

## **Kanto- ja juuripuun nosto hakkuutyön yhteydessä turvemaalla**

Juha Laitila, Kari Väätäinen 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 esitelmää ja kokouiskoosteita 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. 029 532 2111  
sähköposti [julkaisutoimitus@metla.fi](mailto:julkaisutoimitus@metla.fi)

#### Julkaisija

Metsäntutkimuslaitos  
PL 18  
01301 Vantaa  
puh. 029 532 2111  
sähköposti [info@metla.fi](mailto:info@metla.fi)  
<http://www.metla.fi/>

<b>Tekijät</b>			
Laitila, Juha, Väätäinen, Kari & Asikainen, Antti			
<b>Nimeke</b>			
Kanto- ja juuripuun nosto hakkuutyön yhteydessä turvemaalla			
<b>Vuosi</b>	<b>Sivumäärä</b>	<b>ISBN</b>	<b>ISSN</b>
2012	23	978-951-40-2398-9 (PDF)	1795-150X
<b>Alueyksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet</b>			
Itä-Suomen alueyksikkö / Forest energy 2020 / Toimitusvarmat ja tehokkaat puubiomassan hankinta- ketjut metsästä loppukäyttäjälle 3561			
<b>Hyväksynyt</b>			
Leena Paavilainen, tutkimusjohtaja, 11.9.2012			
<b>Tiivistelmä</b>			
<p>Tutkimuksessa selvitettiin hakkuutyön tuottavuus ja puubiomassan korjuukustannus työtavalla, jossa puut nostetaan maasta juurineen hakkuutyön yhteydessä. Em. työtapa verrattiin perinteiseen korjuutapaan, jossa maanpäällinen puubiomassa ja kantopuu korjataan talteen erillisinä työvaiheina, kun suota valmistellaan turvetuotantoa varten. Tuottavuuseron selvittämiseksi tehtiin vertaileva aikatutkimus, jossa hakkuu tehtiin yksinpuin keskiraskeella hakkuukoneella ja juurakon nostoa ja kasausta lukuun ottamatta puun prosessointitapa (katkonta, karsinta ja latvusmassan kasaus) olivat samat.</p> <p>Aikatutkimusaineistojen pohjalta laadittiin puukohtaiset ajanmenekkimallit, joiden avulla verrattiin hakkuutapojen ajanmenekkiä, tuottavuutta ja kustannusta hakkuupoistuman rinnankorkeusläpimitan mukaan. Korjuutapavertailun tulokset laskettiin puun kokonaisbiomassan (juuret, runkopuu ja latvusmassa) korjuukustannuksena (€/m<sup>3</sup>) tienvarsivarastolla hakkuun ajanmenekkimallien ja aiemmin julkaistujen metsäkuljetustutkimusten ja kantojen korjuututkimusten tulosten perusteella.</p> <p>Tutkimuksen mukaan hakkuuseen integroidulla kantojen nostolla oli mahdollista alittaa erilliskorjuun kustannukset turvetuotantoalueen valmisteluhakkuussa. Vertailulaskelman mukaan integroitu korjuu oli kannattava menetelmä rinnankorkeusläpimitaan 20 cm saakka, kun hakkuukoneen käyttötuntikustannus oli sama kuin normaalilla hakkuutavalla. Jos hakkuukoneen käyttötuntikustannus oli 10% kalliimpi kuin perinteisellä hakkuutavalla, niin integroitu korjuu on kannattava menetelmä hakkuupoistuman rinnankorkeusläpimitaan 18 cm saakka. Kun hakkuukoneen käyttötuntikustannus oli 20% kalliimpi, niin integroitu korjuu oli kannattava hakkuutapa rinnankorkeusläpimitaan 16 cm saakka turvetuotantoalueen valmisteluhakkuussa.</p> <p>Tutkimustulokset olivat erittäin lupaavat integroidun korjuun osalta. Hakkuutapa on kuitenkin uusi ja koottu aineisto sekä kaluston ja kuljettajien osalta suppea, mikä vaikeuttaa tulosten yleistämistä. Käytännön kokeiluja kannattaa kuitenkin jatkaa etenkin kaivukoealustaisilla hakkuukoneilla. Hakkuutyön käytännön tuottavuuden ohella tulisi seurata polttoaineen kulutusta sekä puomiston ja hakkuulaitteen kestävyyttä ja selvittää hakkuukoneen todellinen käyttötuntikustannus perinteiseen hakkuutapaan verrattuna. Lisäksi tulisi kerätä kokemuksia ainespuun, latvusmassan ja kantopuun metsäkuljetuksen onnistumisesta myllyretyillä suopohjilla.</p>			
<b>Asiasanat</b>			
puunkorjuu juurineen, kannot, metsähake, turvetuotanto, integroitu korjuu, avohakkuu, yksiotteharvesteri			
<b>Julkaisun verkko-osoite</b>			
<a href="http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp248.htm">http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp248.htm</a>			
<b>Tämä julkaisu korvaa julkaisun</b>			
<b>Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla</b>			
<b>Yhteydenotot</b>			
Juha Laitila, Metla, PL 68, 80101 Joensuu. Sähköposti <a href="mailto:juha.laitila@metla.fi">juha.laitila@metla.fi</a>			
<b>Bibliografiset tiedot</b>			
<b>Muita tietoja</b>			
Taitto: Maija Heino			

## Sisällys

<b>1 Johdanto.....</b>	<b>5</b>
1.1 Tutkimuksen tavoite .....	6
<b>2 Aineisto ja menetelmät.....</b>	<b>7</b>
2.1 Aikatutkimuskoealat .....	7
2.2 Puustotunnusten laskenta hakkuupoistuman puille .....	8
2.3 Aikatutkimukset .....	9
2.4 Korjuumenetelmävertailun laskentaperusteet .....	11
2.4.1 Korjuumenetelmävertailun korjuuketjut .....	11
2.4.2 Korjuukoneiden käyttötuntikustannukset .....	12
<b>3 Tulokset .....</b>	<b>14</b>
3.1 Tehoajanmenekin rakenne hakkuutyössä .....	14
3.2 Hakkuutapojen ajanmenekkimallit ja tuottavuus .....	14
3.3 Korjuukustannukset.....	16
3.3.1 Hakkuukustannus .....	16
3.3.2 Kantojen noston kustannus.....	16
3.3.3 Metsäkuljetuksen kustannus.....	16
3.3.4 Puubiomassan korjuukustannus tienvarsivarastolla .....	18
<b>4 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset.....</b>	<b>19</b>
<b>Kirjallisuus .....</b>	<b>22</b>

