

# Kantojen korjuun tuottavuus

Juha Laitila

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.

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

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

#### **Toimitus**

PL 18  
01301 Vantaa  
puh. 010 2111  
faksi 010 211 2101  
sähköposti [julkaisutoimitus@metla.fi](mailto:julkaisutoimitus@metla.fi)

#### **Julkaisija**

Metsäntutkimuslaitos  
PL 18  
01301 Vantaa  
puh. 010 2111  
faksi 010 211 2101  
sähköposti [info@metla.fi](mailto:info@metla.fi)  
<http://www.metla.fi/>

<b>Tekijät</b> Laitila, Juha			
<b>Nimeke</b> Kantojen korjuun tuottavuus			
<b>Vuosi</b> 2010	<b>Sivumäärä</b> 29	<b>ISBN</b> 978-951-40-2225-8 (PDF)	<b>ISSN</b> 1795-150X
<b>Yksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet</b> Joensuu / Bioenergiaa metsistä -tutkimus- ja kehittämisohjelma (BIO)/ METKA – Metsäenergiaa kannattavasti			
<b>Hyväksynyt</b> Antti Asikainen, Professori, 22.3.2010			
<b>Tiivistelmä</b> Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää kantojen noston ja pilkkonnan tuottavuus kaivukonealustaisella korjuukalustolla ja metsäkonepohjaisella korjuukalustolla. Samalla selvitettiin maanmuokkauksen ajanmenekki nostotyön yhteydessä. Lisäksi selvitettiin kantojen metsäkuljetuksen tuottavuus ja siihen vaikuttavat tekijät. Aikatutkimusten pohjalta laadittiin työvaiheittaiset ajanmenekkimallit sekä kantojen nostolle eri menetelmillä että kantojen metsäkuljetukselle. Kantojen noston tuottavuustutkimuksessa oli mukana kaivukoneeseen asennettava kantoharvesteri, kantohara sekä metsätraktoriin asennettu nostolaite.  Metsätraktorialustaisella kantokorjurilla noston tehotuntituottavuus oli kuusen kannoilla 1,0–5,4 m <sup>3</sup> /h ja männyn kannoilla 1,3–3,2 m <sup>3</sup> /h, kun kantoläpimitta oli 15–55 cm. Vastaavilla kantoläpimitoilla kaivukonelustaisen Pallarin kantoharvesterin tehotuntituottavuus oli kuusen kannoilla 1,3–16,5 m <sup>3</sup> /h ja kantoharalla 1,7–15,7 m <sup>3</sup> /h. Ilman maanmuokkausta kantojen noston tehotuntituottavuus oli Pallarin kantoharvesterilla 2,8–20,6 m <sup>3</sup> /h ja kantoharalla 3,4–18,4 m <sup>3</sup> /h. Maanmuokkauksen osuus kantojen noston tehoajanmenekistä oli hehtaarin alalla keskimäärin 1,4 tuntia kantoharalla ja 1,9 tuntia Pallarin kantoharvesterilla. Kantojen metsäkuljetuksen tehotuntituottavuus oli 10,0 m <sup>3</sup> kantokuormakooalla 12,0–20,0 m <sup>3</sup> tehotunnissa, kun metsäkuljetusmatka vaihteli välillä 50–500 m. Aikatutkimuksissa keskimääräinen kantuorman koko oli 11,0 m <sup>3</sup> .			
<b>Asiasanat</b> Metsäenergia, kannot, kuusi, metsäkuljetus, kantokorjuri, kaivukone, kantoharvesteri, puunkorjuu			
<b>Julkaisun verkko-osoite</b> <a href="http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2010/mwp150.htm">http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2010/mwp150.htm</a>			
<b>Tämä julkaisu korvaa julkaisun</b> Kantomurskeen tuotannon tehokkuus ja kustannukset, 2004, 39 s			
<b>Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla</b>			
<b>Yhteydenotot</b> Juha Laitila, Metsäntutkimuslaitos, Itä-Suomen alueyksikkö, PL 68, 80101 Joensuu, <a href="mailto:juha.laitila@metla.fi">juha.laitila@metla.fi</a>			
<b>Muita tietoja</b> Työraportti on muokattu ”Kantomurskeen tuotannon tehokkuus ja kustannukset” raportista. Em. tutkimus tehtiin UPM Metsälle vuonna 2004 ja se oli osa Puuenergian teknologiaohjelman hanketta ”Kantopuun korjuu ja metsäpolttoaineiden prosessointi – PUUY36			

## Sisällys

<b>1 Johdanto.....</b>	<b>5</b>
1.1 Tutkimuksen tavoitteet .....	6
<b>2 Kantojen korjuun aikatutkimukset .....</b>	<b>7</b>
2.1 Kantojen nosto kaivukoneilla .....	7
2.2 Kantojen nosto korjurilla.....	8
2.3 Kantojen metsäkuljetus .....	9
<b>3 Tulokset .....</b>	<b>10</b>
3.1 Kantojen noston ajanmenekkimallit .....	10
3.1.1 Pallari KH-160 kantoharvesteri.....	10
3.1.2 Kantohara .....	12
3.1.3 Kantokorjuri .....	13
3.2 Kantojen metsäkuljetus .....	16
<b>4 Tulosten tarkastelu .....</b>	<b>21</b>
4.1 Kantojen nosto.....	21
4.2 Kantojen metsäkuljetus .....	23
<b>5 Johtopäätökset .....</b>	<b>24</b>
<b>Lähteet.....</b>	<b>28</b>

## 1 Johdanto

Metsäenergian käytön kasvu on viime vuosien aikana ollut ripeää ja käyttömäärien kasvun taustalla on ollut pääosin päätehakkuilta korjattava latvusmassahake. Käyttömäärien kasvaessa korjuu on jouduttu ulottamaan yhä laajemmalle alueelle ja epäedullisemmille korjuukohteille voimalaitosten polttoaineen tarpeen tyydyttämiseksi. Suurimpien käyttöpaikkojen osalta on tultu siihen, että latvusmassan korjuun hankintasädetä ei ole kannattavaa pidentää, vaan latvusmassan rinnalle on pitänyt löytää muita metsäenergian lähteitä. Eräs keino hillitä metsähakkeen kaukokuljetusmatkojen kasvua ja korjuukustannusten nousua on laventaa nykyistä metsähakkeen raaka-ainepohjaa esim. kehittämällä korjuutekniikkaa niihin metsäbiomassajakeisiin, jotka ovat aiemmin rajattu korjuutoiminnan ulkopuolelle. Sekä kertymän että lämpöarvon puolesta eräs lupaavimmista lisäraaka-ainelähteistä on metsänuudistusaloilta korjattavat kannot.

Puiden juurakko muodostuu rungon kaatoleikkauksen alapuolelle jäävästä kannosta, sen maanalaisesta jatkeesta ja sivujuurista (Hakkila 2004). Kuusen ja männyn kannot poikkeavat rakenteeltaan toisistaan ja rakenne-ero vaikuttaa nostotekniikkaan ja voiman tarpeeseen nostotyössä. Mänty kasvattaa syvän ja vahvan paalujuuren ja kanto ja sen maanalainen jatke muodostavat puolet juurakon korjuukelpoisesta osasta. Poikkeuksen muodostavat turvemaat ja Pohjois-Suomen kivennäismaat, joilla paalujuuri kehittyy maaperän kylmyydestä johtuen heikosti tai se puuttuu kokonaan (Hakkila 1976). Kuusella juuristo on pinnanmyötäinen, paalujuurta ei ole ja sivujuuret ovat paksumpia ja pidempiä kuin männyllä. Kuusella kannon osuus on noin kolmannes koko juurakon puuaineesta. Kuusen juurakko on helpompi irrottaa ja paloitella, ja sen maahan jättämä kuoppa on lähes huomaamaton.

Kuusen juurakon kuivamassa ja kiintotilavuus on jonkin verran suurempi kuin kantolämpimitaltaan vastaavan kokoisen männyn kannon (Hakkila 1976). Männyn juurakoiden puuaineen tiheys ja tehollinen lämpöarvo on puolestaan korkeampi kuin kuusen kannoilla. Männyn juurakoilla puuaineksen keskimääräinen kuivatuoretiheys on  $473 \text{ kg/m}^3$  ja kuusen juurakoilla  $432 \text{ kg/m}^3$  (Hakkila 1976). Männyn kantojen lämpöarvo absoluuttisen kuivaa puukiloa kohti on  $19,5 \text{ MJ/kg}$  ja kuusen kantojen lämpöarvo on  $19,1 \text{ MJ/kg}$  (Hakkila 1978). Männyn kannoilla lämpöarvoa lisää puuaineen korkea pihkapitoisuus joka on keskimäärin  $7,5 \%$  (Hakkila 1975). Tervaskannoilla pihkapitoisuus saattaa olla jopa  $20\text{--}25 \%$  (Hakkila 2003). Kuusen kannoilla pihkapitoisuus on keskimäärin  $2,6 \%$  (Hakkila 1975).

Kantojen korjuu energiantuotantoon on lisääntynyt rivakasti 2000-luvulla. Edellisen kerran kantoja nostettiin 1970-luvulla ja 80-luvun alussa, jolloin niitä hankittiin joko sulfaattisellun raaka-aineeksi tai energiakäyttöön (esim. Hakkila 1976, Kuitto 1984). Kalliit korjuukustannukset tekivät kuitenkin toiminnan kannattamattomaksi ja kantojen käyttö tyrehtyi. Toiminta virsi uudelleen 2000-luvun alussa, kun UPM Metsän Keski-Suomen hankinta-alue alkoi toimittaa kuusen kantoja latvusmassan ja harvennuspuun ohella Jämsänkosken voimalaitokselle (Markkila 2005, Backlund 2007). Alun ennakkoluulojen jälkeen kantojen energiakäyttö on yleistynyt myös muualla ja vuonna 2008 kantohaketta käytettiin lämpö- ja voimalaitoksissa jo  $0,6$  miljoonaa kiintokuutiometriä (Ylitalo 2009).

Kanto- ja juuripuuta korjataan lähes pelkästään kuusen päätehakkuukohteilta. Männyn kantoja korjataan pieniä määriä maanrakennustyömailta, turvesoilta, tonteilta tai pellonraivaustyömailta. Sekametsissä männynkantoja korjataan kuusen kantojen noston ohessa mutta pääsääntöisesti ne pyritään jättämään jättökannoiksi metsänuudistamisaloille. Markkinahakkuutilastojen perusteella tehdyn arvion mukaan kuusen kantojen tekninen korjuupotentiaali on  $2,5$  miljoonaa kiintokuutiometriä vuodessa (Laitila ym. 2008a). Verrattaessa kantohakkeen nykykäyttöä tekniseen korjuupotentiaaliin, niin raaka-aineresursseista on hyötykäytössä noin  $23 \%$ . Suomen sisällä on

kuitenkin voimakasta alueellista vaihtelua metsäpolttoaineiden käyttömäärissä ja metsähakkeen suurkanavointialueilla, kuten Keski-Suomessa, kantojen kuin myös muiden metsäpolttoaineiden hyödyntämistä on huomattavasti korkeampi kuin maassa keskimäärin (Laitila ym. 2008a).

Kantojen nosto keskittyy roudattomille ja lumettomille kuukausille, eli korjuukausi alkaa yleensä toukokuussa ja päättyy marras-joulukuussa. Lämpimiltään alle 30 cm kannot halkaistaan ja suuremmat pilkotaan 3–4 kappaleeseen nostotyön yhteydessä. Suomessa kantojen nosto perustuu kaivukonekalustoon. Metsäkoneita ei käytetä kantojen nostossa, koska koneiden puomien rakenne tai nostovoima ei sovellu repivään nostotyöhön (Kärhä & Peltola 2004), eikä markkinoilla ole, yksittäisiä prototyypilaitteita lukuun ottamatta, kantojen nostoon ja pilkontaan soveltuvia nostoagregaatteja (Heiskanen 2004). Kantoagregaatit on kuormaimen päähän kiinnitettävä ja kannon päälle laskettava laite, mikä pilkkoo kannot ja vipuaa kantopalat irti maasta (Kärhä & Peltola 2004). Kaivukoneiden puomien nostovoima on 360–400 kNm, kun metsäkoneiden kuormainten nostovoima on tyypillisesti 140–190 kNm (Henningsson & Nordfjell). Kaivukoneet ovat lisäksi hankintahinnaltaan edullisempia kuin metsätraktorit tai hakkuukoneet ja ne ovat suunniteltu ja rakennettu raskaaseen maanrakennustyöhön (Laitila ym. 2008b).

