kuvio 30) nähdään keskimääräinen ajankäyttö kouraisua kohden, eli missä on kaikki työvaiheet yhden kouraisun hakkaamisessa. Keskiarvo käsittelyaika kolmella koealalla oli 30 sekuntia per kouraisu. Kuljettajien välillä näyttäisi olevan eroa tässäkin, eli koealan 1 poikkeaa enemmän koealoista 2 ja 3. Toisaalta puusto oli kooltaan suurinta koealalla 1 ja samaa runkoa voi joutua katkomaan useammin, jolloin käsittelyaika puuta kohden kasvaa.



Kuvio 30. Koealojen keskimääräinen ajankuluminen per kouraisu

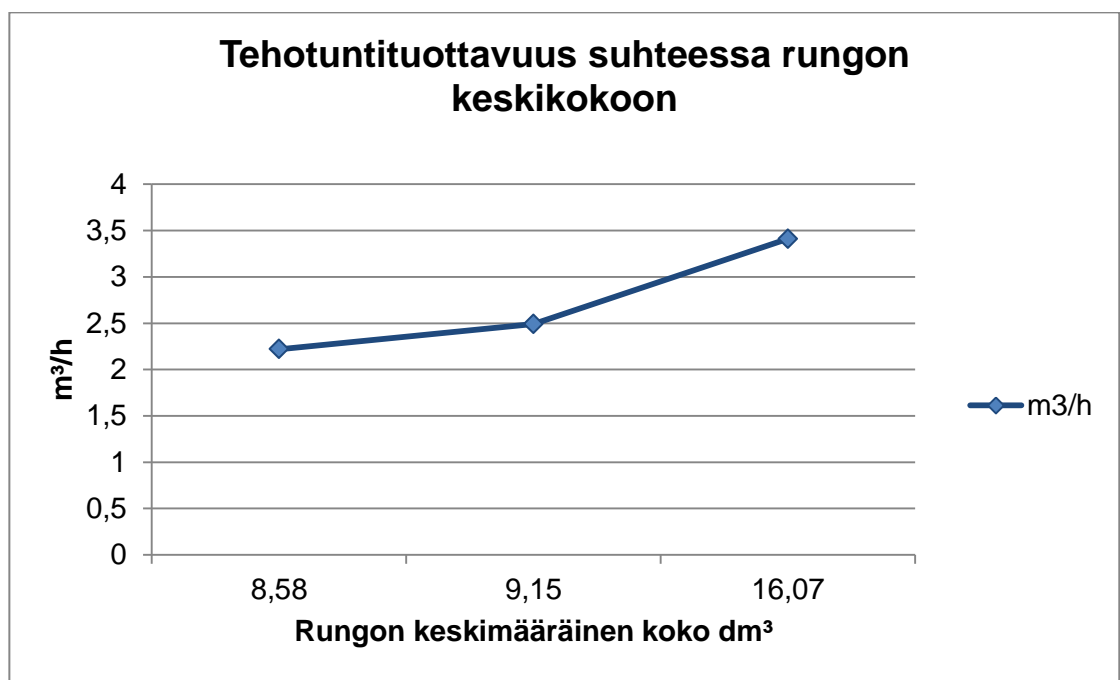
5.5 Hakkuulaitteen tuottavuus

Kasojen parantelun viedessä suurimman osan tehoajasta ei tullut yllätyksenä, mutta sen suuruus oli merkittävä. Sen sijaan hakkuupään vienti tyvelle, aisaus ja katkaisu olivat melko tasalaatuisia eri koealoilla. Koealalla 1 aisaus poikkesi hiukan koealoista 2 ja 3, mikä selittyy kuljettajan erolla, sekä aisattavien puiden suuremmalla lukumäärällä. Hakkuupään tehotuntituottavuus laski suhteessa runkoluvun nousuun (Kuvio 31). Tämä johtuu rungon koon pienenemisestä runkoluvun kasvaessa ja näin ollen kertymän kuutiomäärä jää pienemmäksi.