## 1 Johdanto

Suomen nykyisestä lähes yhdeksästä miljoonasta suohehtaarista noin puolet on ojitettu (Nuutinen 2000). Ojitusalueilla sarkaväli on yleensä 20–60 metriä, ojien syvyys 70–90 cm ja leveys 150–200 cm (Heikurainen 1983). Vilkkaimmillaan soiden kuivatus oli 1960- ja 1970-luvuilla, jolloin kuivatettiin noin 4 miljoonaa hehtaaria (Lauhanen 2002) metsätalouden tarpeisiin. Suomettien puuston kokonaistilavuus on 479 miljoonaa kiintokuutiometriä (m<sup>3</sup>). Männyn osuus puuston runkotilavuudesta on likimain puolet, kuusen noin neljännes. Loppu on lähes kokonaan hieskoi-vua (Tomppo 2005). Yli puolet turvemaidella kasvavista metsistä on nuoria kasvatusmetsiä, joissa puut – riippuen ojituksen ja metsänhoidon onnistumisesta – ovat vasta vähitellen saavuttamassa käyttöpuun koon (Nuutinen 2000). Uudistuskypsien metsien osuus pinta-alasta on vielä pieni mutta pinta-alat tulevat kasvamaan nopeasti tulevaisuudessa (Saarinen 2005). Puuston tilavuus metsämaan soilla on keskimäärin 87 m<sup>3</sup>/ha (Tomppo 2005).

Suometsien leimikot poikkeavat vastaavista kivennäismaiden leimikoista sekä maastoltaan että puustoltaan. Puunkorjuun erityispiirteitä ovat mm. maaperän huono ja suuresti vaihteleva kantavuus, ojien muodostamat esteet, pitkät metsäkuljetusmatkat, vähäinen hakkuukertymä, puuston pieni koko ja epätasainen jakautuminen leimikolla sekä pinnallinen juuristo (esim. Högnäs 1986, Eeronheimo 1991, Sirén 2000, Ylimartimo ym. 2001, Ala-Ilomäki 2005, 2006, Heikkilä 2007).

Metsätalouden ohella soita on ojitettu ja raivattu sekä maanviljelyn että turvetuotannon tarpeisiin. Lisäksi osa soista on ekologisista syistä suojeltu talouskäytön ulkopuolelle tai niitä ei ole niukkaravinteisina kannattanut ojittaa. Geologian tutkimuskeskuksen mukaan (Virtanen ym. 2003) peltoina turvamaita on 330 000 hehtaaria ja turvetuotannossa soita on 63 000 hehtaaria, eli 3,6 % ja 0,6 % turvemaiden pinta-alasta. Suojelualueita on 1,13 miljoonaa suohehtaaria, minkä lisäksi metsätalouskäyttöön ojittamattomia soita on 3,01 miljoonaa hehtaaria. Geologian tutkimuskeskuksen mukaan turvetuotantoon soveltuvien soiden pinta-ala on 1,2 miljoonaa hehtaaria ja niiden energiasisältö on 12 800 TWh (Virtanen ym. 2003).

Turpeella on tärkeä rooli Suomen energiantuotannossa ja erityisesti kaukolämpölaitosten polttoainehuollossa jo 1970-luvulta lähtien. Turpeen käyttö on ollut viime vuosina 20–29 TWh ja sillä on tuotettu 6–7 % Suomen vuotuisesta primaarienergian tarpeesta (Metsätilastollinen vuosikirja 2010). VTT:n arvion mukaan uutta turvetuotantopinta-alaa tarvitaan vuoteen 2020 mennessä energiantuotannon tarpeisiin 50 000 hehtaaria ja kasvu- ja ympäristöturpeen tuotantoon 8 000 hehtaaria, kun vanhoja 1970-luvulla tuotantoon otettuja suopohjia vapautuu turvetuotannosta (Flyktman 2009). Soiden ja turvemaiden kansallista strategiaa valmistelleen työryhmän ehdotusten mukaisesti jatkossa turvetuotanto esitetään kohdennettavaksi pelkästään ojitetuille tai luonnontilaltaan merkittävästi muuttuneille soille (Soiden ja turvemaiden... 2011).

Uuden turvetuotantoalueen raivauksessa suolta poistetaan sekä maanpäällinen että maanalainen puubiomassa. Lisäksi tuotantokenttä ojitetaan 20 metrin sarkavälillä, alue tasataan ja sarkojen pinta muotoillaan kuperaksi turpeen kuivumisen edistämiseksi. Runsaspuustoisilla soilla tuotantokentän raivaus on valmistelutyön kallein vaihe, koska kannot joudutaan joko nostamaan ylös maasta tai jyrsimään kappaleiksi turpeen sekaan (Suoninen 1983).

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.

Kivennäismailla 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 juurakon kuivamassa ja kiintotilavuus on jonkin verran suurempi kuin kantoläpimitaltaan 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 Suomessa. Edellisen kerran kantoja nostettiin 1970-luvulla ja 80-luvun alussa, jolloin niitä hankittiin joko sulfaattiselvityksen raaka-aineeksi tai energiakäyttöön (esim. Hakkila 1976, Kuitto 1984). Kalliit korjuukustannukset tekivät kuitenkin toiminnan kannattamattomaksi ja kantojen käyttö tyrehtyi. Korjuutoiminta 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 2010 kantohaketta käytettiin lämpö- ja voimalaitoksissa jo  $1,0$  miljoonaa kiintokuutiometriä (Ylitalo 2011).

## 1.1 Tutkimuksen tavoite

Tässä tutkimuksessa selvitettiin hakkuutyön tuottavuus ja puubiomassan korjuukustannus työtavalla, jossa puut nostetaan maasta juurineen hakkuutyön yhteydessä. Em. työtapaa verrattiin perinteiseen korjuutapaan, jossa maanpäällinen puubiomassa ja kantopuun korjataan talteen erillisinä työvaiheina, kun suota valmistellaan turvetuotantoa varten. Tuottavuuseron selvittämiseksi tehtiin vertaileva aikatutkimus, jossa puidenhakkuu tehtiin yksinpuin keskiraskealla hakkuukoneella ja juurakon nostoa ja kasausta lukuun ottamatta puun prosessointitapa (katkonta, karsinta ja latvusmassan kasaus) olivat samat em. työtavoilla.

Aikatutkimusaineistojen pohjalta laadittiin puukohtaiset ajanmenekkimallit, joiden avulla verrattiin hakkuutapojen ajanmenekkiä, tuottavuutta ja kustannusta hakkuupoistuman rinnankorkeusläpimitan mukaan. Korjuutapavertailun tulokset laskettiin puun kokonaisbiomassan (juuret, runkopuu ja latvusmassa) korjuukustannuksena ( $\text{€}/\text{m}^3$ ) tienvarsivarastolla hakkuun ajanmenekkimallien ja aiemmin julkaistujen metsäkuljetustutkimusten ja kantojen korjuututkimusten tulosten perusteella.