Metsätehon tekemän selvityksen mukaan nostokaudella 2007 kantojen korjuussa oli runsaat 100 telakaivukonepohjaista koneyksikköä (Kärhä 2007a). Koneista 46 % oli varustettu leikkaavalla ja paloitteluvalla vastaterällä ja 54 % oli ns. kantoharoja (Kärhä 2007b). Kantoharassa ei ole erillistä paloittelulaitetta, vaan kannon paloittelu tapahtuu repäisemällä kantoa juurenniskasta noston yhteydessä. Pilkkovilla nostolaitteilla kannon paloittelu tapahtuu hydraulisella leikkuuterällä, joka painaa pilkottavaa kantoa vastaterää tai nostoharan piikkejä vasten. Useimpia kannonnostolaitteita voidaan käyttää myös laikutuksessa tai mätästyksessä ja maanmuokkaus on liitetty osaksi kantojen nosto- ja paloittelutyötä. Nostotyössä on sekä alle että yli 20 tonnin kokoluokan kaivukoneita.

## 1.1 Tutkimuksen tavoitteet

Tulevaisuudessa metsähakkeen käyttömäärät kasvavat EU:n uusiutuville energialähteille asettamien käyttötavoitteiden myötä koko maassa. Kantojen korjuun yleistyessä Suomessa ja lähialueilla tuotantoketjun eri työvaiheista tarvitaan entistä tarkempia tuottavuus ja kustannustietoja. Tämän lisäksi korjuuketjun eri vaiheiden yhteensovittaminen edellyttää tarkempaa tietoa olosuhdetekijöiden vaikutuksesta koko kantohakkeen tuotantoketjuun.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää kuusikantojen noston ja pilkonnan tuottavuus kaivukonealustaisella korjuukalustolla ja metsäkonepohjaisella korjuukalustolla. Samalla selvitettiin maanmuokkauksen ajanmenekki nostotyön yhteydessä. Lisäksi selvitettiin kantojen metsäkuljetuksen tuottavuus ja siihen vaikuttavat tekijät. Aikatutkimusten pohjalta laadittiin työvaiheittaiset ajanmenekkimallit sekä kantojen nostolle eri menetelmillä että kantojen metsäkuljetukselle. Kantojen noston tuottavuustutkimuksessa oli mukana kaivukoneeseen asennettava kantoharvesteri, kantohara sekä metsätraktoriin asennettu kantojen nosto- ja pilkontalaite.

Tämä tutkimus oli osa UPM Metsän koordinoimaa ”Kantopuun korjuu ja metsäpolttoaineiden prosessointi” projektia ja kuului Tekesin Puuenergian teknologiaohjelmaa (Paananen 2004, Hakikila 2004). Tutkimukset suoritettiin UPM Metsän työmailla Keski-Suomen ja Kaakkois-Suomen hankinta-alueella kesällä 2004.

## 2 Kantojen korjuun aikatutkimukset

Aikatutkimuksissa kantojen noston tuottavuus ja kannon tilavuus määritettiin kantoläpimitan perustella. Avohakkuualalle rajattiin 25 metriä pitkiä aikatutkimuskaistoja, joiden leveys vaihteli nostokoneen työskentelyleveyden mukaan. Kantoharalla työskentelyleveydeksi mitattiin 16 metriä, Pallarin kantoharvesterilla 15 metriä ja kantokorjurilla 11 metriä. Koealoilta mitattiin kantojen läpimitat ja läpimitat merkittiin pahvilapulla kannon molempiin kylkiin. Aikatutkimuskoealoilta mitattiin yhteensä 1337 kannon läpimitat. Nostettujen kantojen läpimita oli 10–74 cm ja hehtaariuheys 250–1300 kantoa hehtaarilla. Kantohara ja kantoharvesterityömailla kannot olivat kuusen kantoja. Kantokorjuri työmaalla oli myös männyn kantoja. Maalaji työmailla oli vähäkivinen hieta. Maasto- ja työskentelyolosuhteiltaan työmaat olivat keskenään vertailukelpoisia eri nostomenetelmien välillä.

### 2.1 Kantojen nosto kaivukoneilla

Aikatutkimuksissa tutkittiin A. Hirvonen Oy:n valmistamaa nelipiikkistä kantoharaa, joka oli asennettu tela-alustaiseen Samsung SE 210 kaivukoneeseen. Kantoharan sivulla oli laikkujen tai mättäiden tekoon tarkoitettu maanmuokkauslevy (Kuva 1). Toinen kaivukonealustaisista nostolaitteista oli Pallarin kantoharvesteri KH-160 (Kuva 1). Pallarin kantoharvesterilla kannon paloittelu tapahtuu hydraulisella leikkuuterällä, joka painuu kantoa prosessoitaessa kaksihaaraisen vastaterän haarojen väliin. Vastaterän päätä voidaan myös käyttää mätästyslevynä uudistusalan maanmuokkauksessa. Aikatutkimuksissa kantoharvesteri oli asennettuna tela-alustaiseen Kobeco SK 210 kaivukoneeseen (Kuva 1). Kantoharvesterilla nostetut kannot kasattiin kekoihin ja kantoharalla nostetut kannot pinottiin karheelle.

Aikatutkimuksissa nostotyön ajanmenekki määritettiin tehoaikana, joka ei sisältänyt mitään keskeytyksiä sekä käyttöaikana, joka sisälsi alle 15 minuutin keskeytykset. Kaivukoneilla tehotyöaika jaettiin seuraaviin työvaiheisiin:

1. Puomin vienti kannolle, kannon paloittelu ja irroitus maasta
2. Irroitettujen kantojen tai palojen nosto maasta, puhdistaminen ja kasaus
3. Kannonostojäljen tasaus
4. Siirtyminen työpisteestä toiseen
5. Maanmuokkaus



**Kuva 1.** Kantoharvesteri (Pallari KH160, valmistaja Tervolan Konepaja Oy) ja kantohara (valmistaja A.Hirvonen Oy) kantojen nostotyössä (kuvat J. Laitila/Metla).

## 2.2 Kantojen nosto korjurilla

Metsätraktoriin asennettu kannon nostolaite oli Marttiin valmistama ns. korjurikoura, jolla noston ja paloittelun lisäksi pystytään kuormaamaan kantoja (Kuva 2). Ideana on että sama kone voi tarvittaessa hoitaa sekä kantojen noston että metsäkuljetuksen. Korjurikouralla kantojen halkaisu ja paloittelu tapahtuu kouran keskellä olevan hydraulisen halkaisukiilan avulla. Kannon halkaisu ja paloittelu tapahtuu sen jälkeen kun koura on laskettu kannon päälle ja kuormaimen leuat ovat tarttuneet kantaan. Aikatutkimuksissa korjurikoura oli asennettuna Valmet 860 kuormatraktoriin ja nostolaitteen paino oli arviolta 800–900 kiloa.

Korjurikouralla tehoaika jaettiin seuraaviin työvaiheisiin:

1. Kouran vienti kannolle ja kantaan tarttuminen
2. Kannon prosessointi (halkaisu, nosto, paloittelu, puhdistaminen ja kasaus)
3. Siirtyminen työpisteestä toiseen



**Kuva 2.** Marttiin kantokorjurikoura (kuva J. Laitila/Metla).



## 2.3 Kantojen metsäkuljetus

Kantojen metsäkuljetuksen tuottavuus määritettiin 48:n kantokuorman perusteella. Metsätraktorin kuormakoko määritettiin työmaakohtaisina keskiarvoina sen jälkeen kun kannot oli toimitettu Jämsänkoskelle voimalaitokselle mitattaviksi. Aikatutkimuksissa käytetty metsätraktori oli 6-pyöräinen Valmet 860, jonka vakiorakenteista kuormatilaa oli pidennetty 70 sentin jatkokappaleella (Kuva 3). Aikatutkimustyömailla kannot oli nostettu Pallarin kantoharvesterilla ja ne oli kasattu noston yhteydessä kekoihin.

Aikatutkimuksissa kantojen metsäkuljetuksen tehotyöaika jaettiin seuraaviin työvaiheisiin:

1. Tyhjänä ajo
2. Kuormaus
3. Kuormausajo
4. Kuormattuna-ajo
5. Purku
6. Peruuttaminen/kääntyminen
7. Varastolla peruuttaminen

Kantojen kuormauksen ja kuorman purun taakkojen lukumäärä laskettiin kuormittain. Tyhjänä ja kuormattuna ajon sekä kuormausajon matka mitattiin lankamittarilla yhden metrin tarkkuudella.



**Kuva 3.** Kantojen metsäkuljetusta Valmet 860 metsätraktorilla (kuva J. Laitila/Metla).

## 3 Tulokset

### 3.1 Kantojen noston ajanmenekkimallit

Aikatutkimusten perusteella laadittiin työvaiheittaiset ajanmenekkimallit kantojen noston tuottavuudelle. Kaivukonealustaisille nostokoneille laadittiin tuottavuusfunktiot kannon prosessoinnin ajanmenekille (puomin vienti, kannon nosto, paloittelu ja kasaus) sekä työpistesiiirron ajanmenekille. Kannon prosessoinnin ajanmenekki-funktiossa selittävänä tekijänä oli kantoläpimitta ja työpistesiiirron ajanmenekki-funktiossa kantojen kappalemäärä hehtaarilla. Kappaleissa 3.1.1 ja 3.1.2 on esitetty työvaiheittaiset ajanmenekki-funktiot Pallarin kantoharvesterille ja kantoharalle. Kantojen noston ohessa tapahtuvan maanmuokkauksen ajanmenekki laskettiin hehtaarikohtaisena keskiarvona. Maanmuokkauksen osuus kantojen noston tehoajanmenekistä hehtaarin alalla oli kantoharalla keskimäärin 1,4 tuntia ja Pallarin kantoharvesterilla 1,9 tuntia per hehtaari.

Kantokorjurille laadittiin ajanmenekki-funktiot nostolaitteen kannolle viennille, kannon prosessoinnille (halkaisu, nosto, paloittelu, puhdistaminen ja kasaus) ja työpistesiiirrolle (ks. Kappale 3.1.3). Nostolaitteen viennin ja työpistesiiirron ajanmenekki-funktiossa selittävänä tekijänä oli kantojen kappalemäärä hehtaarilla ja kannon prosessoinnin ajanmenekki-funktiossa selittävänä tekijänä oli kantoläpimitta. Kannon prosessoinnin ajanmenekki-funktiot laadittiin erikseen männyn ja kuusen kannoille.

#### 3.1.1 Pallari KH-160 kantoharvesteri

Kantoläpimitan kasvaessa kannon prosessoinnin ajanmenekki kasvoi (Kuva 4). 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. Lisäksi 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.