Kuvio 31. Tehotuntituottavuus suhteessa runkolukuun hehtaarilla

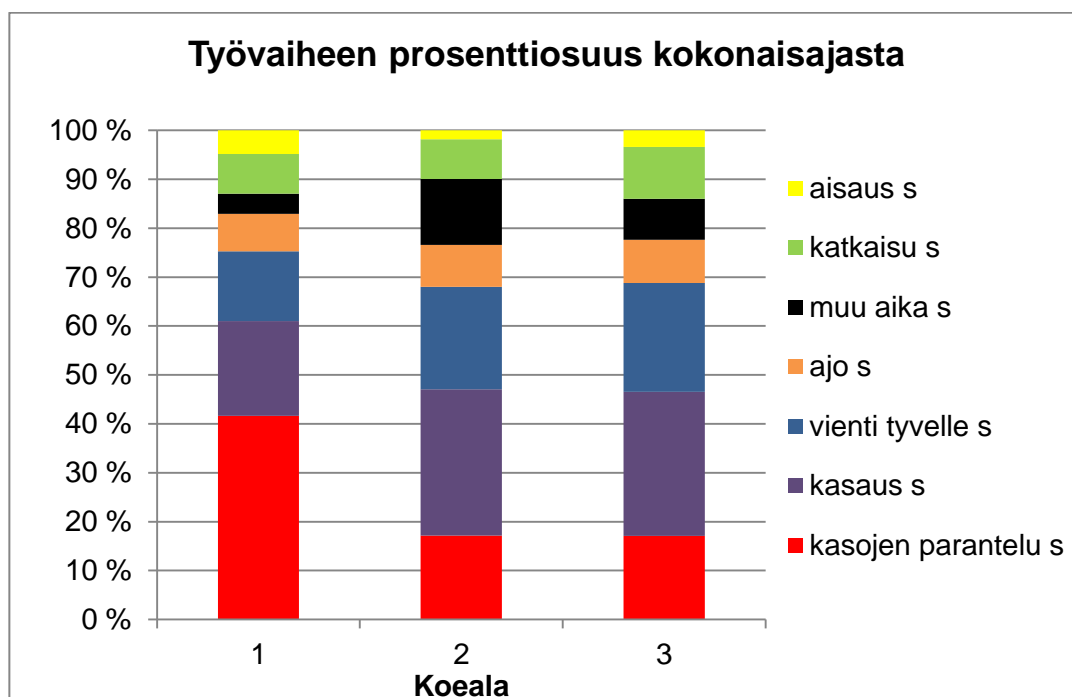
Rungon koon merkitys ilmenee myös kuvaajasta (Kuvio 32), jossa tarkastellaan tehotuntituottavuutta suhteessa rungon keskimääräiseen kokoon. Tehotuntituottavuus laskee myös keskimääräisen rungon koon pienentyessä. Tiheämmässä on myös hitaampi työskennellä.



Kuvio 32. Tehotuntituottavuus suhteessa rungon keskikokoon

Polttoaineen kulutuksen ollessa 4,9 litraa tunnissa, koealojen hakkaamiseen kului polttoainetta 5,9 litraa. Polttoainetta kului koko kuvion hakkuussa 73 litraa. Polttoaineen kulutuksessa on mukana kaivinkoneen ajo kuviolle ja pois sekä työmaalla yhteensä noin tunnin tyhjäkäynnit ennen koealaa.

Kasojen parantelu vei ensimmäisellä koealalla suurimman osan ajasta. Koealalla 1 kasojen parantelu vei koealan kokonaisajasta 42 prosenttia. Koealoilla 2 ja 3 kasojen paranteluun meni noin 17 prosenttia koealojen kokonaisajasta. Kuljettajien hakkuutapojen eroista johtuen koealalla 2 ja 3 suurimman osan ajasta vei kasaus, koealalla 2 kasaus vei 30 prosenttia ja koealalla 3 se vei 29,5 prosenttia kokonaisajasta. Kuten jo mainittu, niin jokaisella koealalla suurimpia ajankuluttajia olivat kasojen parantelu, kasaus ja tyvelle vienti (Kuvio 33), jotka veivät noin 70 prosenttia kokonaisajasta jokaisella koealalla. Kaikkiin näihin voidaan suuresti vaikuttaa pyörittelijän avulla ja puomin muu-
tostöilläkin saadaan niihin tehokkuutta lisää. Muidenkin työvaiheiden viemä aika lyhenisi myös, kuten ajon.



Kuvio 33. Koneen työvaiheiden prosenttiosuus koealan kokonaisajasta

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

6.1 Kaivinkoneen käyttö

Tutkimuksessa käytetty JCB 8080 -tela-alustainen kaivinkone oli mielestäni suhteellisen toimiva alustakone Kymppikouralla hakattaessa. Maavaraa oli riittävästi, vaikkakin lunta oli metsässä noin 30 senttimetriä. Lumi oli huhtikuussa jo sohjoista ja kaivinkoneen telan ruusut olivat kuluneet, mutta silti koneen liikkumisessa ei ollut ongelmia. Kumitelat eivät jättäneet mainittavia jälkiä eikä painaumia tullut, vaikka maa ei ollut jäässä. Telat olivat verrattain leveällä ja kone olikin erittäin tukeva. Metsäpohja oli suhteellisen tasainen, vain muutaman kiven tai mättään päällä kone keikkui. Vakautta tosin sai siinäkin tilanteessa, kun puskulevyn laski maahan.

Koneessa ei ole yhtään peräylitystä ja soveltuikin sen vuoksi metsänhakkuuseen hyvin. Tehot riittivät koneessa hyvin, ja isojenkaan puiden katkaisussa ei ollut ongelmia. Lämpimiltään 25 senttimetrin kuusi oli isoin puu mitä hakattiin. Puuta katkaistessa kaivinkone ei vaikuttanut mitenkään kuormittuneelta.

Puomi ei kaivinkoneissa ole alkuperäisenä kovinkaan toimivan mallinen ah-taisiin harvennusmetsiin. Koneen lähellä olevien puiden ottaminen oli hankalaa. Ajouran varressa olevat puut täytyikin ottaa mielellään edestäpäin, eikä suoraan kohdalta sivullepäin. Puomin juuren sivutaitto helpotti jonkin verran näiden lähipuiden hakkaamista, mutta se vei myös hiukan enemmän aikaa. Tiheämpään koealaan mentäessä ajon määrä suureni johtuen juuri puomin rakenteesta. Jos ajouran vieressä oli puita, niin puomia ja hakkuupäätä ei saanut koneen lähelle niin tiiviisti, että olisi mahtunut kääntämään ylävauunua koneesta. Tämä aiheutti sen, että koneella piti ensin peruuttaa puomi pois puiden välistä, kääntää se ajouralle ja vasta sen jälkeen ajaa eteenpäin. Tätä ongelmaa ei juuri ole esimerkiksi liukupuomilla.

