

## Kantojen noston ja metsäkuljetuksen tuottavuus

Juha Laitila, Antti Ala-Fossi, Tomi Vartiamäki, Tapio Ranta ja Antti Asikainen



Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute - sarjassa julkaistaan tutkimusten ennakkotuloksia ja ennakkotulosten luonteisia selvityksiä. Sarjassa voidaan julkaista myös esitelmiä ja kokouskoosteita yms.

Sarjassa ei käytetä tieteellistä tarkastusmenettelyä. Kirjoitukset luokitellaan Metlan julkaisutoiminnassa samaan ryhmään monisteiden kanssa.

Sarjan julkaisut ovat saatavissa pdf-muodossa sarjan Internet-sivuilta.

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/>  
ISSN 1795-150X

**Toimitus**

Unioninkatu 40 A  
00170 Helsinki  
puh. 010 2111  
faksi 010 211 2101  
sähköposti [julkaisutoimitus@metla.fi](mailto:julkaisutoimitus@metla.fi)

**Julkaisija**

Metsäntutkimuslaitos  
Unioninkatu 40 A  
00170 Helsinki  
puh. 010 2111  
faksi 010 211 2101  
sähköposti [info@metla.fi](mailto:info@metla.fi)  
<http://www.metla.fi/>

<b>Tekijät</b> Laitila, Juha, Ala-Fossi, Antti, Vartiamäki, Tomi, Ranta, Tapio & Asikainen, Antti			
<b>Nimeke</b> Kantojen noston ja metsäkuljetuksen tuottavuus			
<b>Vuosi</b> 2007	<b>Sivumäärä</b> 26 s.	<b>ISBN</b> 978-951-40-2033-9 (PDF)	<b>ISSN</b> 1795-150X
<b>Yksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet</b> Joensuun toimintayksikkö/Kaivukoneella tehtävän kannon noston ja kantojen metsäkuljetuksen työntutkimus 90136			
<b>Hyväksynyt</b> Jari Parviainen 5.3.2007			
<b>Tiivistelmä</b> <p>Tutkimuksessa selvitettiin yhdistetyn kannonnoston ja maanmuokkauksen ajanmenekki ja tuottavuus kuusileimikoilla sekä kantojen metsäkuljetuksen tuottavuus ja siihen vaikuttavat tekijät. Aikatutkimusten perusteella laadittiin tuottavuusfunktiot kantojen nostolle ja metsäkuljetukselle. Kantojen nostossa työn tuottavuuteen vaikuttivat kantoläpimitta, kantojen hehtaaritiheys sekä maanmuokkaukseen kulunut aika. Metsäkuljetuksen tuottavuuteen puolestaan vaikuttivat metsäkuljetusmatka, kantojen hehtaarikertymä ja kuormatraktorin kuormakoko.</p> <p>Aikatutkimuksissa kantuun puhdistamiseen ja paloitteluun kului 42 prosenttia tehoyöajasta ja kannon maasta irrottamiseen 18 prosenttia tehoyöajasta. Maanmuokkauksen sekä kantojen kasauksen osuus tehoajasta oli 15 ja 11 prosenttia. Nostojäljen tasauksen, työpistesiiirron ja puomin kannolle viennin osuus oli puolestaan 3 – 7 prosenttia kaivukoneen tehoyöajasta. Maanmuokkauksen osuus kantojen noston tehoajanmenekistä oli keskimäärin 3.24 tuntia hehtaarille. Nostotyön tuottavuus oli 13.0 m<sup>3</sup>/tehotunnissa, kun kantoläpimitta oli 40 cm ja nostettavia kantoja oli 500 kappaletta hehtaarilla. Kun maanmuokkaus tehtiin nostotyön yhteydessä nostotyön tuottavuus laski 9.2 m<sup>3</sup>:iin tehotunnissa.</p> <p>Metsäkuljetuksessa kantojen kuormaukseen kului 57 % tehoyöajasta ja kuorman purkamiseen tienvarsivarastolla 25 % tehoyöajasta. Kun otetaan huomioon kuormatraktorin siirtymiset varastopaikalla kuorman purkamisen yhteydessä (1%) ja varastopaikan siistimiseen kulunut aika (1 %), oli kuorman purkamisen ajanmenekki yhteensä 27 % tehoyöajasta. Kuormausajon osuus tehoajasta oli 3 % ja kuormausajon liittyvän peruuttelun ja kääntymisten osuus 1 % tehoyöajasta. Tyhjällä kuormalla ajon osuus oli 5 % ja kuormattuna ajon 6 % tehoyöajasta. Kantojen lähikuljetuksen tuottavuus oli 7.8 m<sup>3</sup> tehotunnissa, kun metsäkuljetusmatka oli 250 metriä, kuormakoko 7.0 m<sup>3</sup> ja kantojen kertymä hehtaarilta 60 m<sup>3</sup>. Kuormakoon kasvattaminen 7.0 m<sup>3</sup>:stä 13.0 m<sup>3</sup>:iin paransi työn tuottavuutta 1.0 m<sup>3</sup> tehotunnissa. Aikatutkimuksissa keskimääräinen kuormakoko oli 8.6 m<sup>3</sup> kanto- ja juuripuuta.</p> <p>Tutkimustulosten pohjalta kehitettiin Excel-pohjainen laskentaohjelma, jonka avulla käyttäjä voi leimikkotietojen pohjalta laskea kantuun kertymän ja energiasisällön työmaalla sekä kantomurskeen tuotantokustannukset eri tuotantomenetelmillä. Laskentaohjelmalla voi tehdä herkkyysoanalyysiä esim. kuormakoon, materiaalin kosteuden, maanmuokkauksorvauksen, metsä- ja kaukokuljetusmatkan sekä kantuun kertymän vaikutuksesta korjuukustannuksiin (€/MWh tai €/m<sup>3</sup>). Lisäksi ohjelma laskee leimikkotietojen avulla arvion hehtaarikohtaisesta ajanmenekistä metsäkuljetuksessa ja yhdistetyssä kantojen nosto- ja maanmuokkaustyössä. Laskentamallin perimmäisenä tarkoituksena oli muuntaa saadut tutkimustulokset helpotajuiseen ja käytäntöä palvelevaan muotoon.</p>			
<b>Asiasanat</b> Puuenergia, kannot, metsäkuljetus, nosto, kaivukone, kuusi, metsäbiomassa, puunkorjuu			
<b>Julkaisun verkko-osoite</b> <a href="http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2007/mwp046.htm">http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2007/mwp046.htm</a>			
<b>Tämä julkaisu korvaa julkaisun</b>			
<b>Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla</b>			
<b>Yhteydenotot</b> Juha Laitila, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun toimintayksikkö, PL 68, 80101 Joensuu. <a href="mailto:juha.laitila@metla.fi">juha.laitila@metla.fi</a>			
<b>Muita tietoja</b> Tutkimuksen tilaaja: Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Mikkelin yksikkö, Bioenergiateknologia			

## Sisällys

<b>1 Johdanto .....</b>	<b>5</b>
1.1 Tutkimuksen tavoitteet .....	6
<b>2 Aineisto ja menetelmät .....</b>	<b>6</b>
2.1 Kantojen noston aikatutkimukset.....	6
2.2 Kantojen lähikuljetuksen aikatutkimukset.....	8
<b>3 Kantojen noston tuottavuus.....</b>	<b>9</b>
3.1 Työvaiheiden osuudet tehoajasta kantojen nostossa.....	9
3.2 Kantojen noston ja maanmuokkauksen ajanmenekki .....	10
3.2.1 Työpistesiiirron ajanmenekki .....	10
3.2.2 Kantojen prosessoinnin ajanmenekki .....	11
3.2.3 Maanmuokkauksen ajanmenekki .....	12
3.2.4 Tulosten tarkastelu .....	13
<b>4 Kantojen lähikuljetuksen tuottavuus.....</b>	<b>15</b>
4.1 Työvaiheiden osuudet lähikuljetuksen ajanmenekistä aikatutkimuksissa .....	15
4.2 Kantojen lähikuljetuksen ajanmenekkimallit.....	16
4.2.1 Tyhjällä kuormalla ajo.....	16
4.2.2 Kuormaus .....	17
4.2.3 Kuormausajo .....	19
4.2.4 Kuormattuna-ajo.....	20
4.2.5 Kuorman purku.....	21
4.2.6 Tulosten tarkastelu .....	22
<b>5 Johtopäätökset.....</b>	<b>24</b>
<b>Kirjallisuus.....</b>	<b>26</b>

## 1 Johdanto

Metsäenergian käytön kasvu on viime vuosien aikana ollut ripeää ja käyttömäärien kasvu on koostunut pääosin päätehakkUILTA korjattavasta latvusmassahakkeesta. Vuonna 2005 metsähaketta käytettiin lämpö- ja voimalaitoksissa yhteensä 2.6 milj. m<sup>3</sup>, josta latvusmassan ja markkinakelvottoman järeän runkopuun osuus oli 64 % (Ylitalo 2006). Käyttömäärien kasvaessa korjuu on jouduttu ulottamaan yhä laajemmalle alueelle ja epäedullisemmille korjuukohteille voimalaitosten polttoaineen tarpeen tyydyttämiseksi. Suurimpien käyttöpaikkojen osalta on tultu siihen, että latvusmassahakkeen korjuun hankintasädettä ei ole kannattavaa enää pidentää, vaan latvusmassahakkeen rinnalle on löydettävä muita metsäenergian lähteitä. Potentiaalisia vaihtoehtoja ovat harvennuksilta korjattava energiapuu sekä päätehakkUILTA korjattavat kuusen kannot.

Kantomurskeesta on alun ennakkoluulojen jälkeen tullut voimalaitosten arvostama polttoaine ja kantojen korjuu on nopeasti leviämässä yksittäisten käyttöpaikkojen ympäristöstä yhä laajemmalle alueelle. Vuonna 2005 kanto- ja juuripuuta käytettiin energiantuotannossa 0.4 milj. m<sup>3</sup>, mikä on kolminkertainen määrä edelliseen vuoteen verrattuna ja vastaa jo 14 %:n osuutta metsähakkeen käytön kokonaisuudesta (Ylitalo 2006).

Kannoista valmistetun polttohakkeen etuja latvusmassahakkeeseen verrattuna ovat hakkeen tasalaatuisuus, alhaisempi kosteus ja korkeampi lämpöarvo. Varastoituna kantopalat vettyvät huomattavasti hitaammin kuin latvusmassa, minkä vuoksi voimalaitokset usein keskittävät kantomurskeen käytön talvikauteen, jolloin myös energian tarve on korkeimmillaan (Hakkila 2003). Ongelmia kantojen käytössä aiheuttavat useimmiten kivet ja muu maa-aines sekä kanto-palojen koko. Kokonaiset tai vajaasti pilkotut kannot aiheuttavat ongelmia kaukokuljetuksessa sekä murskauksessa. Ne sisältävät yleensä myös huomattavasti enemmän kiviä ja muita epäpuhtauksia kuin paloittelut kantopalat. Kantojen paloittelu noston yhteydessä nopeuttaa kuivumista, lisää kuljetuksessa kuorman tiheyttä ja kuormakokoa sekä tehostaa murskaustyön tuottavuutta.

Latvusmassan ja kantuun korjuu nivoutuvat yhdeksi tarkasteltavaksi kokonaisuudeksi, koska kannonosto edellyttää latvusmassan korjuuta palstalta. Kantojen korjuu niveltyy myös osaksi metsänuudistamisketjua, koska maanmuokkaus voidaan liittää osaksi kantojen nostoa. Kantojen korjuun yleistyessä tuotantoketjun eri työvaiheista ja -menetelmistä tarvitaan tuottavuus- ja kustannustietoja. Lisäksi menetelmän eri vaiheiden yhteensovittaminen edellyttää tarkempaa tietoa olosuhdetekijöiden vaikutuksesta koko tuotantoketjuun ja polttohakkeen toimitusvarmuuteen.