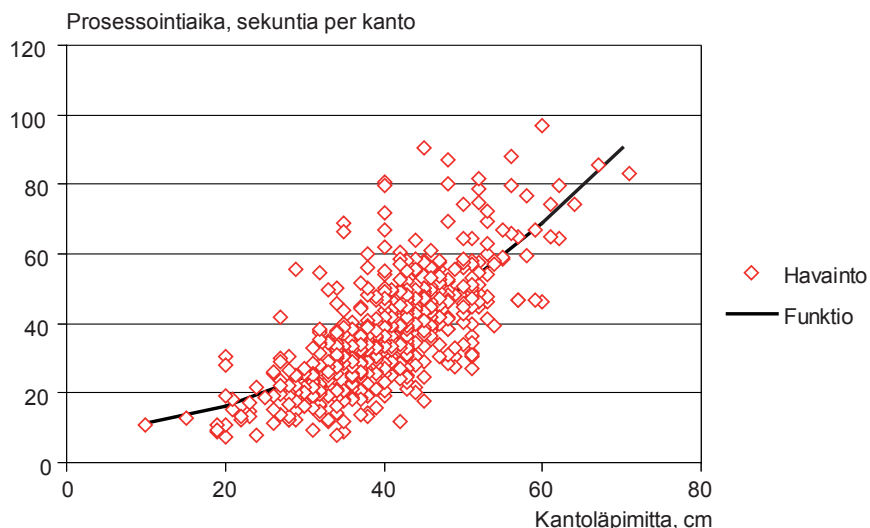
Nosto:

$$y_1 = 9,560 + 0,01649d_k^2$$

$y_1$  = Nosto ja paloittelu-aika, s per kanto Pallarin kantoharvesterilla

$d_k$  = Kuusen kantoläpimitta, cm

$$r^2 = 0,52$$



**Kuva 4.** Kantojen prosessointiaika kantoläpimitan mukaan Pallarin kantoharvesterilla, sekuntia per kanto.

Kantojen hehtaarikohtaisen kappalemäärän lisääntyessä, kanto kohtainen siirtymisajanmenekki laskee (Kuva 5), kun samasta työpisteestä voidaan nostaa useita kantoja kerrallaan. TELA-alustaisen kaivukoneen työpistesiiirron ajanmenekki funktio oli muotoa:

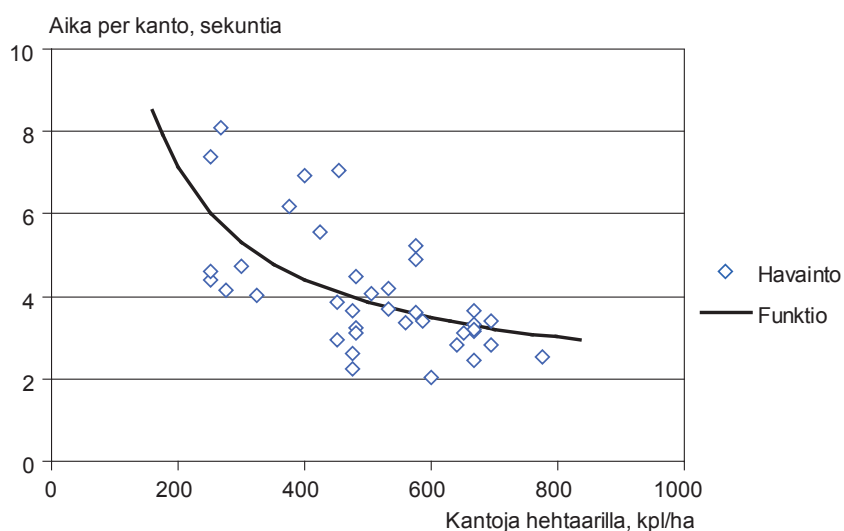
Työpistesiiirto:

$$y_2 = 1,647 + \frac{1097,165}{x}$$

$y_2$  = Kaivukoneen työpistesiiirron ajanmenekki, s per kanto

$x$  = Kantotiheys, nostettavia kantoja hehtaarilla, kpl/ha

$$r^2 = 0,35$$



**Kuva 5.** Kaivukoneen työpistesiiirron ajanmenekki kantotiheyden mukaan, sekuntia per kanto.

Maanmuokkauksen osuus kantojen noston tehoajanmenekistä oli keskimäärin 1.9 tuntia hehtaarille Pallarin kantoharvesterilla.

Maanmuokkaus:

$$y_3 = \frac{3600}{x} * \frac{1}{0,53}$$

$y_3$  = Maanmuokkaukseen käytetty kantokohtainen aika Pallarin kantoharvesterilla, s per kanto

$x$  = Kantotiheys, nostettavia kantoja hehtaarilla, kpl/ha

### 3.1.2 Kantohara

Kantojen nosto ja paloittelu-aika kasvoi kantoläpimitan suuretessa kantoharalla aivan samalla tavalla ja samoista syistä johtuen kuin Pallarin kantoharvesterilla (Kuva 6).

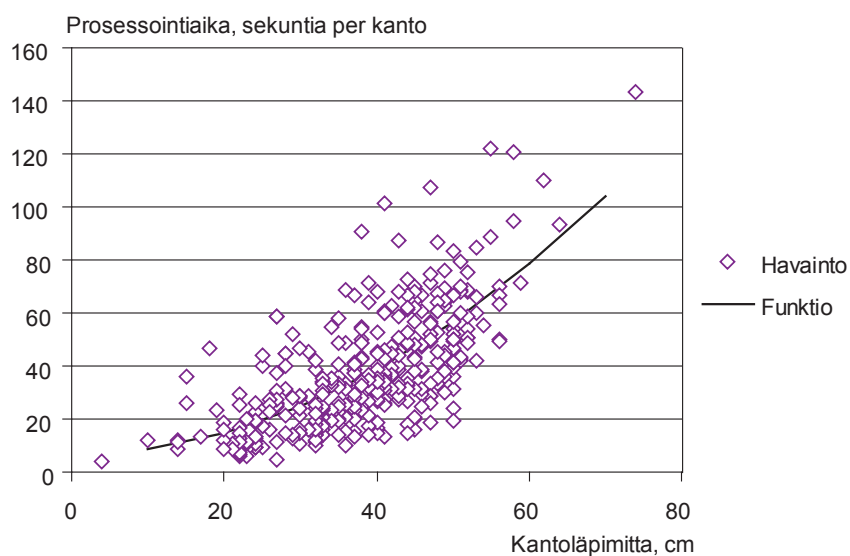
Nosto:

$$y_4 = 6,471 + 0,01997d_k^2$$

$y_4$  = Nosto ja paloittelu-aika, s per kanto kantoharalla

$d_k$  = Kuusen kantoläpimitta, cm

$$r^2 = 0,51$$



**Kuva 6.** Kantojen prosessointiaika kantoläpimitan mukaan kantoharalla, sekuntia per kanto.

Maanmuokkauksen osuus kantojen noston tehoajanmenekistä oli keskimäärin 1,4 tuntia hehtaarille kantoharalla.

Maanmuokkaus:

$$y_5 = \frac{3600}{x} * \frac{1}{0,72}$$

$y_5$  = Maanmuokkaukseen käytetty kantokohtainen aika kantoharalla, s per kanto

$x$  = Kantotiheys, nostettavia kantoja hehtaarilla, kpl/ha

### 3.1.3 Kantokorjuri

Kantokorjurin työpistesiirtymisen ajanmenekkiä selitettiin kantopoistuman tiheydellä (Kuva 7). Kantopoistuman tiheyden kasvaessa kantokohtainen siirtymisajanmenekki pieneni, kun samasta työpisteestä voitiin käsitellä useampia kantoja kerrallaan. Työpistesiirto alkoi, kun koneyksikkö lähti liikkeelle ja päättyi, kun nostolaitteen vienti nostettavalle kannolle alkoi.

Nostolaitteen vientiaikaa kannolle mallinnettiin kantotiheyden avulla (Kuva 8). Suurilla kantotiheyksillä keskimääräinen puomin vientimatka ja vientiaika nostettavalle kannolle on lyhyempi verrattuna siihen kun nostettavia kantoja on harvassa. Kantokorjurissa kuormaimaimen nostovoima on pienempi kuin kaivukoneessa, minkä vuoksi kantokorjurin piti olla lähellä nostettavaa kantoa. Em. syystä kantokorjurin työpistesiirron ajanmenekki oli suurempi kuin kaivukoneen työpistesiirron ajanmenekki.

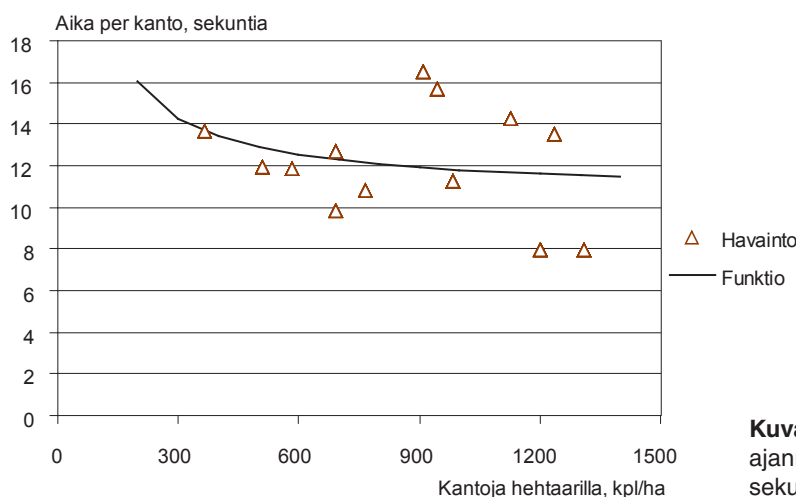
Työpistesiirto:

$$y_6 = 10,758 + \frac{1053,572}{x}$$

$y_6$  = Kantokorjurin työpistesiirron ajanmenekki, s per kanto

$x$  = Kantotiheys, nostettavia kantoja hehtaarilla, kpl/ha

$$r^2 = 0,28$$



**Kuva 7.** Kantokorjurin työpistesiirron ajanmenekki kantotiheyden mukaan, sekuntia per kanto.

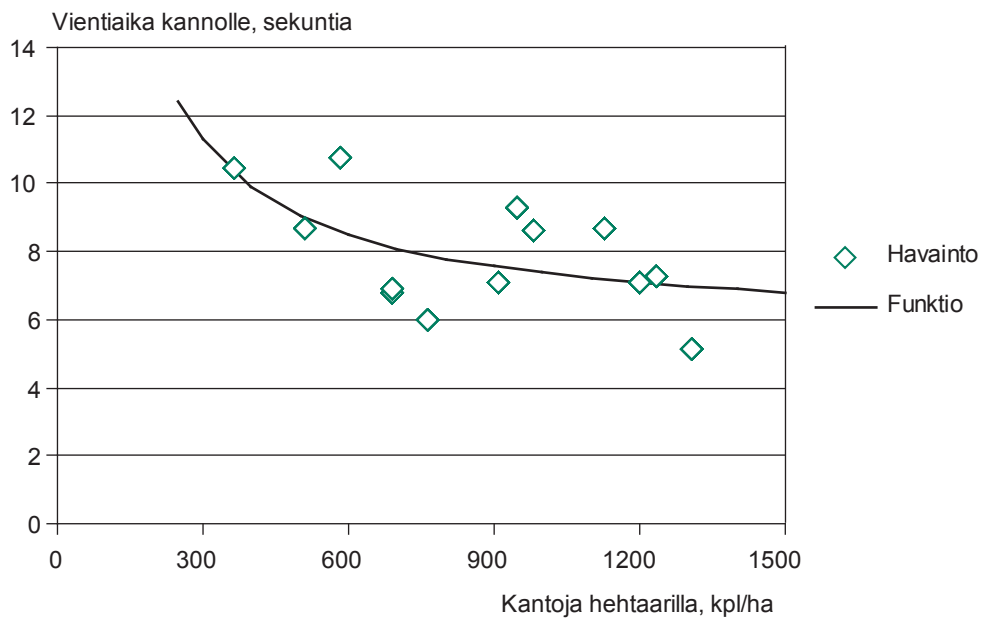
Nostolaitteen vienti kannolle:

$$y_7 = 5,683 + \frac{1687,253}{x}$$

$y_7$  = Nostolaitteen viennin ajanmenekki, s per kanto

$x$  = Kantotiheys, nostettavia kantoja hehtaarilla, kpl/ha

$$r^2 = 0,24$$



**Kuva 8.** Nostolaitteen vientiaika kannolle korjurilla, sekuntia per kanto.

Kantokorjurilla halkaisu, nosto, paloittelu, puhdistaminen ja kasausaika suurenevät kantoläpimitan kasvaessa. Kuusen kannon prosessointiaika oli pienempi kuin mäntykannon prosessointiaika (vrt. Kuva 9 ja 10).