Hakkuupää oli asennettu jäykästi puomin päähän ilman pyörittelijää ja tutkimuksessa hakattiin vain energiapuuta erilliskorjuuna. Tämän vuoksi pienet risut eivät haitanneet hakkuuta, esimerkiksi hakkuupään viennissä puiden

tyville. Kasojen parantelun vaatima aika johtuu myös hakkuupään jäykästä asennustavasta. Näin ollen joitain puita ei saanut suoraan asetettua kasaan samansuuntaisesti kuin kasassa jo olevat puut, vaan kasaa joutui parantelemaan. Kasauksen vaatima suuri aika johtuu myös pyörittelijän puutteesta.

6.2 hakkuupään käyttö

Kymppikoura Oy:n E-100 hakkuupää itsessään soveltui suhteellisen hyvin myös harvennukseen. Etenkin katkaisu oli yllättävän voimakas ja toimiva. Puiden ollessa kuviolla ryhmissä ja välillä erittäin lähellä toisiaan, vaikeutti se hakkuupäällä puiden ottamista niin, että ei vaurioitaisi viereistä puuta. Hakkuunajankohtakin oli hakkuuvaurioiden suhteen haastava, sillä keväällä puiden kuori irtoaa erittäin herkästi. Lieviä kuorivaurioita tulikin 2–3 per koeala, mikä on keskimäärin lähes 10 prosenttia. Normaalisti kuorivauriota tulee 2–4 prosenttia jäävän puuston runkoluvusta. Yksi paha kuorivaurio tuli kaivinkoneen telasta, joka osui peruuttaessa puuhun.

Puun koko ja läpimitta eivät vaikuttaneet koneen työskentelytehokkuuteen muuten, mutta pitkiä puita täytyi katkoa metsäkuljetukselle sopiviin pituuksiin, sekä järeitä ja oksaisia puita piti aisata. Puita katkaistessa ja kasatessa ei puun läpimitalla ollut mitään merkitystä tehokkuuteen muuten, kuin hakkuukertymän kautta. Esimerkiksi neljän senttimetrin läpimitan ja kahdeksan senttimetrin läpimitan puiden hakkaamiseen meni sama aika, mutta tuotos on tietenkin erilainen erikokoisilla puilla.

Hakkuupään koko tuntui paikoitellen tiheiköissä liian suurelta, mutta toisaalta hakkuupäällä sai isolta alueelta poistettua pieniläpimittaista puuta yhdellä kouraisulla. Kuvioilla ennakkoraivaus oli siis suorittamatta ja risujen raivaaminen onnistuikin ihan hyvin hakkuupäällä puristelemalla. Hakkuupään pihtien kaarevuus ja pyörittelijän puuttuminen vaikeuttivat lähekkäin olevien puiden ottamista niin, että jätettävä jäisi ehyeksi. Puun pystyi ottamaan siten, että puristi Hakkuupään jo ylempänä puuta rungolle ja hivutti hakkuupään alemmas. Kanto jäi tosin väkisinkin hiukan liian pitkäksi sillä tyylillä.

Puiden saaminen siististi kasaan oli välillä hankalaa pyörittelijän puuttumisen vuoksi. Jos puu jostain syystä jäi hakkuupäähän vinoon, se täytyi monesti pudottaa maahan ja ottaa uudestaan hakkuupäähän, jotta sen saisi kasaan siististi. Tähän ongelmaan pystyi vaikuttamaan hakkuupään asettamisessa puun tyvelle ennen katkaisua. Puu pysyi hakkuupäässä pystyasennossa paremmin, jos puu oli katkaistaessa hakkuupään keskellä tai vasemmassa reunassa. Tämä johtui siitä, että hakkuupään vasemmalla puolella pihtejä oli kaksi ja oikealla yksi, yhteensä hakkuupäässä on kolme pihtiä.

Myös puuta katkaistaessa katkaisunopeudella on merkitystä puun pystyssä pysymiseen. Jos puun katkaisi liian hitaasti, puu ehti toisinaan kallistua johonkin suuntaan, jolloin se myös voi jäädä siihen asentoon kun hakkuupää on kokonaan kiinni. Usein olikin nopeampi ja helpompi hakata puut ensin ajouralle kasaan, katkaista ylimenevät latvat ja siirtää sen jälkeen koko kasa kerralla pois ajouralta sopivaan paikkaan. Tätä samaa hakkuutapaa pystyi hyödyntämään luontaisten aukkojen kanssa. Hakkuumäärä oli aikatutkimuksessa silti sen verran pieni, että nopeimmat hakkuutavat eivät vielä ehtineet kunnolla vakiintua. Kuvion muita osia hakatessa kuitenkin kaikkien huonoimmat tavat olivat poistuneet ennen koealojen hakkuuta. Olisi mielenkiintoista suorittaa samanlainen tutkimus, kun hakkuukokemusta olisi ollut vaikka joitain kuukausia.