Kantopalojen murskaus polttojakeeksi edellyttää järeiden murskainten käyttöä, minkä vuoksi palstahaketus ja tienvarsihaketus ovat jo pelkästään maaperän kantavuuden ja kone- ja kuljetuskaluston tilantarpeen vuoksi poissuljettuja tuotantomenetelmiä. Vuonna 2005 voimalaitoksilla käytetystä kantoahakkeesta 84 % oli murskattu käyttöpaikalla ja 14 % terminaaleissa (Kärhä 2006). Tyypillinen kantomursketta polttoaineenaan käyttävä asiakas on iso voimalaitos, joka hyödyntää nykyaikaista leijupolttotekniikkaa ja jonka polttoaineen vastaanotto ja käsittelyjärjestelmät soveltuvat erityyppisille biopolttoainejakeille.

## 1.1 Tutkimuksen tavoitteet

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää kannon noston ajanmenekki ja tuottavuus kuusi-leimikoilla sekä työajan jakautuminen eri työvaiheisiin. Aikatutkimuksissa määritettiin sekä varsinaisen nostotyön että maanmuokkauksen ajanmenekki. Samalla seurattiin silmävaraisesti nostetun kantoaineksen palakokojakaumaa ja kantojen sisältämien epäpuhtauksien määrää sekä maanmuokkaustyön laatua. Tutkimuksessa selvitettiin myös kantojen metsäkuljetuksen tuottavuus ja siihen vaikuttavat tekijät. Sekä kantojen noston että metsäkuljetuksen aikatutkimukset tehtiin Mikkelin ympäristössä.

Tehty tutkimus oli osa Etelä-Savon Energia Oy:n ”Terminaalitoimintoihin perustuvan metsäpolttoaineiden hankintalogistiikkajärjestelmän kehittäminen” hanketta, jota koordinoi Lappeenrannan teknillisen yliopiston bioenergiateknologian tutkimusryhmä Mikkelissä. Hankkeen taustalla on Etelä-Savon Energian kattilainvestointi Pursialan voimalaitokseen, minkä seurauksena metsähakkeen käyttö kasvaa lähes kaksinkertaiseksi. Voimalaitoksen metsähakkeen käyttömäärien merkittävä kasvu edellyttää hankintamenetelmien kehittämistä polttoaineen toimitusvarmuuden ja laadun tasaisuuden varmistamiseksi. Kasvava käyttömäärä edellyttää myös vaihtoehtoisten metsäenergian raaka-ainelähteiden, kuten kantojen saatavuuden ja hyödynnettävyyden selvittämistä paikallisessa toimintaympäristössä.

Tehty tutkimus oli osa Tekesin ”Climbus – ilmastonmuutoksen hillinnän liiketoimintamahdollisuudet” teknologiaohjelmaa. Lappeenrannan teknillisen yliopiston ja Etelä-Savon Energian lisäksi hankkeeseen ovat osallistuneet mm. Järvi-Savon ja Metsä-Savon metsänhoitoyhdistykset, Mikkelin kaupungin metsätoimisto, Kotimaiset Energiat Ky, Koneyrittäjien Liitto ry., Savon Kuljetus Oy, Kuljetus Lankila Oy, Kosken Megawatti Oy, Metsäkoneurakointi Tenho Pulkkinen Tmi, Koneyhtymä Ylönen & Hämäläinen, Kuljetus Rouhiainen Oy, Kuljetusliike Wickström Oy, Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristölaboratorio ja Metsätutkimuslaitos.

## 2 Aineisto ja menetelmät

### 2.1 Kantojen noston aikatutkimukset

Aikatutkimuksissa kantojen nosto, paloittelu ja kasaus suoritettiin kaivukoneella, johon oli kiinnitetty kantojen nosto- ja pilkontalaite (kuva 1). Peruskone oli 17.5 tonnin (Tieto päivitetty 3.3.2008) kaivukone tyyppiä JCB JS 160 L ja vuosimallia 2001. Kantojen nosto tehtiin ”Kantokunkku” nimisellä nosto- ja pilkontalaitteella, joka oli asennettu kaivukonekauhan tilalle. ”Kantokunkku” kantoahvesterilla kantojen maasta irrotus tehdään hankomaisella kantokoukulla ja kanto pilkotaan painamalla hangossa oleva kanto kaivupuomin alla olevaa sahalaitaista vastaterää vasten. Juurakon paloittelu hainevän muotoista vastaterää vasten tapahtuu kauhasylinterin liikkeillä, jolloin erillistä hydraulista pilkontaveistä ei tarvita. Lisäksi kaksipiikkisen kantokoukun toista päätä voidaan käyttää laikutus- ja mätästyslevynä uudistusalan maanmuokkauksessa.



Kuva 1. ”Kantokunkku” kantoharvesteri JCB-kaivukoneeseen asennettuna (Ala-Fossi 2006).

Aikatutkimuksissa nostokoneen ajanmenekki määritettiin tehotyöaikana, joka ei sisältänyt mitään keskeytyksiä sekä käyttöaikana, joka sisälsi alle 15 minuutin keskeytykset.

Kaivukonealustaisella kannonnostokoneella tehotyöaika jaettiin seuraaviin työvaiheisiin:

1. Puomin vienti kannolle
2. Juurakon maasta irrotus
3. Juurakon paloittelu ja puhdistus
4. Kasaus
5. Maanmuokkaus
6. Nostojäljen tasaus
7. Työpistesiiirto

Aikatutkimuksissa kannonnoston ajanmenekki, kannon tilavuus sekä tuottavuus määritettiin kantoläpimitan perusteella. Avohakkuualalle rajattiin merkkikepein ja kuitunauhoin 25 metriä pitkiä aikautkimuskaistoja, joiden leveys määräytyi nostokoneen työskentelyleveyden mukaan. Aikatutkimuksissa koneen työskentelykaistan leveydeksi mitattiin 13.9 metriä, joten koealan pinta-ala oli 347.5 m<sup>2</sup>. Aikatutkimuskoealoilta mitattiin kantojen läpimitat kaatosahauksen kohdalta ja läpimitat merkittiin pahvilapulla kannon molemmille puolille (kuva 2).

Aikatutkimuksissa nostettiin 410 kuusen kantoa yhteensä 22 koealalta. Maalajina työmailla oli vähäkivinen hieta. Pienet kannot halkaistiin kahtia ja suuret paloiteltiin 3 - 4 kappaleeseen. Noston ja paloittelun yhteydessä kone ravisteli irtoavan maa- ja kiviaineksen kannoista ja kasasi kantopalat metsäkuljetusta varten.



Kuva 2. Esimerkkikanto aikatutkimuskoealalla (Laitila 2006).

## 2.2 Kantojen lähikuljetuksen aikatutkimukset

Kantojen metsäkuljetuksen tuottavuus määritettiin 48:n tienvarteen kuljetetun täyden kuorman perusteella. Aikatutkimuksissa mukana ollut kuormatraktori oli 6-pyöräinen Ponsse Bison S15 B1 vuosimallia 2000 (kuva 3). Valmistajan ilmoittamien tietojen mukaan koneen omapaino on 13.8 tonnia ja kantavuus 12.0 tonnia. Kahmari oli hakkuutähteen korjuuseen tarkoitettu hakkuutähdekoura ja vakiorakenteinen kuormatila oli varustettu Ponssen säädettävällä kuormatilan jatkeella. Kuormatilan sivuille urakoitsija oli jälkiasentanut vaakapalkit, jotka estivät kuormatilan olevien kantojen valumisen telojen päälle lähikuljetuksen aikana.



Kuva 3. Ponsse Bison S15 kuormatraktori (Ala-Fossi 2006).



Aikatutkimuksissa metsäkuljetuksen ajanmenekki määritettiin tehoaikana, joka ei sisältänyt keskeytyksiä sekä käyttöaikana, joka sisälsi alle 15 minuutin keskeytykset.

Kantojen metsäkuljetuksen tehotyöaika jaettiin seuraaviin työvaiheisiin:

- 1 Tyhjänä ajo, matka m
- 2 Kuormaus / taakkojen lukumäärä
- 3 Kuormausajo, matka m
- 4 Kuormattuna-ajo, matka m
- 5 Purku / taakkojen lukumäärä
- 6 Peruuttaminen / kääntyminen
- 7 Varastolla siirtyminen kuorman purkamisen aikana
- 8 Varastopaikan siistiminen

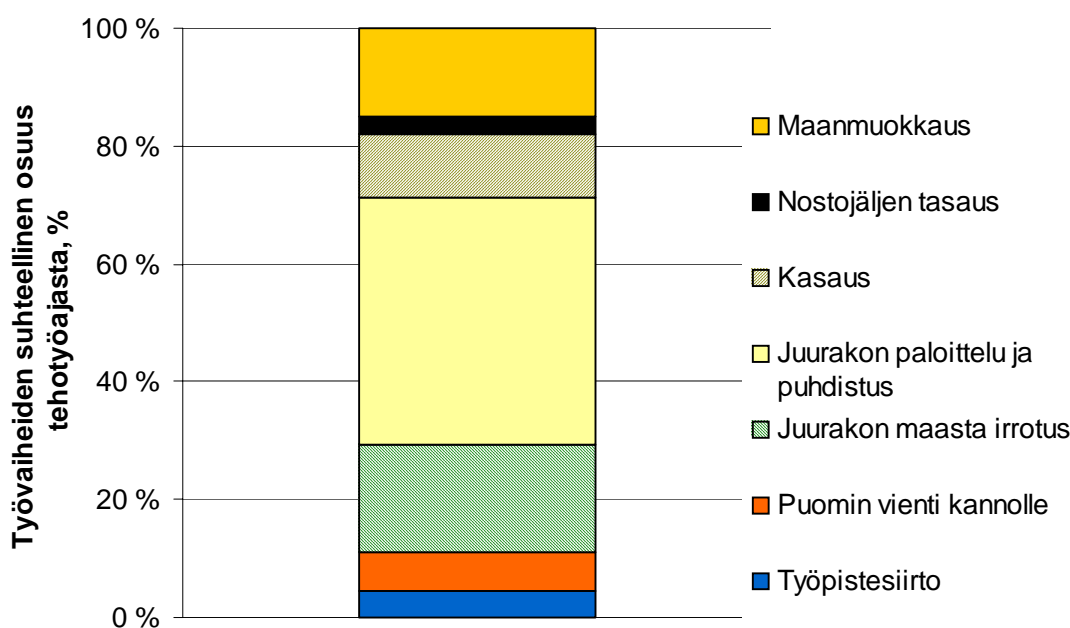
Tyhjänä ajo alkoi, kun kuormatraktori lähti liikkeelle välivarastolta ja päättyi, kun kuormatraktori pysähtyi ensimmäiselle kuormattavalle kourakasalle. Kuormaus alkoi, kun kuormatraktori pysähtyi työpisteelle ja aloitti kuormauksen. Kuormaus päättyi, kun viimeinen kuormattava kourataakka nostettiin kyytiin ja kuormain siirrettiin ajoasentoon. Kuormaukseen kuuluivat kuormaimen venti- ja tuontiliikkeet, kasaus, kuormassa järjestely ja mahdolliset muut kuormauksen aputoimenpiteet. Kuormausajoon kuuluivat siirtymiset kuormauspisteiden välillä. Lisäksi aikatatutkimuksessa eriteltiin kuormausajon yhteydessä tapahtuneet peruuttamiset ja kääntymiset. Kuormattuna ajo alkoi, kun kuormatraktori lähti liikkeelle kuormauksen päätyttyä ja loppui, kun kuormatraktori pysähtyi purkupaikalle. Kuormanpurku alkoi, kun kuormatraktori oli pysähtynyt välivarastolle ja päättyi, kun kuorma oli tyhjä ja kuormatraktori lähti liikkeelle kuorman purkupaikalta. Purkuvaiheeseen kuuluivat kuorman purku ja kasan järjestelyt. Koneen siirtymiset kuorman purkamisen aikana samoin kuin varastopaikan siistiminen kulunut aika kuorman purkamisen jälkeen huomioitiin erikseen.