Kuusen kannon nosto

$$y_8 = -0,003476 + 0,06836 d_k^2$$

$y_8$  = Kuusen kannon nosto ja paloitteluaika, s per kanto kantoharvesterilla

$d_k$  = Kuusen kantoläpimitta, cm

$$r^2 = 0,73$$

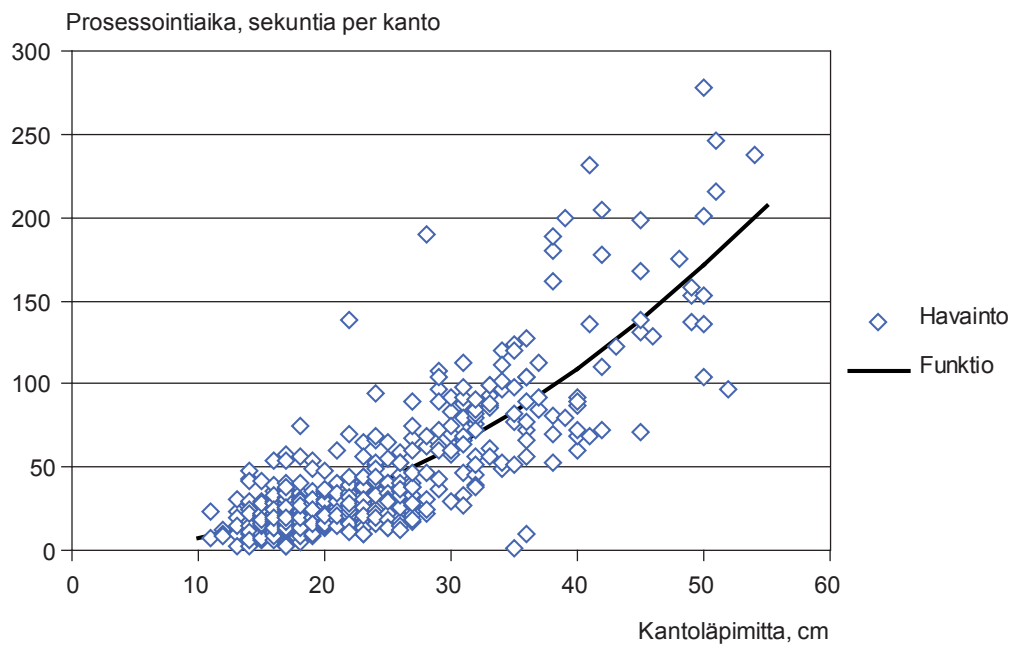
Männyn kannon nosto

$$y_9 = -0,397 + 0,08559d_m^2$$

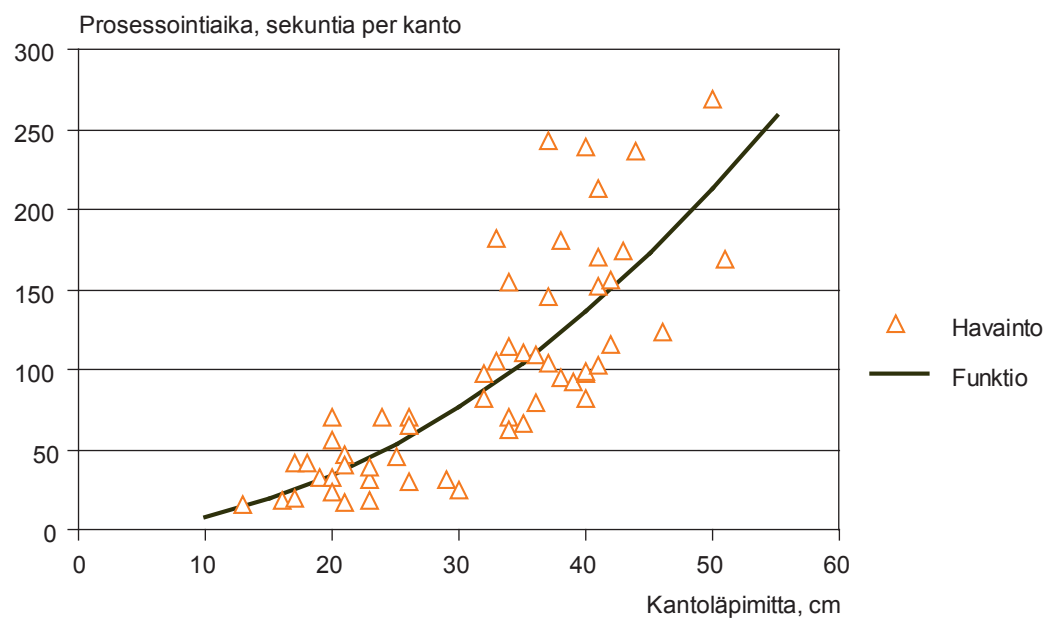
$y_9$  = Männyn kannon nosto ja paloittelu-aika, s per kanto kantoharvesterilla

$d_m$  = Männyn kantoläpimitta, cm

$$r^2 = 0,63$$



**Kuva 9.** Kuusen kannon prosessointiaika kantoläpimitan mukaan kantokorjurilla, sekuntia per kanto.



**Kuva 10.** Männyn kannon prosessointiaika kantoläpimitan mukaan kantokorjurilla, sekuntia per kanto.

### 3.2 Kantojen metsäkuljetus

Metsäkuljetuksen aikatutkimuksen perusteella laadittiin ajanmenekifunktiot ja tuottavuus määritettiin kiintotilavuutta kohden. Regressiomallit sidottiin helposti saatavilla oleviin työmaatietoihin, kuten metsäkuljetusmatkaan, kantokertymään ja metsätraktorin kuormakokoon. Aikatutkimuksessa keskimääräinen kantokuorman koko oli 11,0 m<sup>3</sup>. Kuormattuna ajomatka oli 10–440 m ja tyhjällä kuormalla ajomatka 10–430 m. Ajouravarsitiheys oli 6,7–57,9 m<sup>3</sup>/100 m ajouraa.

Kuormatraktorin tyhjällä kuormalla ajon ajanmenekifunktiossa selittävänä tekijänä oli metsäkuljetusmatka (Kuva 11).

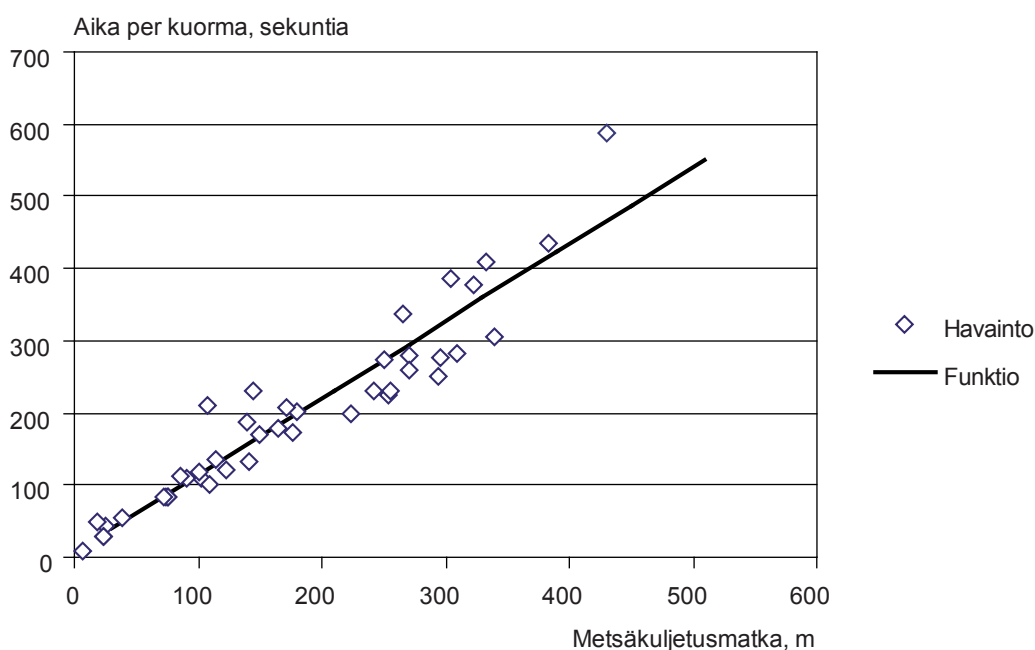
Tyhjänäajo

$$y_{10} = 7,863 + 1,063 x_t$$

$y_{10}$  = Tyhjällä kuormalla ajon ajanmenekki, s per kuorma

$x_t$  = Tyhjänä ajomatka, m

$$r^2 = 0,90$$



**Kuva 11.** Metsäkuljetusmatkan vaikutus tyhjällä kuormalla ajon ajanmenekkiin, sekuntia per kuorma.



Metsätraktorin kuormattuna-ajon ajanmenekki-funktiossa selittävänä tekijänä oli metsäkuljetusmatka (Kuva 12).

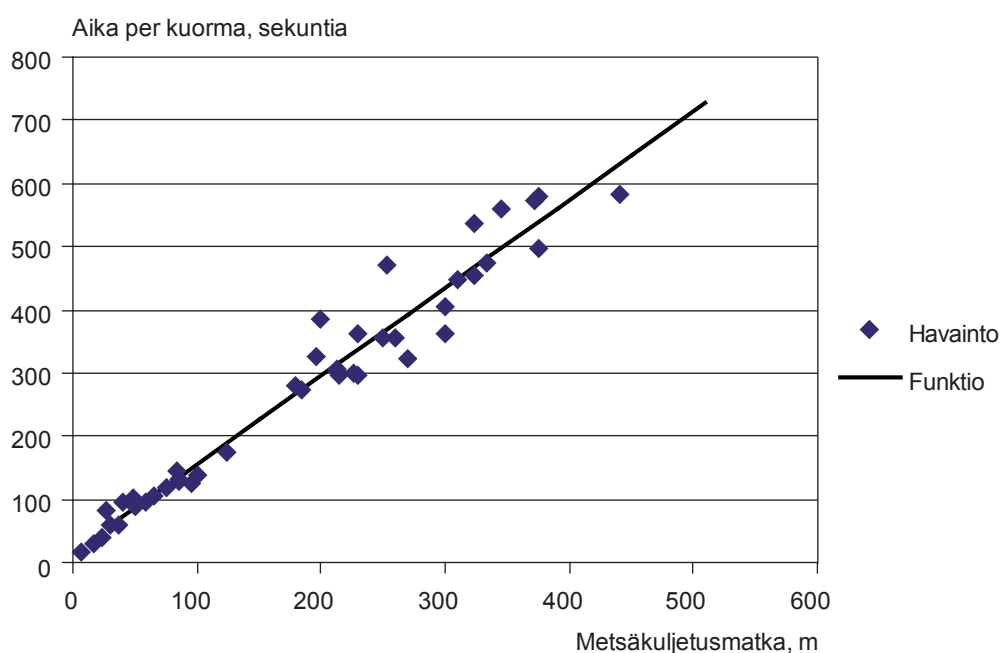
Kuormattuna-ajo

$$y_{11} = 17,708 + 1,391 x_k$$

$y_{11}$  = Kuormattuna ajon ajanmenekki, s per kuorma

$x_k$  = Kuormattuna ajomatka, m

$$r^2 = 0,96$$



**Kuva 12.** Metsäkuljetusmatkan vaikutus täydellä kuormalla ajon ajanmenekkiin, sekuntia per kuorma.

Kantojen kuormauksessa kuormauksen ajanmenekkiin vaikutti kourataakan koko (Kuva 15). Taakan koko johdettiin työpisteen koon perusteella (Kuva 14) ja työpisteen koko puolestaan ajouravarsitiheyden perusteella (Kuva 13). Kun kannot olivat hyvin kasoissa, kourataakat olivat keskimääräistä suuremmat.