6.3 Hakkuupään soveltuvuus energiapuuharvennukseen

Tehotuntituotosta verrattaessa muihin hakkuupäihin, Kymppikouralla hakkaaminen pärjäsi kuitenkin kohtalaisesti, vaikka alustakone ei vakioasetuksiin ollut paras mahdollinen. Tehotuntituotos oli enemmän kuin muilla hakkuupäillä kokopuun hakkuussa, jossa ennakkoraivausta ei ollut suoritettu. Jos ennakkoraivaus oli suoritettu, tehotuntituotos jäi alhaisemmaksi, mutta se on ymmärrettävää raivauksen viedessä lisääikää. Ennakkoraivatun kohteen hakkuun tehotuntituotosta on myös hankala verrata raivaamattomaan hakkuun tehotuntituotokseen. Mielestäni kuitenkin tehotuntituotoksen jääminen hiukan alle raivatun hakkuun tehotuntituotoksesta ei ole merkittävää, sillä hakkuussa saadaan kuitenkin yksi työvaihe vähemmäksi. Ennakkoraivaus

suoritetaan yleensä miestyönä ja sen saaminen koneelliseksi on yksi metsätöiden koneellistamisen tavoitteista.

Vastaavia tutkimuksia ei juuri ollut verrattaviksi. Kaivinkoneella suoritettuja samanlaisen metsän harvennustutkimuksia ei ollut saatavilla ja harvesterilla suoritettut hakkuut olivat joko isommassa puustossa tehtyjä tai karsivalla rullavetoharvesterilla suoritettuja.

Kuviota hakattaessa tulon siihen tulokseen, että vaikka nuoren metsän kuntoon keksittäisiin minkälaiset laitteet tahansa, niin taimikonhoidon suorittamatta jättäminen ei ole kannattavaa. Taimikon vakiintuessa, esimerkiksi perkauksen yhteydessä, olisi hyvä hiukan väljentää vierä vieressä kasvavia taimia. Tällä toimenpiteellä ehkäistään tyvilenkouksia ja helpotetaan suuresti tulevia harvennuksia. Ajan ja vaivan säästämiseksi taimikonhoidon voisi tehdä myös lievänä, raivaamalla jäävien puiden ympäriltä esimerkiksi puolen metrin säteeltä muut puut pois.

Hakkuupään vienti tyvelle ja kasaus nopeutuisi, jos käytössä olisi myös pyörittelijä. Myös kasojen parantelu-vaiheen vaatima aika pienenesi huomattavasti, tai jäisi jopa kokonaan pois. Kasojen parantelussa oli myös puiden katkomista metsäkuljetuspituuteen, johon pyörittelijän apu ei ole niin suurta, mutta helpottaisi kuitenkin. Se mihin työvaiheisiin pyörittelijä vaikuttaisi suoritusta parantavasti, riippuu kuljettajan hakkuutavasta. Joka tapauksessa hakkuupään vieminen puun tyvelle ja varsinkin katkaistun puun saaminen kasaan siististi helpottuisi suuresti.

Tutkimuksen tulos oli positiivinen, vaikka tuotos jäikin hiukan joidenkin koneiden tuotoksista, sillä tuotos parani pienillä rakenteellisilla muutoksilla huomattavasti. Puihin tulleiden vaurioiden syinä olivat kokemattomuus hakkuukoneyhdistelmään, kömpelö puomisto, pyörittelijän puuttuminen sekä osittain hakkuupään suuri koko. Lähipuiden ottamisen helpottamiseksi ja nopeuttamiseksi on mielestäni kaksi vaihtoehtoa, puomin rakenteen muuttaminen (puomin vaihto) tai pyörittelijän asentaminen. Molemmat muutokset yhdessä olisivat tietenkin paras vaihtoehto. Sellaisenaan hakkuuyhdistelmä soveltuu

kuitenkin hyvin sinne mihin se on suunniteltu, eli tienreunojen ja pellon reunojen puuston hakkaamiseen. Yhdistelmä soveltuu hyvin myös oja- ja tielinjojen aukaisuun, missä puut hakataan suoraan edestäpäin. Niissä töissä päästään varmasti hyviinkin tuloksiin.

Lopputulokseen huonontavasti saattoi vaikuttaa myös koealojen jäävän puuston liian suuri tiheys. Keskimäärin jäävän puuston runkoluvuksi jäi 1 691 runkoa hehtaarilla, missä on noin 400–500 runkoa hehtaarille suosituksia enemmän. Koealalla 2 runkoluvuksi jäi jopa 1 929 runkoa hehtaarille. Ylitiheässä kohteessa kankealla koneella työskentely vaikenee entisestään. Toki tiheissä hoitamattomissa nuorissa metsissä on hyvä jättää hiukan suosituksia tiheämmäksi lumivaurioiden ehkäisemiseksi. Kuviolla olikin jonkin verran lumen vaurioittamia puita. Kuljettajien vähäinen kokemus hakkuukoneyhdistelmästä vaikutti myös tulokseen.

Tutkimukseni keskitehotuntuottavuutta verrattaessa Laitilan tutkimuksen tehotuntuottavuuskäyrään, tulokset ovat melko lähelle samoja. Laitilan tutkimuksessa käytettiin Timberjack 720 -energiapuukouraa. Metlan tutkimukseen verrattaessa, jossa käytettiin myös Timberjack 720 -energiapuukouraa, oman tutkimukseni tehotuntuotos on noin 0,4–0,5 m³/h suurempi. Työtehoseuran suorittama tutkimus traktorilla hakkuusta jää oman tutkimukseni tuloksesta reilusti, noin 1,4–1,9 m³/h.