Kuormauksen ja purkamisen taakkojen lukumäärä laskettiin kuormittain. Tyhjänä ja kuormattuna ajon sekä kuormausajon matka mitattiin lankamittarilla metrin tarkkuudella. Metsäkuljetuksen keskimääräinen kuormakoko määritettiin kaikkien kantojen nostotyömaiden keskiarvona. Työmaiden kannot kuljetettiin terminaaliin, jossa ne murskattiin polttohakkeeksi. Voimalaitokselle toimitetut hake-erät punnittiin ja hakkeesta määritettiin kosteus. Saadut kuivamassat muutettiin kiintotilavuudeksi Hakkilan (1975) kantopuun kuivatuoretiheyskertoimilla. Kanto- ja juuripuun lähikuljetuksen tuottavuus laskettiin kiintokuutiometriä kohden. Aikatutkimustyömailla kannot oli nostettu viisipiikkisellä kantoaharalla ja kannot oli kasattu riviin karhelle.

### **3 Kantojen noston tuottavuus**

#### **3.1 Työvaiheiden osuudet tehoajasta kantojen nostossa**

Aikatutkimuksissa kantopuun puhdistamiseen ja paloitteluun kului 42 prosenttia tehotyöajasta (kuva 4) ja kannon maasta irrottamiseen 18 prosenttia tehotyöajasta. Maanmuokkauksen sekä kantojen kasauksen osuus tehoajasta oli 15 ja 11 prosenttia. Nostojäljen tasauksen, työpistesiiirron ja puomin kannolle viennin osuus oli puolestaan 3 - 7 prosenttia kaivukoneen tehotyöajasta.



Kuva 4. Työvaiheiden suhteellinen osuus tehotyöajasta aikatutkimuksissa.

## 3.2 Kantojen noston ja maanmuokkauksen ajanmenekki

Aikatutkimusten perusteella laadittiin työvaiheittaiset ajanmenekkimallit kantojen noston tuotavuudelle. Kannon prosessointiajan ajanmenekkiin laskettiin mukaan puomin vienti kannolle, juurakon maasta irrotus, juurakon paloittelu ja puhdistus, kasaus sekä nostojäljen tasaus. Työpistesiiirron ajanmenekkiin laskettiin koneen siirtymisen työpisteeltä toiselle kulunut aika. Kannon prosessoinnin ajanmenekki-funktiossa selittävänä tekijänä oli kantoläpimitta ja työpistesiiirron ajanmenekki-funktiossa kantojen kappalemäärä hehtaarilla.

### 3.2.1 Työpistesiiirron ajanmenekki

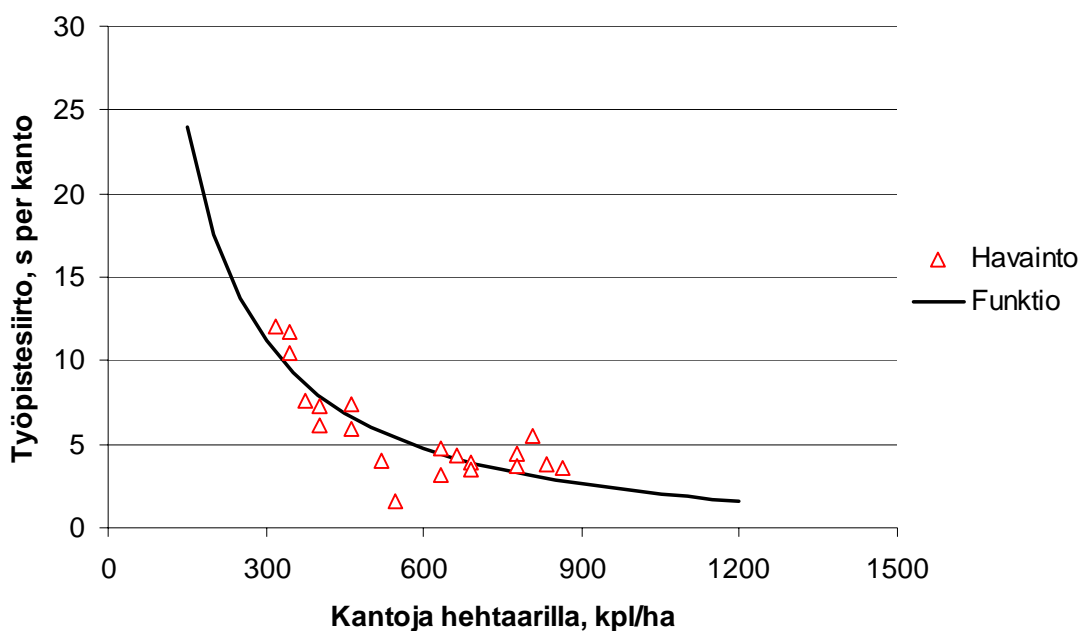
Kantojen hehtaarikohtaisen kappalemäärän lisääntyessä, kantokohtainen siirtymisajanmenekki laskee (kuva 5), kun samasta työpisteestä voidaan prosessoida aiempaa enemmän kantoja. TELA-alustaisen kaivukoneen työpistesiiirron ajanmenekki-funktio oli muotoa:

$$T_{Siirt.} = -1.630 + 3838.892 \cdot \frac{1}{x}$$

$T_{Siirt.}$  = Siirtymisaika per kanto, s

$x$  = Nostettavia kantoja hehtaarilla, kpl/ha

$r^2$  = 0.74



Kuva 5. Kantojen määrän vaikutus kantokohtaiseen siirtymisajanmenekkiin

### 3.2.2 Kantojen prosessoinnin ajanmenekki

Kantoläpimitan kasvaessa kannon prosessoinnin ajanmenekki kasvoi (kuva 6). Suuret kannot ovat tiukemmin maassa kiinni kuin pienet, koska niiden juuristo on laajempi. Luonnollisesti suurten kantojen paloitteluun ja kantopalojen kasaukseen kuluu myös aikaa enemmän kuin pienillä kannoilla. Suurilla puilla korkeat juurenniskat voivat haitata kaatosahausta, minkä vuoksi suuret kannot jäävät usein korkeiksi. Korkeiden kantojen halkaisu ja paloittelu on hitaampaa kuin lyhyiden kantojen prosessointi.

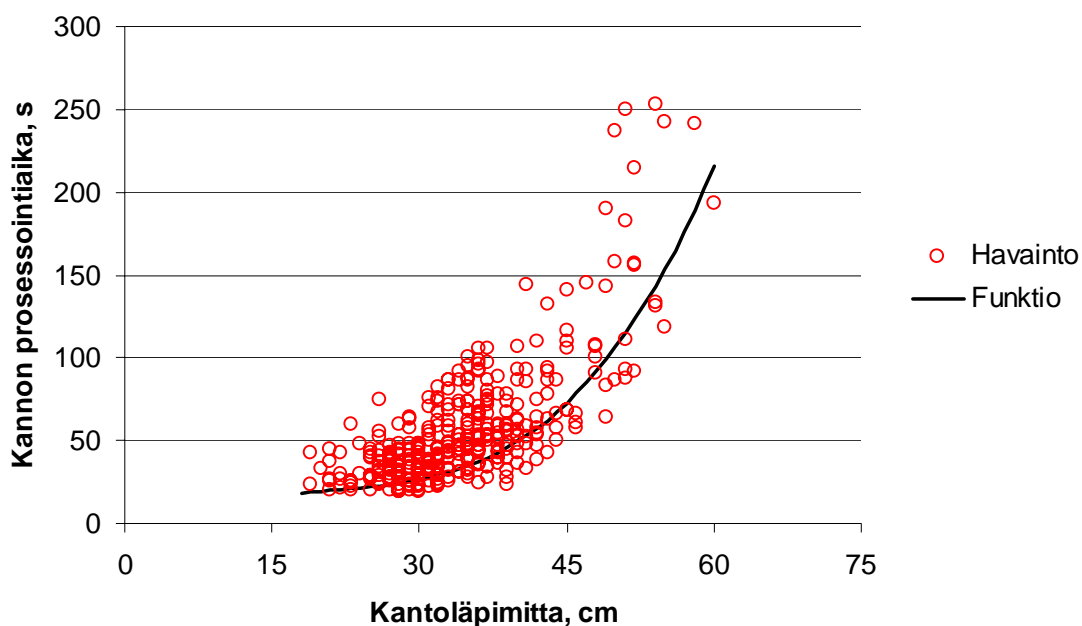
Kuusen kantojen noston ja paloittelun ajanmenekkipunktio oli muotoa:

$$T_{Nosto} = -18.474655 + 4.944438d - 0.189565d^2 + 0.002995d^3$$

$T_{Nosto}$  = Nosto ja paloittelu-aika, s per kuusen kanto

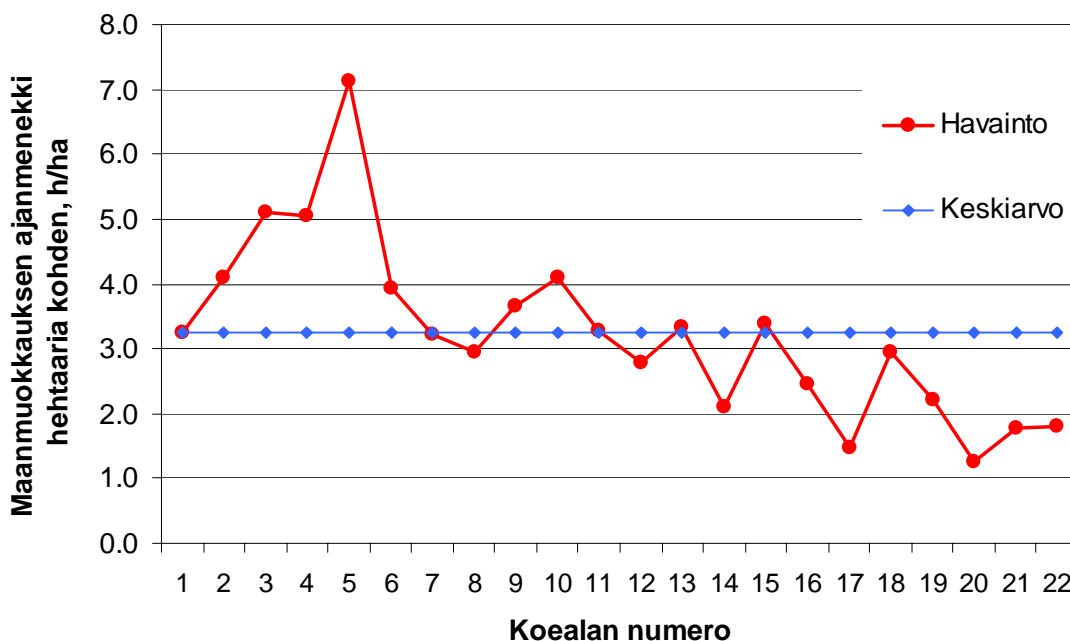
$d$  = Nostettavan kannon kantoläpimitta, cm

$r^2$  = 0.63



Kuva 6. Kantojen prosessointiaika kantoläpimitan mukaan.

### 3.2.3 Maanmuokkauksen ajanmenekki



Kuva 7. Maanmuokkauksen ajanmenekki nostotyön yhteydessä eri koealoilla.

Maanmuokkauksen osuus kantojen noston tehoajanmenekistä oli keskimäärin 3.24 tuntia hehtaarille. Suurimmillaan maanmuokkauksen ajanmenekki oli 7.14 tuntia hehtaarille ja pienimmillään 1.26 tuntia hehtaarille (kuva 7). Aikatutkimuksessa vaihtelu eri koealojen välillä oli suurta ja etenkin ensimmäisillä koealoilla kuljettaja teki liikaa muokkausjälkeä istutuspaikkojen tar-

peeseen nähden. Kuusen normaali istutustiheys on 1800 - 2000 tainta hehtaarille ja koivulla noin 1600 tainta hehtaarille (Harstela 2004).