## 2 Aineisto ja menetelmät

### 2.1 Aikatutkimuskoealat

Hakkuutyön tuottavuus selvitettiin aikatutkimuskoealoilla, joita oli yhteensä 20 kappaletta eli 10 koealaa per hakkuutapa. Koealat pyrittiin sijoittamaan niin, että työskentelyolosuhteet olisivat mahdollisimman samat ja vertailukelpoiset molemmilla hakkuutavoilla. Aikatutkimuskoealojen pituus oli 25 metriä ja leveys 15 metriä (hakkuukoneen työskentelyleveys). Koealojen rajat merkittiin maastoon kuitunauhalla ja merkkimaalilla. Maastossa koealoja oli neljä rinnakkain ja viisi peräkkäin (4 x 5 kpl) ja ne sijaitsivat ojitetulla suolla, jossa saran leveys oli 60 metriä. Koealojen puista mitattiin rinnankorkeusläpimitat ( $d_{1,3}$  m) yhden senttimetrin (cm) tarkkuudella ja mitatut läpimitat merkittiin koealan puihin pahvilapulla (kuva 1). Hakkuupoistuman puut olivat mäntyjä ja aikatutkimuskoealoilta mitattuja puita oli yhteensä 729 kappaletta. Koealan puista 386 korjattiin juurineen hakkuutyön yhteydessä ja 343 sijaitsevat ns. perinteisen hakkuutavan koealoilla. Rinnankorkeusläpimitan ohella osasta koealojen puista (145 kpl) mitattiin pituus kymmenen senttimetrin (10 cm) tarkkuudella pituusmallin laadintaa varten. Aikatutkimuskoealoilla hakkuupoistuman rinnankorkeusläpimitta vaihteli välillä 5–28 cm ja pituuskoepuiden pituus välillä 6,2–19,3 m. Hakkuupoistuman tiheys vaihteli välillä 293–1 413 puuta hehtaarilla (ha).



**Kuva 1.** Näkymä aikatutkimuskoealalta, jossa puiden rinnankorkeusläpimitat on mitattu ja merkitty pahvilapulle (Kari Väätäinen/Metla).

## 2.2 Puustotunnusten laskenta hakkuupoistuman puille

Pituuskoepuista mitattujen läpimitta- ja pituushavaintojen perusteella laadittiin pituusmalli (kuva 2), jossa puun pituutta (m) ennustettiin rinnankorkeusläpimitan (cm) perusteella. Pituusmalli oli muotoa:

$$y = 2,705 + 0,768x - 0,008x^2, \text{ jossa}$$

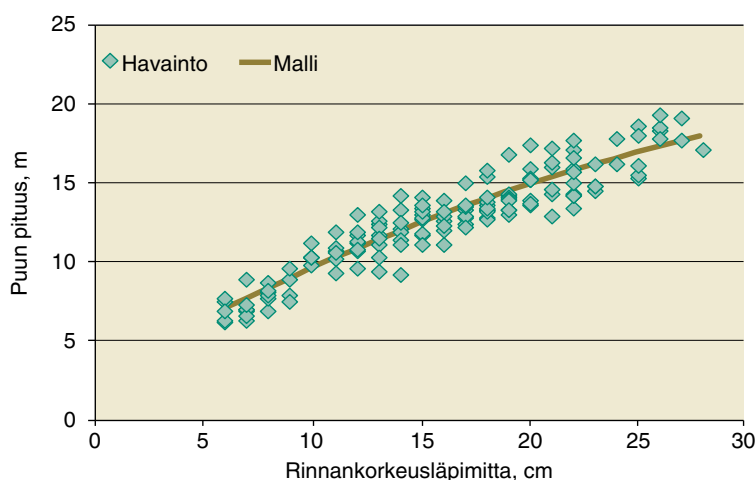
y = Puun pituus, m

x = Rinnankorkeusläpimitta, cm

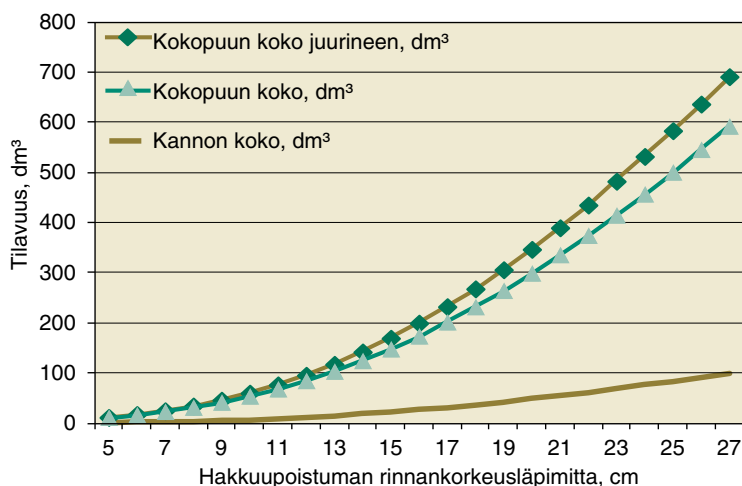
$$r^2 = 0,87$$

Puun kokonaistilavuus (juuret, runkopuu, elävä latvus ja kuolleet oksat) ja maanpäällisen osan tilavuus (runkopuu, elävä latvus ja kuolleet oksat) laskettiin Repola ym. (2007) biomassamallien ja Hakkilan (1978) kuivatuoretiheyskertoimien avulla. Puiden biomassan määrän selittäjinä olivat puulaji (mänty), puiden pituus, elävän latvuksen pituus ja rinnankorkeusläpimitta (Repola ym. 2007). Puu-biomassalaskelmassa elävän latvuksen ja puun pituuden väliseksi suhteeksi oletettiin 40 %.

Kokopuun ja juurineen korjatun kokopuun tilavuus kasvoi rinnankorkeusläpimitan mukaan (kuva 3). Rinnankorkeusläpimittaluokassa 5 cm kokopuun tilavuus oli 11 dm<sup>3</sup> ja juurineen korjattuna puun tilavuus oli 12 dm<sup>3</sup>. Vastaavasti rinnankorkeusläpimittaluokassa 27 cm juurineen korjatun puun kokonaistilavuus oli 691 dm<sup>3</sup> ja maanpäällisen biomassan tilavuus oli 591 dm<sup>3</sup>. Kantojen tilavuus kasvoi 1 dm<sup>3</sup>:sta 100 dm<sup>3</sup>:aan, kun rinnankorkeusläpimitta kasvoi 5 cm:stä 27 cm:iin (kuva 3).