Metsätehon tutkimuksessa käytettiin kolmea kuormatraktorialustaista hakkuukonetta, sekä yhtä pyöriväohjaamoista harvesteria. Tutkimuksessa oli käytössä kolme kaato-kasauslaitetta, ja kaksi rullavetoharvesteria. Tämän tutkimuksen tuloksiin verrattaessa, oma tutkimukseni jäi kaato-kasauslaitteista noin 0,2–0,5 m³/h pienemmäksi ja rullavetoharvestereita 0,6–0,8 m³/h pienemmäksi. Jalkasen opinnäytetyössä esittelemässä Kärhän taulukossa kokopuun korjuun tehotuntuottavuuden vaihteluksi vuosina 2002–2006 on annettu 1–3,7 m³/h, puun koon ollessa kymmenen kuutiodesimetriä. Oma tulokseni sijoittuisi aikalailla keskiarvon tuntumaan.

Työtehoseura suoritti tutkimuksen ennakkoraivatussa ja ennakkoraivaamattomassa kohteessa Risutec L3A -energiapuukouralla. Tämä tutkimustulos on suoritustavaltaan lähimpänä omaa tutkimustani, sillä tässäkin on ennakkoraivaamaton kohde. Rungon keskikoko oli raivaamattomalla 19 kuutiodesimetriä, ja tehotuntuotos molempien kohteiden keskiarvona oli 3,24 m³/h. Tuotos jäi noin 0,6–0,8 m³/h omasta tutkimuksestani, kun verrataan oman tutkimukseni puuston keskikokoon.

Tutkimustyötä tehdessä ja tuloksien tarkastelun jälkeen ilmeni useita jatkotutkimuksia. Tutkitun koneyhdistelmän tuntikustannuksia ja hakkuun kannattavuutta voisi tutkia. Samalla voisi tutkia myös ennakkoraivauksen kannattavuuden eroja, jos se tehdään miestyönä tai kymppikouran ja kaivinkoneen yhdistelmällä. Tutkimuksen voisi suorittaa niin, että samalle metsäkuviolle perustaisi kahdenlaisia koealoja, ennakkoraivattuja ja ennakkoraivaamattomia. Tuottavuuksien ja kulujen vertailulla saataisiin tulokset esille.

Kymppikouran käyttöä voisi tutkia myös muissa kaivinkoneissa, joissa olisi hiukan erilainen puomisto, mutta kuitenkin koneen vakiopuomi. Kuitenkin ehkä kiinnostavimpana jatkotutkimuksena olisi tutkia tätä jo tutkimaani koneyhdistelmää, mutta niin että ehdottamani muutostyöt koneen parantamiseksi olisi tehty. Muutostöillä tarkoitan puomin muuttamista liukupuomiksi ja puomin ja hakkuupään väliin tulisi pyörittelijä. Tuloksia voitaisiin verrata tämän tutkimuksen tuloksiin, että paranivatko tulokset ja kuinka paljon ne paranivat? Sen jälkeen tuotoksia ja kannattavuutta voitaisiin verrata myös perinteisempien hakkuukoneiden tuloksiin ja olisiko hakkuukone kilpailukykyinen.

Mielenkiintoista olisi nähdä tutkimustuloksia Koneplaneetta Oy:n suorittamien kaivinkoneiden muutostöiden jälkeisten koneiden tuottavuuksia harvennustyössä. Myös Puuppolan Konepalvelun kehittämän Risumoton tuloksia olisi mielenkiintoista vertailla. Risumotossa on muutoksia tehty puomiin, mutta myös kaivinkoneen alustasta on tehty perinteisen metsäkoneen kaltainen.

LÄHTEET

- Alakangas, E. – Moisio, T. – Knuuttila, K. 2003. Puuenergia. Jyväskylän Teknologiaakeskus Oy. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy
- Bergroth, J. 2006. Tela-alustaisten kaivinkoneiden käyttö hakkuukoneina Suomessa. Joensuun yliopisto: Metsätieteellinen tiedekunta.
- Bioenergiatieto.fi 2011. Energiasanastoa. Osoitteessa http://www.bioenergia.fi/default/www/etusivu/tietoa_bioenergiasta/energiasanastoa/. 24.11.2011.
- FINBIO 2010. Harvennusrästeihin jäänyt teollisuuden vuoden kuitupuut. Osoitteessa <http://www.finbio.fi/default.asp?sivuID=25583&component=/modules/bbsView.asp&recID=12150>. 24.11.2011
- Finlex 2007. Kestävän metsänhoidon rahoituslaki 544/2007. Osoitteessa <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2007/20070544>. 24.11.2011.
- Finlex 2011. Pienpuun energiatukilaki 101/2011. Osoitteessa <http://www.finlex.fi/fi/laki/kokoelma/2011/20110101.pdf>. 24.11.2011.
- Hämäläinen, J. – Poikela A. – Rieppo K. 2001. Menetelmä ylitieiden nuorten metsien harvennukseen. Osoitteessa http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_108.pdf. 24.11.2011.
- Jalkanen, J. 2010. Energiapuuharvennusten tuntituotoksia sekä koneyrittäjien kokemuksia energiapuutyömailta hankinnan alkuvaiheessa. Tutkintotyö. Tampereen ammattikorkeakoulu: Metsätalouden koulutusohjelma.
- Koistinen, A. 2009. Nuoren metsän hoitokohteen ehdot. Tapio. Osoitteessa http://www.metsavastaa.net/nuoren_metsanhoitokohteenehdot. 24.11.2011.
- Koistinen, A. 2011a. Energiapuun korjuu. Tapio. Osoitteessa http://www.metsavastaa.net/energiapuun_korjuu. 24.11.2011.
- Koistinen, A. 2011b. Nuoren kasvatusmetsän harvennus. Tapio. Osoitteessa http://www.metsavastaa.net/nuoren_kasvatusmetsanharvennus. 24.11.2011.
- Koistinen, A. 2011c. Nuoren metsän hoito. Tapio. Osoitteessa http://www.metsavastaa.net/nuoren_metsanhoito. 24.11.2011.