Maanmuokkauksen käytetty kantokohtainen ajanmenekki  $T_{Muokkaus}$  saadaan, kun maanmuokkaukseen kulunut aika  $T_{Pinta-ala}$  (h/ha) jaetaan nostettujen kantojen kappalemäärällä (kpl/ha).

$$T_{Muokkaus} = \frac{T_{Pinta-ala}}{x}$$

$T_{Muokkaus}$  = Maanmuokkaukseen käytetty kantokohtainen aika, s per kuusen kanto

$T_{Pinta-ala}$  = Maanmuokkaukseen kulunut aika, h/ha

x = Nostettavia kantoja hehtaarilla, kpl/ha

### 3.2.4 Tulosten tarkastelu

Kuusen kantojen noston ja siihen yhdistetyn maanmuokkauksen kantokohtainen ajanmenekki,  $T_{Kanto}$  (sekuntia per kanto) saadaan osatyövaiheiden summana. Pelkän nostotyön kantokohtainen aika saadaan työpistesiiiron ( $T_{Siirt}$ ) ja kantojen prosessoinnin ( $T_{Nosto}$ ) ajanmenekkien summana.

$$T_{Kanto} = T_{Siirt} + T_{Nosto} + T_{Muokkaus}$$

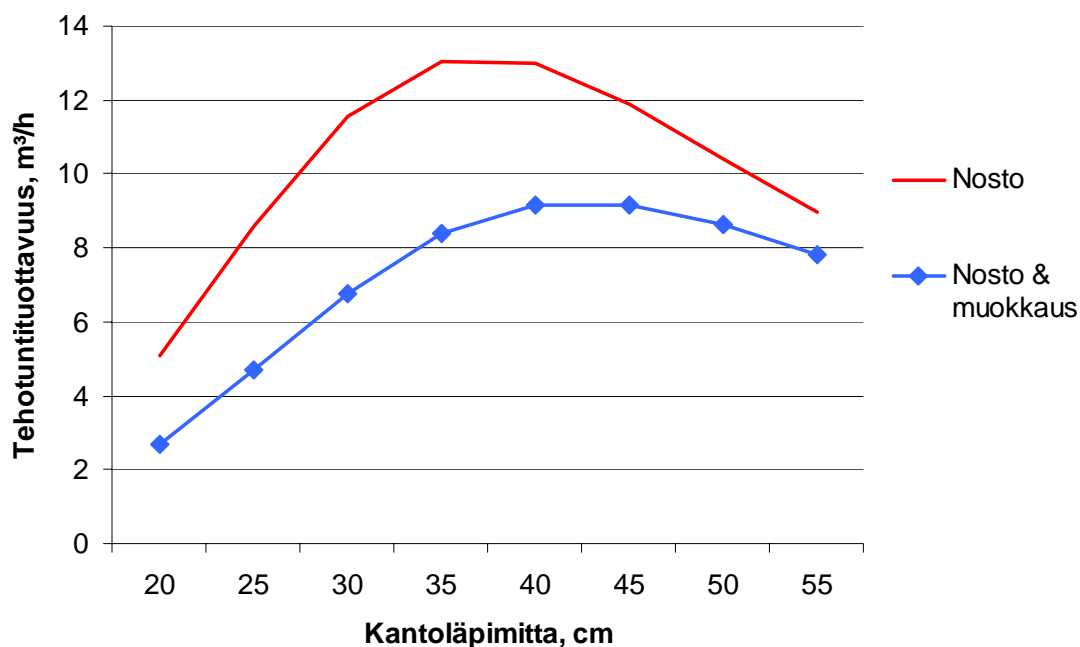
Kantojen korjuun kantoläpimittakohtaiset ajanmenekit ( $T_{Kanto}$ ) saadaan muutettua tuottavuuksiksi ( $m^3/h$ ) Hakkilan (1976) kantopuun tilavuusyhtälön avulla.

Malli  $y = -7 + 0.051d^2$ , laskee kuusen kannon kuivamassan ( $y$ , kg) juurenniskan yläpuolelta mitatun kantoläpimitan ( $d$ , cm) perusteella (Virhe mallissa korjattu 3.3.2008). Kannon kuivamassa ( $y$ ) muutetaan kiintotilavuudeksi ( $m^3$ ) kuorellisen kantopuun kuivatuoretiheydellä  $432 \text{ kg/m}^3$  (Hakkila 1975).

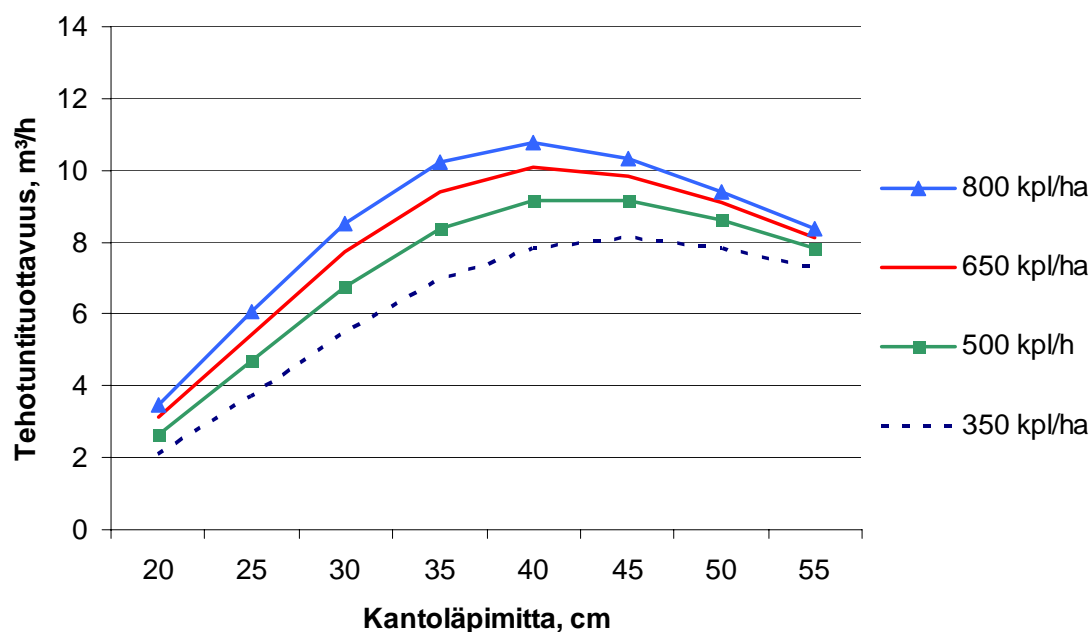
Em. kantobiomassamalli ei ota huomioon alle 5 cm paksuisia juurensia, joita tulee nostossa mukaan. Lisäksi kaatosahaus asettuu koneellisessa korjuussa juurenniskaa ylemmäksi, jolloin puuta jää kantaan mallin antamaa arvoa enemmän. Käytännön korjuutoiminnassa on havaittu, että kantopuun kertymä on 25 - 30 prosenttia runkopuun kertymästä (Hakkila 2004), kun aiemmin kuusen kannon tilavuusosuudeksi on valtakunnallisissa laskelmissa oletettu 24 prosenttia (Hakkila 1976). Kantobiomassamallia korjattiin vastaamaan käytännön toiminnassa havaittuja saantoja kertoimella 1.17, kun laskettiin kantojen korjuun tuottavuuksia ( $m^3/h$ ).

Kuvassa 8 on havainnollistettu kantoläpimitan vaikutusta kantojen noston tuottavuuteen, kun nostettavia kantoja on 500 kappaletta hehtaarilla. Laskelma tehtiin vaihtoehdoille, joissa kaivukone keskittyy pelkästään kantojen nostoon, tai nosto ja maanmuokkaus tehdään samalla kertaa. Kuvasta 8 nähdään, että kantoläpimitoilla 35 - 40 cm nostotyön tuottavuus tasaantuu ja 40 cm kantoläpimitan jälkeen se kääntyy selvään laskuun. Työmenetelmässä, jossa nostotyö ja maanmuokkaus nivoutuvat toisiinsa, tuottavuuskäyrän muoto on loivempi, koska maanmuokkauksen vakiona pysyvä ajanmenekki tasaa nostotyön kantoläpimitan mukaista ajanmenekin vaihtelua. Tulosten mukaan 40 cm kantoläpimitalla nostotyön tuottavuus on  $13.0 \text{ m}^3/\text{tehotunnissa}$  ja  $9.2 \text{ m}^3/\text{tehotunnissa}$ , kun nosto- ja muokkaustyö nivoutuvat toisiinsa (kuva 8).

Kannoilla, joiden läpimitta on 40 cm tai sitä enemmän, nostotyön ajanmenekki kasvaa nopeammin kuin kannon tilavuus suurenee. Pääsyy tuottavuuden alenemiseen oli aikatutkimuksissa käytetyn kaivukoneen keveys, sillä koneen peräosa pyrki nousemaan ylös suurten kantojen nostossa.

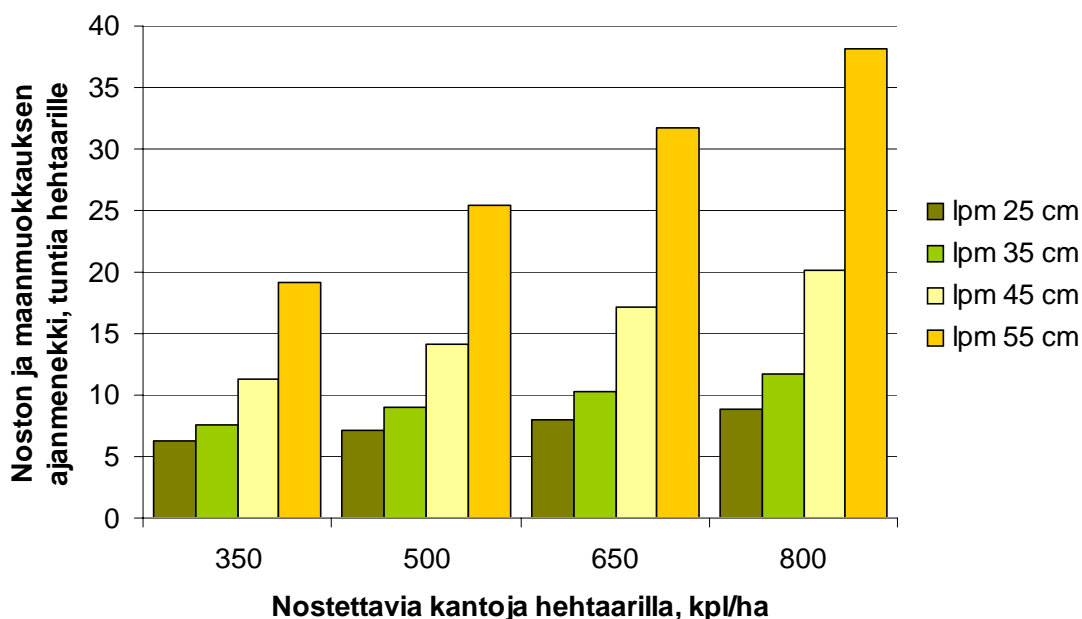


Kuva 8. Kantojen korjuun tuottavuus (m³/h) eri kantoläpimitoilla, kun nostotyön ohessa tehdään maanmuokkaus, tai kun kaivukone keskittyy pelkästään kantojen nostoon. Kantoja 500 kpl/ha.



Kuva 9. Kantojen korjuun tuottavuus (m³/h) eri kantoläpimitoilla ja kantojen hehtaariheijyksillä, kun nostotyön ohessa tehdään maanmuokkaus.

Nostettavien kantojen kappalemäärä vaikuttaa työpistesiiirtojen määrään ja ajanmenekkiin ja sitä kautta työn tuottavuuteen kokonaisuudessaan. Kantoläpimitoilla 30 - 40 cm, nostettavien kantojen määrän nousu 350 kannosta 800 kantaan hehtaarilta, paransi maanmuokkaukseen yhdistetyn nostotyön tuottavuutta 2.9 - 3.3 m<sup>3</sup> tehottunnissa (kuva 9). Tela-alustaisten kaivukoneiden maastoliikkuvuusominaisuudet eivät ole niin hyvät kuin pyöräalustaisilla metsäkoneilla, joten työpistesiiirron vaikutus tuottavuuteen on kannonnostossa selvästi suurempi kuin esim. koneellisessa hakkuussa.



