

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Metsätalouden koulutusohjelma

Tutkintotyö

Juhani Kaltakari

**KORJUUKETJUN TUOTTAVUUSVERTAILUA ERI LEIMIKKOTYYPEILLÄ
MHY KESKI-SUOMEN ENERGIAPUUHAKKUISSA**

Työn ohjaaja

Lehtori Eeva Sundström

Työn tilaaja

Mhy Keski-Suomi, Toiminnanjohtaja Ilpo Pentinpuro

Tampere 12/2010

Työn tekijä	Juhani Kaltakari
Työn nimi	Korjuuketjujen tuottavuusvertailua eri leimikkotyypeillä Mhy Keski-Suomen energiapuuhakkuissa
Sivumäärä	63
Työn teettäjä	Metsänhoitoyhdistys Keski-Suomi, Toiminnanjohtaja Ilpo Pentinpuro
Työn ohjaaja	Lehtori Eeva Sundström

TIIVISTELMÄ

Opinnäytteessä tarkasteltiin korjuuketjujen tuottavuutta kolmella eri leimikkotyypillä. Korjuuketjuina tutkimuksessa oli hakkuukone- ja korjuriketjuja. Leimikkotyypit luokiteltiin tutkimuksessa ylispuu taimikon, pienen 20- 40 dm³/r sekä ison yli 40 dm³/r kohteisiin. Korjuriketjuilla korjattiin energiapuuta kokopuuna ja hakkuukone-ajokone-ketjuilla karsittua rankaa.

Tutkimuksen aineisto kerättiin yhdeksältä energiapuuharvennuskuviolta, jotka sijaitsivat Mhy Keski-Suomen toimialueella. Tutkimuksen tuottavuus perustuu maasto- ja hakkuukonemittauksiin. Maastomittauksessa selvitettiin puustotiedot ennen ja jälkeen hakkuuta. Hakkuukonemittauksessa kirjattiin konekohtainen ajankäyttö, kertymä ja koneen kulkema matka hakkuun aikana. Ennen hakkuuta arvioitiin silmävaraisesti alikasvoksen haitan vaikutus korjuun tuottavuuteen.

Tutkimus osoitti, että poistuman rungon koon ollessa yli 38 dm³/r hakkuukoneketjun rangan korjuu on tehokkaampi (m³/tehotunti) ja halvempi (€/m³) kuin korjuriketjun kokopuumenetelmä. Poistettujen puiden runkotilavuuden laskiessa alle 20 dm³/r, korjuriketjuilla kokopuuhakkuu oli kannattavampaa verrattuna hakkuukoneiden rangan menetelmään.

Asiasanat Energiapuuhakkuu, energiapuuhakkuu, tuottavuus, korjuuketju

Writer	Juhani Kaltakari
Thesis	The forest machinery productivity comparison for energy wood thinning areas in Forest management association Keski-Suomi
Pages	63
Thesis supervisor	Lectare Eeva Sundström
Co-operating Company	Forest management association Keski-Suomi, Executive director Ilpo Pentinpuro

ABSTRACT

The purpose of the thesis is to research the productivity of energy wood harvesting sites in three different types of stands marked for cutting for two mechanized systems. The two mechanized systems were traditional two-machine (harvester and forwarder) system and harwarder system. Tree different kind of stands marked for cutting categorized by volyme of tree to cutting of hold-overs -, small-sized 20-40 dm³/trunk - and higher than 40 dm³/trunk sites. The whole-tree harvesting were lumbered by harwarders and two-machine system were harvesting energy wood with method for delimbed long beam.

The material of study were glained from nine different energy wood thinning sites, which were located in Forest management association Keski-Suomi's operating range. The productivity based on terrain and harvesting measerements. The terrain measurement's intention was to glaim growing timber before and after harvesting. The results of harvesting sample areas were taken on the felling time, the accrual of the removed trees and distance, what the machine ran during the logging. The undergrown impact for cutting prodictivity was estimated by eye before harvesting.

The thesis proved that two machine system for delimbed long beam is more effective than harwarder's whole-wood system when average for volyme of the trees are over 38 dm³/tree. When average of removed tree go under 20 dm³/tree, whole-wood was more profitable for harwarder system.

Keywords	Energy wood, harvesting of energy wood, productivity
----------	--

Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ	
ABSTRACT	
1 JOHDANTO	1
1.1 YLEISTÄ	1
1.2 ENERGIAPUUHAKKU SUOMESSA	3
1.3 KMO 2015 – TAVOITE NUOREN METSÄN KUNNOSTUKSEEN	5
1.4 ENERGIAPUUTUET (KEMERA)	6
1.6 TUTKIMUKSEN TAUSTA JA TAVOITTEET	7
2 TUTKIMUSAINEISTO JA MENETELMÄT.....	9
2.1 HAKKUUN TUOTTAVUUS JA YKSIKÖKUSTANNUKSET.....	9
2.2 TUTKIMUSKOHEET MHY KESKI-SUOMEN TOIMIALUEELLA	9
2.2 TUTKIMUSKOHEET	9
2.3 AINEISTON HANKINTAA KOSKEVAT MITTAUKSET.....	11
2.3.1 Ennakkomittaus.....	12
2.3.2 Hakkuun mittaus	13
2.3.3 Jälkimittaus	14
2.4 TUTKIMUKSEEN SISÄLTyneet LEIMIKKOTYYPIIT	15
2.4.1 Ylispuukohteet.....	16
2.4.2 Ison leimikkotyypin kohteet	17
2.4.3 Pienen leimikkotyypin kohteet	18
2.5 TUTKIMUKSEEN OSALLISTUNEET KONEET	20
2.6 KULJETTAJAT	20
2.7 TUTKIMUKSEEN SISÄLTyneet KORJUUMENETELMÄT	21
2.7.1 Kokopuuhakkuu	22
2.7.2 Karsitun rangan hakkuu.....	23
2.8 ALIKASVOKSEN HAITAN MITTAUS LEIMIKOITTAIN	24
3 TULOKSET	26
3.1 AINEISTON MITTAUSTULOKSET	26
3.1.1 Puulajisuhteet.....	26
3.1.2 Ennakkomittaus ja alikasvuston haitta	28
3.1.3 Hakkuutiedot ja -kertymä.....	30
3.1.4 Jälkimittaus	32
3.1.5 Korjuun jälki ja laatu.....	33
3.2 KORJUUN AJANMENEKKI JA KUSTANNUKSET	34
3.2.1 Korjuukustannukset.....	37
3.2.2 Yksikkökustannukset korjuuketjuittain.....	38
3.2.2.1 Kokopuun hakkuu.....	41
3.2.2.2 Karsittu rangan hakkuu.....	42
3.3 KORJUUN TUOTTAVUUS	43
3.3.1 Tuottavuus eri runkotilavuuksilla	44
3.3.2 Tuottavuus eri leimikkotyypeillä.....	45
3.3.3 Tuottavuus pääpuulajeittain.....	46
3.3.4 Tuottavuus korjuuketjukohtaisesti.....	47
3.4 ALIKASVUSTON VAIKUTUS HAKKUUN TUOTTAVUUTEEN.....	49
3.5 AJETTU MATKA TYÖMAITAIN	51
4 TULOSTEN TARKASTELUA	54
4.1 AINEISTON MITTAUSTULOKSET	54
4.2 KORJUUN KUSTANNUKSET	56
4.3 KORJUUN TUOTTAVUUS	57
4.4 ALIKASVUSTON VAIKUTUS HAKKUUN TUOTTAVUUTEEN.....	58
5 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	60
LÄHDELUETTELO	62

1 JOHDANTO

1.1 Yleistä

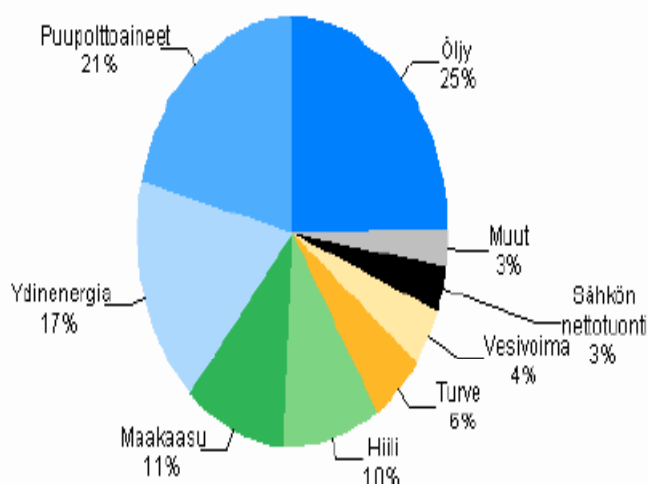
Energian kokonaiskulutus Suomessa oli vuonna 2008 1,42 miljoonaa terajoulea (TJ), mikä oli 4,2 prosenttia vähemmän kuin edellisvuonna. (Tilastokeskus 2009). Uusiutuvan energian osuus nousi kolme prosenttiyksikköä yltäen lähes 28 prosenttiin energian kokonaiskulutuksesta vuonna 2008. Puuperäisten polttoaineiden osuus oli liki 80 prosenttia energian kokonaiskulutuksesta vuonna 2008. (Metlan vuosikatsaus 2009). Alla olevassa taulukossa 1 on esitetty 2007-08 vuoden energian kulutuksen käyttö energialähteittäin. Kuviossa 1 on havainnollistettu energialähteiden osuuksia energian kokonaiskäytöstä prosentteina. Kuviossa 1 suurin energiakulutus on öljyllä, jonka osuus on 25 %. Puuperäiset polttoaineet olivat Suomen toiseksi merkittävin energialähde öljytuotteiden jälkeen ja niillä katettiin viidennes eli 302 petajoulea energian kokonaiskulutuksesta. (Metlan vuosikatsaus 2009)

TAULUKKO 1. Energian kulutus energialähteittäin 2007-2008

Energian kulutus 2008–2007, terajoulea

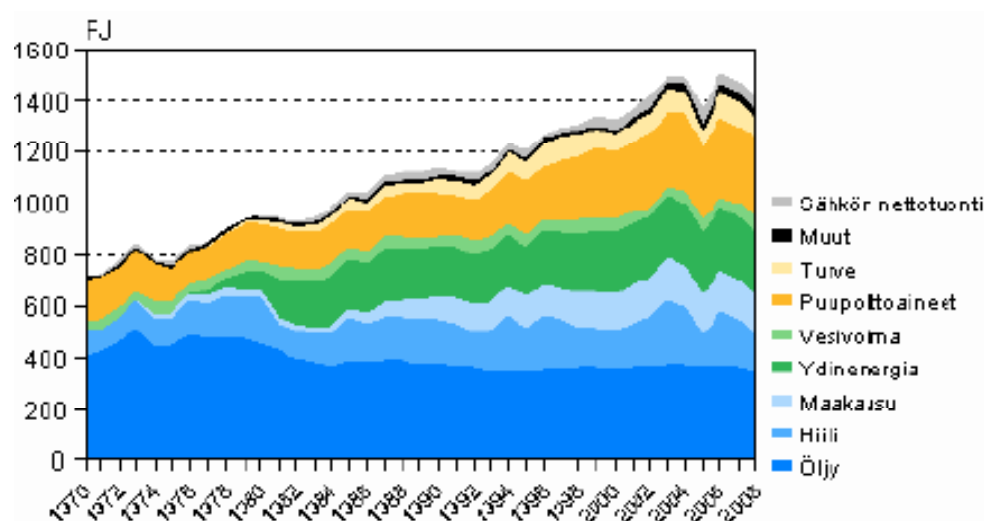
	2008	2007	Muutos-%
Öljy	351 672	360 528	-2
Puupolttoaineet	302 146	302 214	0
Ydinenergia	240 542	245 468	-2
Hiili	141 901	191 439	-26
Maakaasu	150 768	147 456	2
Turve	81 457	102 260	-20
Vesivoima	60 874	50 366	21
Sähkön nettotuonti	45 979	45 205	2
Tuulivoima	938	678	38
Muut	39 336	31 369	25
Yhteensä	1 415 613	1 476 983	-4

(Tilastokeskus energiankulutus 2009)



KUVIO 1. Energian kokonaiskulutus 2007- 2008 (Tilastokeskus 2010)

Puuperäiset polttoaineet jaetaan nestemäisiin, kiinteisiin ja muihin puupolttoaineisiin. Kiinteitä puupolttoaineita ovat lämpö- ja voimalaitosten (teollisuus ja energiantuotanto) puupolttoaineet sekä pientalojen polttopuu. Puupolttoaineiden kokonaiskäyttö pysyi vuonna 2008 edellisvuoden tasolla. Kiinteitä puupolttoaineita käytettiin vuonna 2008 6 prosenttia enemmän kuin vuotta aiemmin, kaikkiaan 21 miljoonaa kiintokuutiometriä (153 Petajoulea). (Metlan vuosikatsaus 2009). Alla olevassa kuviossa 2 on esitetty puupolttoaineiden kehitystä 1970- 2008 aika välillä ja siitä nähdään, että puuperäisten polttoaineiden käytön kehitys on ollut lievässä nousussa 1995-2008 välisenä aikana verrattuna öljyn energiakäytön kehitykseen.

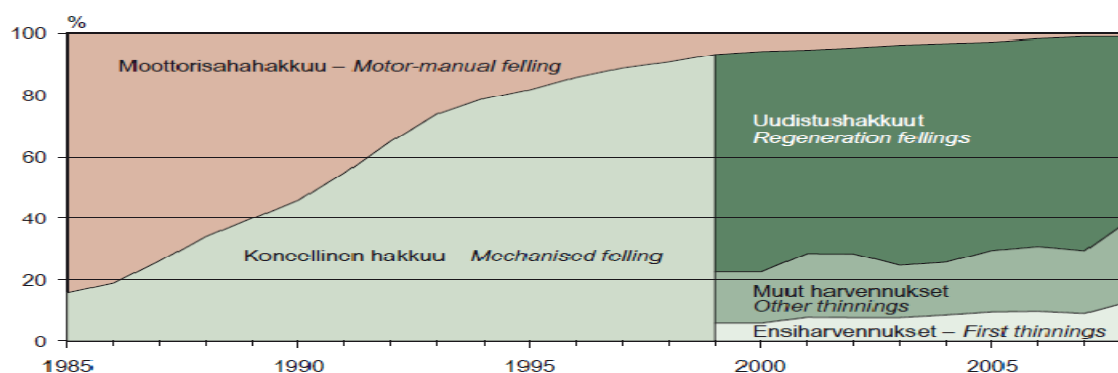


KUVIO 2. Puupolttoaineiden energiankäytön kehitys vuosina 1970- 2008 (Tilastokeskus; energiankulutus 2008)

Puuperäisiin polttoaineisiin lukeutuva pienpuuhake tulee pääosin nuorten metsien hoitokohteilta, jotka ovat taimikonhoidon laiminlyönnin seurauksena tiheitä ja pienirunkoisia. Metsähaketta tuotetaan myös avohakkuu leimikoiden kannoista ja hakkuutähteistä, kuten oksista sekä latvustoista, joita ei kerätä ainespuukertymiin. Metsähaketta tuotettiin vuosina 2007 ja 2008 keskimäärin 3,3 miljoonaa m³. Metsähakkeen raaka-aineesta 25 prosenttia oli pieniläpimittaista puuta. (Metlan vuosikatsaus 2009) Metsähakkeen hankinta nuorten metsien hoitokohteilta on vaikeista korjuuoloista johtuen riippuvainen tuista, joiden jatkuvuudesta ei ole takeita. (Heikkilä ym. 2009).

1.2 Energiapuuhakkuu Suomessa

Metsähaketta tuotettiin vuosina 2007 ja 2008 keskimäärin 3,3 miljoonaa m³. Metsähakkeen raaka-aineesta 25 prosenttia oli pieniläpimittaista puuta. Pieniläpimittaisten puiden korjuussa energiapuun hakkuu on yleistynyt ensiharvennusleimikoilla. Alla kuviossa 3 on esitetty ensiharvennuksien koneellisen hakkuun kehitys 1999- 2008.



KUVIO 3. Koneellisen hakkuun kehitys vuosina 1985- 2008. Vuodesta 1999 lähtien on eritelty myös ensiharvennuksen osuus (Metlan vuosikatsaus 2009)

Ensiharvennuksissa pieni rungon koko, pieni hehtaarikohtainen hakkuukertymä, jäävien puiden suuri lukumäärä ja tiheä alikasvusto merkitsevät alhaista tuottavuutta ja korkeita korjuukustannuksia. Korkeat korjuukustannukset ovat puolestaan osasyynä ensiharvennuspuun huonoon kysyntään. (Kärha ym., 2003).

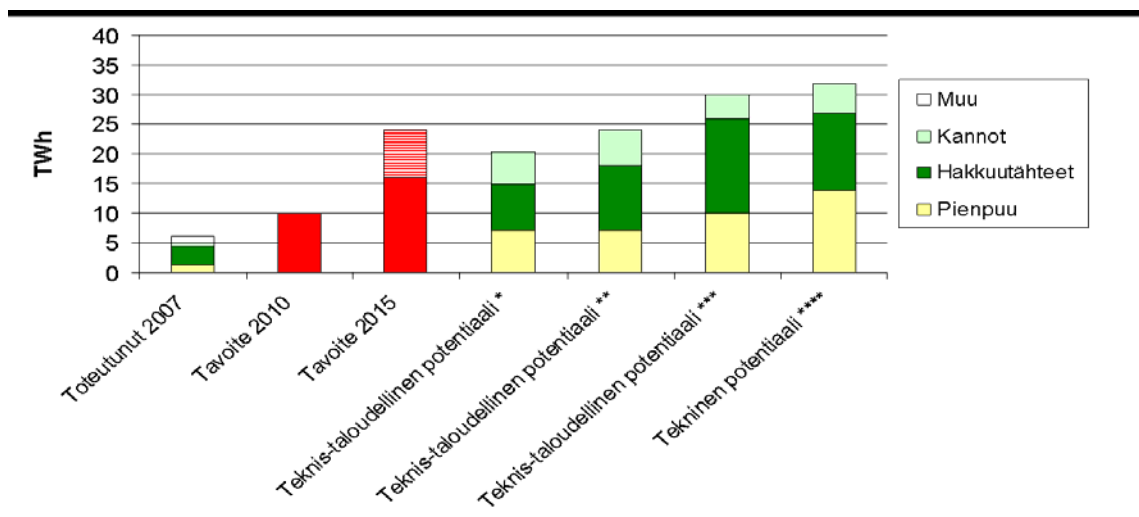
Leena A. Leskinen haastatteli metsätieteen aikakauskirjan tutkimusartikkelissaan metsäammattilaisia selvittääkseen nuorten metsien hoitoon liittyviä ongelmia ja ratkaisukeinoja. Ongelmaksi koettiin, etteivät metsäkeskuksen tärkeimmät yhteistyökumppanit, metsäteollisuuden puunostajat, metsänomistajat ja metsänhoitoyhdistykset olleet riittävästi sitoutuneet nuorten metsien hoidon tavoitteisiin. (Leskinen, L.A, 2009)

Kyseisten haastattelujen perusteella yleisin syy nuorten metsien hoitohaluttomuuteen oli metsäammattilaisten mukaan kuitupuun alhainen hinta, joka on vaikuttanut ensiharvennusten kannattamattomuuteen. Tätä kautta pieniläpimittaisen puun energiakäyttö on muuttanut metsäammattilaisten käsityksiä puunkasvatuksen tavoitteista. (Leskinen, L.A, 2009) Kyseisen tutkimuksen perusteella pieniläpimittaisen puun energiakäyttö on vaikuttanut lupaavalta keinolta lisätä nuoren metsän hoitoa monine myönteisine vaikutuksineen.

Suomessa energiapuun hakkuuta on selvitetty monissa tutkimuksissa, kuten esimerkiksi Bioenergian tutkimusohjelmassa ja Puuenergian teknologiaohjelmassa. (Kärha ym., 2003). Tuottavuusfunktioita pienpuustojen korjuuseen ei kuitenkaan ole tehty. Jatkossa tulisivat tehdä tuottavuusfunktiot energiapuun hakkuuseen ja metsäkuljetukseen koskien nuorten kasvatusmetsien hakkuuta. Kasvavat energiapuun korjuuvolyymit ovat omiaan lisäämään tarvetta tuottavuusmallien työstämiseen.

1.3 KMO 2015 – tavoite nuoren metsän kunnostukseen

Kansallisen metsäohjelman 2015 mukainen tavoite taimikonhoidolle ja nuoren metsän kunnostukselle on 265 000 hehtaaria yhtä vuotta kohden. Tästä tavoitteesta toteutui vuonna 2008 256 000 hehtaaria. Taimikonhoidon ja ensiharvennusten tarpeeksi on arvioitu 570 000 hehtaaria vuodessa seuraavien kymmenen vuoden aikana (Metlan vuosikatsaus 2009). Kuviossa 4 on esitetty energiapuun tuottavuusarvioille (TWh) KMO 2015 tavoitteet ja teknis-taloudelliset potentiaalit.



KUVIO 4. Energiapuun tavoitteet vuodelle 2015 ja toteutuneet terawattitunnit (TWh) 2007. Teknis-taloudelliset potentiaalit tutkimuksista:

Leino ym. 2007*, Ranta ym. 2007**, Hakkila 2004***, Laitila ym. 2008****
(Metsätehon tulokalvosarja 9/2008)

Tavoitteet vuodelle 2015 ovat nelinkertaiset, kun vertaa niitä 2007 toteutuneisiin tuottavuuksiin (TWh). Asetetut käyttötavoitteet edellyttävät pienpuuhakkeen käytön kolmin–nelinkertaistamista. (Metsätehon tulokalvosarja 9/2008).