- Kokkonen, M. 2011. Tarkistettu Kansallinen metsäohjelma 2015. Maa- ja metsätalousministeriön työryhmät 16.3.2011. Osoitteessa http://www.mmm.fi/attachments/metsat/kmo/5xGwOx8mG/Tarkistettu_KMO_2015_16032011.pdf. 24.11.2011.
- Koneplaneetta Oy 2010. Koneforest. Osoitteessa <http://www.koneplaneetta.fi/fi/hoitoharvesteri/>. 24.11.2011.
- Korpilahti, A. – Örn, J. 2002. Energiapuun hankinta nuorista metsistä. Osoitteessa http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_141.pdf. 24.11.2011.
- Kärhä, K. 2010. Kokopuuna vai rankapuuna? Osoitteessa <http://www.metsateho.fi/tiedotteet/tiedote?id=16812784>. 24.11.2011.
- Kärhä, K. – Keskinen, S. – Kallio, T. – Liikkanen, R. – Lindroos, J. 2006. Ennakkoraivaus osana ensiharvennuspuun korjuuta. Osoitteessa http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_187.pdf. 24.11.2011.
- Kärhä, K. – Keskinen, S. – Liikkanen, R. – Lindroos, J. 2006. Kokopuun korjuu nuorista metsistä. Osoitteessa http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_193.pdf. 24.11.2011.
- Kärhä, K. – Mutikainen, A. – Keskinen, S. – Petty, A. 2010. Integroidusti vai erilliskorjuuna – koko- vai rankapuuna? Osoitteessa http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja_2010_02_Integroidusti_vai_erilliskorjuuna_kk_1.pdf. 24.11.2011.
- Laitila, J.– Asikainen, A. – Anttila, P. 2008. Energiapuuvarat. – Teoksessa Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset (toim. M., Kuusinen - H., Ilvesniemi), 6 - 12. Osoitteessa www.metsavastaa.net/energiapuu/raportti. 24.11.2011.
- Laitila, J. – Asikainen, A. – Sikanen, L. – Korhonen, K.T. – Nuutinen, Y. 2004. Pienpuuhakkeen tuotannon kustannustekijät ja toimituslogistiikka. Osoitteessa <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2004/mwp003.pdf>. 24.11.2011.
- Lauhanen, R. – Laurila, J. 2007. Bioenergian tuotannon haasteet ja tutkimustarpeet. Osoitteessa <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2007/mwp042.pdf>. 24.11.2011.

- Maa- ja metsätalousministeriö 2008. Kansallinen metsäohjelma 2015. Osoitteessa
http://www.mmm.fi/attachments/metsat/kmo/5ywg0T9jr/3_2008FI_netti.pdf. 24.11.2011.
- Maa- ja metsätalousministeriö 2011a. Pienpuun energiatuki. Osoitteessa
http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/metsat/hankkeet_tyoryhmat/la_insaadantohankkeet_0/pienpuunenergiatuki.html. 24.11.2011.
- Maa- ja metsätalousministeriö 2011b. Hakkuutähteistä ja metsäteollisuuden sivutuotteista saadaan energiaa. Osoitteessa
http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/metsat/ilmasto_energia/puun_energiakaytto.html. 24.11.2011.
- Metla 2011a. Eppu- energiapuun mittauslaskuri versio 1.62. Osoitteessa
<http://www.metla.fi/metinfo/tietopaketit/mittaus/mittaus-eppu-energiapuulaskuri.htm>. 24.11.2011.
- Metla 2011b. Metsävarat metsäkeskuksittain. Valtakunnan metsien inventointi -metsävaratilastot. Osoitteessa
<http://www.metla.fi/metinfo/vmi/>. 24.11.2011.
- Metsäalan ammattilehti 2010. Metsäalan ammattilehti 2/2010. Osoitteessa
<http://www.ammattilehti.fi/uutiset.html?a2200=1158>. 24.11.2011.
- Nurmi ym. 2009. Hakkuutähteen talteenotto osana metsätaloutta. Osoitteessa
<http://www.metla.fi/hanke/3291/index.htm>. 24.11.2011.
- Pekkarinen, M. 2010. Uusiutuvan energian velvoitepaketti- Kohti vähäpäästöistä Suomea. Työ- ja elinkeinoministeriö. Osoitteessa
http://www.tem.fi/files/26643/UE_lo_velvoitepaketti_Kesaranta_200410.pdf. 24.11.2011.
- Rieppo, K. – Mutikainen, A. 2011. Ennakkoraivaus ja energiapuunhakkuu samalla laitteella. TTS:n tiedote. Osoitteessa
http://www.mhy.fi/metka/kokeet/TTS/fi_FI/TTS_alku_files/85775564284119413/default/Ennakkoraivaus_ja_energiapuun_hakkuu_samalla_laitteella.pdf. 24.11.2011.
- Simola, A. – Kola, J. 2010. Bioenergian tuotannon aluetaloudelliset vaikutukset Suomessa. BioReg- hankkeen loppuraportti. Osoitteessa
<http://www.helsinki.fi/taloustiede/Abs/Pub49.pdf>. 24.11.2011.
- Strandström, M. – Hämäläinen, J. – Pajuoja, H. 2009. Metsänhoidon koneellistaminen. Osoitteessa
http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_206_Metsanhoidon_koneellistaminen_ms-jh-hp_stand.pdf. 24.11.2011.