Kuva 10. Nostettavien kantojen kappalemäärän ja kantoläpimitan vaikutus nostotyön tuottavuuteen hehtaaria kohden laskettuna, h/ha. Maanmuokkauksen ajanmenekki mukana.

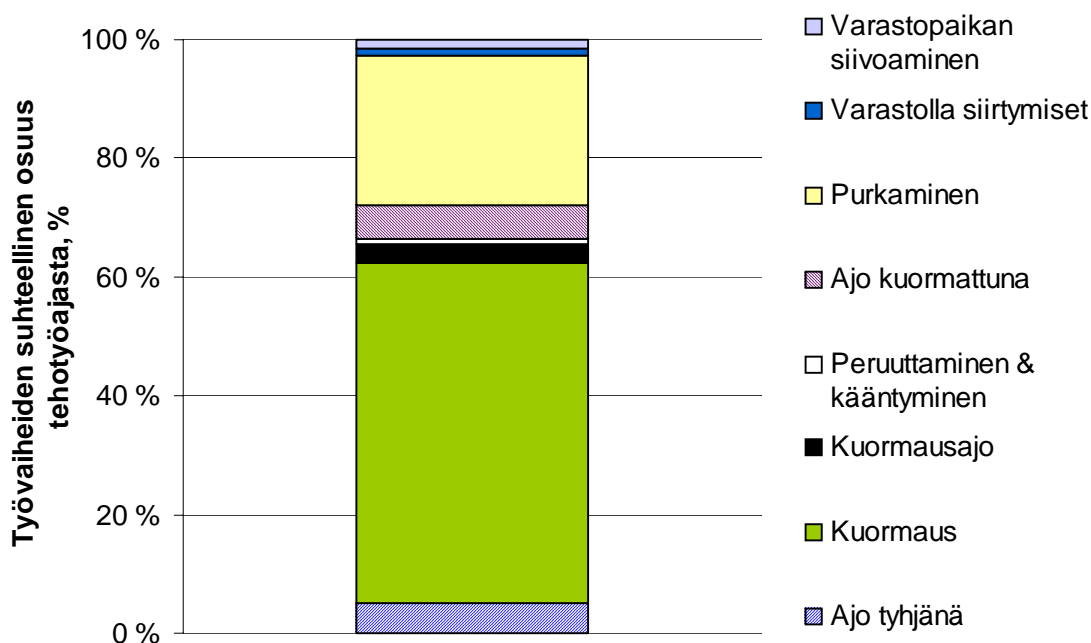
Nostettavien kantojen läpimitta ja niiden kappalemäärä hehtaarilla vaikuttavat ratkaisevasti yhdistetyn maanmuokkauksen ja kantojen noston hehtaarikohtaiseen ajanmenekkiin (kuva 10). Esimerkiksi työmaalla, jossa nostettavia kantoja on 500 kappaletta hehtaarilla, 25 cm kantoläpimitalla ajanmenekki on 7.2 tuntia hehtaarille, 35 cm läpimitalla 8.9 tuntia, 45 cm läpimitalla 14.2 tuntia ja 55 cm läpimitalla 25.4 tuntia. Jos työmaalla on nostettavia kantoja 800 kappaletta hehtaarilla, niin vastaavat ajanmenekit ovat 8.9, 11.7, 20.1 ja 38.1 tuntia hehtaarille (kuva 10).

## 4 Kantojen lähikuljetuksen tuottavuus

### 4.1 Työvaiheiden osuudet lähikuljetuksen ajanmenekistä aikatutkimuksissa

Aikatutkimuksissa kantojen lähikuljetuksessa kuormaukseen kului 57 prosenttia tehotyöajasta ja kuorman purkamiseen tienvarsivarastolla 25 prosenttia tehotyöajasta (kuva 11). Kun otetaan huomioon kuormatraktorin siirtymiset varastopaikalla kuorman purkamisen yhteydessä (1 %) ja varastopaikan siistimiseen kulunut aika (1 %), oli kuorman purkamisen ajanmenekki yhteensä 27 prosenttia tehotyöajasta. Kuormausajon osuus tehoajasta oli 3 prosenttia ja kuormausajoon liittyvän peruuttelun ja kääntymisten osuus 1 prosenttia tehotyöajasta. Tyhjällä kuormalla ajon osuus oli 5 prosenttia ja kuormattuna ajon 6 prosenttia tehotyöajasta (kuva 11).

Lähikuljetuksessa ajomatka vaihteli tyhjällä kuormalla välillä 34 - 345 metriä ja kuormattuna ajossa välillä 15 - 340 metriä. Kantopuun ajouranvarsitiheys vaihteli välillä 5.9 - 37.4 m<sup>3</sup>/100 m ajouraa. Hehtaarikertymäksi muutettuna kantopuun määrä oli 30 - 187 m<sup>3</sup>/ha, kun kantokarhojen välinen etäisyys oli keskimäärin 20 - 25 metriä ja hehtaaria kohden ajouraa oli 500 metriä. Lähikuljetuksen keskimääräinen kuormakoko oli 8.6 m<sup>3</sup> kanto- ja juuripuuta.



Kuva 11. Työvaiheiden suhteellinen osuus tehotyöajasta aikatutkimuksissa.

## 4.2 Kantojen lähikuljetuksen ajanmenekkimallit

### 4.2.1 Tyhjällä kuormalla ajo

Kuormatraktorin tyhjällä kuormalla ajon ajanmenekifunktiossa selittävänä tekijänä oli metsäkuljetusmatka (kuva 12). Tyhjällä kuormalla ajon ajanmenekifunktio oli muotoa:

$$T_{\text{Tyhjä-ajo}} = \frac{14.599 + 1.042l_t}{v_k}$$

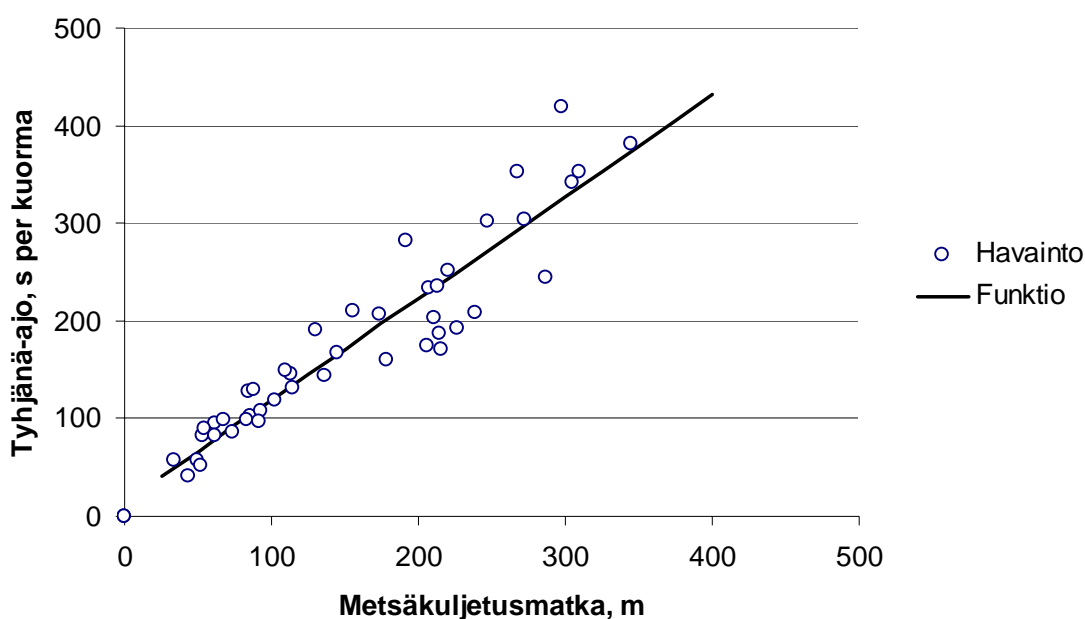
$T_{\text{Tyhjä-ajo}}$  = Tyhjällä kuormalla ajon ajanmenekki, s per m<sup>3</sup>

$l_t$  = Tyhjällä kuormalla ajomatka, m

$v_k$  = Kuormakoko, m<sup>3</sup>

$r^2 = 0.892$

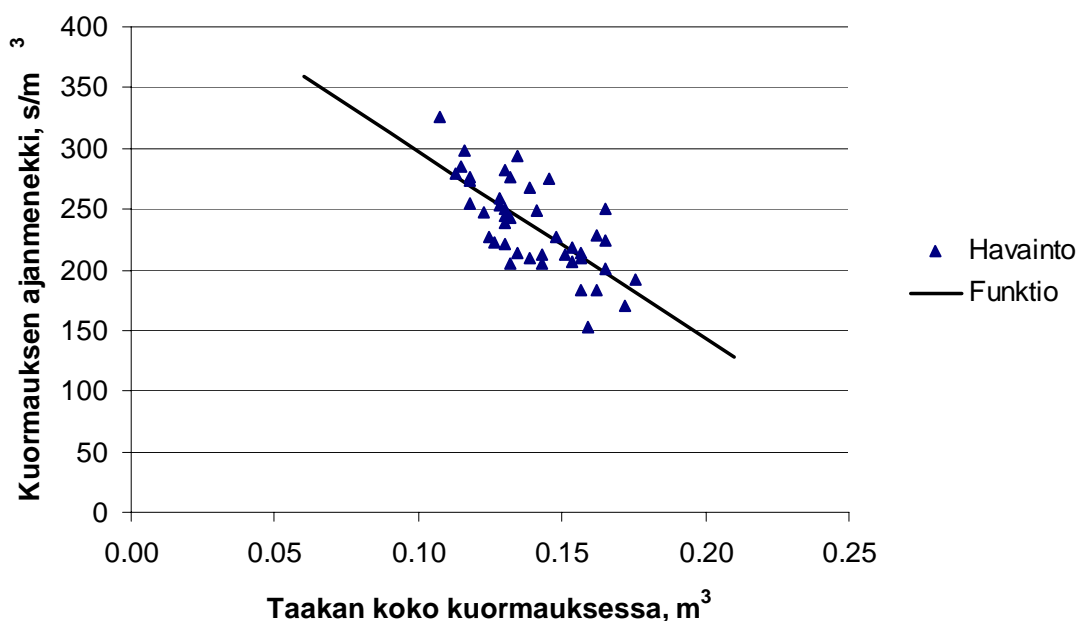




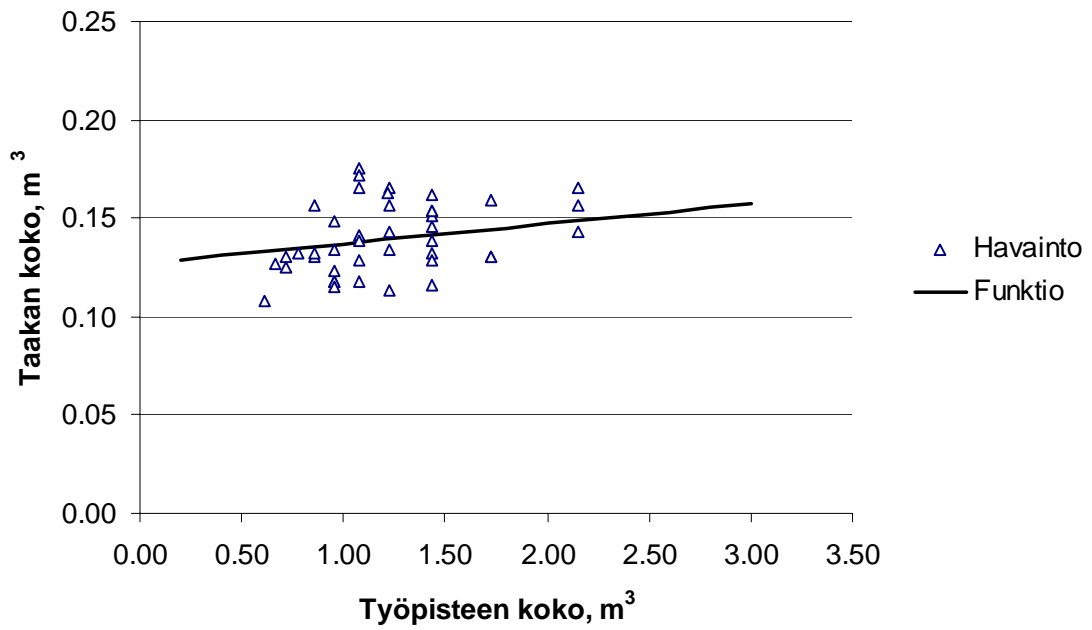
Kuva 12. Metsäkuljetusmatkan vaikutus tyhjällä kuormalla ajon ajanmenekkiin, s per kuorma.