Metsähaketta tuotettiin vuosina 2007 ja 2008 keskimäärin 3,3 miljoonaa m³. Metsähakkeen raaka-aineesta 25 prosenttia oli pieniläpimittaista puuta (Metlan vuosikatsaus 2009). Pieniläpimittaisen puun energiakäyttö on vaikuttanut lupaavalta keinolta lisätä nuoren metsän hoitoa monine myönteisine vaikutuksineen.

1.4 Energiapuutuet (Kemera)

Energiapuuharvennusten kokonaiskannattavuus on varsin riippuvainen valtiontuesta, Kemerasta. Ilman tukea yksikään energiapuuharvennuskohde on harvoin kannattava. Tämä johtuu energiapuuharvennusten pienestä rungon keskitilavuudesta ja tästä johtuen vähäisestä hakkuukertymästä. Runkomäärä kohteilla on yleensä ottaen suuri. Tästä johtuen korjuun kustannukset nousevat ja harvennusten kannattavuus huononee. Yleensä ottaen vain tuettuina kohteiden korjuu on kannattavaa. Heikkilä, ym., tulivat tutkimuksessaan samaan tulokseen. Ilman valtion tukia parhaissakin yhdistetyn eli aines- ja energiapuun kasvatuksen energiapuuharvennuskohdeissa tarvittiin 15 € MW h lämpölaitoshinta kokonaiskannattavuuden saavuttamiseksi. (Heikkilä, ym. 2005)

Energiapuuharvennuksiin saatava tuki on mahdollista, mikäli leimikko korjataan kestävän metsätalouden rahoituslain ehdoilla ja se täyttää nuoren kasvatusmetsän hoitokohteen kriteerit. Tuen saaminen vaatii aina puun luovuttamisen muuhun kuin omaan käyttöön. Pienin kertymä on tuen ehtojen mukaan 20 m³/ha. Nuorissa kasvatusmetsissä jäävän puuston pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimitta 1,3 m:n korkeudelta ei saa ylittää 16 cm:ä. Taimikoiden osalta on pituusrajoituksena vähintään 2 metrin pituus.

Energiapuun korjuusta, kasauksesta ja metsäkuljetuksesta saa tukea yhteensä 7 € / m³. Tuki haetaan korjuun jälkeensä metsäkeskukselta. Maksun saaminen edellyttää tuen saajaa lähettämään metsäkeskukselle vakuuden, jossa ilmenee puun luovuttaminen energiakäyttöön. (Kemera- opas 2009.)

Korjatun energiapuun haketukseen saa rahoituslain mukaan tukea nuoren metsän hoidossa 1,70 € hakettua irtokuutio-m³:iä kohti. Tuen saa metsänomistaja, lämpöyrittäjä, haketusurakoitsija tai muu haketta välittävä yhteisö. Tuki haetaan, kun energiapuun käyttäjä on vastaanottanut hakkeen. Hakemukseen on liitettävä ostajan todistus vastaanotetun hakkeen määrästä. (Kemera- opas 2009).

1.5 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Energiapuun korjuu on koneellisena kohtalaisen uusi ja haastava korjuumuoto. Sitä varten kehiteltyjä laitteita, kuten hakkuukouria ja korjureita on tutkittu vasta hyvin vähän. Aihetta käsittelevissä tutkimuksissa on keskitytty pääasiassa laitteiden ominaisuuksiin ja soveltuvuuteen. Hakkuutapoja ja leimikkotyypin yhteensopivuutta on tutkittu vähän. Tietoa siitä, mikä hakkuutapa soveltuu parhaiten tietyille leimikkotyypille, ei ole paljoakaan olemassa.

Ollessani harjoittelemassa Mhy Keski-Suomessa tuli toiminnanjohtajan kanssa käymissämme keskusteluissa esille selkeä tarve selvittää tätä aihealuetta ja energiapuun tehottavuutta.

Aiheeksi kehittyi korjuuketjujen tuottavuus vertailu kolmella eri leimikkotyypillä. Tuottavuus vertailu suoritettiin energiapuuleimikoilla, jotka jakaantuivat kolmeen eri leimikkotyyppiin. Leimikkotyypeiksi valittiin ylispuutaimikot, pienen runkotilavuuden ($20-40 \text{ dm}^3/\text{r}$) kuviot sekä ison runkokoon ($>40 \text{ dm}^3/\text{r}$) kohteet. Vertailu kohteiden valinta perustui toimialueen yleisimpien energiapuun harvennuskohdeiden mukaan.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää Mhy Keski-Suomen energiapuun korjuussa käytettävien hakkuutapojen soveltumista erilaisten leimikkotyypin korjuuseen. Samalla pyrittiin selvittämään, mikä puulaji tai leimikkotyyppi soveltuu tuottavuuden kannalta parhaiten yhteen käytettävissä olevien korjuuketjujen kanssa.

Tutkimuksessa on myös selvitetty matkan ja alikasvuston mahdollinen vaikutus kustannuksiin ja sitä kautta myös tehottavuuteen (€/m^3).

Tutkimuksen tavoitteeksi muodostui seuraavaa:

- Antaa tietoa, mikä korjuumenetelmä on kullekin leimikkotyypille tuottavin ($\text{€}/\text{m}^3$)
- Tutkia korjuuketjun valinnan vaikutusta leimikkotyypin hakkuun korjuukustannuksiin($\text{€}/\text{m}^3$) ja tuottavuuteen (m^3/h)
- Mikä korjuuketju millekin leimikolle
- Tutkia, mikä on alikasvoksen mahdollinen vaikutus korjuun tuottavuuteen (m^3/h)

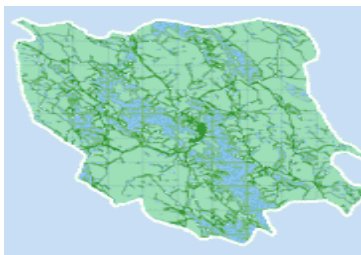
2 TUTKIMUSAINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 Hakkuun tuottavuus ja yksikkökustannukset

Hakkuun tuottavuudessa lasketaan jokaiselle metsikkökuviolle saavutettu tehotuottavuus (€/m³). Työmaiden käyttötuntituottavuuksille(m³/h) lasketaan Metsätehon (Kärha ym., 2006) tutkimuksen mukaisesti konekohtaisilla kertoimilla tehotuntuottavuus (m³/tehotunti). Suureina käytetään hakkuukoneen yksikkökustannushintoja (€/h) ja kuviolta saatua kertymää (m³). Normaalille hakkuukoneelle ja korjurille käytetään tutkimuksessa samaa käyttötuntikustannushintaa eli 70 €/h. Metsätraktorille käyttötuntikustannus on 55 €/h. Korjuukustannuksien laskennassa otetaan huomioon kuviolta saatu kertymä, korjuuaika työtunteina, konekohtaiset yksikkökustannukset, rungon keskimääräinen koko(dm³/runko) ja tuottavuus (m³/h). Laskennassa käytettiin Metsätehon korjuukustannusten laskentaan tarkoitettua Excel- sovellusta, jota käytettiin koulutusmateriaalina taksajärjestelmät- kurssilla.

2.2 Tutkimuskohteet Mhy Keski-Suomen toimialueella

Tutkimuksen kaikki kohteet sijaitsivat Viitasaaren kunnan alueella. Suurin osa niistä sijaitsi Viitasaaren pohjoisosassa. Työmaiden sijoittuminen Viitasaaren kunnan alueelle oli sattumaa. Leimikot valittiin listasta, jossa oli kaikki talven aikana hakkuuseen tulevat kuviot. Tutkimusalueiden valinta tehtiin Mhy Keski-Suomen toimialueen yleisimpien energiapuuharvennuskohteiksi valittujen leimikkotyypien joukosta. Tästä johtuen paikkakunnalla ei ollut sen vuoksi suurta merkitystä. Ne edustivat yleisimpiä leimikkotyyppejä, joita on tasaisesti kaikissa Metsänhoitoyhdistys Keski-Suomen Hankintapalvelun toimialueen kunnissa. Muita Mhy Keski-Suomen alueeseen kuuluvia kuntia ovat Kannonkoski, Kivijärvi, Kinnula, Konnevesi, Pihtipudas, Uurainen ja Äänekoski. Kuviossa 11 on esitetty Viitasaaren kunnan kartta ja Mhy Keski- Suomen toimialue on esitetty kuviossa 12.



KUVIO 11 . Viitasaaren kunnan kartta. (Viitasaaren kunnan www-sivut).



KUVIO 12. Mhy Keski-Suomen toimialue (Mhy Keski- Suomen www-sivut)

Kohteiden metsiköt olivat puustoltaan suurimmaksi osaksi koivuvaltaisia. Suuri koivun määrä selitty osittain ylispuutaimikoilla. Kolme kuviota oli ylispuutaimikoita, joissa ylemmän jakson muodosti koivuvaltainen puusto. Muun lehtipuun osuus oli kuviolla paikoitellen vallitseva. Muulla lehtipuulla tarkoitetaan haapaa, pihlajaa ja muita yleisimpiä luontaisesti esiintyviä puulajeja. Ison leimikkotyypin, eli tutkimuskuviot, joiden runkojen keskitilavuus oli $>40 \text{ dm}^3/\text{r}$, metsiköt muodostuivat koivikosta ja kuusi-mäntymetsiköstä. Pienet leimikkotyypit eli kohteet, joissa puuston runkojen keskitilavuus oli $20-40 \text{ dm}^3/\text{r}$, koostuivat koivumetsiköistä ja sekalehtimetsiköistä. Ylispuuleimikot olivat pääosin ylemmältä jaksoltaan koivu-sekalehtipuumetsiköitä. Alemman jakson muodosti kyseisillä työmailla kuusen taimikko.

Kasvupaikkatyypiltään metsiköt olivat lehtomaisia ja tuoreita kankaita jakaantuen neljään lehtomaisen kankaan ja kolmeen tuoreen kankaan kohteeseen. Yleisin pääpuulaji oli koivu. Koivuvaltaisia kuvioita oli tutkimuksessa yhteensä viisi.

Kehitysluokaltaan kuviot edustivat varttuneita taimikoita ja 2. kehitysluokan metsiköitä. Ylispuisia varttuneita taimikoita oli yhteensä neljä. Kahdella oli alikasvoksena kuusen taimikko, kehitysluokaltaan T2 ja loput kolme kuviota olivat 2. kehitysluokan nuoria kasvatusmetsiä. Ylispuutaimikoista kaksi luokiteltiin ylispuuleimikoiksi ja kaksi pieneen leimikkotyyppiin kuuluviksi. Luokittelu perustui metsänhoidolliseen käsittelyyn, sillä ylispuuleimikoilta poistettiin ylempi jakso kokonaan. Pienen leimikkotyypin kohteilla ylempää jaksoa jätettiin kasvatettavaksi.

Tutkimuksen työmaista kaikki sijaitsivat Viitasaaren kunnan alueella yksityisten metsänomistajien mailla. Ennen mittausta metsänomistajille ilmoitettiin, että heidän maillaan tullaan tekemään mittauksia tutkimusta varten.

Metsänomistajalle ilmoittamisesta vastasi Mhy.

Työmaiden keskimääräinen koko oli 1,6 ha. Kuvioiden koko vaihteli 0,8- 2,6 ha välillä. Työmaista vain yksi oli ennakkoraivattu ennen hakkuuta. Työmaakuviota oli yhteensä seitsemän. Alun perin tutkimukseen oli tarkoitus sisällyttää yhteensä 10 kuviota. Kaksi ennakkomittauksen kuviota jätettiin pois kokonaan. Kaksi tilavuudeltaan saman kokoluokan kuviota jouduttiin yhdistämään yhdeksi kuvioksi, sillä kuljettaja ei ollut eritellyt kuviokohtaisia tunteja erilleen, vaan kirjannut ajankäytön koko työmaan osalta. Kiireen keskellä hankintapalvelu ei ollut muistanut ilmoittaa tutkimuksen tekijälle hakkuun alkamisesta, joten hakkuunmittauksesta ei voitu ilmoittaa kuljettajalle.

Työmaiden kuviotiedot ja -kartat saatiin metsänhoitoyhdistyksen Silva-tietojärjestelmästä. Järjestelmästä selvisi kuvioiden pinta-ala tietojen lisäksi myös metsätyyppi, ikä ja sijainti.

2.3 Aineiston hankintaa koskevat mittaukset

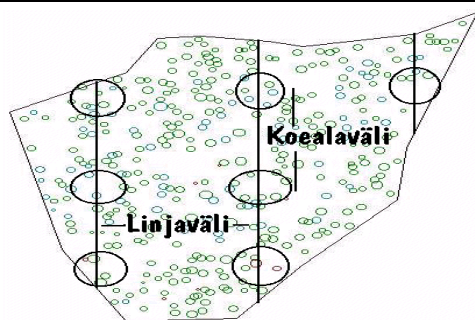
Aineiston mittaus suoritettiin kolmessa eri vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa tehtiin ennakkomittaus, jossa mitattiin lähtöpuustotiedot kuvioilta. Samalla kertaa mitattiin koealoittain alikasvoksen mahdollinen haittavaikutus hakkuuseen. Toisen vaiheen suoritti kuljettaja, jonka tehtäviin kuului koneen ajankäytön

seuranta, matkan sekä kertymän kirjaaminen. Matkalla tarkoitetaan tutkimuksessa koneen kulkemaa matkaa (m) leimikossa hakkuun aikana.

Mittauksen kolmannessa vaiheessa mitattiin jäävän puuston puustotiedot sekä hakkuun laadun mittaus. Kuvioiden mittaukseen sovellettiin ennakko- ja jälkimittauksessa Tapion kehittämää korjuujäljen mittausmenetelmää, jossa koealojen määrä ja etäisyys määräytyy kuvion koon mukaan. Etäisyyden mittaukseen ja linja- sekä koealavälien mittaukseen käytettiin lankamittalaitetta. Mittauksessa koeala- ja linjaväli määräytyi kuvion pinta-alan mukaan alla olevan taulukon ja kuvan mukaisesti. Taulukossa 5 ja kuviossa 7 on esitetty koe- ja linjavälien määräytyminen ja koealojen sijoittelu.

TAULUKKO 5. Linja- ja koealaväliasteikko (Tapio, systemaattinen otanta s.14)

Kuvion koko, ha	Linja- ja koealaväli, m
< 1,0	25
1,0 - 2,0	30
2,1 - 3,0	35
3,1 - 4,0	40
4,1 - 6,0	45
> 6,0	50



KUVIO 7. Linja- koealavälien sijoittelu (Tapio, systemaattinen otanta s.14)

2.3.1 Ennakkomittaus

Koealat valittiin systemaattisella otannalla. Koealojen määrä kuvioilla vaihteli 10-15 kpl. Ympyräkoealojen säde oli 3,99 m ja hehtaarikohtainen tulos saatiin kertomalla koealan puiden lukumäärä luvulla 200. Puiden rinnankorkeusläpimitat mitattiin kaulaimella 1 cm:n tarkkuudella. Tutkimukseen luettavien runkojen tuli

olla läpimitaltaan vähintään 4 cm. Puiden pituudet mitattiin hypsometrillä. Puun pituuden mittauksessa tarvittavan mittausetäisyyden (15 m) määrittämiseen käytettiin metsurimittaa. Pohjapinta-alan määrittämisessä käytettiin relaskooppikerrointa 1.

Puulajisuhteet merkittiin jokaiselta koealalta erikseen. Puiden keskipituus määritettiin mittaamalla koealoittain pituus mediaanipuusta. Puustorunkotilavuus laskettiin käyttämällä Laasasenahon tilavuusyhtälöitä. (Laasasenaho, J. 1982) Kasvupaikkatyyppi määritettiin jokaiselta koealalta erikseen. Kuviotietojen mukainen kasvupaikkatyyppi piti paikkansa jokaisella tutkimuskuviolla. (Silva). Kehitysluokka määräytyi kerättyjen puustotietojen mukaan.

Alikasvoksen mahdollinen haitta hakkuun kannalta määritettiin hakattavien puiden läheisyydestä. Se merkittiin vain, jos puiden läheisyydessä oli haittaavaa aluskasvustoa. Aluskasvuston haitta ilmoitettiin neljällä eri kriteerillä.

Ensimmäinen kriteeri täyttyi, mikäli aluskasvusto haittasi 0- 25 % hakattavaa puustoa, toinen 25- 50 %, kolmas 50- 75 % ja neljäs 75- 100 %. Haitan mittaus perustui silmävaraiseen arviointiin.

Ennakkomittaukset ajoittuivat välille 13.11 – 16.11.2009.

2.3.2 Hakkuun mittaus

Hakkuun mittauksen suorittivat hankintapalvelun korjuuyrittäjät. Hakkuun mittaustietojen tallennusta varten lähetettiin kullekin tutkimukseen osallistuvalla kuljettajalle mittauslomake sekä tutkimuskirje. Lomakkeen tietoja kerättiin jokaiselta kuviolta erikseen. Tietoja kerättiin matkan, kertymän ja ajankäytön osalta.

Tutkimuskohteen ajanmenekki saatiin kuljettajien merkitsemistä työtunneista. Tunnit merkittiin jokaiselta vuorolta erikseen. Lomakkeeseen merkittiin aloitus- ja lopetusajankohta sekä vuoron päivämäärä. Jokaisen vuoron jälkeen kuljettaja merkitsi kuormavaakamittarin antaman kilomäärän. Kuviolta saatujen kilomäärien perusteella muutettiin kertymä myöhemmin kiintokuutiometreiksi. Muuntamiseen käytettiin muuntokerrointa, joka perustuu kuvion pääpuulajiin ja

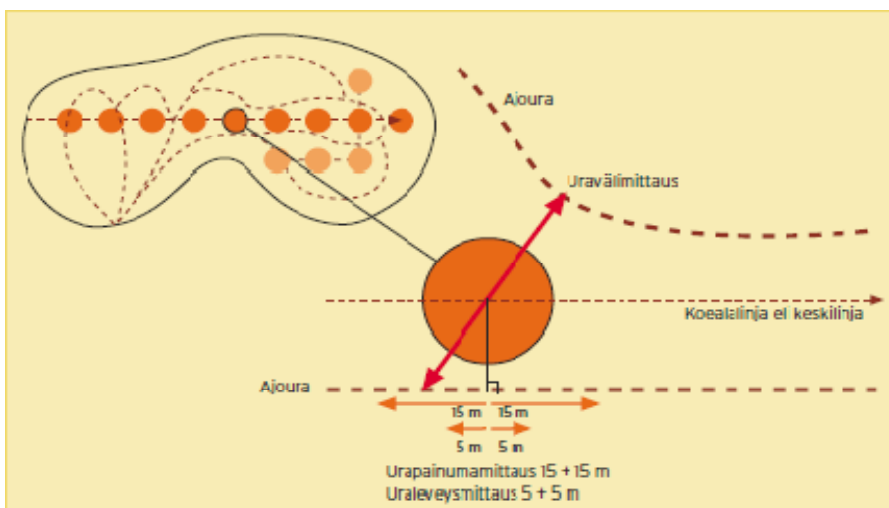
hakkuukuukauteen. (MMM:n kuormainvaaka asetus). Muuntokertoimen ja kilomäärän tulona saatiin kuvion kertymä ilmoitettua kuutiometreinä(m^3).

Tutkimuskohteen matkan mittaus suoritettiin hakkuun aloituksen ja lopetuksen yhteydessä. Aloituksessa kuljettaja merkitsi lomakkeelle matkamittarin metrimäärän. Lopetettuaan kuvion hakkuun kuljettaja kirjasi matkamittarista saadun metrimäärän ylös. Saadusta tuloksesta pystyttiin laskemaan, kuinka paljon matkaa käytettiin kertymää kohden.

Hakkuun mittaukset suoritettiin talvella 2010. Hakkuiden korjuut ajoittuivat välille 11.2- 1.4.2010.

2.3.3 Jälkimittaus

Jälkimittaus suoritettiin Tapion korjuujäljenmittausmenetelmän ohjeen mukaisesti. Ohje on metsäkeskuksen virallinen ohje korjuujäljen tarkistusmittauksissa. Koealojen mittausväli määräytyi tutkimuskuvion koon eli pinta-alan (ha) mukaan, kuten ennakkomittauksessa. Kuviossa 8 on esitetty ajouran ja -uraväljen mittausmenetelmät.



KUVIO 8. Ajourien ja puuston koealojen sijoitteluperiaate. (Metsäteho, Korjuujälki harvennushakkuussa 2003)

Jälkimittauksessa mitattiin hakatun kuvion puuston tilavuus (m^3/ha) ja korjuun laatu. Puuston osalta mitattiin keskipituus, keskiläpimitta, poistuma. Puustosta

määriteltiin runkoluku (r/ha) 3,99m ympyräkoealalla. Samassa yhteydessä mitattiin puuston pohjapinta-ala (m^2/ha). Keskiläpimitta ja pituus määriteltiin koealan mediaanipuun mukaan. Korjuun laatua kuvaavina tunnuksina mitattiin ajouravälit, ajouraleveys ja mahdolliset ajourapainauumat sekä puustovauriot. Ajouraväli mitattiin ajourien keskeltä toisen ajouran keskelle Tapion ohjeen mukaisesti. Urapainauumat mitattiin jokaiselta koealalta erikseen.

Puustovauriot kirjattiin muistiin koko kuvion osalta. Siinä otettiin huomioon korjuukaluston aiheuttamat juuristovauriot ja hakkuukoneen puomien tai muiden puiden korjuusta aiheutuneet runkovauriot. Puustovauriot kirjattiin lukumäärinä, vaurioiden kokoa ei mitattu erikseen.