- Työ- ja elinkeinoministeriö 2010. Kiinteiden puupolttoaineiden Saatavuus ja käyttö Suomessa vuonna 2020. Osoitteessa http://www.tem.fi/files/28437/TEM_66_2010_verkkojulkaisu.pdf. 24.11.2011.
- Ylitalo, E. 2010. Puun energiakäyttö 2010. Osoitteessa <http://www.metla.fi/tiedotteet/metsatilastotiedotteet/2011/puupolttoaine2010.htm>. 24.11.2011.
- Äijälä, O. – Kuusinen, M. – Koistinen, A. 2010. Hyvän metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen ja kasvatukseen. Osoitteessa http://www.tapio.fi/files/tapio/Aineistopankki/Energiapuusuositukset_verkkoon.pdf. 24.11.2011.

LIITTEET

Liite 1. Kuviokartta ilmakuvana

Liite 2. Koealojen 1,2 ja 3 sijoittuminen kuviolle 28

Liite 3. Kuviotiedot vuoden 2010 metsäsuunnitelmasta

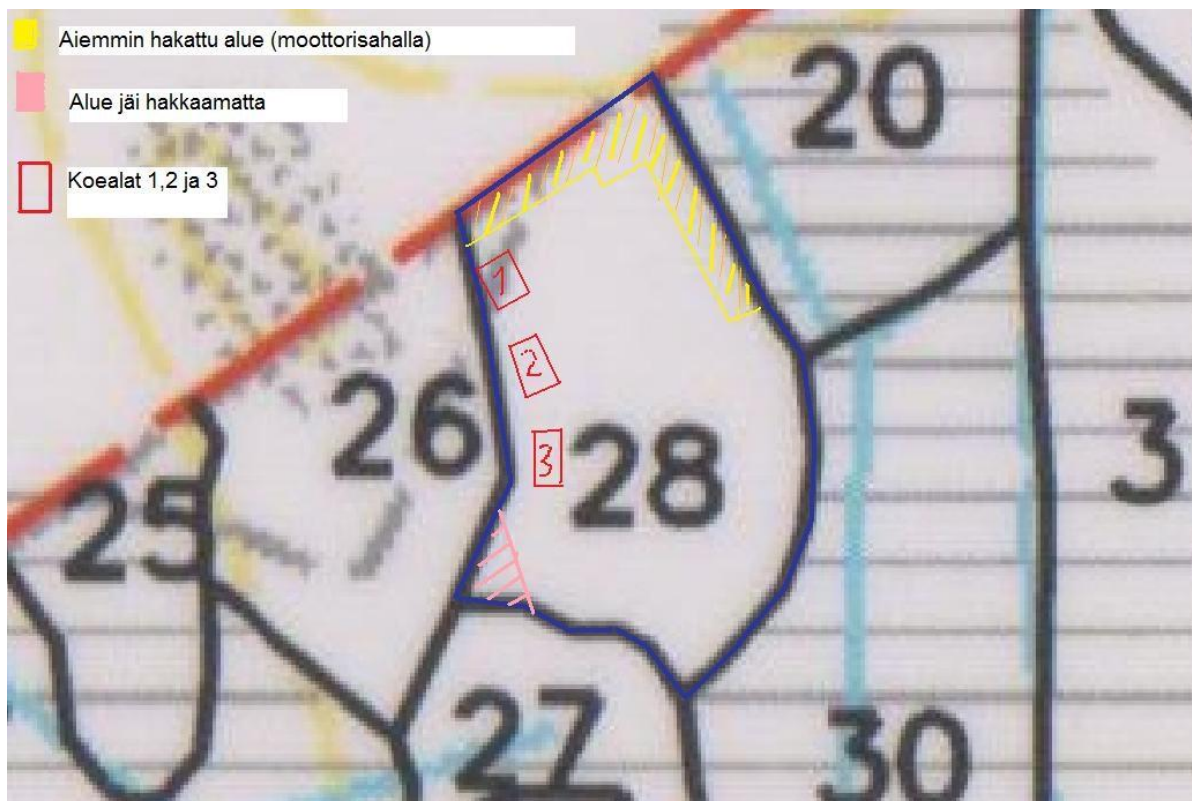
Liite 4. Hakkuut kuvioittain

Liite 5. Eppu-energiapuulaskurin mittausraportti

Liite 1.



Liite 2.