#### 4.2.2 Kuormaus

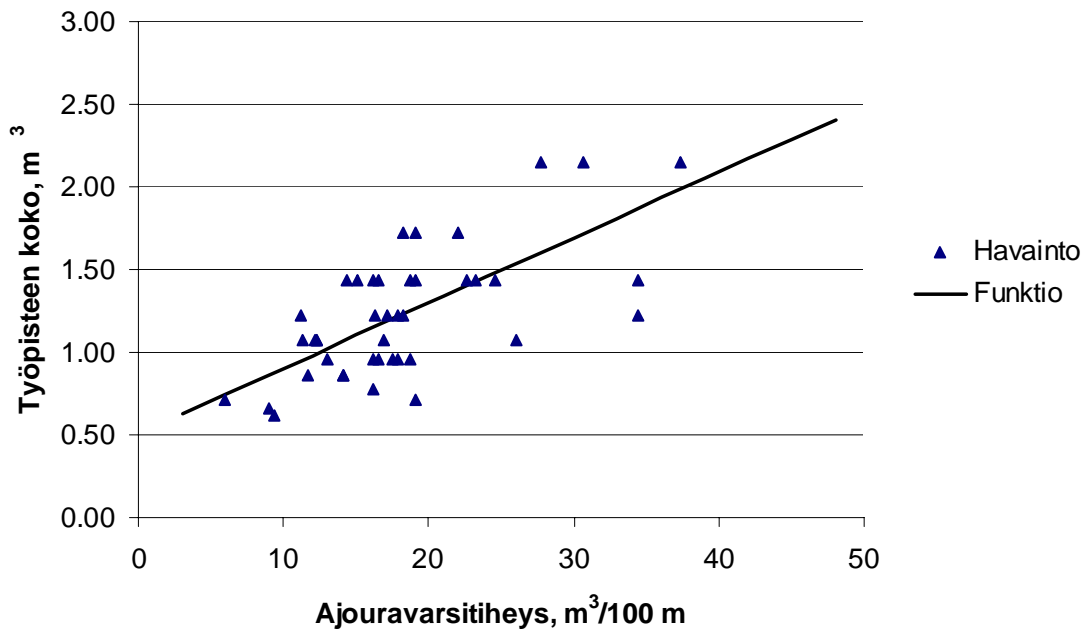
Kantopuun lähikuljetuksessa kuormauksen ajanmenekkiin ( $s/m^3$ ) vaikutti kuormataakan koko (kuva 13). Kuormataakan koko johdettiin työpisteen koon perusteella (kuva 14), joka puolestaan määritettiin ajouranvarsitiheyden perusteella (kuva 15). Sekä taakan koon että työpisteen koon oletettiin kasvavan lineaarisesti kantopuun määrän mukaan (kuvat 14 ja 15).



Kuva 13. Taakkakoon vaikutus kantopuun kuormauksen ajanmenekkiin.



Kuva 14. Työpisteen koon vaikutus kantopuun kuormauksen taakkakokoon.



Kuva 15. Ajouravarsitiheyden vaikutus työpisteen kokoon.

Kantopuun kuormauksen ajanmenekkimalli oli muotoa:

$$T_{Kuormaus} = 451.347 - 1539.249 * v_{Taakka}$$

$T_{Kuormaus}$  = Kantopuun kuormauksen ajanmenekki, s per m<sup>3</sup>

$v_{Taakka}$  = Taakkakoko kantopuun kuormauksessa, m<sup>3</sup>

$$r^2 = 0.534$$

Jossa taakan koko kuormauksessa laskettiin työpisteen koon mukaan:

$$v_{Taakka} = 0.127 + 0.0101 * L_{Työpiste}$$

$v_{Taakka}$  = Taakkakoko kantopuun kuormauksessa, m<sup>3</sup>

$L_{Työpiste}$  = Työpisteen koko, m<sup>3</sup>

$$r^2 = 0.68$$

Jossa työpisteen koko kuormauksessa johdettiin ajouravarsitiheyden mukaan:

$$L_{Työpiste} = 0.510 + 0.03947z$$

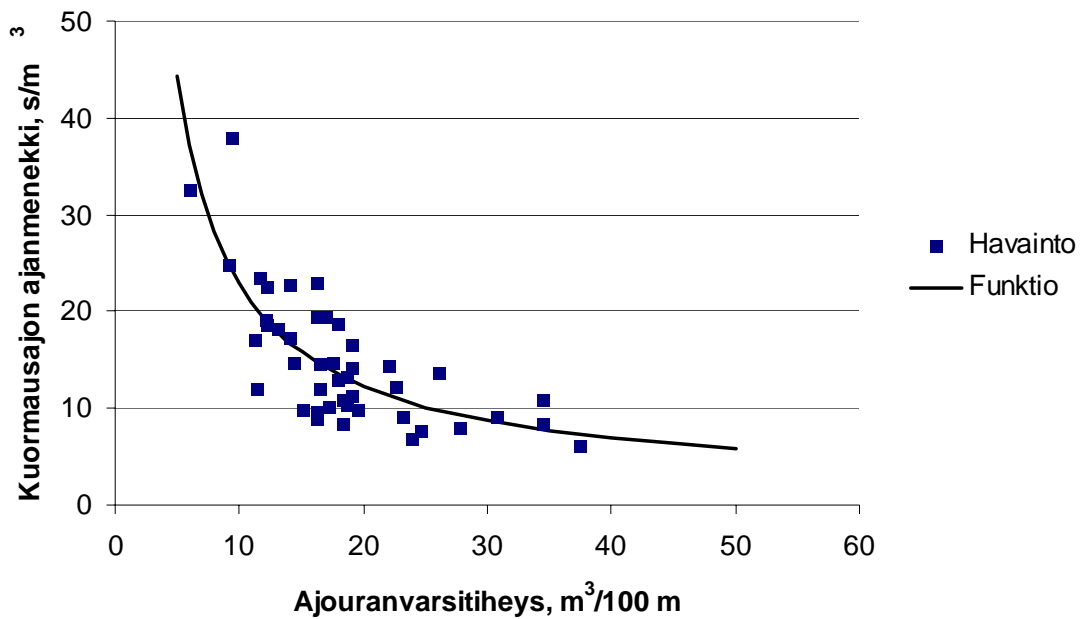
$L_{Työpiste}$  = Työpisteen koko, m<sup>3</sup>

$z$  = Ajouravarsitiheys, m<sup>3</sup> per 100 metriä ajouraa

$$r^2 = 0.704$$

### 4.2.3 Kuormausajo

Työpistesiiirtojen määrä ja kuormausajomatka riippuu kantopuun kertymästä. Kuormausajon ajanmenekki pienenee kiintokuutiometriä kohden, kun samalta paikalta kuormattavan kantopuun määrä kasvaa ja kun kuorma tulee täyteen lyhyemmältä kuormausajomatkalta. Kuormausajon ajanmenekki mallinnettiin ajouravarsitiheyden (m<sup>3</sup>/100 m) mukaan (kuva 16). Varsinaiseen kuormausajon ajanmenekkiin lisättiin palstalla peruutteluun ja kääntymiseen keskimäärin kulunut aika, joka oli aikatutkimuksissa keskimäärin 3.0 s/m<sup>3</sup>.



Kuva 16. Ajouranvarsitiheyden vaikutus kuormausajon ajanmenekkiin, s/m<sup>3</sup>.

$$T_{\text{Kuormausajo}} = 1.540 + \frac{214.224}{z} + a$$

$T_{\text{Kuormausajo}}$  = Kuormausajon ajanmenekki kanto puun lähikuljetuksessa, s per m<sup>3</sup>

$z$  = Ajouranvarsitiheys, m<sup>3</sup> per 100 m ajouraa

$a$  = Kuormausajon apuaika, peruuttamiset yms., s/m<sup>3</sup>

$$r^2 = 0.678$$

#### 4.2.4 Kuormattuna-ajo

Kuormatraktorin kuormattuna-ajon ajanmenekkipunktiossa selittävänä tekijänä oli metsäkuljetusmatka (kuva 17). Kuormattuna ajon ajanmenekkipunktio oli muotoa:

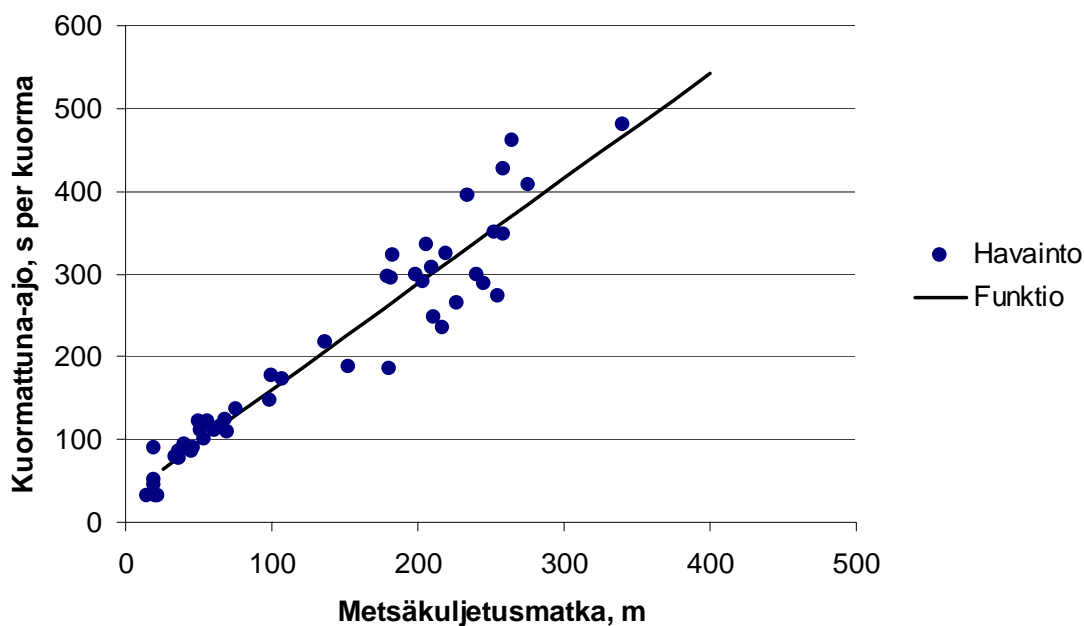
$$T_{\text{Kuormattuna-ajo}} = \frac{31.354 + 1.280l_k}{v_k}$$

$T_{\text{Kuormattuna-ajo}}$  = Kuormattuna ajon ajanmenekki, s per m<sup>3</sup>

$l_k$  = Kuormattuna ajomatka, m

$v_k$  = Kuormakoko, m<sup>3</sup>

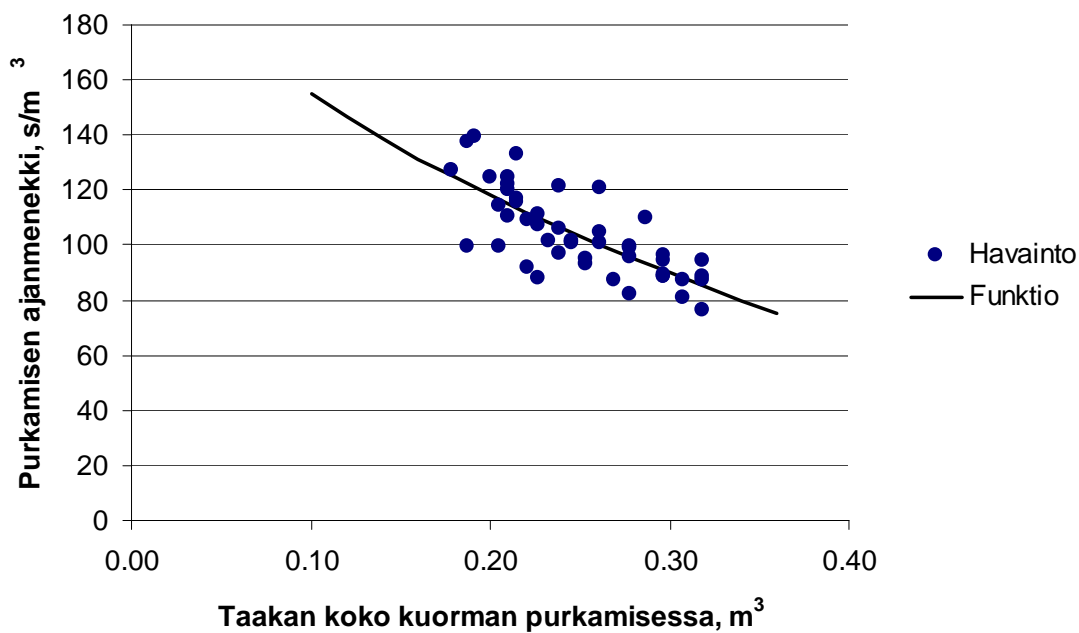
$$r^2 = 0.918$$



Kuva 17. Metsäkuljetusmatkan vaikutus kuormattuna-ajon ajanmenekkiin, s per kuorma.