2.4 Tutkimukseen sisältyneet leimikkotyypit

Tutkimuksen leimikkotyypit valittiin Mhy Keski-Suomen kolmen yleisimmän energiapuun korjuuseen soveltuvan kohdetyypin mukaan. Kohteet jaoteltiin keskimääräisen runkotilavuuden ja puuston mukaan. Runkotilavuuksissa kohteet jaettiin pieniin ja isoihin leimikkotyyppihin. Pienen leimikkotyypin kohteisiin valittiin runkotilavuudeltaan 20- 40 dm^3/r metsiköt. Isommassa leimikkotyypissä puuston tuli olla keskitilavuudeltaan vähintään 40 dm^3/r . Kyseiseen leimikkotyyppiin valittiin myös muut sitä järeämmät metsiköt. Puulajikohtaisia valintakriteerejä ei tutkimuksessa ollut. Kolmas leimikkotyyppi käsitti ylispuukohteet, jotka valittiin kaksijaksoisuuden perusteella. Kummallakin ylispuukohteella alikasvoksen muodosti kuusen taimikko ja ylispuustona lehtipuu.

Tutkimuksen aikataulu ajoittui talveen, joten yleisimpiin talvikorjuukohteisiin kuului sen vuoksi kuusi- ja lehtipuuvaltaisia leimikoita. Tutkimusleimikot valittiin satunnaisesti. Valinnat tehtiin talven aikana hakattavista kohteista. Kohteet valittiin hankintapalvelun suunnitteleman energiapuuharvennuskohdelistan mukaan, jotka tulivat korjuuseen talven aikana.

Hakkuut ajoittuivat talveen, joten korjuuseen ei tullut täysin mäntyvaltaisia kohteita. Tämä puolestaan selittyy sillä, että monet männiköt soveltuvat maaperän puolesta paremmin kesäkorjuukohteiksi.

2.4.1 Ylispuukohteet

Kohteet valittiin kaksijaksoisuuden perusteella. Leimikkotyypin puuston ylispuusto oli lehtipuuvaltainen ja alikasvoksena oli kuusen taimikko. Ylispuuleimikoita oli tutkimuksessa yhteensä kaksi. Kohteet sijaitsivat Viitasaaren kunnan itäosassa yksityisen metsänomistajan mailla. Kehitysluokaltaan leimikot olivat varttuneita taimikoita ja ne vastasivat ravinneisuustasoltaan tuoretta kangasta. Tutkimuksen ylispuuleimikot olivat iältään 15- vuotiaita. Kuvioiden pinta-alojen vaihtelu oli pientä. Kuvio YA (ylispuu A) oli kooltaan 1,6 ha ja B (ylispuu B) 1,7 ha. Kohde B oli ennakkoraivattu, mutta kokopuukorjuumenetelmän kannalta raivaus oli tehty liian voimakkaana. Kuviossa 9 on esitetty leimikko ylispuu B:n lähtöpuusto ennakkomittauksessa. Kuviolla on tehty ennakkoraivaus. Kuviossa 10 on ylispuu A- kuvion lähtötilanne ennen hakkuuta, jota ei ole raivattu.



KUVIO 9. Ylispuu B- leimikko ennen hakkuuta. Kuvio on ennakkoraivattu



KUVIO 10. Ylispuu A- leimikko ennen hakkuuta.

2.4.2 Ison leimikkotyypin kohteet

Kohteiden valinta perustui puuston runkotilavuuteen. Leimikkotyyppiin valittiin kohteet, joiden puuston keskitilavuus oli yli $40 \text{ dm}^3/\text{r}$. Ison leimikkotyypin kohteet sijaitsivat Viitasaaren Keihärinkoskella ja Löytänässä. Molemmat leimikot olivat yksityisten metsänomistajien mailla. Kehitysluokaltaan tutkimuskuviot olivat 2. kehitysluokan nuoria metsiä. Ravinneisuustasoltaan kuviot vastasivat tuoretta (Iso A) ja lehtomaista kangasta (Iso B).

Kuvio Iso A oli pinta-alaltaan 2,6 ha ja iältään 21-vuotiasta. Pääpuulaji leimikolla oli koivu, jota oli ennakkomittauksessa 94 % koko puustosta. Leimikko muodostui kahdesta eri kuvioista, jotka yhdistettiin samaksi.

Kuvion Iso B:n pinta-ala oli 0,8 ha. Kuvion puusto oli 29- vuotiasta ja se koostui kahdesta eri metsiköstä. Tutkimusleimikosta puolet oli puulajiltaan kuusta ja puolet mäntyä. Kuviossa 11 ja 12 on esitetty leimikoiden lähtötilanne ennen hakkuuta.



KUVIO 11. Iso A- kohde ennen hakkuuta.



KUVIO 12. Iso B- kohde ennen hakkuuta.

2.4.3 Pienen leimikkotyypin kohteet

Leimikkotyyppiin valittiin kohteet, joiden puuston runkotilavuus oli välillä 20- 40 dm³/r. Leimikkotyypin kaikki kolme tutkimuskohdetta sijaitsivat Viitasaaren Koliman kylällä. Kehitysluokaltaan metsiköt olivat 2. kehitysluokan nuoria kasvatusmetsiä. Ravinneisuustasoltaan ne olivat lehtomaisia kankaita. Kohteet jakaantuivat kahden yksityisen metsänomistajan maille. Kaikki kuviot olivat lehtipuuvaltaisia ja kahdella kuviolla oli myös kuusen alikasvosta. Yhteensä korjattavaa pinta-alaa oli 6,9 ha ja kuvioiden koko vaihteli 1,2- 2,5 ha. Puulajeista yleisin oli koivu. Muun lehtipuuston muodostivat haapa, harmaaleppä ja pihlaja.

Kuvion pieni B pääpuulaji ennen hakkuuta oli koivu (27 %). Muun lehtipuuston osuus runkolukumäärästä 50 %. Kuusen taimikon osuus oli 25 %. Pieni C oli puustoltaan hyvin samankaltainen kuin pieni B. Puusto koostui koivusta (23 %), kuusen taimista (20 %) ja loput (57 %) muodostuivat muut lehtipuut.

Korjuumenetelminä oli pieni B ja C kohteilla kokopuu. Pieni A korjattiin karsitun rangan menetelmällä, jolla puustosta 70 % oli koivua. Kokopuukorjuun suoritti Ponsse Elk- korjuuketju ja rangan hakkuun korjasi normaali hakkuukoneketju (Nokka Profi & Valmet 804 S2). Kuviossa 13 (pieni B) ja 14 (pieni A) on esitetty lähtöpuustojen tilanne ennen hakkuuta.



KUVIO 13. Tilanne ennen hakkuuta leimikolta pieni B



KUVIO 14. Ennakkomittauskuva leimikolta pieni A

2.5 Tutkimukseen osallistuneet koneet

Tutkimukseen osallistui kolme eri korjuuyrittäjää. Korjuuyrittäjät ovat metsänhoitoyhdistyksen hankintapalvelun sopimusyrittäjiä. Tutkimukseen osallistuneet korjuuyritykset olivat Metsäkymppi oy, Urakointi Reijo Heinonen ja Moisio Forest oy. Kaikkien yritysten toimipaikka sijaitsee metsänhoitoyhdistys Keski-Suomen toimialueella.

Tutkimukseen osallistui yhteensä kuusi eri konetta. Koneista kaksi oli korjuria, kaksi normaali hakkuukonetta ja kaksi ajokonetta eli metsätraktoria. Korjurilla tarkoitetaan tutkimuksessa kuormatilalla varustettua hakkuukonetta, jolla on mahdollista toteuttaa sekä puutavaran hakkuu että metsäkuljetus varastopaikalle. Korjurit on kehitelty ensiharvennusolosuhteisiin, joissa korjataan pieniläpimittaista puustoa. Korjurit on rakennettu yleensä vanhojen ajokoneiden pohjalle.

Konemerkkejä oli yhteensä viisi. Korjureita edustivat Ponssen Elk, ja Ponsse Bison. Normaali hakkuukoneista edustettuina olivat Nokka Profi ja Timberjack 1070 D varustettuna Timberjack 754- hakkuukouralla. Ajokoneina oli Nokka Profilla Valmet 840 S2 – malli ja Timberjack 1070 D:llä Timberjack 1110- metsätraktori. Tavallisissa hakkuukoneissa kourat oli tarkoitettu yksinpuin hakkuuseen, joten ne oli varustettu sahalla.

Ponssen Elk- korjuri oli varustettu Moipu 300– hakkuukouralla. Ponsse Bison koneessa oli yrityksen omavalmisteinen hakkuukoura Moipu 250. Korjurien kourat on tarkoitettu joukkokäsittelyhakkuuseen ja katkaisumekanismina on ns. giljotiiniterä, joka katkaisee puun sahan sijaan kahdella terällä puristaen sen poikki.

2.6 Kuljettajat

Tutkimukseen osallistui yhteensä kuusi eri kuljettajaa. Ne sijoittuivat kolmeen eri yritykseen. Yritykset tutkimuksessa olivat Metsäkymppi oy, Urakointi Reijo Heinonen oy ja Moisio Forest oy. Kuljettajille lähetettiin tutkimuskirje, jossa heille selvitettiin tutkimuksesta. Tutkimuskirjeessä selvitettiin tutkimuksen tilaaja ja tutkimuksen tekijä. Tutkimukseen suhtauduttiin myönteisesti.

Tutkimuksessa mukana olevia yritysten kuljettajia käsitellään nimettöminä. Hakkuukoneiden kuljettajat ilmoitetaan hakkuuketjun ja koneen mukaan. Tutkimukseen osallistui kaksi korjurikuljettajaa. Ensimmäinen korjurikuljettaja osallistui kolmen eri tutkimusleimikon korjuuseen. Hänen harventamistaan kuvioista kaksi oli ylispuukohteita ja yksi oli isomman leimikkotyypin korjuukohde. Ylispuukuvioiden keskimääräiset runkotilavuudet olivat lähtöpuustoltaan A 14 ja B 21 dm³/r. Toinen korjurikuljettaja osallistui kahden eri tutkimuskuvion korjuuseen. Korjuut olivat pienemmän leimikkotyypin harvennuksia. Pienemmän kuvion puuston keskikoko oli 27 dm³/r ja isompi kuvio oli runkotilavuudeltaan 37 dm³/r.

Kahdella kuljettajalla oli käytössään tavallinen hakkuukone. Ensimmäisen normaalin hakkuukoneen kuljettaja osallistui kahden kuvion harvennukseen, jotka yhdistettiin tutkimuksessa yhdeksi kuvioksi saman puulajin ja puuston tilavuuden vuoksi. Uusi, yhdistetty kuvio kuului isomman leimikkotyypin korjuuseen, jossa leimikoiden yhdistämisen jälkeen runkotilavuus oli 58 dm³/r.

Toinen normaali hakkuukoneketju osallistui yhden tutkimuskuvion (pieni A) korjuuseen. Kuljettajia oli yksi, mutta kuvio korjattiin kahdella koneella. Mukana oli normaalin hakkuukoneen lisäksi ajokone eli metsätraktori. Energiapuuharvennuksen puusto oli runkotilavuudeltaan 30 dm³/r ja kategorioitiin tutkimuksessa pienemmäksi leimikkotyypiksi.

2.7 Tutkimukseen sisältyneet korjuumenetelmät

Tutkimukseen sisällytettiin yleisimmät korjuumenetelmät metsänhoitoyhdistys Keski-Suomen toimialueelta. Tutkittaviin Korjuumenetelmiin kuului alun perin kolme eri menetelmää. Ne olivat metsuri-, kokopuu- ja karsitun rangan hakkuu. Metsurihakkuutyömaa tarjonta ennakkomittauksen aikaan jäi vain yhteen leimikkoon.

Metsurikohteita oli tarjolla metsänhoitoyhdistyksen alueella, mutta tutkimuksen asettamat vaatimukset eivät täytyneet kaluston osalta. Kohteiden ajokoneista puuttui kuormavaaka, joka oli muissa tutkimukseen osallistuvissa koneissa. Kertymä olisi pitänyt määrittää pino- tai tehdasmittauksella. Poikkeava kertymän

laskentatapa olisi heikentänyt tulosten vertailukelpoisuutta ja luotettavuutta. Ainoa tutkimukseen tullut metsurikuvio jouduttiin jättämään lopulta pois, koska puusto korjattiin pois maataloustraktorilla, jossa ei ollut kuormainvaakaa.

2.7.1 Kokopuuhakkuu

Kokopuukorjuulla tarkoitetaan menetelmää, jossa puut korjataan oksineen käyttämällä yleensä joukkopimintaominaisuutta. Menetelmä vaatii erityishakkuukouran, jonka ominaisuuksiin kuuluu joukkokäsittely sekä yleensä giljotiinikatkaisuterät. Normaalihakkuukouran joukkokäsittely onnistuu, mikäli se on varustettu samanlaisella joukkokäsittelyominaisuudella kuin edellä mainittu hakkuukoura. (Pulkinen ja Kaukosuo 2010). Tässä tutkimuksessa joukkokäsittelykourat olivat vain energiapuuhakkuuseen tarkoitetuissa korjureissa. Sen vuoksi joukkokäsittelyyn liitettiin vain kokopuu, vaikka joukkokäsittely sopii samalla tavalla karsitulle rangalle.

Menetelmän katsotaan sopivan erityisesti nuoriin, pieniläpimittaisiin ja puustoltaan tiheisiin metsiin, joissa taimikonhoito on jäänyt tekemättä tai se on tehty puutteellisenä. Runkokohtaisen tilavuuden tulisi olla korjattavalla puustolla vähintään 20 - 25 litraa. Tämä mahdollistaa kannattavan korjuun pienirunkoisilla kohteilla, joiden metsänhoidollinen tarve on suuri. (Pulkinen ja Kaukosuo 2010). Metsätehon vuonna 2006 valmistuneessa tutkimuksessa tutkittiin korjuria pieniläpimittaisten kohteiden korjuissa. Tutkimuksessa havaittiin, että korjuri on kilpailukykyisimmillään juuri pieniläpimittaisen kokopuun korjuukohteilla. Tutkimuksessa kohteiden keskiläpimitta rinnankorkeudelta oli alle 10 cm. (Kärhä ym. , 2006)

Menetelmän edut ovat tuotoksessa, sillä kokopuumenetelmä parantaa hakkuun tuottavuutta ja lisää talteen otettavaa puumäärää eli kertymää. (Metsäteho 2002). Etuna on myös se, että menetelmä ei vaadi välttämättä syöttävää hakkuukouraa. Menetelmä vähentää myös näkemäraivauksen tarvetta. (Pulkinen ja Kaukosuo 2010). Ennakkoraivauksen katsotaan kuitenkin parantavan hakkuun tuottavuutta ja korjuun kannattavuutta etenkin kuusi

alikasvostoisissa metsissä. (Kärhä ym., 2006). Tutkimuskuvioiden metsiköt sisälsivät kokopuuhakkuissa osalta useimmissa kohteissa kuusialikasvosta.

Menetelmään liittyy haittoja ja kysymysmerkkejä. Haittana on pienempi energiasisältö verrattuna karsittuun rankaan. Metsäkuljetuksen kustannukset olivat suuremmat kokopuun osalta. Kokopuu tarvitsee myös huomattavasti isomman varastointitilan kuin karsittu ranka. Kokopuun korjuun menetelmän aiheuttama ravinnehävikki metsälle on jakanut mielipiteitä niin puolesta kuin vastaan. Yleinen käytäntö ja suositus on, että kokopuukorjuu eli rangan, oksien ja latvuston kerääminen metsiköstä tehdään ainoastaan kerran kiertoajan aikana. Kuusen osalta oksien ja latvuston suuren hävikin vuoksi menetelmää ei katsota suositeltavaksi. Korjuuta suositellaan, mikäli korjattava metsä on ravinneisuudeltaan vähintään kuivahkoa kangasta vastaava. (Pulkinen ja Kaukosuo 2010).

2.7.2 Karsitun rangan hakkuu

Menetelmä on hyvin samankaltainen normaalin kuitupuuhakkuun kanssa. Tästä johtuen samat koneet soveltuvat niin energiapuu- kuin kuitupuuhakkuuseen. Normaali hakkuukone soveltuu syöttävän ja karsivan kouransa puolesta karsitun rangan energiapuukorjuuseen. Hakattavan rangan pituus ja latvan minimiläpimitta vaihtelee toimijoittain sekä konekohtaisesti. (Pulkinen ja Kaukosuo 2010). Edellytyksenä on kuitenkin se, että tavara on kuljetettavissa tavallisella puutavararekalla.

Korjuun kannattavuuden kannalta tavoitepuuston tulisi olla järeämpää kuin kokopuukorjuussa. Metlan tutkimuksessa, joka julkaistiin 2005, tutkittiin karsitun rangan korjuuta ja kustannuksia. Kyseisessä tutkimuksessa rangan kustannus oli keskimäärin 23 % suurempi kuin kokopuulla. (Heikkilä ym., 2005). Tämän vuoksi yksinpuin korjuussa kohteen runkotilavuustavoite suositellaan olevan vähintään 50 dm³/r. (Pulkinen ja Kaukosuo 2010). Metsäntutkimuslaitoksen tutkimus päättyi karsitun rangan erilliskorjuusta erilaiseen johtopäätökseen. Sen mukaan korjuu oli järkevää ja kannattavaa kohteilla, joissa korjattavat puut läpimittaluokaltaan 9- 13cm. Rungon tilavuus tuli olla 30- 70litraa. (Heikkilä, ym. 2005).

Karsitun rangan etu on raaka-aineen korkea laatu. Korjuun metsäkuljetuskustannukset ovat pienemmät kuin kokopuulla. Metlan tutkimuksessa karsitun rangan metsäkuljetus tuli kaiken kaikkiaan 13 % pienemmäksi kuin kokopuulla. (Heikkilä, ym. 2005). Lisäksi korjuumenetelmän kustannukset ovat helposti ennakoitavissa, koska karsittua rankaa korjataan yleensä samalla kalustolla kuin kuitupuuta. (Pulkkinen ja Kaukosuo 2010).

Menetelmän haitat liittyvät pääasiassa korjuuseen ja sen kustannuksiin. Kohteet tulee olla järjestään ennakkoraivattuja. Puuston tulee olla suorarunkoista, jotta oksien karsinta hakkuulaitteella onnistuu luontevasti. Hakkuuta edeltävä näkemäraivaus suoritetaan yleensä liian voimakkaana ja sen vuoksi kertymä on kohteilla 20- 30 % pienempi kuin kokopuukohteilla. (Pulkkinen ja Kaukosuo 2010). Metlan tutkimuksessa rankana korjuu pienensi kertymää jopa 42- 46 % kokopuuhun verrattuna. (Heikkilä, ym. 2005). Karsitun rangan kohteille suositellaan sen vuoksi suurempaa runkotilavuutta kuin kokopuumenetelmille.

2.8 Alikasvoksen haitan mittaus leimikoittain

Alikasvoksen haitta mitattiin jokaiselta kuviolta. Alikasvokseksi luettiin kaikki yli 1,3 m pituiset ja keskiläpimitaltaan alle 4 cm puut. Ainoastaan yhdellä tutkimuksen kuviolla oli tehty ennakkoraivaus ennen hakkuuta. Haittaa tulkittiin hakkuukoneen kannalta. Siinä katsottiin oliko alikasvoksesta mahdollisesti haittaa työskentelevälle koneelle ja sen hakkuulaitteelle. Mittauksella pyrittiin havainnollistamaan, mikä on ennakkoraivauksen mahdollinen vaikutus hakkuulaitteen ja ennen kaikkea korjuun tuottavuuteen. Tutkimuksessa huomio kiinnitettiin korjattavien puiden ympärillä olevien alikasvuston mittaamiseen.