**Kuva 2.** Pituusmalli ja havainnot hakkuupoistuman puista.



**Kuva 3.** Puun kokonaistilavuus, kannon tilavuus ja maanpäällisen osan tilavuus (dm<sup>3</sup>) hakkuupoistuman rinnankorkeusläpimitan (cm) mukaan. Pituusmallilla, Repola ym. (2007) biomassamalleilla ja Hakkilan (1978) kuivatuoretiheyskertoimilla laskettu tulos.



## 2.3 Aikatutkimukset

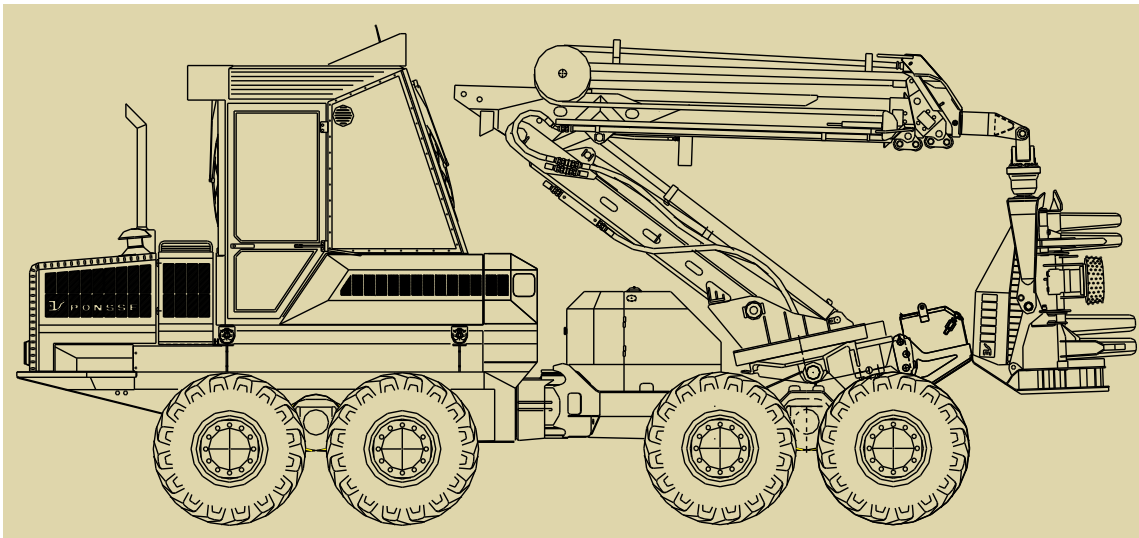
Aikatutkimuksissa hakkuutyö tehtiin Ponsse Cobra HS 10 hakkuukoneella (kuva 4), jonka nosturi oli Ponsse HN 125 ja hakkuulaite oli mallia Ponsse H53. Peruskunnostettu hakkuukone oli vuosimallia 1996 ja sillä oli ajettu yhteensä 32 000 käyttötuntia. Konevalmistajalta saatujen tietojen mukaan kahdeksanpyöräisen hakkukoneen omapaino oli 11 350 kg ja Perkins 1006-6TW HP moottorin teho oli 145 kW. Nosturin maksimulottuvuus oli 10 metriä ja nostomomentti (brutto) oli 155 kNm. Ponsse H53 hakkulaitteen omapaino oli 850 kg.

Aikatutkimukset tehtiin 22.–23. marraskuuta 2010, jolloin maassa oli lunta noin 10 cm ja pakkas- ta noin -15 astetta. Maanpinta oli hiukan kohmeessa 2–3 cm paksuudelta mutta muutoin suo oli vielä täysin sula. Aikatutkimukset tehtiin päivänvalossa klo 8:00 ja klo 16:00 välillä kirkkaalla pakkassäällä Saarijärvellä Keski-Suomessa.

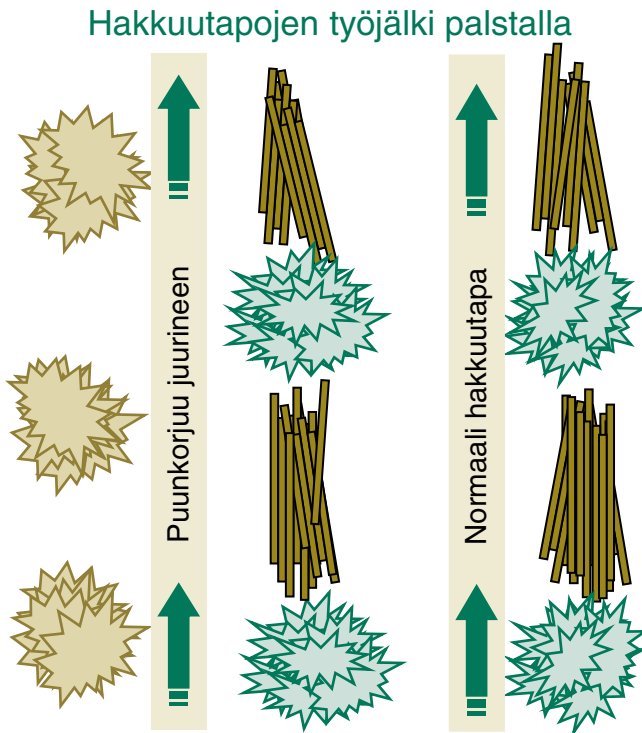
Kuljettajana toimineella koneyrittäjällä oli 13 vuoden työkokemus koneellisesta puunkorjuusta ja kolmen kuukauden mittainen aiempi työkokemus hakkuutavasta, jossa juuripuu korjataan hakkuutyön yhteydessä. Aikatutkimuksissa kuitupuun katkontapituus oli 3–5 metriä ja minimi latvaläpimitta oli 6 cm. Pikkutukin pituudet olivat 3,1 ja 4,3 metriä ja latvaläpimitta oli 11–22 cm. Tukilla katkontapituudet olivat 4,3–4,9 metriä ja minimilatvaläpimitta oli 15 cm.

Aikatutkimuksissa hakkuutyön yhteydessä nostetut kannot kasattiin ajouran vasemmalle puolelle ja latvusmassa sekä ainespuu ajouran oikealle puolelle ajouran suuntaisesti (kuva 5 ja 6). Perinteisellä hakkuutavalla sekä latvusmassa että kannot kasattiin ajouran vasemmalle puolelle. Hakkuussa ainespuu ja latvusmassa sekä kannot pyrittiin kasaamaan yhdelle puolelle ajouraa mahdollisimman suuriin kourakasoihin, jotta ne olisivat löydettävissä, jos hakkuun ja metsäkuljetuksen välillä ennättää sataa lunta.