#### 4.2.5 Kuorman purku

Kantokuorman purkamisen ajanmenekki-funktiossa selittävänä tekijänä oli purkutaakan koko (kuva 18), joka aikatutkimuksissa oli keskimäärin  $0.25 \text{ m}^3$ . Varastopaikan siistimiseen ja koneen siirtymisiin kuorman purkamisen aikana kului keskimäärin  $11.0 \text{ s/m}^3$ , eli noin 11 % keskimääräisestä purkuajasta.



Kuva 18. Taakan koon vaikutus kuorman purkamisen ajanmenekkiin.

$$T_{Purku} = 243.905 - 281.272 * \sqrt{v_{Purku}} + b$$

$T_{Purku}$  = Kantokuorman purkamisen ajanmenekki, s per m<sup>3</sup>

$v_{Purku}$  = Purkutaakan koko, m<sup>3</sup>

$b$  = Purkamisen apuaika, 11 s/m<sup>3</sup>

$$r^2 = 0.565$$

#### 4.2.6 Tulosten tarkastelu

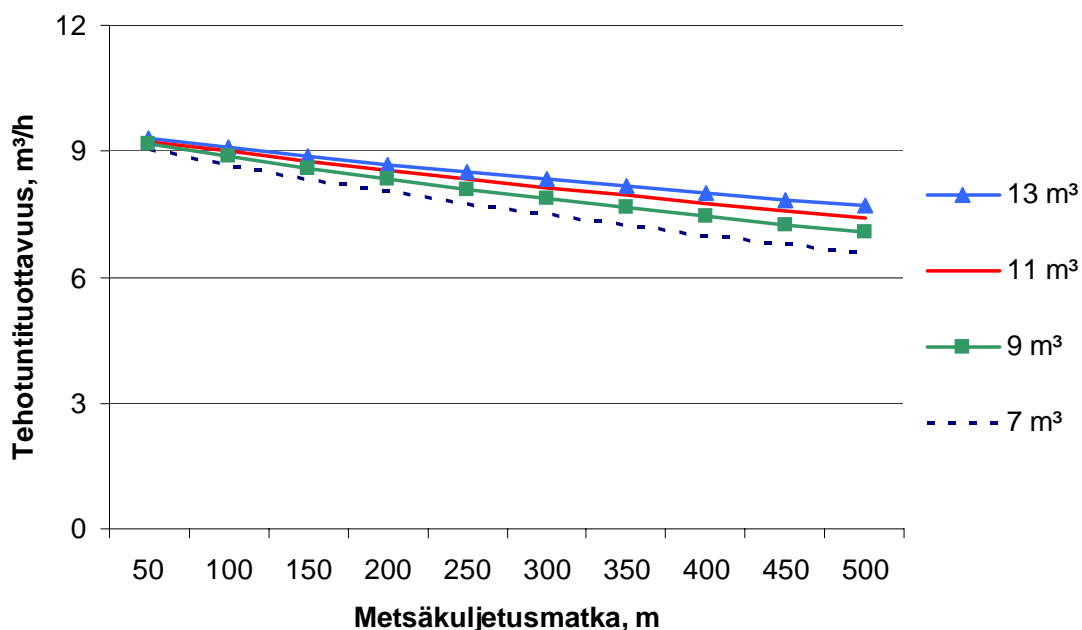
Kantojen lähikuljetuksen tehoajanmenekki  $T_{M-Kuljetus}$  (sekuntia per m<sup>3</sup>) saadaan osatyöväihteiden summasta.

$$T_{M-Kuljetus} = T_{Tyhjä-ajo} + T_{Kuormaus} + T_{Kuormausajo} + T_{Kuormattuna-ajo} + T_{Purku}$$

Kuormakohtainen ajanmenekki ( $T_{Kuorma}$ ) saadaan kertomalla kiintokuutiometri kohtainen tehoajanmenekki  $T_{M-Kuljetus}$  kuormakoolla  $v_k$ .

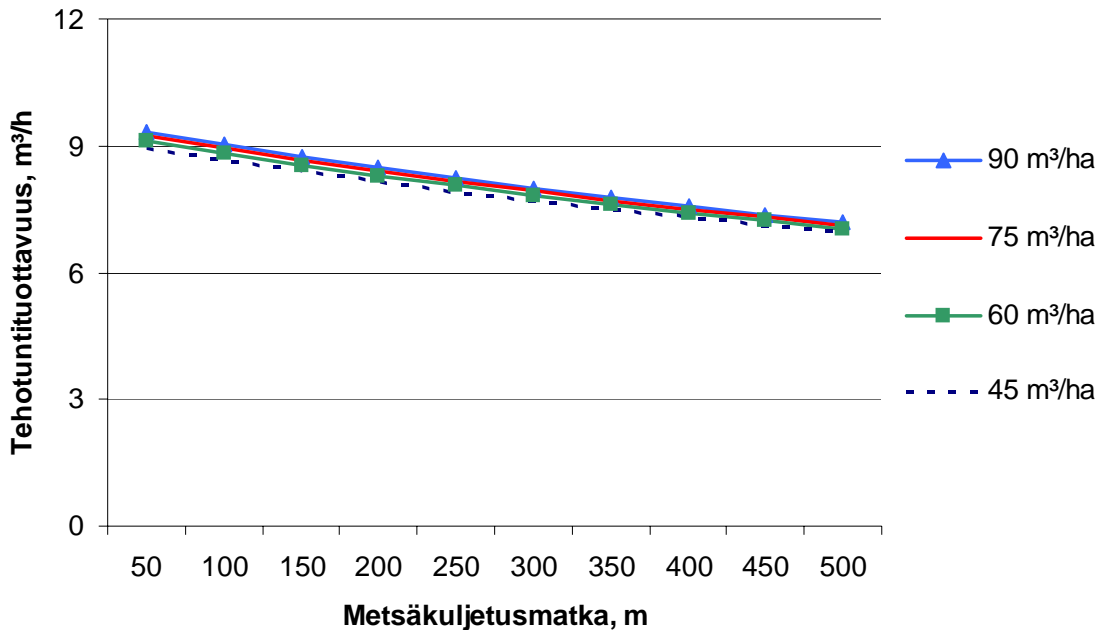
$$T_{Kuorma} = T_{M-Kuljetus} * v_k$$

Kantojen lähikuljetuksen tuottavuus oli aikatutkimusten perusteella 7.8 m<sup>3</sup> tehotunnissa, kun metsäkuljetusmatka oli 250 metriä, kuormakoko 7.0 m<sup>3</sup> ja kantojen kertymä hehtaarilta 60 m<sup>3</sup> (kuva 19). Kuormakoon kasvattaminen 7.0 m<sup>3</sup>:sta 13.0 m<sup>3</sup>:iin paransi tuottavuutta 1.0 m<sup>3</sup> tehotunnissa. Tuottavuus reagoi kuormakoon kasvuun maltillisesti, koska kuormattuna ja tyhjänä ajon osuus kantojen metsäkuljetuksen koko ajanmenekistä on suhteellisen pieni.

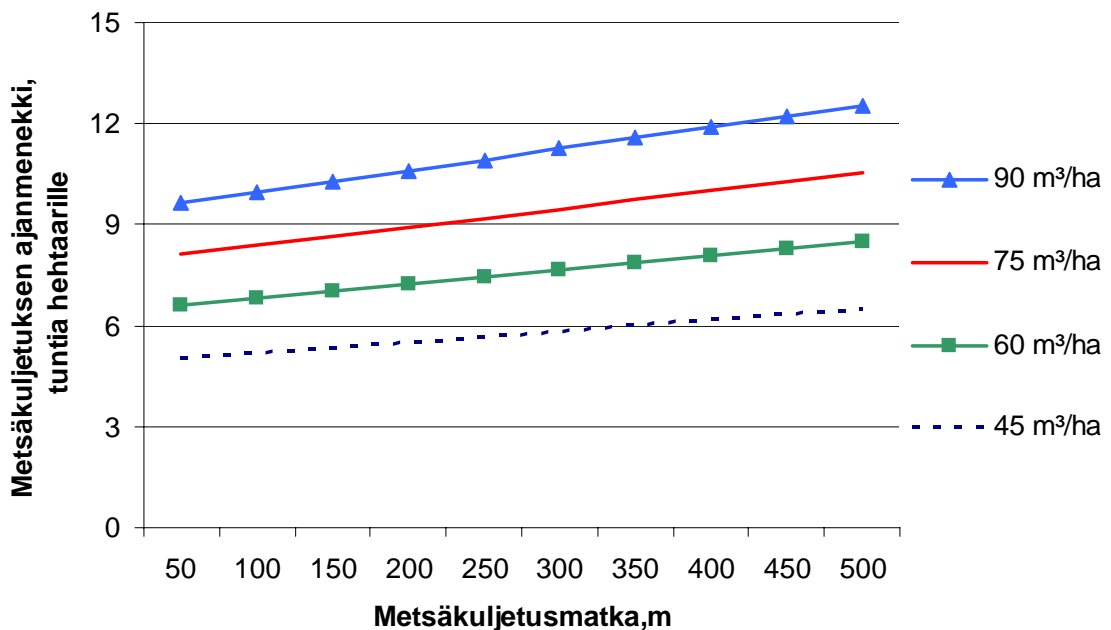


Kuva 19. Kantokuorman koon vaikutus lähikuljetuksen tuottavuuteen, m<sup>3</sup>/h, kun kertymä on 60 m<sup>3</sup>/ha.

Kantojen hehtaarikertymän vaikutus metsäkuljetuksen tuottavuuteen ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) oli vähäistä (kuva 20). Syynä lienee se, että kaivukoneella nostetut kannot olivat esikasattuina karhoina 20 - 25 metrin välein, mikä paransi kuormaustyön tuottavuutta ja lisäsi sitä kautta ajouranvarsitiheyttä.



Kuva 20. Kantojen hehtaarikertymän vaikutus lähikuljetuksen tuottavuuteen,  $\text{m}^3/\text{h}$ .



Kuva 21. Kantojen hehtaarikertymän vaikutus lähikuljetuksen tuottavuuteen, tehoajanmenekki hehtaaria kohden.

Kantojen hehtaarikertymällä sen sijaan oli vaikutusta tuottavuuteen, jos lähikuljetuksen tuottavuus ilmaistiin ajanmenekkinä hehtaaria kohden (Kuva 21). Työmaalla, jossa kantojen hehtaarikertymä oli  $45 \text{ m}^3/\text{ha}$ , kuormakoko  $9.0 \text{ m}^3$  ja lähikuljetusmatka 250 metriä, tehoaikaa kantojen metsäkuljetukseen kului 5.7 tuntia hehtaarille. Työmaalla, jossa hehtaarikertymä oli  $90 \text{ m}^3/\text{ha}$ , aikaa kantojen kuljettamiseen kului 11.0 tuntia hehtaaria kohden laskettuna (Kuva 11). Käytän-

nössä ero hehtaarikohtaisessa ajanmenekissä johtuu yksinkertaisesti siitä, että 90 m<sup>3</sup>/ha työmaalta tulee ajettavaksi enemmän kantokuormia kuin 45 m<sup>3</sup>/ha työmaalta.