Haitta jaoteltiin neljään eri ryhmään. Se arvioitiin ympyräkoealalta (3,99 m) ja haitta määritettiin kaikkien, läpimitaltaan 4 cm ylittävien, puiden osalta. Mittaus jaoteltiin 0- 25 %, 25- 50 %, 50- 75 % ja 75- 100 % haittaluokkiin. Mikäli koealasta esim. vähän alle puolet oli alikasvoksen haittaamaa, määräytyi haittaluokaksi 2. Haittaluokittelun kriteerit olivat seuraavat:

0) Pieni, vähäistä

- Alikasvusto ei haittaa kouran työskentelyä juuri ollenkaan
- **25 %**, vähäinen haittaavuus kouran työskentelyyn

1) Osittain haittaavaa

- Alikasvusto haittaa kouran työskentelyä paikoitellen
- **25- 50 %**, peitteisyys haittaa hakattavien runkoja

2) Haittaavaa

- Alikasvusto haittaa yli puolia hakattavista rungoista
- **50- 75 %**, huomattava vaikutus kouran työskentelyyn

3) Suuri

- Alikasvusto haittaa kouran työskentelyä huomattavasti
- **75- 100 %** peitteisyydestä haittaa likimain joka puulle

3 TULOKSET

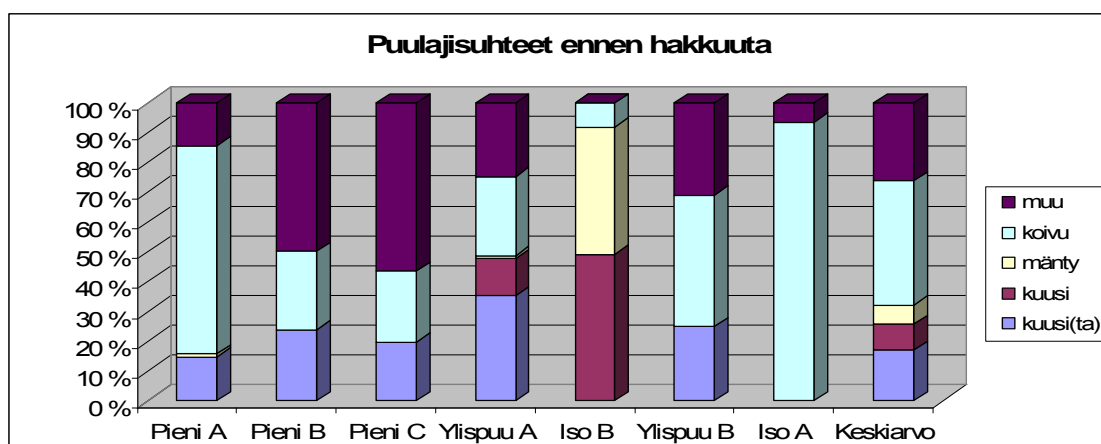
3.1 Aineiston mittaustulokset

3.1.1 Puulajisuhteet

Tarkasteltaessa aineiston leimikkokohtaisia puulajisuhteita ennen hakkuuta (kuvio 15) havaitaan, että kohteiden puusto oli lehtipuuvaltainen. Tutkimuksen kaikki työmaat hakattiin talvikorjuuna. Talvikorjuuta selvittää sekin, että kohteiden viidellä työmaalla oli alikasvoksena kuusen taimia. Ainoastaan kahdella kuviolla ei ollut kuusen alikasvustoa lainkaan.

Hakattavien kohteiden yleisin puulaji oli koivu ja se muodostui pääpuulajiksi viidellä kuviolla. Pääpuulajilla määräytyi sen mukaan, mitä puulajia kuviolla on tilavuuden suhteen eniten. Koivun osuus kaikkein leimikoiden puulajiosuuksien keskiarvosta oli 42 %.(Kuvio 16)

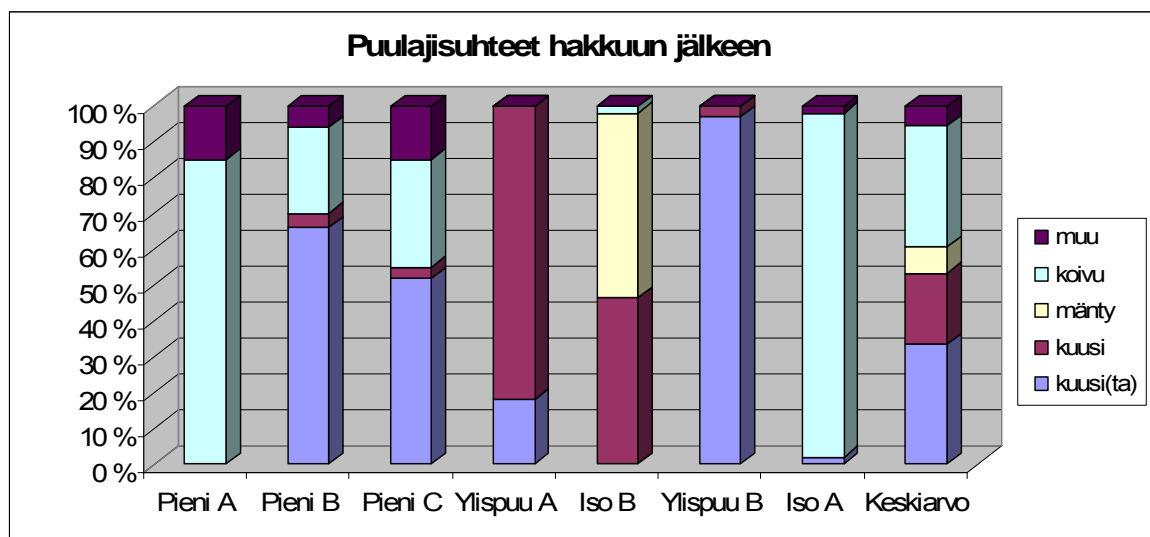
Kuviosta 9 havaitaan, oli toiseksi yleisin puulaji kuviolla kuusi. Sen osuus kaikkien puulajien osuuksien keskiarvosta oli 26 %. Kuuset jakaantuivat kokonsa puolesta kuitupuun mitat täyttäviin kuusirunkoihin (9 %) ja kuusen taimiin (17 %). Loppujen puulajien osuuden muodostivat järjestyksessä muut lehtipuut (26 %) ja mänty (6 %). Muut puulajit sisälsivät luontaisesti kasvavia lehtipuulajeja, kuten haapaa, leppää ja pihlajaa.



KUVIO 15. Puulajisuhteet ennen hakkuuta

Hakkuun jälkeen puulajisuhteet muuttuivat verrattuna tilanteeseen ennen hakkuuta. (kuvio 10) Hakkuut toteutettiin noudattamalla metsänhoitosuosituksen periaatteita. Täten hakkuissa suosittiin kuusta. Yleisin kasvatettavaksi jätetty puulaji oli kuusi, joista taimien osuus oli 34 % ja kuitupuun mitat täyttäviä 20 %. Niiden yhteen laskettu osuus oli yli puolet (54 %) kokonaispuustosta. Kuusi jätettiin kasvatettavaksi puulajiksi viidellä eri kuviolla: kahdella pienellä (B ja C), yhdellä ison (B) ja kahdella ylispuukohteella (A ja B). Ylispuukuviolle tehtiin hakkuussa ylispuuhakkuu ja pienen sekä ison leimikkotyypin työmailla alaharvennus.

Koivun tilavuus hakkuun jälkeen jäävästä puustosta oli kaikki leimikot mukaan lukien keskimäärin 34 %. Se oli sama kuin kuusen taimilla. Koivuvaltaisilla kohteilla tehtiin laatuharvennus, jossa kasvatettavaksi jätettiin suorat ja järeämmät puuyksilöt. Männyn osuus puustosta hakkuun jälkeen oli keskimäärin 7 % ja muulla lehtipuustolla 5 %.



KUVIO 16. Puulajisuhteet hakkuun jälkeen.

3.1.2 Ennakkomittaus ja alikasvuston haitta

Puustoa mitattiin seitsemältä kohteelta, joiden yhteispinta-ala oli 12,4 hehtaaria. Kuvioiden keskikoko oli 1,8 ha. Kaikkien kohteiden keskiläpimitta oli 9 cm ja keskipituus 10 m. Vaihteluväli keskiläpimitassa oli 7- 12 cm ja keskipituudessa 7- 15 m. Järeydeltään pienimmän leimikon puusto oli pituudeltaan 36,4 % ja keskiläpimitaltaan 41,6 % pienempää kuin järeydeltään suurimmassa leimikossa.

Runkoluku vaihteli leimikoittain suuresti. Puuston tiheyden ero pienimmän (Iso A) 2067 kpl/ha ja suurimman kohteen (Pieni B) 6774 kpl/ha oli jopa 4707 kpl/ha mitattuna ympyräkoealalta, jonka säde oli 3,99 m. Runkolukuun laskettiin mukaan kaikki rinnankorkeusläpimitaltaan yli 4 cm:n puut. Koko aineiston puuston runkoluvuksi saatiin 3549 kpl/ha.

Puuston runkotilavuus noilla kuvioilla määritettiin puuston keskipituuden ja keskiläpimitan mukaan käyttämällä Laasasenahon tilavuusyhtälöitä (Laasasenaho, 1982). Pienin runkokohtainen keskitilavuus oli kuviolla ylispuu B ($14 \text{ dm}^3/r$) ja suurin kohteella iso B ($64 \text{ dm}^3/r$). Taulukoissa tilavuus on ilmoitettu dm^3 :einä.

Ennakkomittaukseen perustuvat kohteiden metsikkötunnukset on esitetty taulukossa 6. Tutkimusleimikoiden lähtöpuuston kokonaistilavuus oli yhteensä $1439,1 \text{ m}^3$ (taulukko 6). Keskimääräinen, leimikkokohtainen tilavuus oli $117,6 \text{ m}^3/\text{ha}$. Tilavuus vaihteli välillä $35,7- 174,4 \text{ m}^3/\text{ha}$. Pienin tilavuus mitattiin ylispuustoleimikolta (ylispuu B) ja suurin isolta leimikkotyypiltä (Iso B).

TAULUKKO 6. Ennakkomittaukseen perustuvat puustotiedot

<i>Leimikko</i>	<i>Tilavuus (m³/ha)</i>	<i>Kuvion koko(ha)</i>	<i>keskiläpi mitta(cm)</i>	<i>Pituus(m)</i>	<i>Runkoa/ha (3,99m)</i>	<i>Rungon keskikoko(dm³/r)</i>
<i>Pieni A</i>	<i>116,7</i>	<i>2,5</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>3889</i>	<i>30</i>
<i>Pieni B</i>	<i>152,7</i>	<i>2,4</i>	<i>9</i>	<i>9</i>	<i>6774</i>	<i>27</i>
<i>Pieni C</i>	<i>157,4</i>	<i>1,2</i>	<i>10</i>	<i>10</i>	<i>4171</i>	<i>37</i>
<i>Ylispuu A</i>	<i>66,7</i>	<i>1,2</i>	<i>8</i>	<i>8</i>	<i>2667</i>	<i>21</i>
<i>Iso B</i>	<i>174,4</i>	<i>0,8</i>	<i>12</i>	<i>11</i>	<i>2725</i>	<i>64</i>
<i>Ylispuu B</i>	<i>35,7</i>	<i>1,7</i>	<i>7</i>	<i>7</i>	<i>2550</i>	<i>14</i>
<i>Iso A</i>	<i>119,90</i>	<i>2,6</i>	<i>11</i>	<i>15</i>	<i>2067</i>	<i>58</i>
<i>Keskiarvo</i>	<i>117,6</i>	<i>1,8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>3549</i>	<i>36</i>

Hakattavalle puustolle haitaksi olevan alikasvoksen määrittäminen perustui silmävaraiseen arviointiin. Arvioinnissa käytettiin luokkakohtaisia kuvauksia, jotka on esitetty luvussa 2.7 (Alikasvoksen haitta leimikoittain). Haitta luokiteltiin kaikilta tutkimuksen ennakkomittauksen koelaloilta. Peitteisyyden arviointi perustui kouran työskentelytehokkuuteen siten, että vaikeuttiko alikasvos mahdollisesti kouran työskentelyn nopeutta vai ei.

Taulukossa 7 on esitetty alikasvoksen aiheuttama haitta kohteittain. Kohteiden alikasvos haittasi hakattavaa puustoa keskimäärin 25- 50 % (haittaluokka 1). Pienimmät haitat alikasvuston osalta mitattiin isoilla (>40dm³/r) leimikkotyypeillä, joilla haittaluokaksi tuli 0. Niiden työmaiden hakattavaa puustoa alikasvusto haittasi 0- 25 %. Suurin haitta oli leimikolla pieni C, jossa alikasvusto haittasi hakattavaa puustoa jopa 50- 75 %.

TAULUKKO 7. Ennakkomittauksen haitat kuvioilla.

Leimikkotyyppi	Korjuumenetelmä	Runkolukumäärä (3,99m)	Runkotilavuus (dm ³ /runko)	Haitan osuus (%)	Haitta luokka
Ylispuu A	kokopuu	2667	21	25- 50 %	1
Ylispuu B	kokopuu	2550	14	25- 50 %	1
Iso A	karsittu ranka	2725	58	0- 25 %	0
Iso B	kokopuu	2067	64	0- 25 %	0
Pieni A	karsittu ranka	3889	30	25- 50 %	1
Pieni B	kokopuu	6774	27	25- 50 %	1
Pieni C	kokopuu	4171	37	50- 75 %	2
	Keskiarvo	3739	36	25- 50 %	1

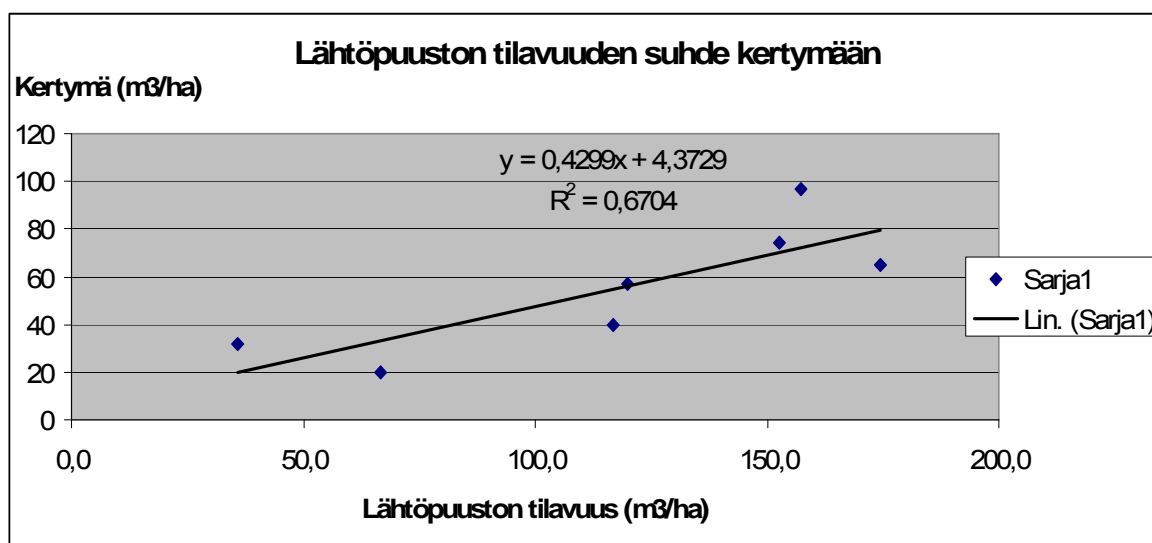
3.1.3 Hakkuutiedot ja – kertymä

Hakkuussa kaikkien seitsemän kuvion kokonaiskertymäksi saatiin 671,5m³. Keskimääräinen kertymä leimikkoa kohden oli 96 m³. Kertymän koon vaihtelu kohteilla oli 24- 177,6m³. Korkein kertymä (Taulukko 8) pinta-alaa kohden korjattiin leimikolta Pieni B, jossa myös ennakkomittauksessa saatiin korkein hehtaarikohtainen runkoluku. Se näkyi myös poistettujen runkojen määrässä. Kohteelta pieni B poistettiin 6274 r/ha, jossa poistettujen puiden keskitilavuus oli 12 dm³/runko. Pienin kertymä korjattiin kuviolta ylispuu A (Taulukko 8), jossa poistuma (m³/ha) oli 75 % pienempi kuin kaikkien korjattavien kohteiden keskimääräinen hehtaarikohtainen poistuma.

TAULUKKO 8. Hakkuun leimikkotiedot.

Leimikko	Kuvion koko	Kertymä	Kertymä	Poistuma	Poistuma
	(ha)	(m ³ /kuvio)	(m ³ /ha)	(r/ha)	(dm ³ /r)
Pieni A	2,5	98,8	39,5	3022	13
Pieni B	2,4	177,6	74,0	6274	12
Pieni C	1,2	116,5	97,1	3138	32
Ylispuu A	1,2	24,0	20,0	2034	10
Iso B	0,8	52,1	65,1	1692	38
Ylispuu B	1,7	54,5	32,0	1775	18
Iso A	2,6	148	56,9	1334	43
Yhteensä	12,4	671,5	55	2753	24
Keskiarvo	1,8	95,9			

Hehtaarikohtaisesti tarkasteltuna kertymä vaihteli 20- 97,1 m³/ha. Keskimäärin kertymä oli 55 m³/ha. Runkoja korjuussa poistui keskimäärin 2753 r/ha (Taulukko 8). Pieni B kuvion poistuma(r/ha) oli 127,9 % poistettujen runkojen keskikokoa suurempi. Ero pienimmän ja suurimman poistuman (r/ha) välillä oli jopa 78,7 %. Hakkuun kertymän määrä riippui suoraviivaisesti puuston lähtötilavuudesta ennen hakkuuta. (kuvio 17)

KUVIO 17. Lähtöpuuston tilavuuden (m³/ha)vaikutus hakkuukertymään(m³/ha).

Kuvioon lisätty trendiviiva kuvaa kertymän riippuvuutta lähtöpuuston tilavuudesta riippuvuutta lineaarisen suoran avulla. $R^2=0,6704$ kuvaa selitystasetta eli lähtöpuuston tilavuus selittää 67 % kertymän määrästä. Poikkeavuuksia aiheutti kuvioiden erilainen metsänhoidollinen käsittely. Esimerkiksi ylispuuleimikoiden ja ison leimikkotyypin puustojen välillä käsittelytapa oli täysin erilainen.

Ylispuustoisilla kohteilla tehtiin ylispuuiden poisto, kun taas ison leimikkotyypin metsiköissä suoritettiin alaharvennus. Ylispuuleimikoissa poistettiin puuston runkoluvusta (r/ha) keskimäärin 25,9 % enemmän kuin isoilla leimikkotyypeillä. Lähtöpuustojen poistuman runkolukujen (Taulukko 8) vaihteluväli ylipuu- ja ison leimikoiden välillä oli 2067- 2667 r/ha.

3.1.4 Jälkimitaus

Kuvioiden keskimääräiseksi tilavuudeksi hakkuun jälkeen saatiin $42\text{m}^3/\text{ha}$. Suurin tilavuus (m^3/ha) saatiin kuviolle Iso B ($96\text{m}^3/\text{ha}$) ja pienin ylispuu B -kohteelle ($3\text{m}^3/\text{ha}$). Tiheys hakkuun jälkeisessä mittauksessa oli keskimäärin 796 runkoa/ha. Tiheys vaihteli välillä 500- 1033 runkoa/ha. Korjuun jälkeisiin tilavuuksiin vaikutti paljon kasvatettavaksi jätettävä puusto-osite. Se on huomattavissa taulukossa 9. Ylispuukohteilla tilavuudet olivat hakkuun jälkeen pieniä, koska kohteilta hakattiin ylispuusto kokonaan pois. Pieni B ja Pieni C kuvioilla ylispuuta jätettiin suojaksi kasvaville taimille. Lopuilla työmailla tehtiin tavallisen ensiharvennuksen kaltainen energiapuuharvennus.

Hakkuiden jälkeen kuvioiden puuston keskipituus oli keskimäärin 10,3 m ja keskiläpimitta oli 10 cm. Ylispuukohteita lukuun ottamatta jäävän puuston keskitunnuksissa ei ollut merkittävää vaihtelua, mutta ylispuukohteilla jäävä puusto oli huomattavasti pienempää. Kohteiden ylispuu A ja B keskiarvo $8\text{ dm}^3/\text{r}$ oli 85 % pienempi verrattuna kaikkien kohteiden keskiarvoon (Taulukko 9).

Hakkuun jälkeisen puuston keskimääräinen runkotilavuus (Taulukko 9) ylispuutaimikoita lukuun ottamatta kasvoi. Se kertoo siitä, että kuvioilla on tehty alaharvennus, jossa huonolaatuiset, mutkaiset ja valtapuita lyhemmät puut on poistettu. Harvennustapaa suositellaan juuri ylitieheisiin, tilajärjestykseltään epätasaisiin sekametsiköihin. Se soveltuu erinomaisesti juuri

energiapuuharvennuskohteiden harvennukseen. (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006, s.39)

TAULUKKO 9. Jälkimittauksen kuviokohtaiset mittaustulokset.

<i>Leimikko</i>	<i>Tilavuus (m³/ha)</i>	<i>Kuvion koko (ha)</i>	<i>Keskiläpimitta (cm)</i>	<i>Pituus (m)</i>	<i>Runkoa/ha (3,99m)</i>	<i>Tilavuus/runko (dm³/r)</i>
<i>Pieni A</i>	62,0	2,5	12	13,5	867	71
<i>Pieni B</i>	26,0	2,4	11	10,2	500(1100tainta)	46(3)
<i>Pieni C</i>	53,9	1,2	11	11,7	1033(1133tainta)	49(3)
<i>Ylispuu A</i>	8,0	1,2	7	5,7	633	13
<i>Iso B</i>	96,0	0,8	14	11,6	1033	89
<i>Ylispuu B</i>	2,0	1,7	3	3,2	775	3
<i>Iso A</i>	76,0	2,6	13	16,8	733	104
<i>Keskiarvo</i>	46,3	1,8	10	10,3	796	54

3.1.5 Korjuun jälki ja laatu

Korjuunjäljen – ja laadun mittaus tehtiin Tapion kehittelemän mittaussoppaan ohjeiden mukaisesti. (Korjuujälki harvennushakkuussa, Metsäteho 2003).

Kaikkien kuvioiden keskimääräinen ajouraväli oli 19 m (Taulukko 10). Ajouraväli vaihteli kuvioilla 17 - 21,6 metriin. Ajourienväleihin vaikutti suuresti kuvioiden suippo muoto, joka vaikutti pienentävästi ajouravälien keskiarvoa. Suositusten mukainen ajouraväli on harvennuksilla 20m. Ajouravälin suositukset täyttyivät vain kolmella kuviolla; ylispuu B (19,9m), iso B (20,2m) ja pieni A (21,6m). (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006, s.38).