Aikatutkimusaineisto kerättiin jatkuvaan kelloaikatutkimukseen ja havainnointiin perustuvalla menetelmällä, missä työvaiheet kirjataan niiden vaihtumisajankohdan mukaan. Aikatutkimuksissa työntutkija rekisteröi koealan puihin merkityt rinnankorkeusläpimitat puun kaadon yhteydessä. Työvaiheiden ajanmenekki tallennettiin Rufco 901 maastotietokoneella yhden senttiminuutin tarkkuudella. Lopullisissa tuloksissa tehoajanmenekki muutettiin 60 jaolliseen sekunti- ja minuuttimuotoon.



**Kuva 4.** Tyyppikuva Ponsse Cobra HS 10 hakkuukoneesta (Kuva Ponsse Oyj).



**Kuva 5.** Ainespuun, latvusmassan ja kantojen sijoittuminen ajouran varteen, kun puut korjataan juurineen tai perinteisellä hakkuutavalla.

Aikatutkimuksissa hakkuukoneen työskentelyaika jaettiin seuraaviin työvaiheisiin:

- Työpistesiiro
- Hakkuulaitteen vienti puun tyvelle ja tarttuminen
- Puun maasta irrotus / kaato (samassa yhteydessä rekisteröitiin kaadettavan puun rinnankorkeusläpimitta puun kyljestä)
- Puun tuonti/nosto ajouran varteen
- Kannon irtisahaus runkopuusta
- Rungon prosessointi (karsinta ja katkonta)
- Ainespuun kasaus ja järjestely
- Muut apuajat
- Raivaus

Työpistesiirolla tarkoitettiin hakkuukoneen siirtymistä työpisteestä toiseen. Työvaihe alkoi, kun kone lähti liikkeelle ja päättyi, kun hakkuulaitteen vienti puulle alkoi. Työvaihe sisälsi myös työsuunnittelua ja pystypuiden apteerausta. Normaalilla hakkuutavalla hakkuulaite vietiin puun tyvelle, hakkuulaite tarttui puuhun, jonka jälkeen seurasi kaatosahaus ja rungon hallittu kaato. Juurinen hakkuussa hakkuulaiteella tartuttiin puuhun 2–3 metrin korkeudelta, jonka jälkeen puu vivuttiin puomin liikkeillä irti maasta. Tämän jälkeen puu nostettiin ajouran vasemmalle sivulle, jossa suoritettiin kantuun irtisahaus runkopuusta sekä puun hallittu kaato ajouran suuntaisesti. Puun noston yhteydessä hakkuulaite syötettiin puun tyvelle. Rungon prosessointi työvaihe sisälsi rungon karsinnan, katkonnan, latvusmassan kasauksen sekä pölkkyjen tavanomaisen kasauksen. Myös lopulliset apteerauspäätökset sisältyivät tähän työvaiheeseen. Työvaihe päättyi, kun kone aloitti hakkuulaitteen viennin seuraavalle rungolle tai siirtymisen seuraavaan työpisteeseen. Ainespuun kasauksella ja järjestelyllä tarkoitettiin ylimääräistä pölkkyjen kasauksella tai kourakasojen järjestelyä. Muulla apuajalla tarkoitettiin hakkuutyöhön liittyviä aputoimia tai normaalia käsittelyä poikkeavia tilanteita, kuten häiriöitä karsinnassa, latvusmassan siirtelyä tai hakkuukoneen peruuttelua työpisteellä. Raivaustyövaiheeseen kuului mahdollisen aliskasvoksen raivaaminen joko sahaamalla tai hakkuulaitteella painelemalla.



**Kuva 6.** Hakkuukoneen työskentelyä turvetuotantoalueen valmisteluhakkuussa (Juha Laitila/Metla).

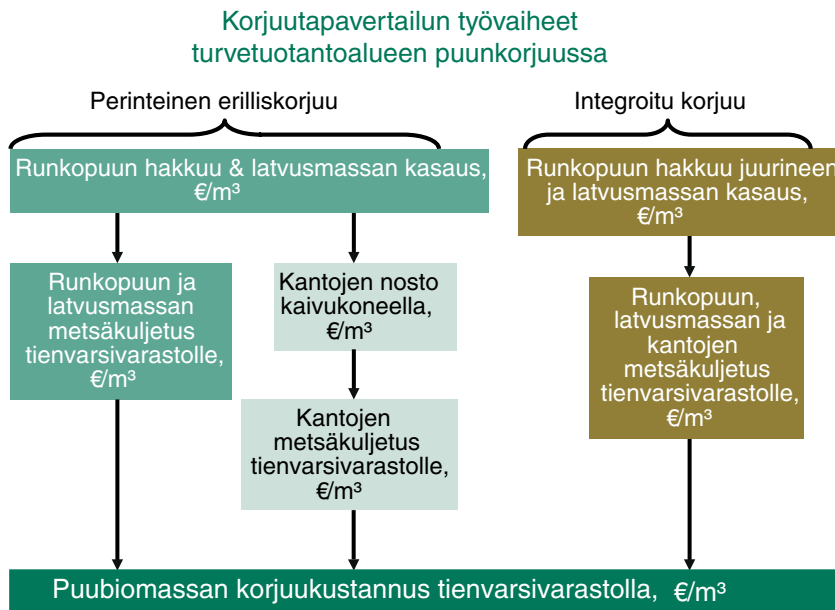
## 2.4 Korjuumenetelmävertailun laskentaperusteet

### 2.4.1 Korjuumenetelmävertailun korjuuketjut

Korjuumenetelmävertailussa laskettiin kantojen, runkopuun ja latvusmassan korjuukustannukset tienvarsivarastolla kahdella eri korjuuketjulla ja korjuutavalla (kuva 7). Perinteisessä erilliskorjuun korjuuketjussa runkopuun hakkuu ja latvusmassan kasaaminen tehtiin keskikokoisella hakkuukoneella ja em. työtavan tuottavuus perustui tässä tutkimuksessa laadittuun ajanmenekkimalliin. Runkopuun metsäkuljetuksen tuottavuus laskettiin Väättäinen ym. (2007) malleilla ja latvusmassan metsäkuljetuksen tuottavuus Asikainen ym. 2001 malleilla. Kantojen nosto ja metsäkuljetus suoritettiin erillisinä työvaiheina. Nostotyön tuottavuus perustui Laitila ym. 2008 ajanmenekkimalliin ja kantojen metsäkuljetuksen tuottavuus Laitilan (2010) ajanmenekkimalliin.