Kantojen kuormaus, työpisteen koko

$$y_{12} = 0,922 + 0,03782 z$$

$y_{12}$  = Työpisteen koko, m<sup>3</sup>

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

$$r^2 = 0,57$$

Kantojen kuormaus, taakan koko

$$y_{13} = 0,159 + 0,05404 * \sqrt{y_{12}}$$

$y_{13}$  = Taakkakoko kantojen kuormauksessa, m<sup>3</sup>

$y_{12}$  = Työpisteen koko, m<sup>3</sup>

$$r^2 = 0,22$$

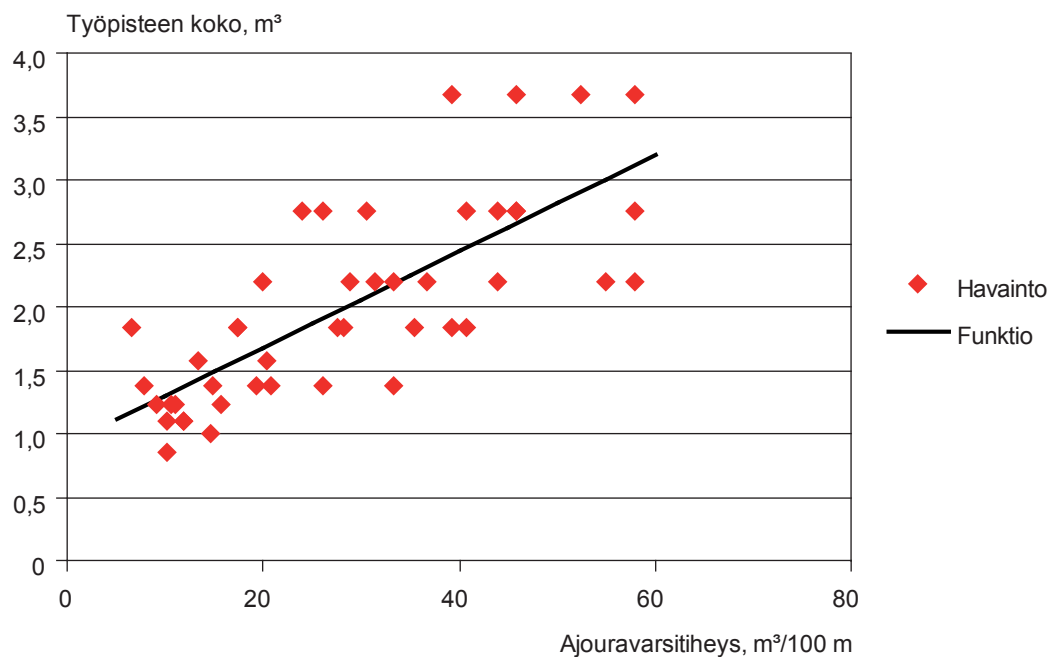
Kantojen kuormaus, s per m<sup>3</sup>

$$y_{14} = 188,950 - 382,162 y_{13}$$

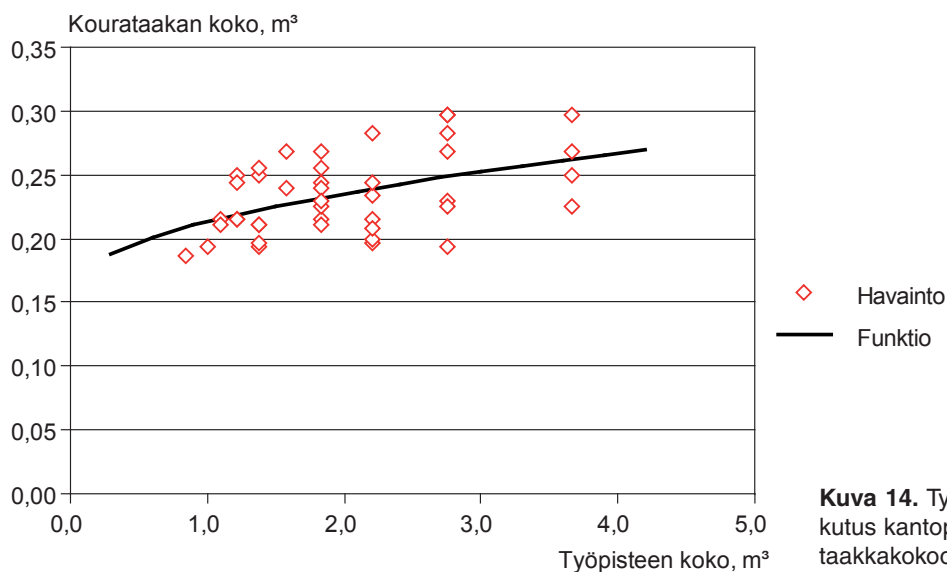
$y_{14}$  = Kantopuun kuormauksen ajanmenekki, s per m<sup>3</sup>

$y_{13}$  = Taakan koko, m<sup>3</sup>

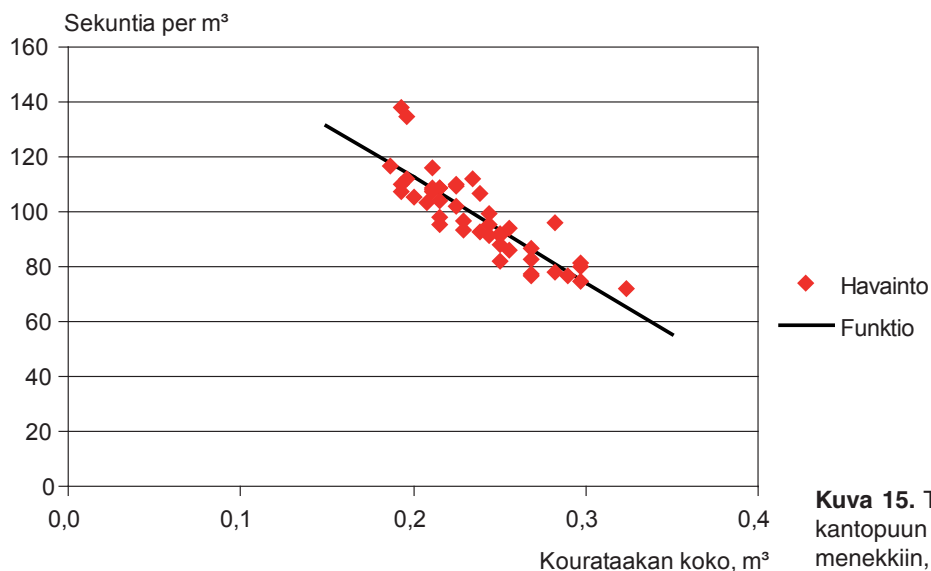
$$r^2 = 0,74$$



**Kuva 13.** Ajouravarsitiheyden vaikutus työpisteen kokoon.



**Kuva 14.** Työpisteen koon vaikutus kantopuun kuormauksen taakkakokoon.



**Kuva 15.** Taakkakoon vaikutus kantopuun kuormauksen ajanmenekkiin, sekuntia per m³.

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 ajouranvarsitiheyden ( $\text{m}^3/100 \text{ m}$ ) mukaan (Kuva 16).

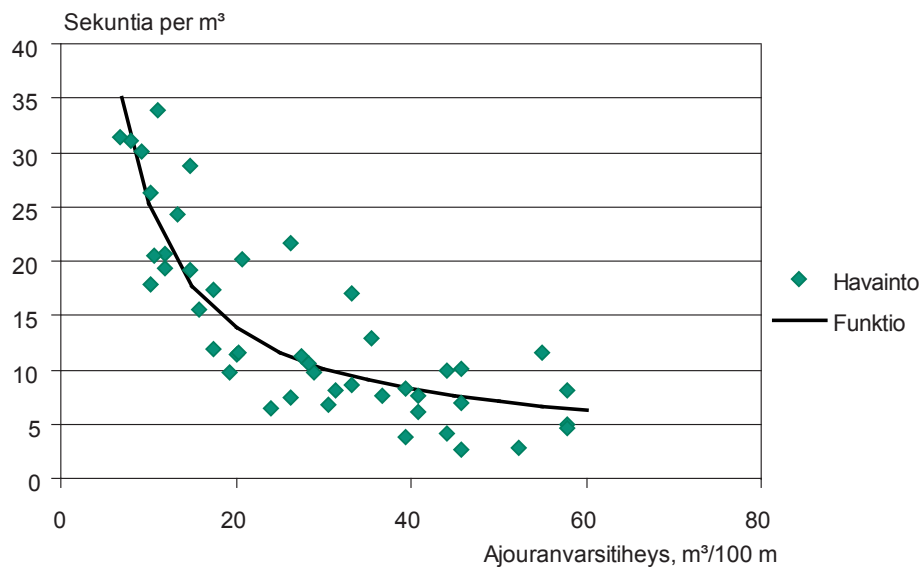
Kuormaus-ajo

$$y_{15} = 2,552 + \frac{227,229}{z}$$

$y_{15}$  = Kuormausajon ajanmenekki kantopuun lähikuljetuksessa, s per  $\text{m}^3$

$z$  = Ajouravarsitiheys,  $\text{m}^3/100$  metriä

$$r^2 = 0,74$$



**Kuva 16.** Ajouranvarsitiheyden vaikutus kuormausajon ajanmenekkiin, sekuntia per m<sup>3</sup>.

Kantokuorman purkamisen ajanmenekki-funktiossa selittävänä tekijänä oli purkutaakan koko (Kuva 17). Keskimääräinen purkutaakan koko oli aikatutkimuksissa 0,44 m<sup>3</sup>.

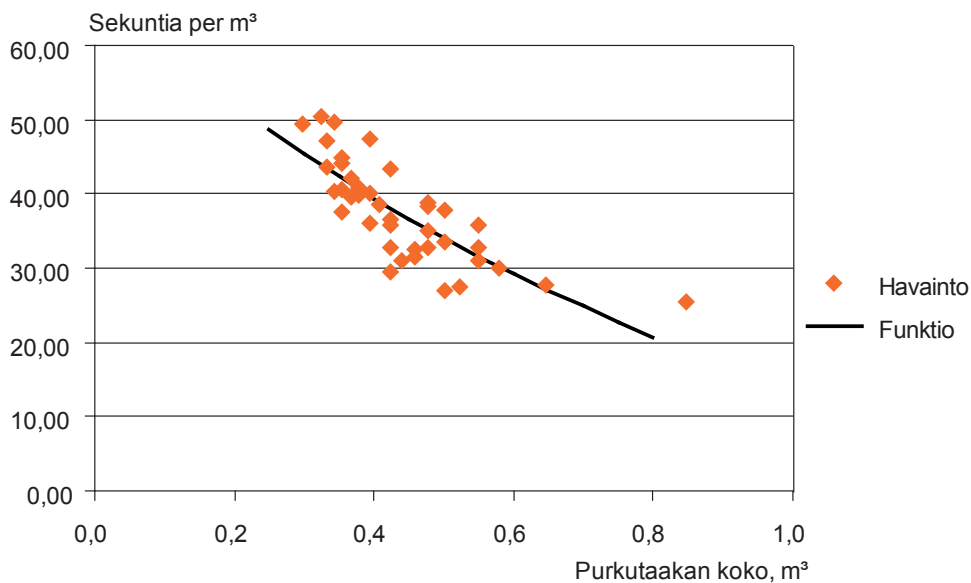
Purku

$$y_{16} = 84,197 - 70,893 * \sqrt{t}$$

$y_{16}$  = Kantokuorman purkamisen ajanmenekki, s per m<sup>3</sup>

$t$  = Taakan koko, m<sup>3</sup>

$$r^2 = 0,63$$



**Kuva 17.** Taakan koon vaikutus kantokuorman purkamisen ajanmenekkiin, sekuntia per m<sup>3</sup>.

## 4 Tulosten tarkastelu

### 4.1 Kantojen nosto

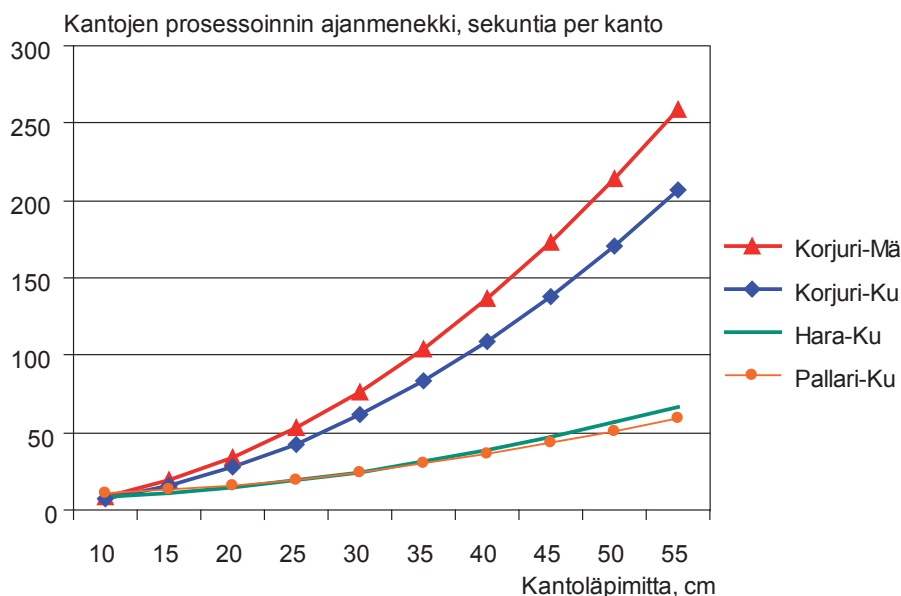
Kantojen noston ja kaivukonekalustolla siihen yhdistetyn maanmuokkauksen kantokohtainen ajanmenekki laskettiin osatyövaiheiden (Nosto, Työpistesiiro, Maanmuokkaus, Nostolaitteen vienti kannolle) summana. Pelkän nostotyön kantokohtainen ajanmenekki saatiin poistamalla kokonaisajasta maanmuokkauksen ajanmenekki. Kantokohtaiset ajanmenekkimallit tutkimuksessa mukana olleille laitteille ja menetelmille olivat:

$$T_{Kantoharvesteri} = y_1 + y_2 + y_3$$

$$T_{Kantohara} = y_4 + y_2 + y_5$$

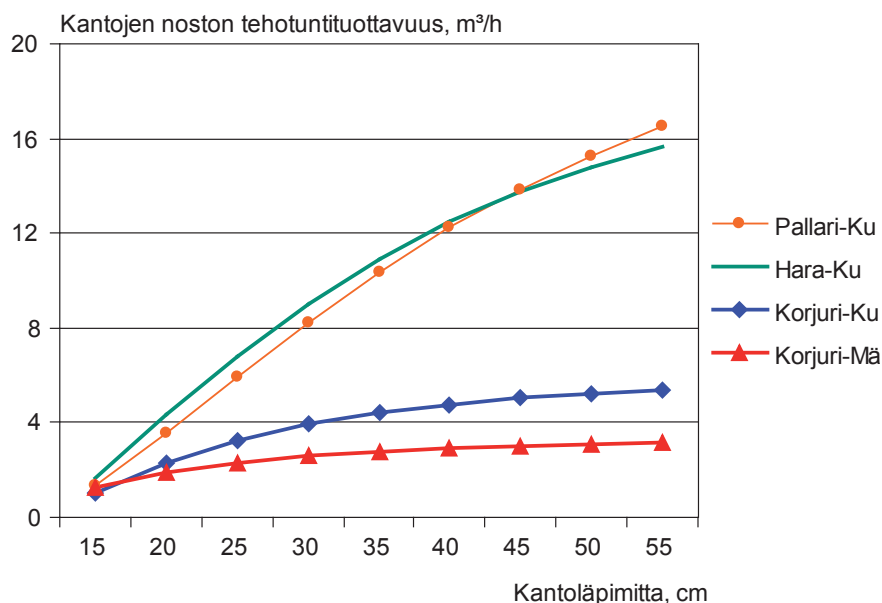
$$T_{Kantokorjuri} = y_6 + y_7 + y_8 \text{ tai } y_9$$

Kantokorjurilla kantojen prosessointiaika oli huomattavasti korkeampi, kuin kaivukonealustaisilla nostokoneilla. Ero oli huomattava etenkin suurilla kantoläpimitoilla (Kuva 18). Kantoläpimitalla 10–55 cm kantoharan ja Pallarin kantoharvesterin ajanmenekit kuusenkantojen prosessoinnissa olivat likimain samalla tasolla, 10–65 sekuntia per kanto. Vastaavilla kantoläpimitoilla korjurikouuran ajanmenekki oli kuusen kannoilla 7–210 sekuntia ja männyn kannoilla 8–265 sekuntia.

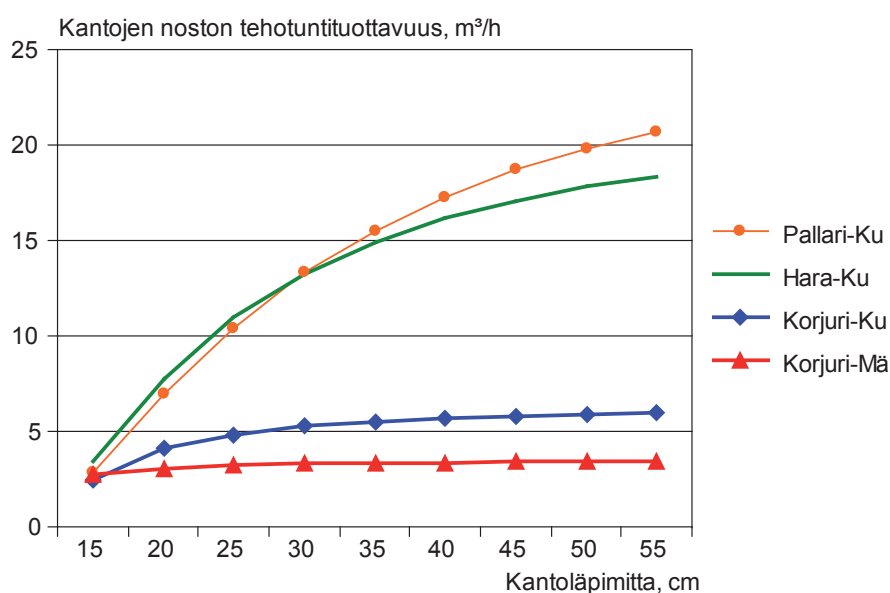


**Kuva 18.** Kantojen prosessoinnin (kannon nosto, paloittelu ja kasaus) ajanmenekki eri nostomenetelmillä ja puulajeilla, sekuntia per kanto.

Kantojen noston läpimittakohtaiset ajanmenekit (sekuntia per kanto) muutettiin tuottavuudeksi ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) Hakkilan (1976) kantopuun biomassayhtälöiden avulla ja kuivatuoretiheyksien avulla (Hakkila 1975). Kantokorjurilla noston tehotuntuottavuus oli kuusen kannoilla  $1,0\text{--}5,4 \text{ m}^3/\text{h}$  ja männyn kannoilla  $1,3\text{--}3,2 \text{ m}^3/\text{h}$ , kun kantoläpimitta oli  $15\text{--}55 \text{ cm}$  (Kuva 19). Vastaavilla kantoläpimitoilla Pallarin kantoharvesterin tehotuntuottavuus oli kuusen kannoilla  $1,3\text{--}16,5 \text{ m}^3/\text{h}$  ja kantoharalla  $1,7\text{--}15,7 \text{ m}^3/\text{h}$  kun maanmuokkauksen ajanmenekki oli mukana (Kuva 19). Ilman maanmuokkausta kantojen noston tehotuntuottavuus oli Pallarin kantoharvesterilla  $2,8\text{--}20,6 \text{ m}^3/\text{h}$  ja kantoharalla  $3,4\text{--}18,4 \text{ m}^3/\text{h}$  (Kuva 20).



**Kuva 19.** Kantojen noston tehotuntuottavuus ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) eri nostomenetelmillä ja puulajeilla kantoläpimitan mukaan. Kantoja hehtaarilla 600 kappaletta. Kaivukonealustaisilla koneilla kantojen noston ohessa maanmuokkaus.



**Kuva 20.** Kantojen noston tehotuntuottavuus ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) eri nostomenetelmillä ja puulajeilla kantoläpimitan mukaan. Kantoja hehtaarilla 600 kappaletta. Kaivukonealustaisilla koneilla tuottavuus laskettiin ilman maanmuokkauksen lisäajanmenekkiä.

## 4.2 Kantojen metsäkuljetus

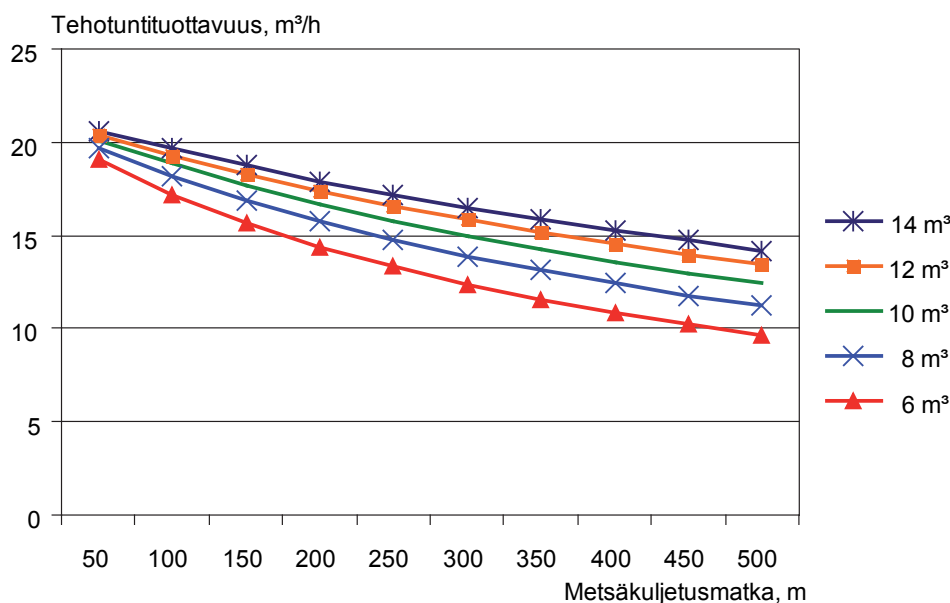
Kantojen lähikuljetuksen tehoajanmenekki  $T_{Metsäkuljetus}$  (sekuntia per  $m^3$ ) saadaan osatyövaiheiden summana:

$$T_{Metsäkuljetus} = \frac{y_{10}}{v_k} + \frac{y_{11}}{v_k} + y_{14} + y_{15} + y_{16}$$

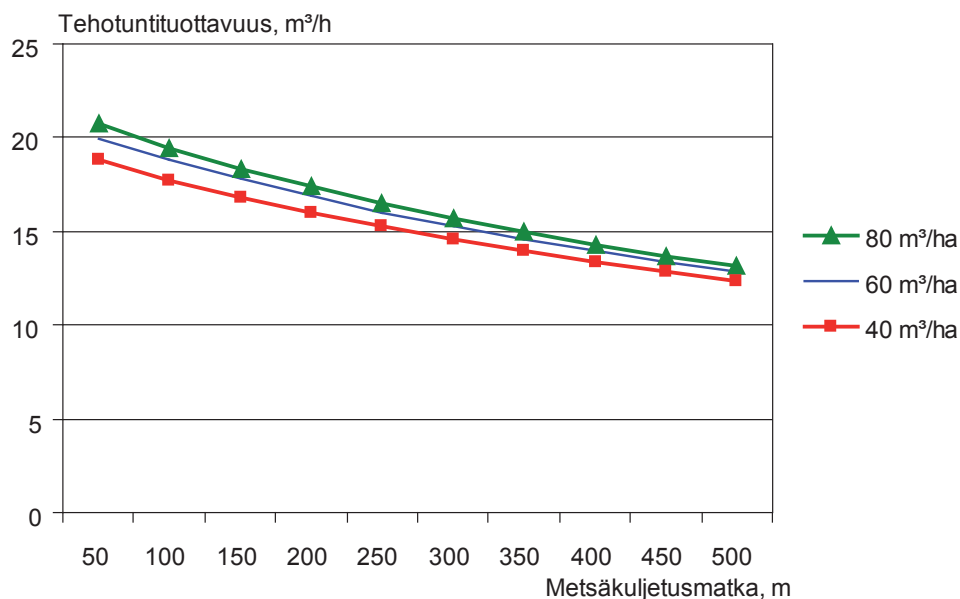
$v_k$  = Kuormakoko kantojen metsäkuljetuksessa,  $m^3$

Kuvissa 21 ja 22 on havainnollistettu kuormakoon ja metsäkuljetusmatkan sekä ajouranvarsitiheyden ( $m^3$  kantoja per 100 metriä ajouraa) vaikutusta kantojen metsäkuljetuksen tuottavuuteen. Kuormakoon kasvattaminen kuudesta kiintokuutiometristä neljäentoista kiintokuutiometriin lisäsi tuottavuutta 50 metrin metsäkuljetusmatkalla  $1,5 m^3$ /tehotunnissa (Kuva 21). Metsäkuljetusmatkan ollessa 500 metriä, vastaava parannus tuottavuudessa oli  $4,5 m^3$ /tehotunnissa.

Kun metsäkuljetusmatka oli 50 metriä, hehtaarikohtaisen kertymän kasvattaminen 40:stä kiintokuutiometristä 80:een kiintokuutioon hehtaarilta lisäsi metsäkuljetuksen tuottavuutta  $1,9 m^3$ /tehotunnissa (Kuva 22). Vastaavasti 500 metrin metsäkuljetusmatkalla ajouranvarsitiheyden kasvu paransi tuottavuutta  $1,0 m^3$ /tehotunnissa (Kuva 22).