Ajourien suositusten mukainen leveys on 4,0 - 4,5 m. Tutkimusalueella se ei täyttynyt kuin yhdellä kohteella (iso A). Kolmen kuvion kohdalla suositusten mukainen tavoite ylittyi 10 cm. Ylispuu B- leimikolla suositusten mukainen ajouran leveys ylittyi jopa 1,0 m:llä. Keskimääräinen uraleveys oli hakatuilla kohteilla 4,9 m, joten se ylitti suositusten mukaisen uraleveyden jopa 40 cm:llä.

Urapainaumia ei kohteilla juurikaan ollut. Muutamilla kohteella niitä havaittiin kokoojaurien kääntöpaikoissa, mutta ne olivat pieniä 10 cm urapainaumia noin 2 metrin matkalla. Ne jäivät reilusti alle 4 % ajourien pituudesta.

Runkoihin ja juuristoon kohdistuneet vauriot tarkastettiin silmävaraisesti. Kohteiden puustovauriot jäivät reilusti alle suositusten salliman 4 % maksimin. Taimien osalta korjuussa hävikkiä tuli kohteilla keskimäärin 230 tainta/ha. Taimien tuhot vaihtelivat kuviolla 75- 700 tainta/ha. Suurin taimien hävikki oli leimikolla ylispuu A.

TAULUKKO 10. Korjuujäljen mittaustulokset kuvioiden keskiarvojen mukaan.

Leimikkotyyppi	Ajouraväli (m)	Ajouran leveys (m)	Runkovauriot	Urapainamat
<i>Pieni A</i>	21,6	4,6	0	0
<i>Pieni B</i>	18,2	4,6	0	0
<i>Pieni C</i>	18,5	4,8	0	0
<i>Ylispuu A</i>	18,3	5,4	0	0
<i>Iso B</i>	20,2	5,1	0	0
<i>Ylispuu B</i>	19,9	5,5	0	0
<i>Iso A</i>	17,0	4,5	0	0
<i>keskiarvo</i>	19,0	4,9	0,1	0,0

3.2 Korjuun ajanmenekki ja kustannukset

Keskimääräinen ajanmenekki leimikoilla oli noin 35 tuntia ja 55 minuuttia. Korjuun ajanmenekki vaihteli työmaittain noin 6 tunnista 68 tuntiin (Taulukko 11). Vähiten aikaa korjuuseen käytettiin leimikolla ylispuu B, jossa korjuuseen käytetty aika kuviolla oli 5 tuntia ja 45 minuuttia. Ylispuu B:n korjuussa käytetty aika oli 84 % pienempi verrattuna keskimääräiseen korjuu-aikaan. Suurin ajanmenekki oli kuviokohtaisesti katsottuna tutkimusleimikolla pieni B, jossa korjuuseen käytettiin aikaa yhteensä 68 tuntia. Hakkuuseen käytetty aika oli 89,3 % suurempi verrattuna keskimääräiseen korjuuajanmenekkiin.

Pinta-alakohtaisesti (h/ha) tarkasteltuna ajanmenekki vaihteli noin 5 tunnista 47 tuntiin (Taulukko 11). Keskimääräinen ajankäyttö oli noin 20 tuntia 37 minuuttia per hehtaari. Ylispuu B korjuuajan menekki oli pienin, 4 tuntia ja 47 minuuttia. Se oli 76,8 % pienempi kuin työmaiden keskimääräinen korjuuaika (h/ha). Eniten aikaa käytettiin kohteella pieni C, jossa ajankäyttö oli 126,4 % suurempi kuin keskimääräinen tulos.

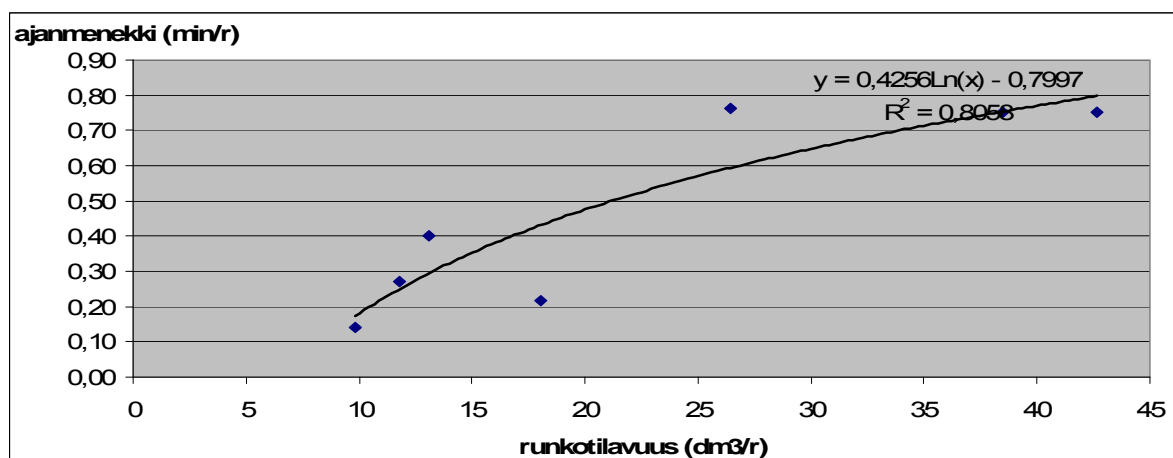
Ajankäytön erot ovat huomattavissa hakkuumenetelmää tarkastellessa (Taulukko 11). Pinta-alakohtaisessa (h/ha) tarkastelussa, karsitun rangan hakkuumenetelmä oli kokopuuhakkuuta tehokkaampi. Hakkuumenetelmälle käytetty aika oli keskimäärin noin 3 tuntia ja 3 minuuttia pienempi kuin kokopuun hakkuussa. Karsitun rangan- menetelmän korjuuseen käytetty aika (h/ha) oli keskimäärin 14,8 % pienempi kuin kaikkien leimikoiden keskiarvo(h/ha). Kokopuun hakkuuta verratessa korjuuaika oli taas 4,2 % suurempi kuin työmaiden keskimääräinen hakkuuaika.

Leimikkotyypin kertymää tarkastellessa (h/m³) ajankäyttö oli kokopuuhakkuissa hieman parempi kuin karsitulla rangalla. Eroa hakkuumenetelmien keskiarvojen välillä oli 4 minuutti ja 22 sekuntia m³- kohden. Kokopuun korjuu oli poistumaa kohden keskimäärin 20,8 % nopeampaa kuin kaikkien korjuukuvioiden keskiarvo (h/m³). Karsitun rangan menetelmä oli puolestaan 14,5 % hitaampi verrattuna kaikkien työmaiden hakkuusiin.

TAULUKKO 11. Ajanmenekki hakkuumenetelmittäin eri runkotilavuuksilla kuvio- , hehtaari- ja m³-kohtaisesti tarkasteltuna

Leimikkotyyppi	Korjuumenetelmä	Ajankäyttö (h/kuvio)	Ajankäyttö (h/ha)	Ajankäyttö (h/m ³)	Poistuman koko (dm ³ /r)
Pieni A	karsittu ranka	50:25:00	20:10:00	0:30:36	13
Pieni B	kokopuu	68:00:00	28:20:00	0:22:59	12
Pieni C	kokopuu	56:00:00	46:40:00	0:28:50	26
Ylispuu A	kokopuu	5:45:00	4:47:30	0:14:24	10
Iso B	kokopuu	17:00:00	21:15:00	0:18:44	38
Ylispuu B	kokopuu	10:50:00	6:22:21	0:12:29	18
Iso A	karsittu ranka	43:24:36	16:41:46	0:17:36	43
Kokopuu (keskiarvo)		31:31:00	21:28:58	0:19:44	18
Karsittu ranka (keskiarvo)		46:54:48	18:25:53	0:24:06	31
Keskiarvo (kaikilta kuvioilta)		35:54:57	20:36:40	0:20:59	24

Yhden rungon käsittelyyn käytetyn ajan riippuvuutta rungon keskitilavuudesta on havainnollistettu kuviossa 18. Siihen on lisätty ilmiöitä mallintama trendiviiva. Mallin selitysasteeksi saadaan 0,8058 eli rungon keskitilavuus selittää täten ajanmenekkiä varsin hyvin.

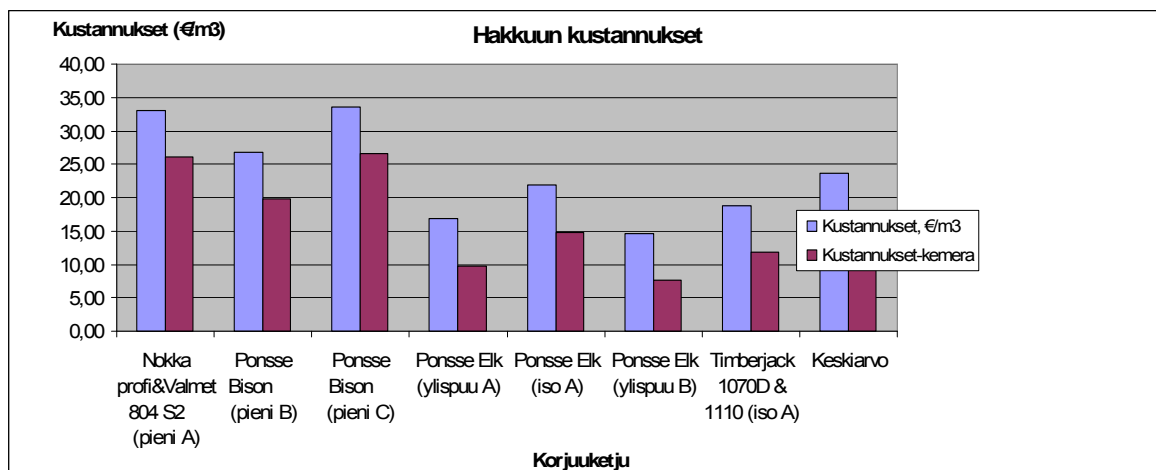


KUVIO 18. Ajanmenekin riippuvuus poistettujen runkojen keskitilavuudesta (dm³/r)

3.2.1 Korjuukustannukset

Tutkimuksen kaikki kuviot olivat KEMERA- tukikelpoisia. Tuen osuudesta korjuukustannuksiin laskettiin pelkästään hakkuu- ja metsäkuljetustuet. Ilman tukea korjuuiden keskimääräinen kustannus oli 22,7 (€/m³). Korjuun kustannukset laskettiin käyttämällä hakkuukoneen ja korjurin käyttötuntihintana 70 €/h. Metsätraktorin kustannus oli tutkimuksessa 55 €/ha.

KEMERA -tukeen laskettiin tutkimuksen osalta vain korjuun metsäkuljetuksen (3,5€/m³) ja hakkuun tuet (3,5€/m³). Tuet kattoivat korjuun kustannuksista keskimäärin 30,8 % - kuutiometriltä. Korjuukustannus KEMERA- tuella pieneni hakkuissa 16,6€/m³. Tukeen ei laskettu mukaan haketustukea, joka olisi ollut 1,7 €/ haketettua irto-m³ kohden. Näin ollen kertymän yhtä kiinto-m³ vastaisi 2,43 irto-m³. Tästä johtuen haketustuki yhtä kuutiometriä kohden olisi tullut 4,16 €/m³. Myös hehtaarikohtainen nuoren metsän hoidon tuki jätettiin laskelmista pois (210€/ha). Toteutusselvitykseen tuki olisi ollut alle 2,6 ha alueilla 46,5 €/ha. Kuviossa 19 on esitetty hakkuun kustannukset eri korjuuketjuille Kemera- tuella ja ilman.



KUVIO 19. Korjuukustannukset Kemera- tuella ja ilman.

3.2.2 Yksikkökustannukset korjuuketjuittain

Korjuuketjuittain tarkasteltaessa leimikoiden korjuun kustannukset esitetään ilman Kemera- tukea. Hakkuussa oli käytössä yhteensä neljä eri korjuuketjua. Korjuuketjujen hakkuutyömaat on esitetty taulukossa 12. Hakkuukoneen ja korjurin käyttötuntikustannus oli tutkimuksessa 70 €/h ja metsätraktorin 55 €/h. Yksikkökustannukset esitetään konekohtaisesti.

Kaikkien leimikoiden korjuuketjujen kustannusten keskiarvoksi saatiin ilman tukea 1360,8 €/ha. Pienimmän (Ponsse Elk) kustannuksen Ylispuu A:n osuus oli vain 10,3 % suurimman (Ponsse Bison) Pieni B- kohteen kustannuksesta (€/ha). Kuljettajien kokemuksella ja leimikkotyypillä sekä hakkuutavalla oli suuri vaikutus ajankäyttöön (h/ha). Ajankäyttö taas vaikuttaa suoraan kustannuksiin (€/ha). Korjuumenetelmien ajankäyttö on esitetty taulukossa 12.

TAULUKKO 12. Korjuumenetelmien kustannustaulukko.

Korjuuketju	Moto	Giljotiin i					Moto
	Nokka Profi+ Valmet 804 S2	Ponsse Bison	Ponsse Bison	Ponsse Elk	Ponsse Elk	Ponsse Elk	Timberjack 1070D & 1110
Leimikkotyyppi	Pieni A	Pieni B	Pieni C	Ylispuu A	Iso B	Ylispuu B	Iso A
Rungon koko (dm ³ /r)	30	27	37	21	64	14	58
Kustannus (€/m ³)	33,02	26,80	33,65	16,79	21,85	14,58	18,77
Kustannus (€/ha)	1305,7	1983,33	3266,67	335,42	1487,50	446,76	759,50

Kustannukset kertymää kohden (€/m³) olivat keskimäärin 23,6€/m³.

Leimikkokohtaiset kustannukset jakaantuivat seuraavasti: ylispuu 15,7€/m³, iso 20,3€/m³ ja pieni 27,9€/m³. Hajontaa leimikkotyyppien välillä oli keskimäärin 6,16 €/m³.

Konekohtaisten kustannusten vaihtelut olivat suuret. Suurimmat kustannukset (€/m³) syntyivät Ponsse Bison- korjuuketjulle, jonka kustannus oli 30,23 €/m³. Kyseisen korjuuketjun kustannusten leimikkokohtainen keskihajonta oli 4,8 €/m³.

Ponsse Bison - ketjun kohteiden lähtöpuuston tiheydet olivat tutkimuksen suurimmat. Keskimäärin pieni B ja C-leimikoilla oli 5473 runkoa/ha, kun vaihteluväli työmailla oli 4171- 6774 r/ha. Hakkuussa poistettujen runkojen keskitilavuus oli kyseisillä leimikoilla keskimäärin 32 dm³/runko (Taulukko 12). Korjuuketjujen kustannukset kasvoivat runkotilavuuden noustessa.

Kustannusten perusteella korjuuketju Ponsse Elk oli tehokkain korjattua kertymää kohden (€/m³). Hakkuussa kahdelta ylispuukohteelta ja yhdeltä ison leimikkotyypin kohteelta koneen korjuun kustannukseksi laskettiin keskimäärin 17,74 €/m³. Hakkuutyömaiden puuston keskitiheys oli alkupuuston osalta 2647 r/ha (Taulukko 6), keskihajonnan ollessa 89 r/ha. Korjuukustannukset nousivat runkotilavuuden kasvaessa. Taulukossa 12 nähdään lähtöpuuston runkotilavuudet (dm³/r) ja korjuun kustannukset (€/m³). Kustannukset riippuivat voimakkaasti rungon keskikoosta, josta tunnuksille laskettu korrelaatio 0,985 kertoo.

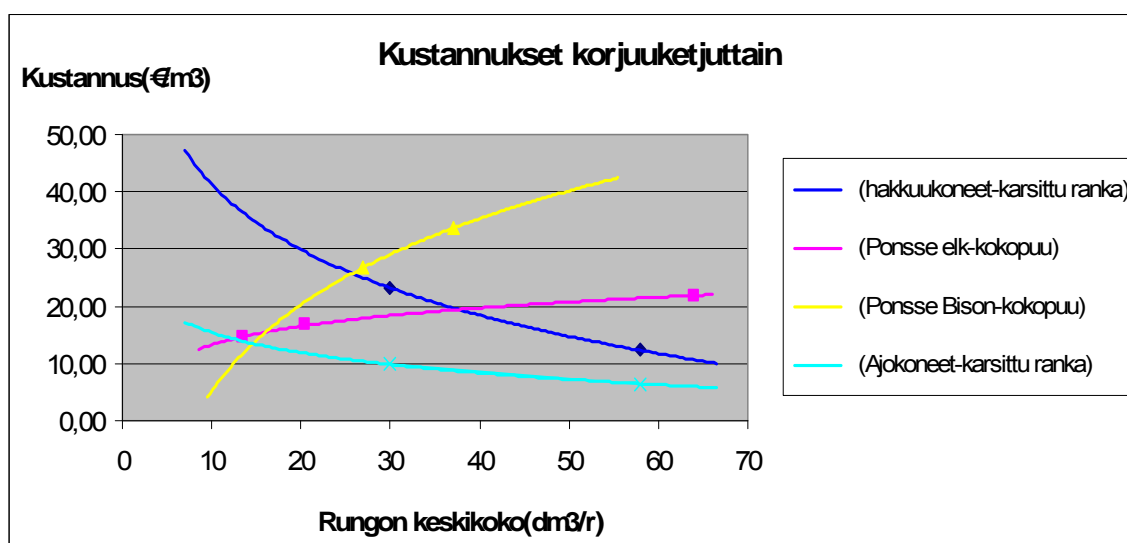
Hakkuukoneketjujen kustannukset hakkuun ja metsäkuljetuksen osalta on eritelty taulukossa 13. Hakkuukonevertailussa oli kaksi eri korjuuketjua ja ne edustivat eri leimikkotyyppejä. Pienen leimikkotyypin hakkuukoneena oli Nokka Profi ja korjuuketjun metsätraktorina Valmet 840 S2. Pienen A leimikon korjuukustannus oli 33,02 €/m³, lähtöpuuston runkotilavuuden ollessa 30 dm³/r. Hakkuukoneen kustannus oli 23,20 €/m³ ja metsätraktorin 9,83 €/m³. Nokka Profin kustannukset muodostivat kuvion kokonaiskustannuksista (€/ha) 70,2 % ja metsätraktorin Valmet 804 S2 kustannukset loput 29,8 %.

TAULUKKO 13. Hakkuukoneiden ja ajokoneiden kustannustaulukko.

	Ajokoneet		Hakkuukoneet	
	Valmet 804 S 2	Timberjack 1110	Nokka Profi	Timberjack 1070D
Leimikkotyyppi	Pieni A	Iso A	Pieni A	Iso A
Rungon koko (dm ³ /r)	30	58	30	58
Kertymä m ³ /ha	41,20	56,90	41,20	56,90
Kustannukset (€/m ³)	9,83	6,47	23,20	12,30
Kustannukset (€/ha)	389	368	917	700

Leimikkotyypillä Iso A oli Timberjack 1070D- hakkuukone ja Timberjack 1110 – metsätraktori, joiden kokonaiskustannus oli 18,77 €/m³. Hakkuukoneen korjuukustannus oli 12,3 €/m³ (65,5 %) ja metsätraktorin 6,47€/m³ (34,5 %). Lähtöpuuston runkotilavuus oli kuviolla 58 dm³/r. Kustannusten suhde muuttui hieman runko rungon keskikoon (dm³/r) kasvaessa. Kustannukset pieni A-leimikolla olivat hakkuukoneen jopa 88,6 % suuremmat ja metsäkuljetuksen osalta 51,9 % kuin kohteen iso A. Työmaalla, jossa rungon keskikoko kasvoi, ketjun kokonaiskustannuksen osuudessa tapahtui muutoksia. Hakkuukoneen kustannusosuus pieneni 4,7 % ja siirtyi metsäkuljetukseen.

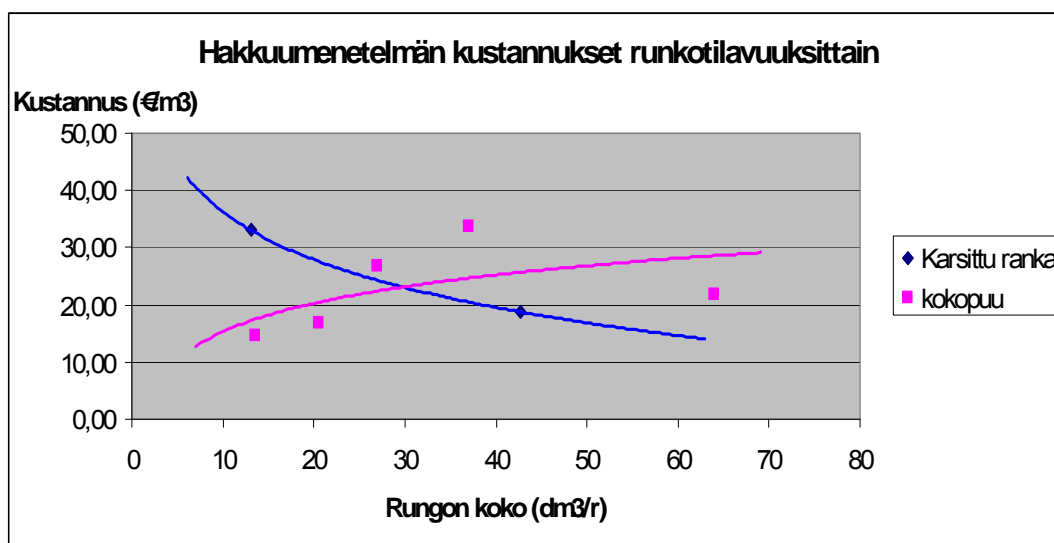
Hakkuukoneiden korjuuketjuja vertaillaessa kustannukset laskivat runkokoon kasvaessa. Metsäkuljetuksen kustannuksien lasku oli rungon kokoon nähden suhteellisesti pienempää kuin hakkuukoneilla. Kuvion 20 laadinnassa on Ponsse Bison - ja hakkuukone- sekä ajokoneiden lähtötietoja extrapoloitu, jotta ne olisivat vertailukelpoisia Ponsse Elk- ketjua kuvaavan käyrän kanssa.