Kuvio	Pinta-ala, ha	Kasvupaikka ja kehitysluokka	puulaji	ikä, v	tilavuus m ³ /kuvio	tukkia, m ³ /ha	Puustotiedot						Toimenpiteet kuvioilla		
							kuutiua, m ³ /ha	läpimitta, cm	pituus, m	runkoluku, kpl/ha	ppa, m ² /ha	kasvu, m ³ /ha/v			
25	0,2	Tuore kangas Keskikarkea tai karkea kangasmaa Taimikko alle 1,3 m	Yhteensä Mänty Hieskoivu	6	6										Mekaaninen
26	0,4	Kuivahko kangas Keskikarkea tai karkea kangasmaa Varttunut kasvatusmetsikkö	Yhteensä Mänty Kuusi Hieskoivu	40	58	129	21	103	17	14	1050	19	5,0		
				40	44	98	16	79	17	14	700	14	700		14
				50	9	20	5	14	19	140	3	0,8			
				2	5	11		10	12	210	2	0,3			
Lisätiedot															
Osa kuvioita vielä harvennettävissa.															
27	0,5	Korpi Muuttuma Nuori kasvatusmetsikkö Kehityskelpoinen, tyydyttävä	Yhteensä Mänty Kuusi Kuusi	25	33	62		43	9	9	3200	13	5,6	Ensiharvenn Nuoren mets	
				25	15	28		23	10	10	810	5	810		5
				15	1	2		18	4	600	1	0,3			
				25	13	24		18	11	770	5	2,4			
				25	4	8		1	6	1020	2	0,5			
28	0,6	Kuivahko kangas Keskikarkea tai karkea kangasmaa Nuori kasvatusmetsikkö	Yhteensä Mänty Mänty Kuusi Hieskoivu	30	66	102		76	10	9	3480	20	7,5	Ensiharvenn Nuoren mets	
				25	7	12		6	8	8	630	3	630		3
				30	47	73		59	10	2110	14	5,6			
				30	4	7		6	14	120	1	0,5			
				25	6	10		5	8	630	3	0,4			
29	0,6	Kuivahko kangas Keskikarkea tai karkea kangasmaa Varttunut kasvatusmetsikkö	Yhteensä Mänty Kuusi Hieskoivu	40	63	114	16	93	17	13	1080	18	4,4	Harvennus	
				40	30	54	14	39	19	13	320	8	320		8
				40	14	25	3	21	15	310	4	1,2			
				40	19	35		33	14	450	6	1,1			
30	0,9	Korpi Muuttuma Varttunut kasvatusmetsikkö	Yhteensä Mänty Kuusi Kuusi Hieskoivu	55	158	174	36	127	18	15	2320	24	6,6	Harvennus	
				75	67	74	32	41	23	17	240	9	240		9
				35	44	48	5	40	15	570	7	2,3			
				10	6	7		1	6	1250	2	0,6			
				55	41	45		44	18	270	6	1,3			

Lisätiedot

Kaksijaksoinen. Kuusta tulossa alle.

Hakkuut kuvioittain

KALAJOKI / Alue 290 / Metsäsunnitelma 10 / RANTALA / Paista 2 / Lohko 10

Kuvio	Hakkuutapa ja lisätehdot	Kiireellisyys	Kor-juu aika	Pinta-ala, ha	Hakkuumäärä yhteensä ja puutavaralajeittain						Lisäksi energia-puuta m ³	Tulot ja men-	
					m ³	m ³ /ha	m ³	m ³	tukki, m ³	kuuti, m ³		kuuti, m ³	rahatulo
20	Ylispuiden poisto	2015 - 2019	T	0,5	4	8	3	1				150	70
23	Ensiharvennus	2010 - 2014	K	1,0	5	5		4	1		20	70	90
24	Ensiharvennus	Heiti	T	0,6	18	30		9	7	1	18	280	300
27	Ensiharvennus	2010 - 2014	T	0,5	8	15		4	3	0	8	110	130
28	Ensiharvennus	2010 - 2014	K	0,6	19	30	0	16	1	2	13	260	330
29	Ensiharvennus	2010 - 2014	K	0,6	17	30	2	6	3	5		330	290
30	Ensiharvennus	2010 - 2014	T	0,9	45	50	8	12	11	12		1010	790
31	Ensiharvennus	2015 - 2019	K	1,1	68	60	22	32	10	3		1800	1150
32	Ensiharvennus	2010 - 2014	K	0,3	5	15		4	0	0	3	60	80
34	Ensiharvennus	2010 - 2014	K	0,5	25	55	1	24	1		14	350	430

ENERGIAPUUN MITTAUSRAPORTTI

EPPU 1.62 - energiapuun mittauslaskuri

© Metsäntutkimuslaitos 2011

3.11.2011

Aloitettu: 14:43:18

Lopetettu: 14:44:08

				TARKENTEET				
				Tuore, jossa lunta/jäätä				
				Lumi ja sulamisvesi vaikuttaneet kasojen kuivumiseen				
				Palstakasoissa tai niiden alla jatkuvasti lunta/jäätä				
				Tuoretiheysluku, kg/m³				
				Taulukko	1	1	1330	1,430
				Painoluokka	2	2	775	0,833
				Kosteus, %	2	55-60	925	0,995
				Massa, kg				
				Tilavuus, m ³				
H	Ha	P	16.4.2011	0	0			
H	Ha	P	16.4.2011	0	0			
H	Ha	P	16.4.2011	0	0			
				Varasointiaika, vrk				
				Mittausajankohta				
				Hakkuuajankohta				
				Alue				
				Puulaji				
				Energiapuutavaralaji				

Merkinnät:

Energiapuutavaralajit: H = harvennusenergiapuu, L = latvusmassa

Puulajit: Ha = havupuu, Ko = koivu, Le = muu lehtipuu, Se = sekapuusto

Alueet: E = Etelä-Suomi, P = Pohjanmaa, K = Kainuu-Koillismaa, L = Lappi, Y = Ylä-Lappi

Liite 5.