**Kuva 21.** Kantojen metsäkuljetuksen tehotuntituottavuus kuormakoon ja metsäkuljetusmatkan mukaan. Kantojen kertymä  $80 m^3$  hehtaarilta.



**Kuva 22.** Kantojen metsäkuljetuksen tehotuntituottavuus kantojen hehtaarikohtaisen kertymän ja metsäkuljetusmatkan mukaan. Metsätraktorin kuormakoko 11 m<sup>3</sup>.

## 5 Johtopäätökset

SLU tutki männyn, kuusen ja koivun kantojen noston ja paloittelun tuottavuutta Västerbottenin ja Medelpadin maakunnissa Keski- ja Pohjois-Ruotsissa (Karlsson 2007). Tutkittu laite oli Pallari KH160, joka oli asennettu 23 tonnin Hyundai kaivukoneeseen. Tutkimuksen perusteella laadittiin puulajikohtaiset ajanmenekkimallit kantojen prosessoinnille (nosto, ravistelu, paloittelu ja kasaus). Kantoläpimitalla 33 cm männyn kannon keskimääräinen prosessointiaika oli 84,1 s, kuusen kannolla 78,8 s ja koivun kannoilla 69,9 s. Työpistesiiirtoon kului helppossa maastoluokassa (GYL 211) 13,2 sekuntia per kanto ja vaikeassa maastoluokassa (GYL 233) 24,5 sekuntia per kanto (Karlsson 2007). Kannonnoston hehtaarikohtainen tehoajanmenekki vaihteli välillä 9,3 ja 11,4 tuntia per hehtaari. SLU:n tutkimuksessa kuusen kantojen prosessoinnin ajanmenekki oli yli kaksi kertaa suurempi kuin tässä tutkimuksessa havaittu kantojen prosessoinnin ajanmenekki. Ero selittynee kantojen puhtaaksi ravisteluun käytetyllä ajalla. Karlssonin (2007) tutkimuksessa puolet männyn ja kuusen kantojen prosessointiajasta kului kantojen puhtaaksi ravisteluun. Koivun kannoilla puhtaaksi ravistelun osuus tehotyöajasta oli 44 %. Hienojuurten kuoleutuminen nostoajankohtaa lykkäämällä helpottaa nostotyötä ja edistää kantojen puhdistamista (esim. Hakila 1976, Laurila & Lauhanen 2007, Laitila ym. 2008b).

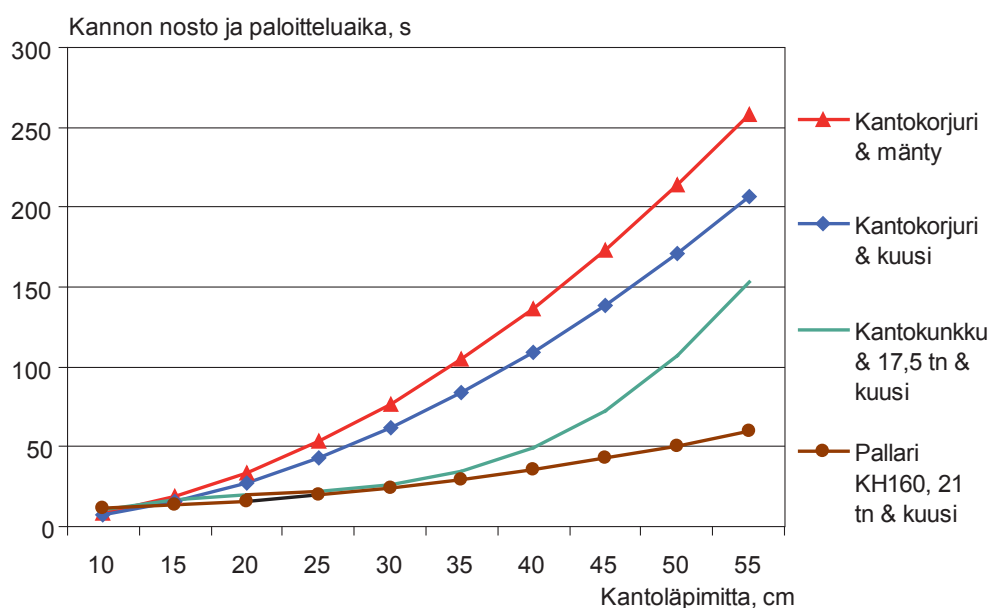
Jalavan (2007) seurantatutkimuksessa kantojen noston keskimääräinen käyttötuntituottavuus oli 6,4 m<sup>3</sup>/h työmaalla, jossa urakointi perustui tuntiveloitukseen ja nostotyön ohessa tehtiin uudistusalan maanmuokkaus. Kantojen kertymä oli 58 m<sup>3</sup> hehtaarilta. Nostotyöhön käytettiin 21 tonnin Volvo EC 210 BLC merkistä kaivukonetta ja siihen oli asennettu A. Hirvonen Oy:n valmistama kantohara. Latviassa tehdyssä tutkimuksessa kuusikantojen noston tuottavuus oli 7,2–5,5 kuiva-tonnia tehotunnissa (16,7–12,7 m<sup>3</sup>/h). Em. tutkimuksessa nostotyö tehtiin CBI kantoharvesterilla, joka oli asennettu tela-alustaiseen Hyundai LB21Lc kaivukoneeseen (Lazdins ym. 2009). Rantala ym. (2009) tutkimuksessa kantojen noston ajanmenekki Väkevä-kantopilkkurilla oli keskimäärin 86 sekuntia (keskihajonta 12 s.) per nostettu kanto ja puulajilla (mänty/kuusi) ei havaittu olevan vaikutusta nostotyön ajanmenekkiin. Em. tutkimuksessa peruskone oli metsävarusteltu Doosan Daewoo 175 LCV-kaivukone.



Kuvaan 23 on koottu vertailutuloksia peruskoneen vaikutuksesta kantojen nosto- ja paloitteluaikaan. Kuvan 23 laskelmassa 17,5 tonnin kaivukoneeseen oli asennettu ”Kantokunkku” kantoharvesteri (Laitila ym. 2007, 2008b) ja suuremmalla 21 tonnin kaivukoneella kuusen kantojen nosto- ja pilkonta tehtiin Pallarin KH-160 kantoharvesterilla (tuottavuus laskettiin tämän tutkimuksen ajanmenekkimalleilla). Koneiden tuottavuus oli samalla tasolla 35 cm kantoläpimittaan saakka (Kuva 23). Sitä suuremmilla kannoilla kantojen prosessointiaika 17,5 tonnin kaivukoneella alkaa nousta huomattavasti jyrkemmin kuin suuremmalla 21 tonnin kaivukoneella. Pääsyy tuottavuuden alenemiseen ja nostoajan kasvuun oli aikatutkimuksissa käytetyn pienemmän kaivukoneen keveys, sillä koneen peräosa pyrki nousemaan ylös suurten kantojen nostossa (Laitila ym. 2007, 2008b). Kaivukoneisiin verrattuna kantokorjurin tuottavuus oli huomattavasti pienempi (Kuva 23). Tässä tutkimuksessa ei havaittu eroa tuottavuudessa kantoharan ja kantoharvesterin välillä, kun nostokoneena oli saman kokoluokan kaivukone. Silmävaraisesti arvioituna nostettujen kantojen palakoko ja puhtaus olivat samaa luokkaa molemmilla nostolaitteilla.

Tässä tutkimuksessa kantoläpimittaiset kantojen prosessoinnin ajanmenekit muutettiin tuottavuuksiksi (m<sup>3</sup>/h) Hakkilan (1976) tilavuusyhtälön avulla. 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 kantaan kertymä on 25–30 prosenttia runkopuun kertymästä (Hakkila 2004), kun aiemmin kuusen kannon tilavuusosuudeksi on valtakunnallisissa laskelmissa oletettu 24 prosenttia (Hakkila 1976).

Laitila ym. (2007, 2008b) tutkimuksessa kantokuorman keskikoko metsäkuljetuksessa oli 8,6 m<sup>3</sup> ja Karlssonin (2007) tutkimuksessa se oli peräti 13,65 tuoretonnia (arviolta noin 16 m<sup>3</sup>). Tässä tutkimuksessa kantokuorman keskikoko oli 11 m<sup>3</sup>. Karlssonin tutkimuksessa (2007) metsätraktori oli Timberjack 1710, joka luokitellaan raskaaksi metsätraktoriksi ja on em. valmistajan suurin malli. Laitila ym. (2007, 2008b) tutkimuksessa kuormatraktori oli keskikokoinen Ponsse Bison S 15.



**Kuva 23.** Kantojen nosto- ja paloitteluaika kuormatraktorialustaisella kantokorjurilla sekä 17 ja 21 tonnin kaivukoneilla (Laitila ym. 2007, 2008b).

Kantojen lähikuljetuksen tuottavuus oli Laitila ym. (2007, 2008b) 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>. Em. tutkimuksessa 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 yllättävän maltillisesti, koska kuormattuna ja tyhjänä ajon osuus kantojen metsäkuljetuksen koko ajanmenekistä on suhteellisen pieni ja kuorma- ja purkutyön ajanmenekki on huomattavan suuri (Laitila ym. 2007, 2008b). Jalavan (2007) seurantatutkimuksessa kantojen metsäkuljetustuottavuus vaihteli välillä 6,5–11,7 m<sup>3</sup>. Karlssonin (2007) tutkimuksessa, joka perustui kahden kuorman aineistoon, metsäkuljetuksen tuottavuus oli peräti 25,6 m<sup>3</sup>/tehotunnissa. Laitila ym. (2007, 2008b) tutkimuksessa havaittu kantojen metsäkuljetuksen tuottavuus oli likimain puolet tässä tutkimuksessa havaitusta tuottavuustasosta. Latvialaisessa tutkimuksessa (Lazdins ym. 2009) kantojen metsäkuljetuksen tehotuntituottavuus oli 5,6–7,7 kuivatonnia (13–18 m<sup>3</sup>/h) eli likimain sama, kuin tässä tutkimuksessa havaittu tuottavuus.

Vaikka kantojen korjuun päätarkoitus on hankkia polttoainetta energiantuotantoon, on sillä monia etuja myös metsänuudistamisen näkökulmasta. Latvusmassan ja kantojen talteenotto nopeuttaa maanmuokkaus- ja istutustyötä (Saksa ym. 2002) sekä helpottaa metsänviljelyn koneellistamista (Harstela 2004, Saarinen 2006). Kantojen korjuu torjuu myös juurikäpää (Lipponen 2007). Tuottavuus- ja kustannusetujen ohella on kiinnitettävä huomiota myös työn laatuun, sillä esim. metsäkuljetuksen yhteydessä osa muokkausjäljestä saattaa tuhoutua (Laitila ym. 2008b) tai viljelykelpoista muokkausjälkeä ei ole riittävästi (Rantala ym. 2009, Rönkkö ja Ulander 2010). Paras keino tukkimiehentäituhojen torjunnassa on pinnaltaan kuntasta ja humuksesta puhdas kivennäismaamätäs (Heli Viiri, Metsäntutkimuslaitos, suullinen tiedonanto 2.9.2008).

Tässä tutkimuksessa kantojen nostoon integroidun maanmuokkauksen lisäajanmenekki oli keskimäärin 1,4–1,9 tuntia per hehtaari. Laitilan ym. (2007, 2008b) tutkimuksessa maanmuokkauksen lisäajanmenekki Kantokunkku-kantoharvesterilla oli keskimäärin 3,2 tuntia hehtaarille. Saarisen (2006) tutkimuksessa laikkumätästykseen ajanmenekki oli kantojen nostoon integroituna 40 % pienempi kuin erillisessä laikkumätästyksessä. Rantala ym. (2009) tutkimuksessa integroidun kannonnoston ja maanmuokkauksen työajanmenekki oli keskimäärin 38,4 % suurempi kuin pelkässä kantojen nostossa Väkevä-kantopilkkurilla. Rantala ym. (2009) tutkimuksessa kantojen noston ja maanmuokkauksen kokonaistyöajanmenekki oli selvästi pienin työketjussa, jossa maanmuokkaus tehtiin jatkuvatoimisella mätästäjällä kantojen metsäkuljetuksen jälkeen. Tulosten perusteella jatkuvatoimisen laikkumätästäjän käytöllä saavutetaan vähintään 150 000 euron kustannussäästöt jokaista muokattua 1 000 hehtaaria kohti verrattuna kannonnostoon integroitua tai mätästyslevyllä tehtyyn erilliseen maanmuokkaukseen (Rantala ym. 2009). Kuitenkin pienillä alle 0,5 hehtaarin uudistusaloilla edullisin menetelmä on kannonnostoon integroitu laikkumätästys, koska siitä ei aiheudu erillisiä siirtokustannuksia (Rantala ym. 2009).