KUVIO 20. Korjuuketjujen kustannusten(€/m³) riippuvuus lähtöpuuston runkotilavuudesta(dm³/r)

Korjuumenetelmien välillä on huomattavissa eroavaisuuksia korjuukustannusten suhteen (Kuvio 20 ja 21). Tarkasteltaessa kokopuuhakkuita kummankin korjuuketjun osalta, voi todeta, että menetelmällä kustannusten nousu ei ollut

niin herkästi riippuvainen runko kokoon kasvusta kuin karsitun rangan hakkuissa. Toisaalta karsitun rangan menetelmässä kustannukset laskevat, kun hakattavan rungon keskikoko kasvaa. Lähtöpuuston $10 \text{ dm}^3/\text{r}$ runkotilavuudessa karsitun rangan kustannukset (hakkuukoneketjulla) on noin 20 €/m^3 kalliimpi kuin korjurien kokopuun menetelmä. Runko koon kasvaessa kustannuserot ovat pienemmät. Tarkastellessa $40 \text{ dm}^3/\text{r}$ keskitalavuutta ero pienenee noin 5 €/m^3 :iin.



KUVIO 21. Hakkuumenetelmien kustannusten (€/m^3) suhde lähtöpuuston runkotilavuuteen (dm^3/r)

3.2.2.1 Kokopuun hakkuu

Kokopuun hakkuussa kustannuksia tarkastellaan ilman Kemera- tukea. Kokopuu oli hakkuumenetelmänä viidellä eri kuviolla. Kuvioden koko vaihteli 0,8- 2,4 ha. Korjuussa keskimääräinen korjuukustannus oli $22,7 \text{ €/m}^3$.

Kustannusten vaihtelu oli suurta korjuuketjujen välillä. Ponsse Elk- korjurin kustannukset olivat kokopuun korjuussa keskimäärin 41,3 % pienemmät kuin Ponsse Bisonin. Kuviossa 15 kustannukset Ponsse Bisonilla ovat pienemmät runkotilavuuden ollessa 10 €/m^3 , mutta kustannukset nousevat noin $15 \text{ dm}^3/\text{r}$ runkotilavuudessa yli Ponsse Elkin kustannusten. Runkotilavuuden kasvaessa $30 \text{ dm}^3/\text{r}$ kustannukset ovat lähes 10 €/m^3 kalliimmat kuin korjuuketjussa Ponsse Elk.

Tosin on huomautettava, että korjuuolot kuvioilla ei olleet samanlaiset, kun verrattiin lähtöpuustojen tiheyksiä ja runkojen keskiläpimittoja keskenään. Eroa korjuuketjujen lähtöpuustojen tiheyksien välille tuli jopa 2826 r/ha. Keskihajonta kaikkien kuvioiden välillä oli 1801 r/ha. Kohteiden runkotilavuus kahden korjuuketjun välillä vaihteli 14 - 64 dm³/r.

3.2.2.2 Karsittu rangan hakkuu

Karsitun rangan hakkuu oli hakkuumenetelmänä kahdella työmaalla. Korjuuta tehtiin kahdella eri leimikkotyypillä. Ison leimikkotyypin (40 dm³<) työmaista oli edustettuna iso A ja pienen eli 20- 40 dm³/r runkotilavuuden kohteista pieni A. Korjuuiden hakkuuseen käytettiin kahta eri korjuuketjua ja hakkuun suoritti neljä eri kuljettajaa. Pieni B- kohteen hakkuukoneena oli Nokka Profi ja metsäkuljetuksen hoiti Valmet 840 S2- metsätraktori. Iso A:n hakkuukoneena oli Timberjack 1070D ja metsäkuljetuksessa Timberjack 1110 - ajokone.

Kummatkin kohteet olivat koivuvaltaisista. Pieni A- kohteen poistettujen runkojen keskitilavuus oli 13 dm³/r ja iso A- korjuussa 43 dm³/r. Ajokoneilla kustannukset olivat keskimäärin 8,15 €/m³. Pienen kohteen (pieni A) kustannukset kertymää kohden olivat 51,9 % kalliimmat kuin ison leimikkotyypin (iso A) työmaalla. Riippuvuus kustannusten ja runkotilavuuksien välillä on esitetty kaaviossa 4.

Hakkuukoneen kustannukset olivat iso A työmaalla 12,30 €/m³ ja pieni A kuviolla 23,20 €/ha. Pienemmän leimikkotyypin kustannukset olivat 75,9 % suuremmat kuin iso A:lla. Kohteiden keskiarvoon verrattuna iso A kustannus oli taas 27,5 % suurempi. Karsitun rangan muuttujien suhde on myös esitetty kuviossa 15.

3.3 Korjuun tuottavuus

Taulukon käyttötuntituottavuudet muunnettiin tehotuntuottavuudeksi käyttämällä korjuuketjuille seuraavia kertoimia:

- hakkuukone- ja ajokonetyö 1,393
- korjurityö 1,360.

Teho- ja käyttötuntituottavuudessa määrinä käytettiin ajankäytön (h) ja kertymä (m^3) suhdetta. Kertoimet on määritetty Metsätehon tutkimuksessa, joka käsittelee kokopuun korjuuta nuorista metsistä. (Kärha ym., 2006).

Taulukossa 14 on eritelty korjuri-, ja hakkuukoneketjujen kuviokohtaiset tuottavuudet. Korjuun tuottavuus laskettiin jokaiselta kuviolta erikseen. Tuottavuudet määriteltiin korjuuketju- ja konekohtaisesti. Työmaiden keskimääräinen käyttötuntituottavuus $3,18 m^3/h$ ja tehotuntuottavuus $4,35 m^3/h$. Keskiarvoon laskettiin korjuri- ja hakkuukoneketjujen kertymäkohtainen ajankäyttö (m^3/h). Hakkuukoneiden korjuuketjut sisälsivät niin hakkuun kuin metsäkuljetuksen ajankäytön hakkuun poistumaa kohden (m^3/h).

TAULUKKO 14. Leimikkokohtaiset tuottavuudet.

Korjuuketju	Kertymä (m^3)	Työtunnit (h)	Käyttötuntituottavuus (m^3/h)	Tehotuntuottavuus (m^3/h)	Poistuman runkokoko (dm^3/r)
Nokka profi &Valmet 804 S2	98,84	50,42	1,96	2,73	13
Ponsse Bison	177,58	68,00	2,61	3,55	12
Ponsse Bison	116,51	56,00	2,08	2,83	31
Ponsse Elk	23,97	5,75	4,17	5,67	10
Ponsse Elk	54,46	17,00	3,20	4,36	38
Ponsse Elk	52,09	10,85	4,80	6,53	18
Timberjack 1070D & 1110	148,00	43,41	3,41	4,75	43
Keskiarvo	95,92	35,92	3,18	4,35	24

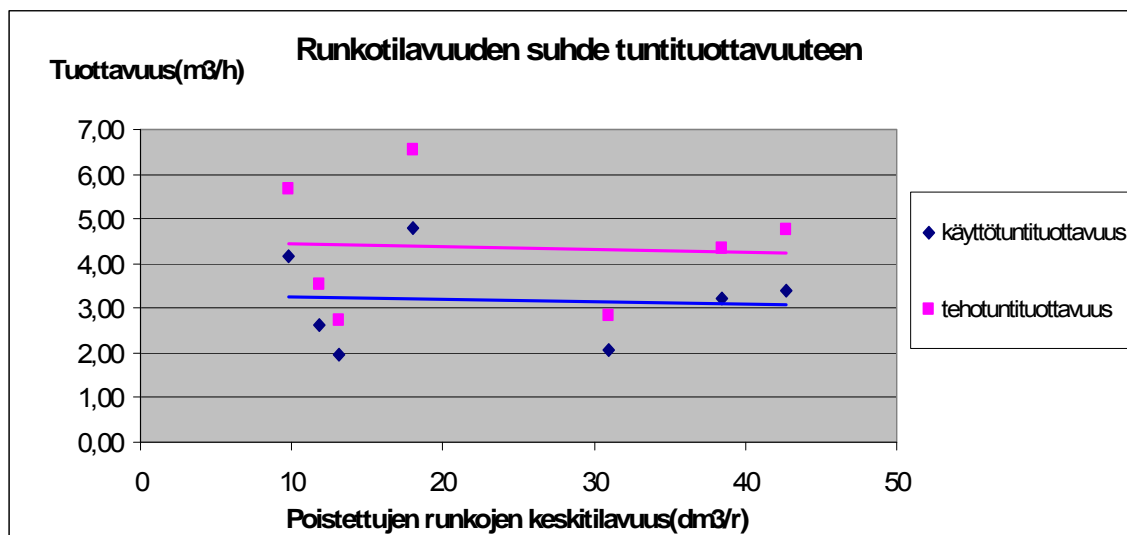
3.3.1 Tuottavuus eri runkotilavuuksilla

Hakkuussa poistettujen puiden keskikokoja tarkastellessa tuottavuus pysyi lähes samana rungon koosta riippumatta. Kuviota 22 tarkasteltaessa runkotilavuuksilla 10 dm³/r ja 40 dm³/r tehotuottavuus pysyi tasalla 4 m³/h- 5 m³/h.

Runkotilavuuksien perusteella tuottavuus ei kasva tasaisesti runkokoon kasvaessa, sillä esimerkiksi poistuman (dm³/r) ollessa alle 20 dm³/r saadaan käytännössä sama tulos puun kokoluokan ollessa 38 dm³/r (Iso A).

Tehotuottavuuden riippuvuutta poistettujen runkojen keskitilavuuteen kuvattiin kuviossa 22. Poistettujen runkojen keskitilavuus selitti vain 0,6 % tehotuntituottavuutta (m³/tehotunti).

Leimikoilta poistettujen puiden runkotilavuuksien väliset tuottavuuserot olivat suhteellisen pieniä. Esimerkiksi Pieni A- kohteella 13 dm³/r saatiin sama käyttötuntituottavuus kuin pieni B 31 dm³/r. Litratilavuuksien välisessä tuottavuudessa pieni B oli vain 6,1 % tehokkaampi. Erot kasvoivat (Taulukko 14 ja kuvio 16), kun vertailtiin 12 dm³/r (pieni B) tuottavuutta 43 dm³/r (iso A) keskenään. Isolla leimikkotyypillä tuottavuus oli jo 30,7 % suurempi kuin pienellä kohteella.



KUVIO 22. Tuntituottavuuksien riippuvuus poistettujen puiden keskikokoosta.

3.3.2 Tuottavuus eri leimikkotyypeillä

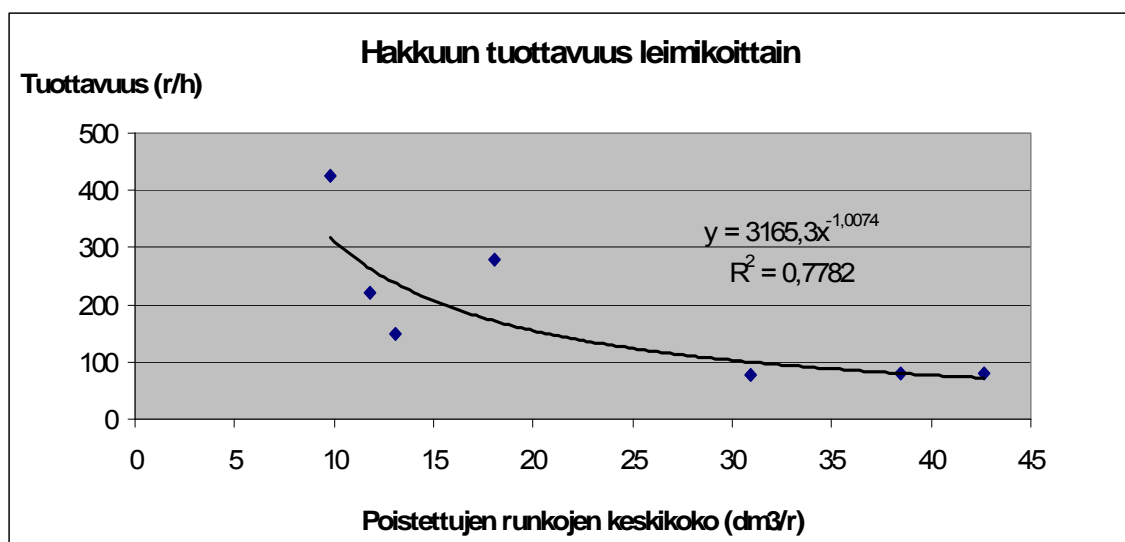
Leimikkotyyppien keskimääräinen käyttö- ja tehotuntuottavuus (Taulukko 15):

TAULUKKO 15. Leimikkotyyppikohtaiset tuottavuudet.

Leimikkotyyppi	Ylispuu	Pieni(20- 40dm ³)	Iso (40dm ³ <)
Käyttötuntuottavuus	4,48	2,22	4,11
Tehotuntuottavuus	6,10	3,04	5,67

Parhaat tuottavuudet (m³/h) saavutettiin ylispuustokohteilla. Kaikkiin kohteisiin verrattuna (Taulukko 15) ylispuustokuviot olivat käyttötuntien perusteella keskimäärin 40,9 % ja tehotunteja tarkasteltaessa 40,2 % tehokkaampia korjata.

Poistuman runkolukua tarkasteltaessa tehokkaimman (ylispuu A 424 r/h) ja heikoimman (pieni C 79 r/ha) välinen ero oli jopa 345 r/h. Prosentteina tarkasteltuna pieni C – työmaan tuottavuus (r/h) oli ylispuu A -kohteeseen verrattuna 81,4 % pienempi. Tuntuottavuus oli kaikkien leimikkojen poistettujen puiden keskiarvona 195 r/h. Tuottavuus (r/h) riippui selkeästi poistettujen runkojen keskitilavuudesta ($R^2 = 0,7782$). (Kuvio 23)



KUVIO 23. Hakkuun tuottavuuden (r/tunti) riippuvuus korjuussa poistettujen puiden keskitilavuudesta (dm³/r).

Kaaviosta ilmenee, että poistettujen runkojen keskikoon ollessa alle 20 dm³/r on tuottavuus vielä korkea, mutta keskitilavuuden ollessa noin 30 dm³/r <

tuottavuus hidastuu, pysyen melkein samana noin $38\text{dm}^3/\text{r}$. Käsiteltävien runkojen määrän suhteen $43\text{ dm}^3/\text{r}$ keskitilavuudessa tuottavuus ei laske kovinkaan suuresti, $32\text{ dm}^3/\text{r}$ runko kokoon verrattuna. Oikeastaan poistuman koon ollessa noin $40\text{ dm}^3/\text{r}$ tasolla tuottavuus (r/h) on enää 1,3 % suurempi kuin $30\text{ dm}^3/\text{r}$ tasolla.

3.3.3 Tuottavuus pääpuulajeittain

Kuvioiden pääpuulajien jakauma ennen hakkuuta (Taulukko 16):

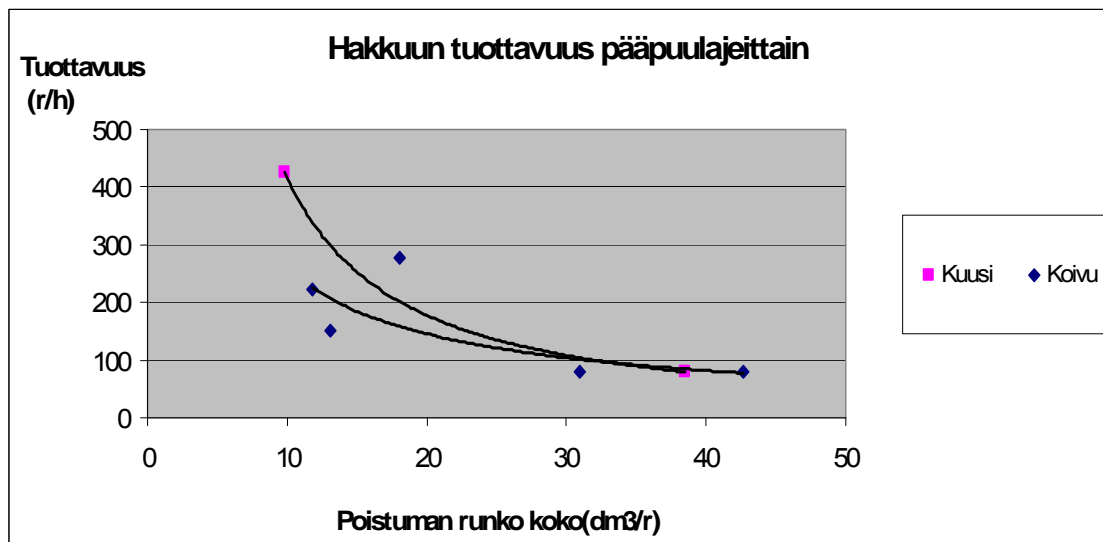
TAULUKKO 16. Leimikkokohtaiset pääpuulajit ennen hakkuuta

<u>Leimikkotyyppi</u>	<u>Pääpuulaji</u>
Pieni A	Koivu
Pieni B	Koivu
Pieni C	Koivu
Ylispuu A	Kuusi
Iso B	Kuusi
Ylispuu B	Koivu
Iso A	Koivu

Suurimpaan tuottavuuteen päästiin kuusivaltaisilla työmailla. Poistettujen runkojen käyttötuntimäärien keskiarvoksi saatiin 252 r/h, kun taas koivuvaltaisilla vastaava oli 162 r/h. Tuntikohtaiseen poistumaan nähden kuusivaltaisten metsiköiden tuottavuus oli 13,4 % tehokkaampi kuin kaikkien työmaiden keskiarvo (187r/h).

Vertailtaessa hakkuun ajankäyttöä (h) ja kertymää (m^3) selvisi, että tuottavuuden vaihtelu pääpuulajien suhteen ei ollut kovin suurta. Kuusen käyttötuntituottavuus oli keskimäärin $3,69\text{ m}^3/\text{h}$ ja koivulla $2,97\text{m}^3/\text{h}$. Leimikoiden korjuutehokkuutta (käyttötunti) mitattaessa kuusi oli 24,2 % tuottavampi ja tehotuntituottavuudessa vastaava suhde oli 22,8 % kuusen hyväksi. Kuviossa 24 on esitetty

pääpuulajikohtaiset tuottavuudet poistettujen puiden keskitilavuuden (dm^3/r) ja tuntikohtaisten tuottavuuksien (r/h) muuttujina.

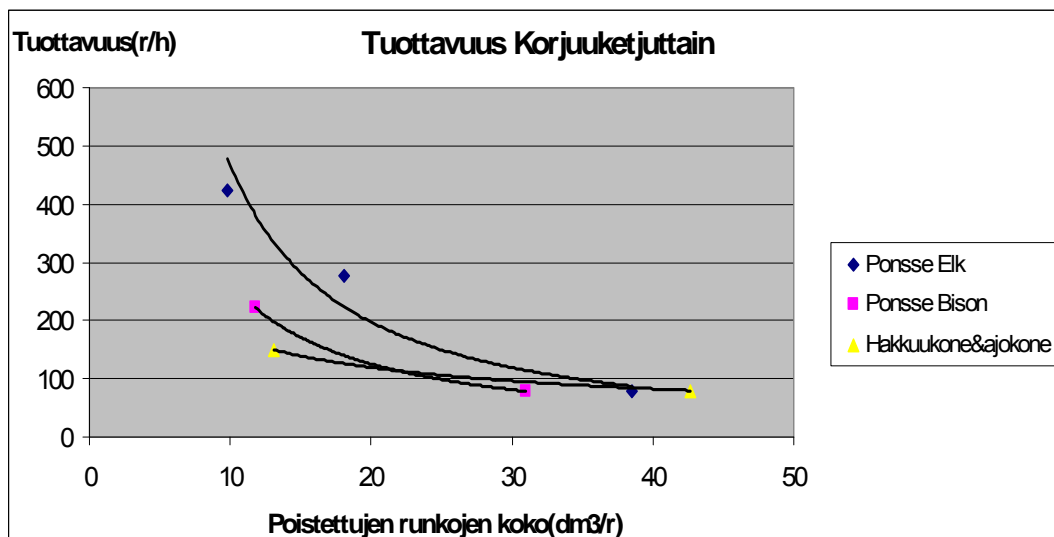


KUVIO 24. Hakkuun tuottavuus (r/h) poistettujen runkotilavuuden (dm^3/r) suhteen

Kuviosta on huomattavissa, kuinka puulajikohtaiset tuottavuudet (r/h) 10 dm^3/r keskitilavuudesta eteenpäin lähtevät voimakkaaseen laskuun. Tuottavuudet laskevat voimakkaasti aina 30 dm^3/r asti. Poistuman keskitilavuuden noustessa yli 30 dm^3/r tuottavuus pysyy lähes samana aina 43 dm^3/r asti.

3.3.4 Tuottavuus korjuuketjukohtaisesti

Tässä luvussa tarkastelun kohteena on korjuuketjujen tuottavuus (m^3/h) ja koneiden hakkuulaiteen tuottavuus (r/h). Korjuuketjujen tuottavuus (r/h) on esitetty kuviossa 18. Siinä muuttujina ovat poistettujen puiden keskitilavuudet (dm^3/r) ja tuottavuus (r/h).