## 5 Johtopäätökset

Kannot olivat puhtaita maasta ja kivistä sekä metsäkuljetuksen että kantojen noston aikatutkimuksessa. Myös kantojen paloittelu oli ohjeiden mukaista nostotyön aikatutkimuskoealoilla. Alle 25 – 30 cm kannot halkaistiin kahtia ja suuremmat paloiteltiin 3 - 4:ään osaan noston yhteydessä. Kantojen korjuussa oleellista on, että kannot puhdistetaan kivistä ja kivennäismaasta noston aikana yhdellä kertaa. Kantojen puhdistaminen toistamiseen metsäkuljetuksen tai auto- kuljetuksen aikana ei ole mielekästä eikä tehokasta ja aiheuttaa turhia kustannuksia. Kontrollia epäpuhtauksien osalta ei kuitenkaan pidä unohtaa korjuuketjun missään vaiheessa ja epäpuhtauksia variseekin pois, kun kantoja käsitellään matkalla leimikolta käyttöpaikalle. Voimalaitoksen kattilaan asti kulkeutuneet epäpuhtaudet sintraantuvat tulipesässä ja aiheuttavat ongelmia laitoksen toiminnalle.

Aikatutkimuksissa käytetty kaivukone oli tehokas yksikkö niillä koealoilla, joilla kantoläpimitta oli alle 40 cm. Kyseinen koneyksikkö onkin sopiva esim. Kainuun, Pohjanmaan ja Satakunnan kantojen nostotyömaille, joilla nostettavien kantojen läpimitat usein ovat pienempiä kuin esim. Järvi-Suomen alueella. Suuremmilla kantoläpimitoilla kuin 40 cm peruskoneen massan lisäys parantaisi nostokoneen vakautta ja parantaisi nostotyön tehokkuutta. Kaivukoneeseen asennettu ”Kantokunkku” kantojen nosto ja pilkontalaite oli yksinkertainen ja toimiva laite kantojen korjuuseen. Kantojen kasaustyössä kantopaloja pystyi poimimaan kauhasylinterin liikkeillä nostokoukun ja vastaterän väliin, mikä paransi kasaustyön tehokkuutta ja helpotti kantojen käsittelyä palstalla.

Nostotyössä kantojen puhdistamista voisi automatisoida ja tehostaa esim. nostolaitteeseen asennettavan tärhistimen avulla, jolloin kuljettajalle ei aiheudu lisää työkuormitusta ja ravistelun määrä pysyy vakiona. Tutkitussa nostokoneessa kannot ravisteltiin puhtaaksi maasta ja kivistä kaivukoneen puomin ja kauhasylinterin liikkeillä. Kantojen nostotyössä tuottavuutta parantaa se, että kantoja ei korjata heti tuoreeltaan, vaan hienojuurien annetaan kuivua. Hienojuurten kuoleminen helpottaa nostotyötä ja etenkin nopeuttaa kantojen puhdistamista nostotyön yhteydessä. Aikatutkimuksissa kone teki tarpeeseen nähden liikaa maanmuokkausjälkeä ja tutkimuksessa havaittua maanmuokkauksen keskimääräistä ajanmenekkiä on pienennettävissä 0.5 - 1.0 tuntia metsänuudistamisessa tarvittavien istutuspaikkojen määrän tai laadun siitä kärsimättä.

Tulosten perusteella kantojen noston kustannus oli noin 5.9 €/m<sup>3</sup> ja metsäkuljetuksen kustannus 7.5 €/m<sup>3</sup>, jos kaivukoneen käyttötuntikustannukseksi oletetaan 48 €/h ja keskiraskaan kuorma- traktorin käyttötuntikustannukseksi 50 €/h. Esimerkkilaskelma perustui työmaahan, jossa nostettavia kantoja on 600 kpl hehtaarilla ja niiden läpimitta on 40 cm. Laskelmassa maanmuokkaus tehdään nostotyön yhteydessä, mutta siitä ei makseta erillistä korvausta (€/ha). Metsäkuljetusmatka on 250 m ja kantoja kertyy 60 m<sup>3</sup> hehtaarilta ja aikatutkimuksessa havainnoitu koneiden tehoajanmenekki muutetaan käyttöajanmenekiksi kertoimella 1.2. Em. laskentaperusteilla kantojen korjuukustannus tienvarressa on 13.4 €/m<sup>3</sup>, joka on vähemmän kuin harvennusten energiapuun keskimääräinen korjuukustannus (17-18 €/m<sup>3</sup>) tienvarressa (Laitila 2005). Latvusmassahakkeeseen verrattuna kantojen korjuukustannus on sen sijaan selvästi korkeampi. Irtonaisen hakkuutähteen korjuukustannus tienvarressa on noin 5.0 €/m<sup>3</sup> ja paalattujen risutukkien 9.5 €/m<sup>3</sup> (Asikainen et al. 2001).



Kantojen nostotyö rajoittuu käytännössä niille kuukausille, jolloin maa on roudaton ja lumeton. Kaivukoneiden seisottaminen talvikaudella nostaa pääomakustannuksia korjattua kantopuumäärää kohti, ellei tarjolla ole kantojen korjuuta korvaavaa lisätyötä. Metsäkuljetus sen sijaan on mahdollista myös talvella, kunhan kannot on kasattu lumen alta erottuviin kasoihin. Kantopalojen kiinnijäätyminen tosin voi jonkin verran vaikeuttaa metsäkuljetusta ja lisätä hakkuualalle jäävän kantopuun määrää.

Kantojen metsäkuljetuksessa kuorman purkamisen ja siihen liittyvien työvaiheiden osuus tehoajanmenekistä oli yllättävän suuri, 27 %:ia. Jatkossa kuorman purkua voisi yrittää tehostaa esim. purkamalla osa kuormista kippaamalla tai kasvattamalla purkutaakan kokoa. Kippipurkamisen kannattavuuden edellytyksenä on, että kippilaitteen hinta ei nouse kovin korkeaksi. Kuorataakan koon kasvattamista vaikeuttaa kantopalojen epäyhtenäinen koko ja rakenne. Kuormaimella purkamisen etuna on, että kantopalojen käsittelymäärä kasvaa, mikä edesauttaa maa-aineksen varisemista kantopaloista. Samalla kuljettaja voi poistaa kuormaan joutuneet kivet yms. epäpuhtaudet. Laiteteknisesti taakan kokoa voi kasvattaa leveällä piikkikahmarilla, mutta oletettavasti sen tyyppinen koura on kömpelö kuorma- ja purkutyössä.

Aikatutkimuksessa havaittiin, että kantoläpimita eli kannon koko vaikuttaa nostotyön tuottavuuteen ratkaisevasti. Työn tuotos kasvaa kannon koon mukana jyrkästi siihen saakka, kunnes nostovoiman tarve ylittää nostokoneen kapasiteetin. Nostokoneiden ohjausta niille sopiville korjuukohteille ja samalla kantokertymän arviointia voisi helpottaa se, jos ennakolta olisi tiedossa nostettavien kantojen läpimitat ja kappalemäärät työmaalla. Hakkuukonemittausta voisi kehittää niin, että mittalaite rekisteröisi ja tallentaisi kantoläpimitat puiden kaatosahauksen yhteydessä, sekä arvioisi kantopuun kertymän kantoläpimitan perusteella.

Kantopuun nosto ja metsäkuljetus tehdään yleensä aikapalkalla tai joskus pinta-alaan perustuvalla urakkataksalla. Energiapuu ja etenkin kannot ovat vaikea mittauskohde, mikä on puoltanut sitä, että tehdyn työn maksuperusteena on käytetty työn suorittamiseen kulunutta aikaa (Hakkila 2006). Tämän tutkimuksen tulosten mukaan pinta-alaperusteinen taksan määrittäminen edellyttää, että käytettävissä on esim. hakkuukonemittaukseen perustuvat työmaatiedot nostettavien kantojen kappalemäärästä, läpimitasta ja kertymästä työmaalla. Metsäkuljetuksessa pinta-alaperusteisen taksan maksuperusteena pitäisi olla metsäkuljetusmatka ja kantojen hehtaarikertymä. Vastaavasti nostotyössä pinta-alan mukaisen taksan tulisi perustua nostettavien kantojen läpimitaan ja hehtaarihiheyteen. Muita nostotyön tuottavuuteen ja ajanmenekkiin vaikuttavia tekijöitä, jotka eivät tulleet esille tässä tutkimuksessa, ovat maalaji ja maaperä, kivisyys sekä maaston pinnanmuodot työmaalla.

Tämän tutkimuksen tulosten pohjalta kehitettiin ”Kantomurskeen tuotantokustannusten laskentaohjelma” (Laitila 2007). Microsoft Excel-pohjaisella ohjelmalla käyttäjä voi laskea leimikkotietojen perusteella kantopuun kertymän ja energiasisällön työmaalla sekä kantomurskeen tuotantokustannukset terminaali- tai käyttöpaikkamurskaukseen perustuvilla tuotantoketjuilla eri metsä- ja kaukokuljetusmatkoilla. Ohjelmalla voi tehdä herkkyyksianalyysiä esim. kuormakoon, materiaalin kosteuden, maanmuokkauskorvauksen, kuljetusmatkan sekä kantopuun kertymän vaikutuksesta korjuukustannuksiin (€/MWh tai €/m<sup>3</sup>). Lisäksi ohjelma laskee leimikkotietojen avulla arvion hehtaarikohtaisesta ajanmenekistä metsäkuljetuksessa ja yhdistetyssä maanmuokkaus ja nostotyössä. Laskentamallin perimmäisenä tarkoituksena oli muuntaa saadut tutkimustulokset helpotajuiseen ja käytäntöä palvelevaan muotoon.

## Kirjallisuus

- Asikainen A, Ranta T, Laitila J & Hämäläinen J. 2001. Hakkuutähdehakkeen kustannustekijät ja suuri-mittakaavainen hankinta. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta. Tiedonantoja 131. 107 s.
- Hakkila, P. 2006. Selvitys energiapuun mittauksen järjestämisestä ja kehittämisestä. Dnro:n 4191/67/2005/MMM mukainen selvitystehtävä. 30 s.
- Hakkila, P. 2004. Puuenergian teknologiaohjelma 1999-2003. Loppuraportti. Teknologiaohjelmaraportti 5/2004. 135 s.
- Hakkila, P. 2003. Juurakot polttoainelähteenä. BioEnergia 4/03, s. 32 – 35.
- Hakkila, P. 1976. Kantopuu metsäteollisuuden raaka-aineena. Folia Forestalia 292. 39 s.
- Hakkila, P. 1975. Kanto- ja juuripuun kuoriprosentti, puuaineen tiheys ja asetoniutteitten määrä. Folia Forestalia 224. 14 s.
- Harstela, P. 2004. Kustannustehokas metsänhoito. 126 s.
- Kärhä, K. 2006. Metsähakkeen tuotantoketjut Suomessa vuonna 2005. Metsäteho Oy 12.2.2006. Tulokalvosarja. 10 s.
- Laitila, J. 2005. Pienpuun korjuu harvennusmetsistä. Kehittyvä puuhuolto 2005 – seminaari metsäammatilaisille 16 – 17.2. 2005 Paviljonki, Jyväskylä. Metsätehon seminaarijulkaisu: s. 68 – 75.
- Laitila, J. 2007. Kantomurskeen tuotantokustannusten laskentaohjelma. Microsoft Excelliin pohjautuva laskuri. Metsäntutkimuslaitos, Joensuun toimintayksikkö.
- Ylitalo, E. 2006. Puupolttoaineiden käyttö energian tuotannossa 2005. Metsätalostatiedote 820. 8 s.