Kantojen korjuun vaikeimpana työvaiheena pidetään kantojen nostoa, ja konekehittäely onkin pääosin keskittynyt siihen. Käytettävät työmenetelmät ja -laitteet ovat periaatteeltaan samoja kuin jo 1970-luvulla ja nostotyön tuottavuuden kasvu on perustunut laitteiden käytettävyyden parantumiseen ja peruskoneiden tehon kasvuun. Huomattavasti vähemmälle huomiolle laitetekniikan kehittelyn osalla on jäänyt kantojen paloittelu kaukokuljetuksen edellyttämään palakokoon ja juurakoiden tehokas puhdistus maa-aineksesta. Kokonaisten juurakoiden pinotiheys on suurusluokkaa 0,1 ja pilkonnalla pinotiheys voidaan nostaa 2–4 kertaiseksi (Hakkila 1976), mikä on selvä hyödyntämispotentiaali, kun autokuorman kantavuudesta nykyään jää käyttämättä 10 tonnia per kuorma huonon pilkonnalla ja pinotiheyden vuoksi. Pinotiheyteen vaikuttavat mm. juurakon alkuperäinen koko, pilkomismenetelmä, palakokojakauma, kuormaustapa ja ladonnan huolellisuus (Hakkila 1976).

Kantojen pilkonnan ja puhdistuksen osuus on nykyisellä korjuukalustolla lähes puolet nostotyön tehoajanmenekistä (Laitila ym. 2007, 2008b). Puhdistus- ja pilkontatyö perustuu pitkälti yksittäisen kantopalan käsittelyyn, kun nykykaluston hydrauliiikan tehoilla pystyttäisiin prosessoimaan huomattavasti suurempia käsittely-yksiköitä pelkästään laitteita ja menetelmiä kehittämällä. Mielenkiintoinen uusi laiteinnovaatio on Karelian Puu ja Metalli Oy:n kehittämä yksiotekantoharvesteri, joka nostaa ja puhdistaa kuusi- ja mäntykannon sekä pilkkoo sen neljään likimain tasakokoiseen kappaleeseen yhdellä kertaa (Laitila ja Asikainen 2009). Metsäkuljetuksessa pätevän puhdistusmenetelmän puute on estänyt tehokkaampien kuormaus- ja purkumenetelmien käyttöönoton ja tuottavuuden tehostumisen taakkakoon kasvun kautta. Kantojen korjuun ehdoton edellytys, kilpailukykyisten korjuukustannusten ohella on, että polttoaineen laatu pystytään pitämään loppukäyttäjän vaatimalla tasolla myös kantojen puhtauden osalta.

Kantojen korjuussa oleellista on, että kannot puhdistuvat kivistä ja kivennäismaasta ennen murskausta tai viimeistään ennen polttoa. Mitä varhaisemmassa vaiheessa puhdistus tapahtuu, sitä tehokkaammin jatkotyövaiheet sujuvat. Luontevinta olisi, että puhdistus tapahtuisi jo palstalla ja yhdellä kertaa, joko nostoon tai metsäkuljetukseen liitettynä. 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. Nostotyössä puhdistamista voisi tehostaa esim. nostokoneeseen asennettavan tärhistimen avulla (Laitila ym. 2007, 2008b), jolloin kuljettajaan ei kohdistu ylimääräistä työkuormitusta ja toisaalta ravistelun määrä ja kantojen puhtaus ei riipu kuljettajan vireystilasta.

Kantojen metsäkuljetuksessa puhdistustyötä on tehostettu ja parannettu mm. puhdistavalla kuormatilalla, jonka ruotsalainen metsäkonevalmistaja Ösa kehitti 70-luvulla (Jonsson 1978, 1985). Em. laitteella kannot puhdistuvat metsäkuljetuksen aikana niihin kohdistuvan tärinän ja tärähdyksen ansiosta. Puhdistavan kuormatilan ongelmana on mm. se, että koneen hinta ja massa kasvavat ja hyötykuorma pienenee kuormatilaan tehtyjen muutostöiden vuoksi. Lisäksi muutostöiden jälkeen kone muuttuu erikoiskoneeksi, eli se soveltuu pelkästään kantojen metsäkuljetukseen. Koneen työskentelyalueen säde kasvaa, kun työmaiksi valikoituu pelkkiä kantojen korjuutyömaita, kun aiemmin samalla koneella pystyi kuljettamaan sekä aines- että energiapuuta.

Karelian Puu ja Metalli Oy:n kehittämässä puhdistavassa piikkikahmarissa on yksinkertaisella tavalla ratkaistu kantojen metsäkuljetuksen kaksi pääongelmaa, eli kourataakan pieni koko ja kantojen sisältämän maa-aineksen puhdistus. Piikkikahmarissa kantopalojen puhdistus perustuu kantopaloihin kohdistuvaan iskuun ja puhdistus tapahtuu kourataakassa, kun kantopaloja kuormataan metsätraktorin kuormatilaan (Laitila ja Asikainen 2009). Kourataakan iskupuhdistustoiminto on automatisoitu ja koneen kuljettaja pystyy säätämään puhdistusajan pituutta nappia painamalla. Kuormaus- ja purkutaakan kokoa on puolestaan saatu kasvatettua normaalia leveämmällä kouralla. Samaa kouraa on mahdollista käyttää myös latvusmassan metsäkuljetuksessa ja väliaikaisesti myös ainespuun metsäkuljetuksessa. Kouratyypin tuottavuudesta kantopuun metsäkuljetuksessa tai kouralla puhdistettujen kantopalojen puhtaudesta ei ole olemassa tutkimustietoa.

Nykyisin kantoja korjataan lähes poikkeuksetta pelkästään kuusivaltaisilta kohteilta. Uudistusalojen mäntykannot ovat kuitenkin merkittävä ja toistaiseksi hyödyntämätön raaka-ainereservi. Männyn kantojen houkuttelevuutta lisää niiden kuusta korkeampi lämpöarvo ja männyn yleisyys niillä aluilla, joilla latvusmassan kertymä on pieni.

## Lähteet

- Backlund, C. 2007. Stump wood fuel in large scale industrial use. Bioenergy 2007, 3<sup>rd</sup> International Bioenergy Conference and Exhibition, 3<sup>rd</sup>-6<sup>th</sup> September 2007, Jyväskylä Paviljonki. Finbio Publications 36. s. 375–377.
- Hakkila, P. 2004. Puuenergian teknologiaohjelma 1999-2003. Loppuraportti. Teknologiaohjelmaraportti 5/2004. 135 s.
- Hakkila, P. 2003. Juurakot polttoainelähteenä. Bioenergia 4/2003. s. 32–35.
- Hakkila, P. 1978. Pienpuun korjuu polttoaineeksi. Folia Forestalia 342. 38 s.
- Hakkila, P. 1976. Kantopuu metsäteollisuuden raaka-aineena. Folia Forestalia 292. 39 s.
- Hakkila, P. 1975. Kanto- ja juuripuun kuoriprosentti, puuaineen tiheys ja asetoniutteiden määrä. Folia Forestalia 224. 14 s.
- Heiskanen, S. 2004. Kantonosturi koekäytössä kentällä – lunastuvatko lupaukset? Koneyrittäjä 9/2004. s. 26–27.
- Harstela, P. (toim.). 2004. Metsähake ja metsätalous. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 913.
- Henningsson, M. & Nordfjell, T. 2008. Stump harvesting: Best practice and 25 years old innovative approaches. Julkaisussa: The Nordic-Baltic Conference on Forest Operations. Copenhagen September 23–25. 2008. Forest & Landscape Working Papers no. 30/2008. s. 59–60.
- Jalava, K. 2007. Kantojen korjuun kustannusten selvittäminen metsänhoitoyhdistys Metsolle. Tutkintotyö. Tampereen ammattikorkeakoulu, metsätalouden koulutusohjelma. 36 s.
- Jonsson, Y. 1978. Jämförelser av drivningssystem för stubb- och rotved. Skogsarbeten Redogörelse 1/1978. 31 s.
- Jonsson, Y. 1985. Teknik för tillvaratagande av stubbved. Skogsarbeten Redogörelse 3/1985. 33 s.
- Karlsson, J. 2007. Produktivitet vid stubblyftning. SLU, Inst. för Skoglig Resursrshushållning. Examensarbete. Arbetsrapport 168. 52 s.
- Kuitto, P-J. 1984. Kantopuun korjuu kivennäismailla. Metsätehon Tiedotus 385. 16 s.
- Kärhä, K. & Peltola, J. 2004. Metsäkoneiden monikäyttöisyys. Metsätehon raportti 181. 17 s.
- Kärhä, K. 2007a. Metsähakkeen tuotantokalusto vuonna 2007 ja tulevaisuudessa. Metsätehon katsaus nro 28. 4 s.
- Kärhä, K. 2007b. Machinery for forest chip production in Finland in 2007. Metsätehon tuloskalvosarja 2007/14.
- Laitila, J. & Asikainen, A. 2009. Metsäenergian korjuun uusimmat teknologiset ratkaisut. Metlan BIO-ohjelman uutiskirje 3/2009. 2 s.
- Laitila, J., Asikainen, A. & Anttila, P. 2008a. Energiapuuvarat. Julkaisussa: Kuusinen, M. & Ilvesniemi, H. (toim.). Energiapuu korjun ympäristövaikutukset, tutkimusraportti. Tapion ja Metlan julkaisuja (saatavissa [www.metsavastaa.net/energiapuu/raportti](http://www.metsavastaa.net/energiapuu/raportti)). s. 6–12.
- Laitila, J., Ranta, T. & Asikainen, A. 2008b. Productivity of stump harvesting for fuel. International Journal of Forest Engineering 19(2):37–47
- Laitila, J., Ala-Fossi, A., Vartiamäki, T., Ranta, T. & Asikainen, A. 2007. Kantojen noston ja metsäkuljetuksen tuottavuus. Metlan työraportteja 46.
- Laurila, J. & Lauhanen, R. 2008. Kannonoston ja metsäkuljetuksen tuottavuus. Julkaisussa: Lauhanen R. & Laurila J. Bioenergian hankintalogistiikka. Tapaustutkimuksia Etelä-Pohjanmaalta. Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja B. Raportteja ja selvityksiä 33. s. 68–92
- Lazdins, A., Von Hofsten, H., Dagnija, L. & Lazdans, V. 2009. Productivity and costs of stump harvesting for bioenergy production in Latvian conditions. Jelgava, 28.-29.05.2009. s. 194–201.
- Lipponen, K. 2007. Kantojen nosto torjuu juurikäpää. BioEnergia 2/2007. s. 6–7.
- Markkila, M. 2005. Kannot energianlähteenä. Kehittyvä puuhuolto 2005 – seminaari metsäammattilaisille, 16.–17.2.2005. Paviljonki, Jyväskylä. Esitysmateriaali.
- Paananen, S. 2004. Kantopuun korjuu ja metsäpolttoaineiden prosessointi – PUUY36. Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2003. VTT Symposium 231. s. 105–111

- Rantala, J., Saarinen, V-M. & Hallongren, H. 2009. Kantojen noston ja maanmuokkauksen eri työketjujen työjäljen laatu, työn tuottavuus ja kustannukset. Moniste. 19 s.
- Rönkko, R. & Ulander, E. 2010. Työjäljen ja maanmuokkauksen laatu kannonnostokohteilla. *BioEnergia* 1/2010. s. 30–31.
- Saarinen, V-M. 2006. The effect of slash and stump removal on productivity and quality of forest regeneration operations – preliminary results. *Biomass & Bioenergy* 30 (2006): 349–356
- Saksa, T., Tervo, L. & Kautto, K. 2002. Hakkuutähteen korjuun vaikutukset metsän uudistamiseen. Teoksessa (toim.): Alakangas, E. 2002. *Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2002*. VTT Symposium 221: 243–261
- Ylitalo, E. 2009. Puun energiakäyttö 2008. *Metsätilastotiedote* 15/2009. 7 s.