KUVIO 25. Tuottavuus korjuuketjuttain poistettujen puiden keskitilavuuden (dm^3/r) ja tuottavuuden (r/h) funktiona.

Kuviossa 25 tehokkain korjuumenetelmä oli Ponsse Elk. Kyseisen koneketjun tuottavuus oli 21,9 % tehokkaampi verrattuna kaikkien työmaiden tuottavuuksien keskiarvoon. Korjuri oli tehokkain ketju aina noin $38 \text{ dm}^3/\text{r}$ asti, jonka jälkeen hakkuukoneketju saavutti paremman tuottavuuden (r/h).

Ponsse Bisonin ja hakkuukoneketjujen tuottavuus pysyi lähes samana runkotilavuuksilla $20\text{-}25 \text{ dm}^3/\text{r}$. Alle 20 litran ja yli 25 litran tilavuuksissa hakkuukoneketjujen tuottavuus oli parempi. Hakkuukoneketju muodostui kahdesta eri koneketjusta: pieni A:n (Nokka Profi & Valmet 804 S2) ja iso A:n (Timberjack 1070D & Timberjack 1110).

Sama trendi jatkui Ponsse Elk- korjurin osalta myös tuntituottavuudessa (m^3/h). Se oli kaikkien leimikoiden keskiarvoon verrattuna jopa 27,7 % suurempi. Normaali hakkuukoneketjujen tuottavuus oli korjurien käyttötuntien suhteen 16,4 % pienempi. Vaihteluväli ketjujen tuottavuuksien (r/h) suhteen oli korjuuketjuilla käyttötuntien osalta $1,96\text{-}4,06 \text{ m}^3/\text{h}$ ja tehotuntien $2,73\text{-}5,52 \text{ m}^3/\text{h}$. Taulukossa 17 on esitetty hakkuuketjujen käyttö- ja tehotuntituottavuudet (m^3/h).

TAULUKKO 17. Korjuuketjun käyttö- ja tehotuntuottavuudet.

Korjuuketju	Ponsse Elk	Ponsse Bison	Nokka Profi & Valmet 804 S2	Timberjack 1070D & Timberjack 1110
Käyttötuntuottavuus (m ³ /käyttötunti)	4,06	2,35	1,96	3,41
Tehotuntuottavuus (m ³ /tehotunti)	5,52	3,19	2,73	4,75

3.4 Alikasvuston vaikutus hakkuun tuottavuuteen

Alikasvoksen haittaavaa vaikutusta hakkuun tuottavuudelle tarkastellaan kahdesta näkökulmasta: ensinnäkin kaikkien läpimitaltaan alle 4 cm olevan puuston haittaava vaikutus ja toisekseen pelkästään kuusen alikasvoksen vaikutusta korjuun tuottavuuteen. Erikseen tarkastelulla pyritään erottelemaan kasvatettavaksi jätettävien kuusen taimia ja muun haittaavan alikasvoksen vaikutusta hakkuun tuottavuuteen.

Tutkimuksen neljällä kuviolla oli alikasvoksesta haittaa hakattavalle puustolle 25-50 % (haitta luokka 1). Haitta luettiin hakattavan puuston kannalta. Alikasvoksiin luettiin mukaan kuusen taimet ja muut puulajit, joita ei laskettu kuviokohtaisiin tilavuuksiin (>4 cm).

Silmävaraisesti arvioituna suurin haitta alikasvoksesta aiheutui kohteelle- pieni C (Kuva 8), jossa alikasvoksesta oli huomattavaa haittaa hakkuukouran työskentelylle (50- 75 %). Se vaikutti myös tuottavuuteen, vaikka kohteen kertymä oli koko tutkimuksen kolmanneksi suurin (116,51m³/ha). Hakkuuaikaa korjuuseen kuviolla käytettiin eniten 46,67 h/ha, jonka vuoksi käyttö- ja tehotuntuottavuus oli keskiarvoihin verrattuna 34,9 % pienempiä. Hakkuukouran tuntikohtaisia runkotuottavuusmääriä tarkastellessa saavutettiin työmaalla tutkimuksen huonoin tulos (79 r/h). Ajanmenekkiä kasvatti kasvatettavaksi jätettävän kuusialikasvos (1029 kpl/ha).



KUVIO 26. Pieni C- kuvio ennen hakkuuta. Alikasvoksen haitta 50- 75 %
(haitta 2)

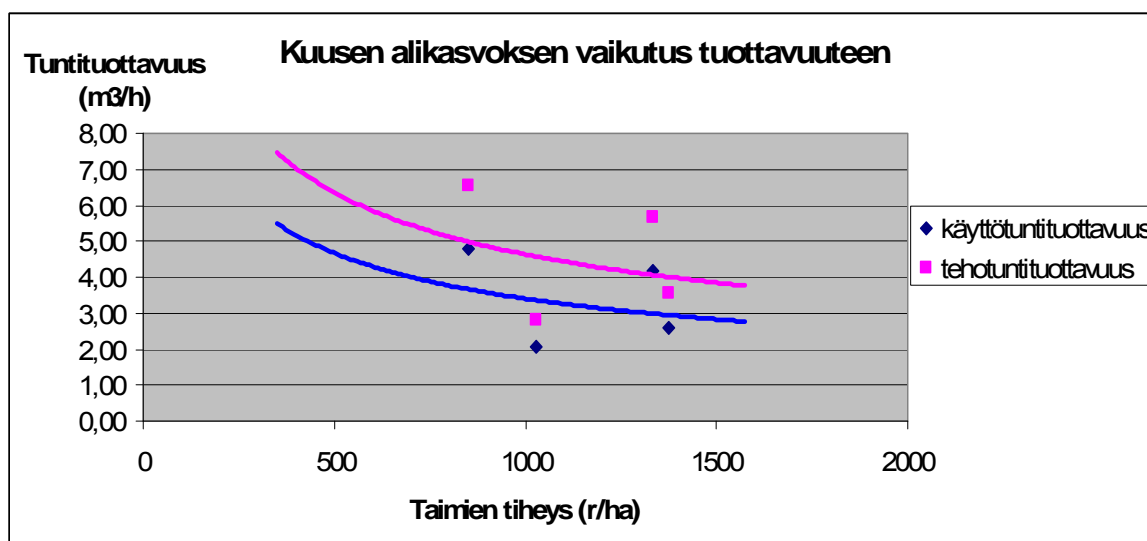
Haitan pienentyessä 25- 50 %:iin (haitta 1) ja 0-25 %:iin (haitta 0), ei alle 4 cm:n puustosta ollut niin merkittävää vaikutusta hakkuun tuottavuuteen (m^3/h). Taulukosta 18 ilmenee alikasvoksen haitan vaikutus tuottavuuteen ja ajankäyttöön.

TAULUKKO 18. Työmaiden tuottavuus, ajankäyttö(h/ha), kuusen taimi määrät(kpl/ha) ja haitta.

<u>Käyttötunti</u> (m^3/h)	<u>Tehotunti</u> (kpl/ha)	<u>Taimet(kuusi)</u> (h/ha)	<u>Ajankäyttö</u> (r/h)	<u>Tuottavuus</u> (luokka)	<u>Haitta</u>	
Pieni A	1,96	2,73	0	20,17	50	1
Pieni B	2,61	3,55	1375	28,33	221	1
Pieni C	2,08	2,83	1029	46,67	79	2
Ylispuu A	4,17	5,67	1333	4,79	424	1
Iso B	3,20	4,36	0	21,25	80	0
Ylispuu B (raivattu)	4,80	6,53	850	6,38	278	1
Iso A	3,41	4,75	0	16,70	80	0

Kuusen taimia jätettiin kasvatettavaksi neljälle eri kuvioille. Kasvatettavien taimien pituudella ei ollut vaikutusta tuottavuuteen, sillä ylispuukohteella (ylispuu A) keskipituudeltaan 5 metrin alikasvoksella tuottavuus oli parempi kuin esimerkiksi pieni B:llä (pituus 3 m). Kummankin kohteen haittaluokaksi arvioitiin 1 (25- 50 %).

Kuusialikasvoskuvioiden taimien määrän (r/ha) vaikutusta kohteiden tuntituottavuuksiin vertailtiin kuviossa 27. Kuviossa ilmenee, että tulokset vaihtelivat leimikon ja kuljettajan mukaan. Ylispuutaimikossa (ylispuu A) päästiin tehotuntituottavuuteen 4,17 m³/h, taimien määrän ollessa kuviolla 1333 r/ha, kun alikasvoksen haitasi arvioitiin 25- 50 %. Taas saman haitta luokan (1) kohteella (pieni B) saatiin 1375 r/ha tiheydellä tehotuntituottavuudeksi 3,55 m³/h. Kuviossa 27 on esitetty tuntituottavuuksien suhde kuusen alikasvoskuvioiden taimi määrään (r/ha).



KUVIO 27. Taimien tiheyden vaikutus tuntituottavuuksiin.

3.5 Ajettu matka työmaittain

Ajettu matka kerättiin leimikoilta koneen käyttämän kokonaismatkan mukaan (m). Ajetun matkan mittauksessa ei otettu huomioon keskimääristä metsäkuljetusmatkaa, vaan vertailtiin leimikkotyyppejen ja korjuuketjujen korjuussa ajettuja metrejä. Korjuuseen käytetty matka ei ole täysin

vertailukelpoinen korjuuketjujen välillä, sillä hakkuukoneketjujen matka on mitattu pelkästään yhden ajokoneen (Valmet 804 S2) metsäkuljetuksen osalta (kohde pieni A).

Koneiden korjuussa kulkema matka mitattiin kaikilta kuvioilta iso A- leimikkoa lukuun ottamatta. Korjurien matkaan käytetty osuus saatiin sekä hakkuusta että metsäkuljetuksesta. Kuvion (pieni A) hakkuukoneessa (Nokka Profi) ei ollut matkamittaria, joten työmaan matka määritettiin pelkästään ajokoneen osalta. Iso A:n korjuusta ei saatu matkan tietoja ollenkaan. Hakkuukoneketjujen käytettyjen matkojen mittaus jäi vajavaiseksi, joten vertailua voidaan tehdä pelkästään korjurien osalta.

Leimikkokohtaisesti tarkasteltuna hakkuuseen käytetty matka oli pinta-alaa kohden keskimäärin 2202 m/ha. Parhaimmillaan (kohde Pieni B) matka oli keskiarvoa jopa 92,2 % pienempi ja huonoimmillaan (pieni A) 57,7 % suurempi. Pinta-alaa kohden vähiten metrejä kertyi korjuuketjulle Ponsse Bison, jonka korjuussa käytettyjen matkojen keskiarvo oli 192 m/ha. Taulukossa 19 on esitetty kuviokohtaiset matkojen mittaustulokset.

TAULUKKO 19. Ajettu matka kuvioittain

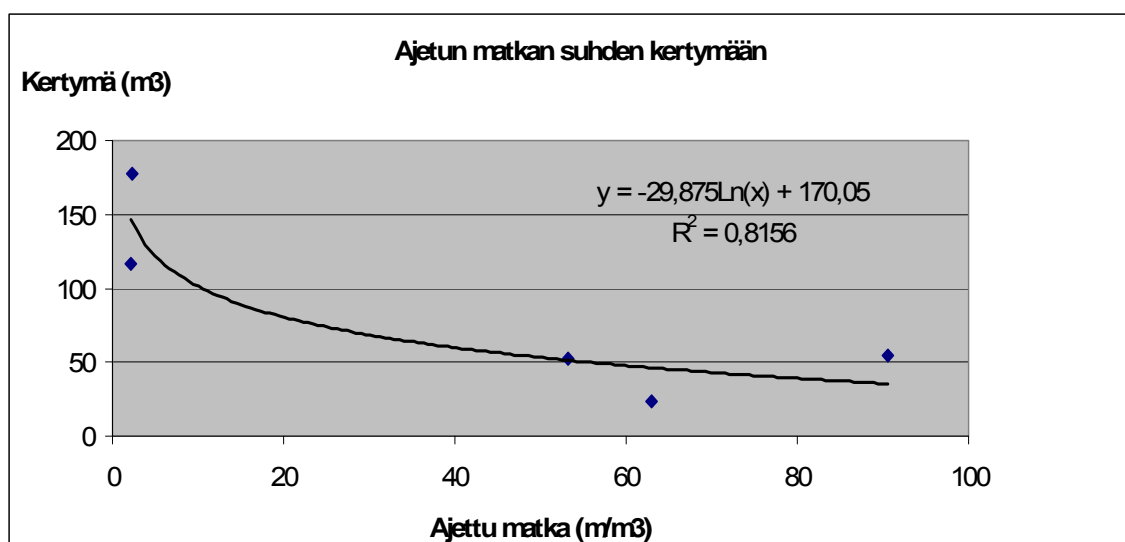
Leimikkotyyppi	Korjuuketju	Pinta-ala (ha)	Ajettu matka (m)	Ajettu matka (m/ha)	Ajettu matka (m/m ³)	Kertymä (m ³)
Pieni A	Nokka Profi & Valmet 804 S2	2,5	13008	5203	132	98,84
Pieni B	Ponsse Bison	2,4	410	171	2	177,58
Pieni C	Ponsse Bison	1,2	256	213	2	116,51
Ylispuu A	Ponsse elk	1,2	1508	1257	63	23,97
Iso B	Ponsse elk	0,8	2775	3469	53	52,09
Ylispuu B	Ponsse elk	1,7	4932	2901	91	54,46
Iso A	Timberjack 1070D & 1110	2,6	-	-	-	148
Keskiarvo		1,8	3815	2202	57	95,9

Kertymää kohden ajomatka oli lyhyin pienillä (20- 40 dm³/r) leimikkotyypeillä, joissa metrejä kertyi keskimäärin 45 m/m³. Ison leimikkotyypin (>40 dm³/r) B-kohteella korjurilla ajoa kertyi kiintokuutiometriä kohden 53 m/m³.

Ylispuukuvioissa konekohtainen matka oli poistumaa kohden suurin.

Ylispuustojen työmailla matkaa tuli korjattua puustoa kohden keskimäärin 77 m/m³.

Konekohtaisesti tarkasteltuna tehokkain (m/m³) oli Ponsse Bison, joka tarvitsi keskimäärin vain 2 m/m³. Eniten matkaa kertyi ajokoneella Valmet 840 S2 (132 m/m³). Eroavuutta koneiden välillä oli 130 m/m³. Prosentteina tarkasteltuna Ponsse Bisonin käyttämä matka oli 98,5 % pienempi kuin pieni A:n metsäkuljetuksen osuus korjattua puustoa kohden(m/m³). Kuviossa 28 on esitetty kertymän (m³) ja ajetun matkan (m) muuttujien välinen suhde.



KUVIO 28. Ajetun matkan (m/m³) suhde kertymään (m³)

Kuviosta 28 käy selville kertymän riippuvuus ajetusta matkasta. Vertailusta jätettiin hakkuukoneketjut kokonaan pois. Tästä johtuen tuloksia verrattiin vain korjurien muuttujien osalta. Muusta aineistosta poikkeavat arvot muuttujien välille aiheutti pieni B:n ja C:n pienet korjuumatkat. Aineiston perusteella luotu malli selittää suurimmaksi osaksi kertymän riippuvuutta ajetusta matkasta.

4 TULOSTEN TARKASTELUA

4.1 Aineiston mittaustulokset

Tutkimuskohteet olivat puulajisuhteiltaan ennen hakkuuta lehtipuuvaltaisia. Se kertoo hyvin paljon siitä, että kohteiden taimikonhoito oli jäänyt kokonaan tekemättä tai se oli tehty liian lievänä. Koivu oli puulajeista yleisin, ja sen osuus oli kaikista puulajeista 42 %. Metsänhoidon kannalta tutkimuksen työmaat soveltuivat erinomaisesti energiapuuhakkuuseen. Puulajisuhteet ennen hakkuuta olivat: koivu 42 %, muut lehtipuut 26 %, kuusi 9 %, kuusen taimet 17 % ja mänty 6 %.

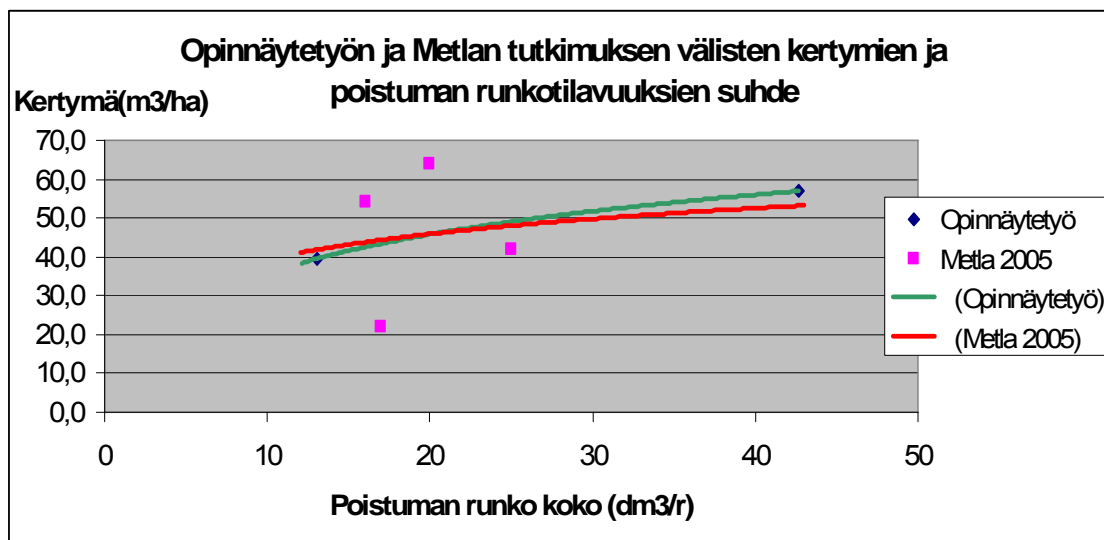
Hakkuussa poistettiin lähinnä vähäarvoiseksi luokiteltua lehtipuustoa. Sen käy ilmi hakkuun jälkeisten mittauksien tuloksista (Taulukko 9, sivu 32).

Puulajisuhteet olivat hakkuun jälkeen kuusi- ja koivuvaltaisia. Kuusi oli yleisin kasvatettavaksi jätetty puulaji. Kuusen taimien (34 %) ja ainespuun mitan saavuttaneiden kuusten (20 %) yhteen laskettu osuus oli jopa 54 % kaikkien leimikoiden puulajeista. Muiden puulajien osuudet olivat kaikkien kuvioiden osalta seuraavat: koivu 34 %, mänty 7 % ja muu lehtipuusto 5 %. Tuloksien perusteella energiapuun kertymä kohdistui odotettavissa olleisiin puulajeihin. Kasvatettavaksi jätetyt kuusialikasvokset saavat näin ollen kuvioilla enemmän valoa, ravinteita sekä riittävästi tilaa kasvamiseen.

Hakkuun kertymiä tarkasteltaessa tulokset olivat samankaltaiset aikaisempien tutkimusten kanssa. Metsätehon tekemässä tutkimuksessa, jossa vertailtiin kokopuun korjuuta nuorista metsistä harvennuskuvioiden, keskimääräinen kertymä oli 52 m³/ha. (Kärhä ym., 2006) Vaihteluväli oli tutkimuksessa 25 – 132 m³/ha. Kyseiseen tutkimukseen verrattuna keskimääräinen kertymä tässä tutkimuksessa kokopuun osalta oli 57,6 m³/ha (vaihteluväli 19,98- 97,1m³/ha), joten pinta-alakohtaisten kertymien perusteella tämän tutkimuksen kertymät olivat keskimäärin 10,8 % suuremmat. Tutkimukset eivät tosin ole täysin vertailukelpoisia keskenään. Metsätehon kyseisessä tutkimuksessa tilavuuksiin laskettiin mukaan myös latvusmassojen osuudet, kun tämän tutkimuksen

kuvioiden tilavuudet (m^3/ha) on laskettu runkopuutilavuutta kohden.
(Laasasenaho, 1982)

Karsitun rangan osalta aikaisempi Metlan tutkimus karsitun rangan korjuusta ja kustannuksista on vertailukelpoinen tämän tutkimuksen hakkuisiin. (Heikkilä J ym. 2005). Tutkimuksessa vertailtiin karsitun rangan ja kokopuun hakkuun sekä metsäkuljetuksen korjuukustannuksia. Heikkilän ym. tutkimuksessa laskelma perustui esimerkkikuvioon, missä rangan kertymäksi saatiin $40 \text{ m}^3/\text{ha}$, kun poistettujen runkojen keskitilavuus oli $30 \text{ dm}^3/\text{r}$. Aikaisemman tutkimuksen kertymien ja keskimääräisten runkotilavuudet (Heikkilä, J, ym., 2005, s. 12) muuttujien suhteet olivat tämän opinnäytetyön tulosten kanssa samankaltaiset. Tosin tässä tutkimuksessa karsittua rankaa korjattiin koivuvaltaisilta kohteilta, kun taas vertailukohteet sisälsivät sekä koivu- että mäntyvaltaisia kohteita. Alla olevassa kuviossa 29 on esitetty Metlan tutkimuksen ja tämän tutkimuksen karsitun rangan kertymien (m^3/ha) ja poistettujen runkotilavuuksien (dm^3/r) muuttujien välisiä suhteita.



KAAVIO 29. Metlan (Heikkilä J ym. 2005) tutkimuksen sekä tämän tutkimuksen kertymän (m^3/ha) ja runkotilavuuksien (dm^3/r) riippuvuus. Metlan tutkimuksen tuloksia on extrapoloitu.

Korjuujälki oli tämän tutkimuksen tuloksien perusteella kasvatettavaksi jätetyn puiden osalta parempi kuin aikaisemmissa tutkimuksissa. Tutkimuksen kaikilla

leimikoilla alitettiin suositusten mukaiset korjuun laatukriteerit, jotka sallivat korkeintaan 4 % vauriot harvennuksissa kasvatettavaksi jätetyille puille. Kyseinen laatukriteeri täyttyi kaikkien leimikoiden osalta. Laissa ei ole säädetty minkäänlaisia vaatimuksia korjuuvauriolle, mutta metsäsertifiointien kriteerit sallivat korkeintaan 4 % vauriot kasvatettavalle puustolle. Aikaisemmassa Metlan tekemässä tutkimuksessa kasvatettavista puista vaurioitui karsitun rangan hakkuussa 5,3 % ja kokopuun hakkuussa 7,0 %. (Heikkilä J ym. 2005).

Metsätehon raportissa 193 ajouraväli oli kokopuun osalta samankaltainen kuin tässä tutkimuksessa. Kokopuun hakkuun aikatutkimuksessa ajouraväli oli keskimäärin 19,3 m vaihteluvälin ollessa leimikoittain 17,1– 20,3 m. Kyseisen tutkimuksen korjureiden ajouraväli (keskimäärin 18,0 m) oli pienempi kuin hakkuukoneilla. (Kärhä ym., 2006) Opinnäytteen kokopuun korjuussa ajouraväli oli hieman pienempi 19,02 m (vaihteluväli 18,2- 20,2 m) kuin metsätehon raportissa. Kummassakin tutkimuksessa suositusten mukainen 20 metrin ajouraväli (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006, s.38) alittui.

4.2 Korjuun kustannukset

Aikaisempien tutkimusten perusteella korjuukustannukset ilman Kemera- tukea vaihtelivat ensi- ja energiapuuharvennuksilla 16,45- 29,3 €/m³. Pienin keskimääräinen kustannus (16,45 €/m³) saatiin Metlan vuosikatsauksesta 2009, jossa oli eritelty ensiharvennuksien keskimääräinen korjuukustannus vuodelta 2008. (Metlan vuosikatsaus 2009) Suurimmat kustannukset olivat karsitulla rangalla, jotka Metsäntutkimuslaitoksen vuonna 2005 julkaisemassa tutkimuksessa olivat keskimäärin 29,3 €/m³. Samassa tutkimuksessa kokopuun korjuukustannukset olivat 23,9 €/m³. (Heikkilä J ym. 2005). Tutkimuksen käyttötuntikustannukset hakkuukoneelle oli 70 €/h ja metsätraktorille 50 €/h.

Työteho-seuran tutkimus, joka tutki korjuuvaihtoehtojen kannattavuutta metsänomistajan näkökulmasta, sai koneelliselle korjuun keskimääräiseksi kustannukseksi 20,5 €/m³. (Tanttu, V ym. 2004) Kokopuuna korjuukustannukset olivat tutkimuksessa 17,5 €/m³ keskihajonnan ollessa 3,4 €/m³. Tutkimuksessa

käyttökustannukset olivat kaatokasauskoneelle 65 €/h ja hakkuukoneelle 63 €/h. Metsätraktorin käyttökustannus oli 50 €/h.

Kustannukset kertymää kohden (€/m³) olivat opinnäytetyön työmailla keskimäärin 23,6 €/m³. Leimikkokohtaiset kustannukset jakaantuivat kuvioilla seuraavasti: ylispuu 15,7 €/m³, iso 20,3 €/m³ ja pieni 27,9 €/m³. Kokopuun korjuun kustannukset (22,7 €/m³) olivat aikaisempaa tutkimusta (Tanttu ym., 2004) 29,7 % suuremmat. Metlan (Heikkilä, J. ym., 2005) tutkimuksen verrattuna kokopuun kustannukset olivat opinnäytteessä 5 % pienemmät. Karsitun rangan hakkuun kustannukset olivat puolestaan tämän tutkimuksen leimikoilla 11,6 % pienemmät (opinnäyte: 25,9 €/m³) kuin Heikkilän ym. tekemän tutkimuksen työmailla.

4.3 Korjuun tuottavuus

Hakkuun tuottavuutta vertailtiin pääasiassa tuntituottavuuksien ja poistuman keskitilavuuksien mukaan. Tuottavuutta käsiteltiin korjuuketjujen, leimikkotyyppien, pääpuulajien ja runkotilavuuksien mukaan. Tarkoituksena oli hahmotella ja eritellä tuottavuutta mahdollisimman monipuolisesti.

Tunti- eli käyttötuntituottavuus johdettiin konekohtaisilla kertoimilla tehotuntituottavuudeksi Metsätehon raportin (Kärha ym., 2006) mukaisesti (3.3 korjuun tuottavuus, s.45). Tulosten perusteella karsitulla rangalla keskimääräinen tuottavuus oli 16,9 % parempi verrattuna Metlan (Heikkilä, J. ym., 2005) tutkimukseen. Kyseisessä tutkimuksessa karsitun rangan energiapuuosittien kaikkien työmaiden tehotuntituottavuuden keskiarvoksi tuli 3,2 m³/tehotunti, kun opinnäytteessä sama oli 3,74 m³/tehotunti.

Kokopuulla tehotuottavuus (m³/h) oli opinnäytetyön tutkimusleimikoilla 4,42 m³/tehotunti. Menetelmälle mitattiin karsitun rangan hakkuisiin verrattuna 18,2 % suurempi tuottavuus (m³/tehotunti). Metsätehon julkaisemassa tulokalvosarjassa ”Aines- ja energiapuun hankintaketjujen kannattavuusvertailu”(Kärhä, K., ym., 2007) tarkasteltiin kokopuun hakkuun tehotuntituottavuuden ja poistuman keskitilavuuden välistä suhdetta. Tutkimuksessa kokopuun hakkuun tehotuntituottavuudeksi saatiin noin 7

$\text{m}^3/\text{tehotunti}$, kun poistuman keskitilavuus oli noin $30 \text{ dm}^3/\text{r}$. Tämän tutkimuksen tehotuntuottavuus oli pieni C- kuviolla $2,83 \text{ m}^3/\text{tehotunti}$, kun hakkuussa poistettujen runkojen keskitilavuus oli $31 \text{ dm}^3/\text{r}$. Tulos oli aikaisempaan tutkimukseen (Kärhä, K. ym., 2007) verrattuna jopa 59,6 % pienempi.

Leimikkokohtaisten tuottavuudet (m^3/h) poikkesivat tuloksien puolesta suuresti. Ylispuukuvioiden A ja B tehotuntuottavuudet ($\text{m}^3/\text{tehotunti}$) olivat koko aineiston suurin ($6,1 \text{ m}^3/\text{tehotunti}$). Leimikkojen (ylispuu A ja B) tuntuottavuudet todistivat, että koneellinen korjuu on kannattavaa myös ylispuu taimikoiden hakkuissa, vaikka kertymät olivatkin kohteilla pieniä. Ylispuu A ($20 \text{ m}^3/\text{ha}$) ja ylispuu B ($32 \text{ m}^3/\text{ha}$) hakkuista kertyi kertymää keskimäärin $26 \text{ m}^3/\text{ha}$.

Pienen leimikkotyypin ($20\text{-}40 \text{ dm}^3/\text{r}$) B ja C- työmailla tehotuntuottavuus oli korjurilla koko aineiston pienin ($3,19 \text{ m}^3/\text{tehotunti}$), vaikka aikaisemmassa tutkimuksessa niiden katsottiin soveltuvan juuri pieniläpimittaisen ($<20 \text{ dm}^3/\text{r}$) kokopuun korjuuseen. (Metsätehon katsaus 23, 2006) Kokopuun hakkuun tehotuntuottavuus oli kyseisen aineiston mukaan rullasyöttöisillä hakkuulaitteilla $6,1 \text{ m}^3/\text{h}$ ja kaato-kasauslaitteilla $5,5 \text{ m}^3/\text{h}$. Katsauksen tuottavuustulokset olivat rullasyöttöisellä kouralla 91,2 % ja kaato-kasauskouralla 72,4 % suuremmat kuin tässä tutkimuksessa.

4.4 Alikasvuston vaikutus hakkuun tuottavuuteen

Tulosten vertailun kannalta leimikot olivat lähtöpuustoltaan liian erilaisia, jotta tuloksista olisi voinut tehdä luotettavaa vertailua. Myös korjuuketjujen väliset tuottavuuserot (m^3/h) olivat suuria, jos vertaa runkotilavuuden suhdetta kertymään. Tutkimuksen kuvioihin olisi pitänyt valita puulajiltaan ja tiheydeltään (r/ha) samankaltaisia kohteita, mikäli alikasvoksen vaikutusta tuottavuuteen voitaisiin vertailla.

Silmävaraisen tarkastelun osalta 50- 75 % haitta hakattavaan puustoon vaikutti olevan jonkinlainen yhteys hakkuun tuottavuuteen ($\text{m}^3/\text{tehotunti}$). Kun alikasvoksen haitta laski 25- 50 %, ei tuloksien perusteella voinut selvästi osoittaa, että sillä olisi ollut suoranaista vaikutusta hakkuun tuottavuudelle ($\text{m}^3/\text{tehotunti}$). Alikasvoksen vaikutuksen vertailu hakkuun tuottavuuteen jäi

vajavaiseksi, sillä tutkimuskohteita haittaluokalle 50- 75 % oli vain yksi (pieni C). Jotta vertailu olisi luotettava, tutkimukseen olisi pitänyt valita enemmän kohteita, joissa alikasvoksen haitan osuus hakattavaa puustoa kohtaan olisi ollut 50- 75 %.

Myös kuusialikasvoksen osalta leimikkotyypin hakkuutavat ja kuljettajan tuottavuudet (m^3/h) olivat hyvin erilaiset. Sen huomaa, kun vertaa koneketjujen tuottavuuksia keskenään. (Kaavio 8, sivu 49) Kohteiden ylispuu A ja pieni B välillä oli melkein sama määrä kuusen taimia pinta-alaa kohden ja silti eroa työmaiden käyttötuntituottavuudessa oli jopa $1,56 \text{ m}^3/\text{h}$. Tutkimuksen vertailun kannalta työmaat oli tullut korjata samalla korjuuketjulla ja kuljettajalla.

Ennakkoraivauksen vaikutusta ajankäyttöön ja kustannuksiin on tutkittu vähän. Ainoita tutkimuksia aiheesta on HARKO- tutkimushanke vuosina 2000- 2001. (Kärhä ym., 2006). Talviaikana huomattavaa haittaa hakkuulle aiheutti vain havupuualikasvusto, jonka totaaliennakkoraivaus nosti hakkuun tuottavuutta 25 %. Ennakkoraivaus todettiin talvella kannattavaksi, kun havupuualikasvuston tiheys ylitti $1\ 600 \text{ r/ha}$. (Kärhä ym., 2006).

Kuusialikasvoksen keskipituudella ja tiheydellä (r/ha) ei ollut tässä tutkimuksessa suurta merkitystä hakkuun tuottavuuteen ($\text{m}^3/\text{tehotunti}$). Metsätehon tutkimuksessa päädyttiin päinvastaiseen johtopäätökseen. Kyseisessä tutkimuksessa tutkittiin kuusen alikasvoksen ennakkoraivauksen vaikutusta mäntyvaltaisten hakkuiden tuottavuuteen. (Kärhä ym., 2006). Raportissa ilmeni, että erityisesti kuusialikasvoksen tiheydellä (r/ha) ja keskipituudella oli suuri vaikutus hakkuun tuottavuuteen. Kuusialikasvoksen tiheyden ja keskipituuden kasvaessa hakkuun ajanmenekki lisääntyi. Metsätehon tutkimuskohteiden keskipituuden ollessa 2 metriä 2000 r/ha tiheydessä tuottavuus laski 12- 14 % ja 10000 r/ha tiheydessä jopa 30- 34 % pienempi verrattuna korjuuoloihin, joissa alikasvosta ei ollut lainkaan. Talvi- ja kesäkorjuussa vaikutus tuottavuuteen oli samankaltainen. (Kärhä ym., 2006).

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tarkoituksena oli saada kullekin leimikkotyypille yhtä monta kohdetta, mutta tavoitteet eivät täysin täyttyneet. Esimerkiksi talven aikana ei ollut tarjolla hakkuukoneketjuille (karsittu ranka) yhtään ylispuustohakkuutyömaata. Sama ongelma oli myös metsurihakkuissa, joka jäi lopulta tutkimuksesta kokonaan pois.

Korjuuketjujen suurimmat kustannukset olivat pienen leimikkotyypin työmailla ($31,16 \text{ €/m}^3$). Se näkyi myös työmaiden tehotuntuottavuudessa, sillä koko aineiston alhaisin tuottavuus ($2,73 \text{ m}^3/\text{tehotunti}$) oli pieni A- kuvion hakkuukoneketjulla. Korjurilla päästiin hieman parempiin tuottavuuksiin, sillä Ponsse Bison – korjuuketjulla tehotuntuottavuus oli kahden kuvion hakkuissa keskimäärin $3,19 \text{ m}^3/\text{tehotunti}$.

Ison ($>40\text{dm}^3$) leimikkotyypin työmailla korjurilla (Ponsse Elk) kustannukset olivat $3,08 \text{ €/m}^3$ suuremmat kuin hakkuukoneketjulla (Timberjack 1070D & 1110), vaikka korjurin kertymä oli hehtaaria kohden $14,4 \%$ suurempi. Myös tehotuntuottavuudessa hakkuukoneketju ($4,36\text{m}^3/\text{tehotunti}$) oli korjuria ($4,75\text{m}^3/\text{tehotunti}$) $8,9 \%$ tehokkaampi.

Ylispuuleimikoiden hakkuun kustannukset olivat aineiston halvimmat; keskimäärin $15,7 \text{ €/m}^3$. Tehotuntuottavuudessa kahden kuvion keskimääräiset tuottavuudet olivat koko aineiston parhaat ($6,1 \text{ m}^3/\text{tehotunti}$).

Tutkimuksen pohjalta voi todeta, että poistuman rungon koon ollessa yli $38 \text{ dm}^3/\text{r}$ hakkuukoneketjun rangan korjuu on tehokkaampi ($\text{m}^3/\text{tehotunti}$) ja halvempi (€/m^3) kuin korjuriketjun kokopuumenetelmä. Poistettujen puiden runkotilavuuden laskiessa alle $20 \text{ dm}^3/\text{r}$, korjuriketjuilla kokopuuhakkuu oli kannattavampaa verrattuna hakkuukoneiden rangan menetelmään.

Alikasvoksen vaikutusta hakkuun tuottavuudelle ei voitu tutkimuksessa todistaa, sillä kohteelle pieni C (50- 75 % haitta) ei ollut yhtään vertailukohdetta. Pieni C- kuvion tuottavuudessa oli huomattavissa eroa verrattuna kohteille, joilla alikasvoksen arvioitiin haittaavan hakattavaa puustoa 25- 50 %. Pieni C:ltä (50- 75 %) oli havaittavissa, että alikasvoksesta on mahdollisesti vaikutusta hakkuun tuottavuudelle. Haitan vaikutus oli huomattavissa leimikon hakkuuseen

käytettyjen tuntien perusteella, sillä kuvion hehtaaria kohden käyttämä aika oli jopa 126 % suurempi kuin koko aineiston keskiarvo(h/ha). Mikäli asian tutkimista halutaan jatkaa, tulisi tutkimuskohteet valita eri tavalla kuin tässä tutkimuksessa.

Koneiden korjuissa kulkeman matkan mittaus tarvitsee mahdollisesti lisätutkimusta, koska pieni B ja C- kohteiden koneen kulkemat matkat kertymää kohden (2 m/m^3) poikkesivat niin paljon muiden kohteiden tuloksista.

Tulevaisuutta ajatellen, korjureita tulisi ohjata tuottavuuden kannalta jatkossa ylispuustoisille harvennuskohteille, joilla korjataan puusto kokopuumenetelmällä. Karsitun rangan tuottavuus oli tehokkainta hakkuukone-ajokoneketjulla yli $40 \text{ dm}^3/\text{r}$ lähtöpuuston runkokoon keskitilavuuden kohteilla verrattuna korjurihakkuiden kokopuumenetelmään. Pienillä kohteilla, joilla runkokoko on $20-40 \text{ dm}^3/\text{r}$, katsottiin korjuriketjujen kokopuumenetelmän soveltuvan tuottavuuksien puolesta paremmin kuin hakkuukone- ajokoneketjun karsitun rangan vaihtoehto.

LÄHDELUETTELO

Painetut lähteet

Hyvän metsänhoidon suositukset. 2006. Helsinki: Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio.

Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce, and birch. Communicationes Instituti Forestalis Feanniae 108.

Sähköiset lähteet

Bioenergia maa- ja metsätaloudessa. [Verkkodokumentti]. Maa- ja metsätalousministeriön bioenergiatuotannon työryhmä. Helsinki 2008. Verkossa:
<http://www.mmm.fi/attachments/5fDbyYiFr/5xAvQdC75/Files/CurrentFile/bioenergiamuistio.pdf>

Heikkilä, J. Laitila, J. Tantt, V. Lindblad, J. Sirén, M. Asikainen, A. Pasanen, K. & Korhonen, Kari T. 2005. Karsitun energiapuun korjuuvaihtoehdot ja kustannustekijät. ISBN 951-40-1964-4. [Verkkodokumentti]. Metlan työraportteja 10. Metsäntutkimuslaitos. Helsinki 2005. Verkossa:
<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2005/mwp010.htm>

Kansallinen metsäohjelma 2015. [Verkkodokumentti]. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 3/2008. ISBN 978-952-453-376-8 (PDF). Verkossa:
http://www.mmm.fi/attachments/5fLUy9oi5/5ywg0T9jr/Files/CurrentFile/3_2008FI_netti.pdf

Kärhä, K. Keskinen, S. Liikkanen, R. & Lindroos, J. 2006. Kokopuun korjuu nuorista metsistä. Metsätehon raportti 193. [Verkkodokumentti]. Metsäteho Oy. Helsinki 2006. ISSN 1796-2374. Verkossa:
http://www.metsateho.fi/uploads/Raportti_193_KK_ym.pdf

- Kärhä, K. Peltola, J. Korpilahti, A. Poikela, A. & Liikkanen, R. 2003. Uusia laitteita energia- ja ainespuun korjuuseen nuorista metsistä. Metsätehon raportti 164. [Verkkodokumentti]. Metsäteho Oy. Helsinki 2003. Verkossa:
<http://www.metsateho.fi/uploads/4pjovm897ztz.pdf>
- Lindblad, J. Äijälä, O. & Koistinen, A. 2008. Energiapuun mittaus. [Verkkodokumentti]. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio ja Metsäntutkimuslaitos. 2008. ISBN 978-952-5694-28-4. Verkossa:
www.metla.fi/metinfo/tietopakettit/mittaus/
- Leskinen, L.A. 2009. Metsäammattilaisten tulkinnat puunkasvatuksen tavoitteista energiapuun korjuun lisääntyessä. Metsätieteen aikakauskirja 3/2009: 199–212. Verkossa:
<http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff09/ff093199.pdf>
- Metlan vuosikatsaus 2009. Metsätilastollinen vuosikirja 2009, Energia. Verkossa: <http://www.metla.fi/tiedotteet/2009/2009-12-10-tilastollinen-vuosikirja-2009.htm>
- Metsäteho 2003. Korjuujälki harvennushakkuussa – opas. [Verkkodokumentti] Metsäteho Oy. Helsinki 2003. Verkossa:
<http://www.metsateho.fi/uploads/5inktw8jks0w.pdf>
- Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio ja metsäkeskus Pirkanmaa 2008. KAMERA-opas 2009. Verkossa:
http://www.metsavastaa.net/files/metsavastaa/pdf/amm_kemeraj.pdf
- MMM asetus nro 18/08. Maa- ja metsätalousministeriön asetus kuormainvaa'an käytöstä puutavaran mittauksessa ja erien erillään pidossa. 2.12.2008. nro 2593/01/2008. Verkossa:
<http://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/400001/34097>

- Mäkelä, M. Poikela, A. & Liikkanen, R. 2003. Energiapuun korjuu harvennusemetsistä. Metsätehon raportti 161. [Verkkodokumentti]. Metsäteho Oy. Helsinki 2003. Verkossa:
<http://www.metsateho.fi/uploads/rvdj8cbpsun8d1.pdf>
- Mäkelä, M. Poikela, A. & Liikkanen, R. 2002. Joukkohakkuu aines- ja energiapuun korjuussa. Metsätehon raportti 137. [Verkkodokumentti]. Metsäteho Oy. Helsinki 2002. Verkossa:
<http://www.metsateho.fi/uploads/irdc9ydw.pdf>
- Pulkinen ja Kaukosuo. 2010, Energiapuun korjuumenetelmät ja laitteet. Metsätäyskäyttöön 2009- 2010. Verkossa:
http://www.mhy.fi/keskisuomi/hankkeet/fi_FI/hankkeen_tuotokset/
- Tanttu, V., Ahtikoski, A. & Sirén, M. 2004. Korjuuvaihtoehtojen kannattavuus metsänomistajalle nuoren metsän harvennuksessa hankintakaupalla. Metsätieteen aikakauskirja 4/2004: 509–525. [Verkkodokumentti]. Verkossa:
<http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff04/ff044509.pdf>
- Tilastokeskus 2008. Energian kulutus 2007- 2008. Verkossa:
<http://tilastokeskus.fi/til/ekul/>