Integroidussa korjuussa kantojen nosto oli liitetty hakkuutyön yhteyteen ja työ tehtiin keskikokoisella hakkuukoneella. Em. työtavan tuottavuus perustui tässä tutkimuksessa laadittuun ajanmenekkimalliin. Runkopuun, latvusmassan ja kantojen metsäkuljetuksen tuottavuus laskettiin samoilla ajanmenekkimalleilla kuin erilliskorjuun korjuuketjussa (Väättäinen ym. 2007, Asikainen ym. 2001, Laitila 2010).

Hakkuutyön tehoajanmenekki sekä erilliskorjuussa että integroidussa korjuussa muutettiin käyttötuntituottavuudeksi kertoimella 1,25. Kaivukoneella tehdyn kantojen noston tehoajanmenekki muutettiin puolestaan käyttötuntituottavuudeksi kertoimella 1,2. Kantojen, runkopuun ja latvusmassan metsäkuljetuksen tuottavuus muutettiin käyttötuntituottavuudeksi kertoimella 1,2 sekä erilliskorjuussa että integroidussa korjuussa.



**Kuva 7.** Korjuumenetelmävertailun työvaiheet.

Latvusmassan metsäkuljetuksessa kuormakoko oli  $7 \text{ m}^3$  molemmilla korjuutavoilla. Runkopuun metsäkuljetuksessa kuormakoko oli integroidussa korjuussa  $10 \text{ m}^3$  ja erilliskorjuussa  $13 \text{ m}^3$ . Kantojen metsäkuljetuksessa kuormakoko oli integroidussa korjuussa  $5 \text{ m}^3$  ja erilliskorjuussa  $8 \text{ m}^3$ . Integroidussa korjuussa runkopuun metsäkuljetuksen kuormakoko oli pienempi, koska maapohjan kantavuus oli kantojen poiston vuoksi huonompi kuin erilliskorjuussa. Kantojen metsäkuljetuksessa integroidun korjuun kuormakoko oli pienempi sen vuoksi, että kokonaisuena nostettuja kantoja mahtuu kuormatilaan oletettavasti vähemmän kuin pilkottuja kantoja. Sen lisäksi kokonaisuena nostettuihin kantoihin jäävä maa-aines pienentää metsäkuljetuksen hyötykuormaa integroidussa korjuussa.

#### 2.4.2 Korjuukoneiden käyttötuntikustannukset

Tutkimuksessa tehtiin käyttötuntikustannuslaskelmat keskikokoiselle hakkuukoneelle ja metsätraktorille (taulukko 1). Käyttötuntilaskelmassa hakkuukoneen hankintahinta oli  $300\,200 \text{ €}$  (Alv 0 %) ja hakkuulaitteen  $52\,800 \text{ €}$  (Alv 0 %). Koneyksikön käyttötunnit olivat  $2\,500$  tuntia vuodessa. Hakkuukoneen pitoaika oli  $15\,000$  tuntia ja vuotuinen poisto 23 %. Hakkuulaitteen pitoaika oli puolestaan  $7\,000$  tuntia ja vuotuinen poisto 35 %. Metsätraktorin hankintahinta oli laskelmassa  $254\,000 \text{ €}$  (Alv 0 %) ja koneen pitoaika oli  $16\,000$  käyttötuntia. Vuotuinen poisto oli 23 % ja vuotuiset käyttötunnit  $2\,500$  tuntia. Pääoman korko oli 2,6 % molemmille koneille. Hakkuukoneen ja metsätraktorin käyttötuntilaskennassa (taulukko 1) käytetyt laskenta-arvot perustuvat Väätäinen ym. 2010 tutkimuksen laskenta-arvoihin, jotka korjattiin vastaamaan nykyhetken kustannustasoa Tilastokeskuksen metsäkonealan konekustannusindeksillä.

Kaivukoneen käyttötuntikustannus kantojen nostotyössä perustui Laitila ym. 2010 tutkimukseen ja se korjattiin vastaamaan nykyhetken kustannustasoa Tilastokeskuksen metsäkonealan konekustannusindeksillä. Kaivukoneen käyttötuntikustannus oli tässä tutkimuksessa  $60 \text{ €/h}$ .

**Taulukko 1.** Hakkuukoneen ja metsätraktorin käyttötuntilaskelma.

	Hakkuukoneen vuosikustannukset, €	Metsätraktorin vuosikustannukset, €
Palkat	39 640	36 644
Väilliset palkat	26 400	24 405
Matka ja majoitus	9 875	9 875
Poltto- ja voiteluaineet	23 407	20 648
Korjaus ja huolto	26 845	17 214
Konesiirrot	11 200	11 200
Pääoman poisto	52 372	28 578
Korko	6 272	4 115
Vakuutukset	2 730	1 900
Hallinto ja työnjohto	7 500	4 850
Yrittäjäriski, 5%	10 312	7 971
Kustannukset yhteensä	216 553	167 400
Käyttötuntikustannus, €/h	86,6	67,0

### 2.4.3 Leimikko-olosuhteet

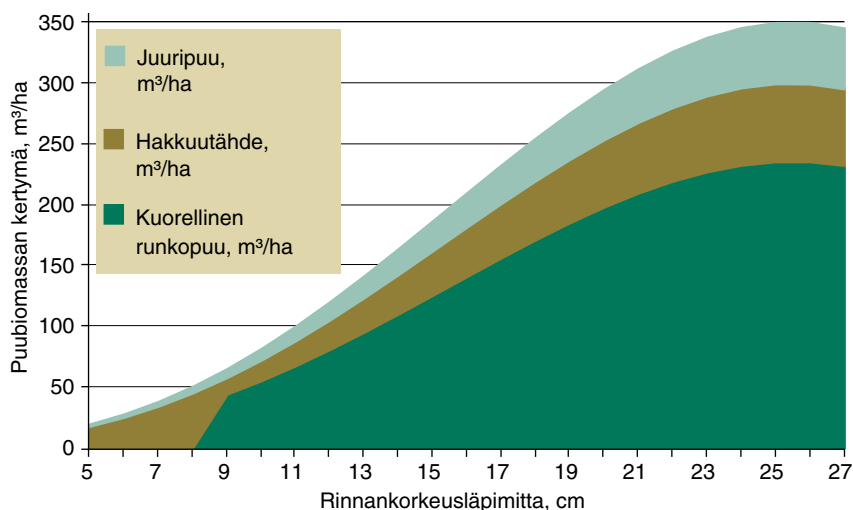
Vertailulaskelmissa hakkuupoistuman rinnankorkeusläpimitta oli 5–27 cm ja hakkuupoistuman tiheys pieni läpimitan kasvaessa 1 600 rungosta hehtaarilla 500 runkoon hehtaarilla. Korjuumenetelmä vertailut tehtiin esimerkkityömaalla, jossa metsäkuljetusmatka oli 300 metriä. Hakkuupoistuman tiheys hehtaarilla laskettiin kaavalla:

$$y = -50x + 1850, \text{ jossa}$$

$y$  = hakkuupoistuman tiheys, runkoja hehtaarilla

$x$  = hakkuupoistuman rinnankorkeusläpimitta, cm

Puiden tilavuudet integroidussa korjuussa ja erilliskorjuussa olivat samat, kuin kuvassa 3 esitetyt tilavuudet. Vertailutyömaalla runkopuu korjattiin hakkuutähteenä rinnankorkeusläpimitaan 9 cm saakka (kuva 8) runkopuun pienen hehtaarikertymän vuoksi. Sitä suuremmilla läpimitoilla runkopuu korjattiin talteen omana puutaralajinaan. Vertailutyömaalla runkopuun hehtaarikertymä kasvoi läpimitan kasvaessa 44 m<sup>3</sup>:sta 223 m<sup>3</sup>:iin (kuva 8). Vastaavasti kantopuun hehtaarikertymä oli 1,5 m<sup>3</sup>–49,8 m<sup>3</sup> ja latvusmassan 17 m<sup>3</sup>–63 m<sup>3</sup> (kuva 8). Kantoläpimitta laskettiin kertomalla rinnankorkeusläpimitta kertoimella 1,33 (Hakkila 1976). Em. tietoa tarvittiin, kun laskettiin kantojen korjuun tuottavuutta erilliskorjuussa.

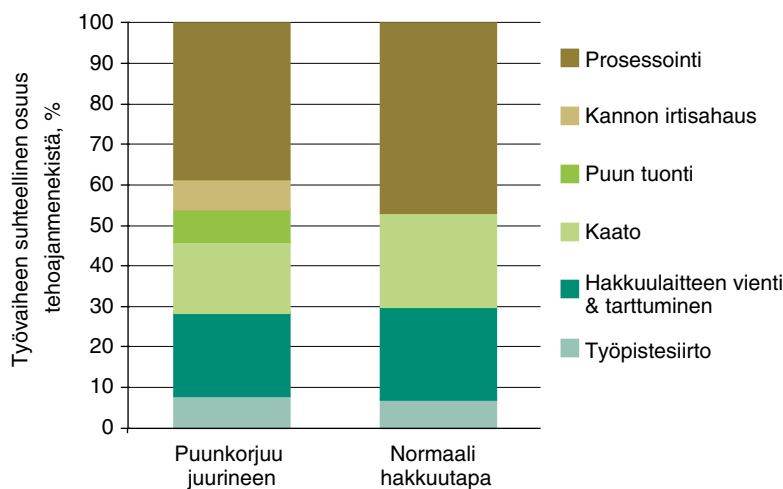


**Kuva 8.** Puubiomassan hakkuukertymä (m<sup>3</sup>/ha) esimerkkityömaalla rinnankorkeusläpimitan mukaan.

### 3 Tulokset

#### 3.1 Tehoajanmenekin rakenne hakkuutyössä

Hakkuutavassa, jossa puu korjattiin juurineen, työpistesiiirron osuus tehoajanmenekistä oli keskimäärin 8 % ja hakkuulaitteen viennin ja puuhun tarttumisen osuus oli 21 % (kuva 9). Puun kaaatoon juurineen käytettiin tehoajasta keskimäärin 18 % ja puun prosessointiin 38 %. Puun tuontiin ajouran varteen kului 8 % tehoajasta, samoin kuin kannon irtisahaukseen (kuva 9). Perinteisellä hakkuutavalla työpistesiiirtoon kului tehoajasta keskimäärin 7 % ja hakkuulaitteen vientiin ja puuhun tarttumiseen 23 %. Kaadon osuus oli myös 23 % ja puun prosessointiin kului 47 % hakkuutyön tehoajasta (kuva 9).



**Kuva 9.** Työvaiheiden suhteelliset osuudet tehoajanmenekistä hakkuuverailun työvoilla.

#### 3.2 Hakkuutapojen ajanmenekkimallit ja tuottavuus

Työpistesiiirrolle luotiin puukohtainen ajanmenekkimalli, joka oli sama molemmille hakkuutavoille. Siirtymisajan ajanmenekki jaettuna työpisteen runkojen määrällä oli siirtymisaika runkoa kohden. Työpistesiiirrossa puukohtainen ajanmenekki pieneni hakkuupoistuman tiheyden kasvaessa (kuva 10). Laadittu ajanmenekkimalli oli muotoa:

$$y = 10,868 - 1,328 \ln(x), \text{ jossa}$$

$$y = \text{Puukohtainen työpistesiiirron ajanmenekki, s}$$

$$x = \text{Hakkuupoistuman tiheys, puita hehtaarilla}$$

$$r^2 = 0,46$$

Hakkuutavoille laadittiin ajanmenekkimallit, jossa puukohtaista hakkuuaikaa selitettiin hakkuupoistuman rinnankorkeusläpimitalla. Puukohtainen hakkuuaika suureni läpimitan kasvaessa (kuva 11).

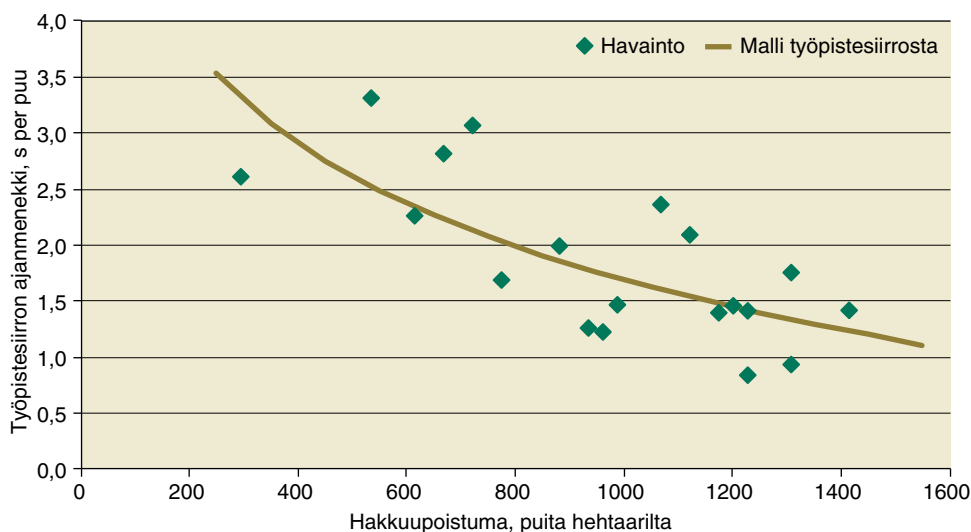
Juurineen hakkuulle tehty ajanmenekkimalli oli muotoa:

$$y = 3,69x - 0,228x^2 + 0,007x^3 - 1,707, \text{ jossa}$$

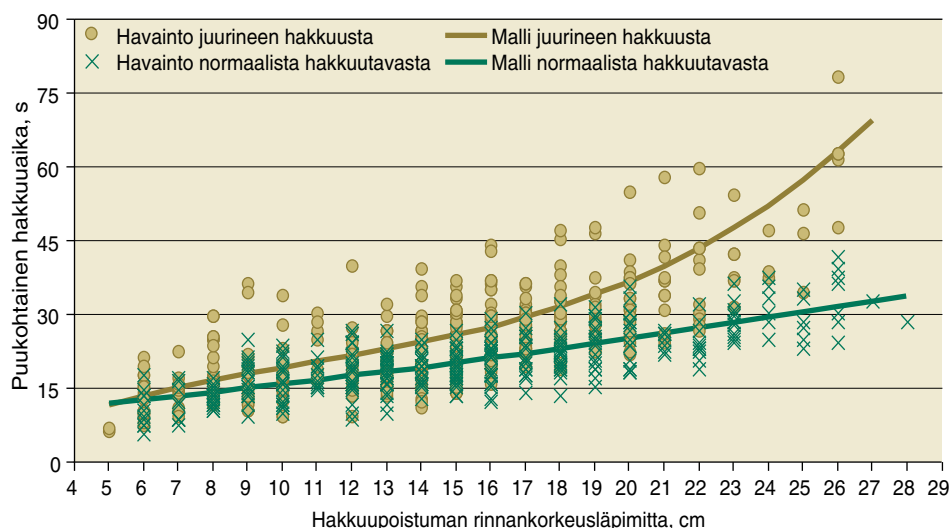
$$y = \text{Puukohtainen hakkuuaika juurineen korjuussa, s}$$

$$x = \text{Hakkuupoistuman rinnankorkeusläpimita, cm}$$

$$r^2 = 0,60$$



**Kuva 10.** Työpistesiiiron puukohtainen ajanmenekki hakkuupoistuman tiheyden mukaan.



**Kuva 11.** Puukohtainen tehoajanmenekki (s/puu) juurineen korjuussa ja perinteisellä hakkuutavalla.

Perinteisen hakkuutavan ajanmenekkimalli oli muotoa:

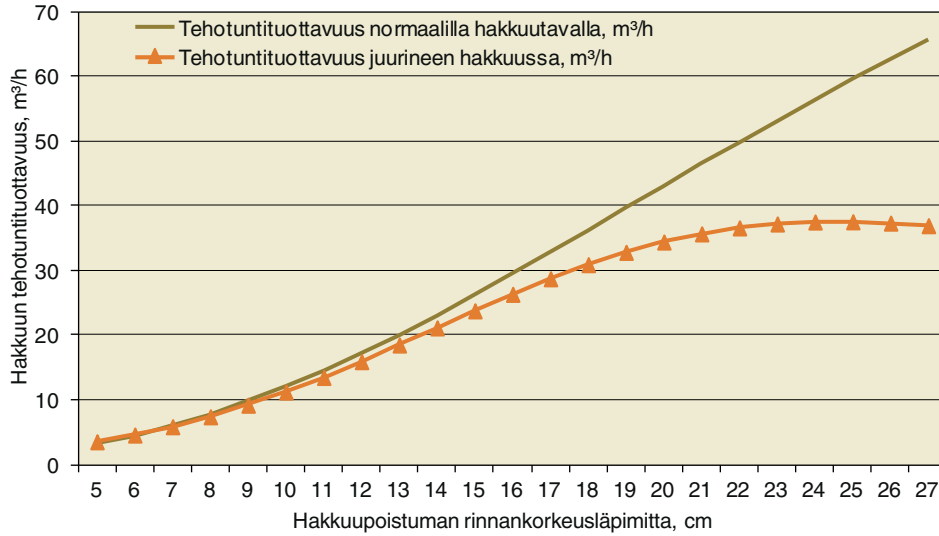
$$y = 8,778 + 0,623x + 0,01x^2, \text{ jossa}$$

$$y = \text{Puukohtainen hakkuuaika perinteisellä hakkuutavalla, s}$$

$$x = \text{Hakkuupoistuman rinnankorkeusläpimitta, cm}$$

$$r^2 = 0,58$$

Juurineen hakkuussa puukohtainen käsittelyaika oli suurempi kuin perinteisellä hakkuutavalla ja ero ajanmenekissä kasvoi hakkuupoistuman rinnankorkeusläpimitan suuretessa (kuva 11). Rinnankorkeusläpimitasta 19 cm eteenpäin hakkuuajanmenekin kasvu jyrkkeni merkittävästi perinteiseen hakkuutapaan verrattuna. Kun hakkuutapojen tuottavuusvertailussa otettiin huomioon puun tilavuuden kasvu juurineen korjuussa, niin rinnankorkeusläpimitaan 17–19 cm saakka hakkuutapojen välinen tuottavuusero oli suhteellisen pieni (kuva 12). Em. läpimittoja suuremmilla puilla juurineen hakkuun tuottavuuskäyrä tasaantui ja ero perinteiseen hakkuutapaan verrattuna alkoi kasvaa (kuva 12).



Kuva 12. Hakkuutapojen tehotuntuottavuus (m<sup>3</sup>/h) rinnankorkeusläpimitan mukaan.

### 3.3 Korjuukustannukset

#### 3.3.1 Hakkuukustannus

Hakkuun kustannukset laskettiin taulukon 1 mukaisella hakkuukoneen käyttötuntikustannuksella (86,6 €/h) sekä perinteiselle hakkuutavalle että juurineen hakkuulle. Lisäksi tehtiin herkkyysanalyysi, jossa laskettiin juurineen korjuun hakkuukustannukset vaihtoehdoille, joissa hakkuukoneen käyttötuntikustannus oli joko 10 % tai 20 % kalliimpi kuin Taulukon 1 käyttötuntikustannus. Hakkuukustannuslaskelmassa hakkuupoistuman rinnankorkeusläpimitta oli 5–27 cm ja hakkuupoistuman tiheys 1 600–500 runkoa hehtaarilta.

Hakkuukustannus aleni rinnankorkeusläpimitan kasvaessa sekä juurineen korjuussa että perinteisellä hakkuutavalla (kuva 13). Hakkuutapojen välinen kustannusero oli 1–3 €/m<sup>3</sup> perinteisen hakkuutavan hyväksi.

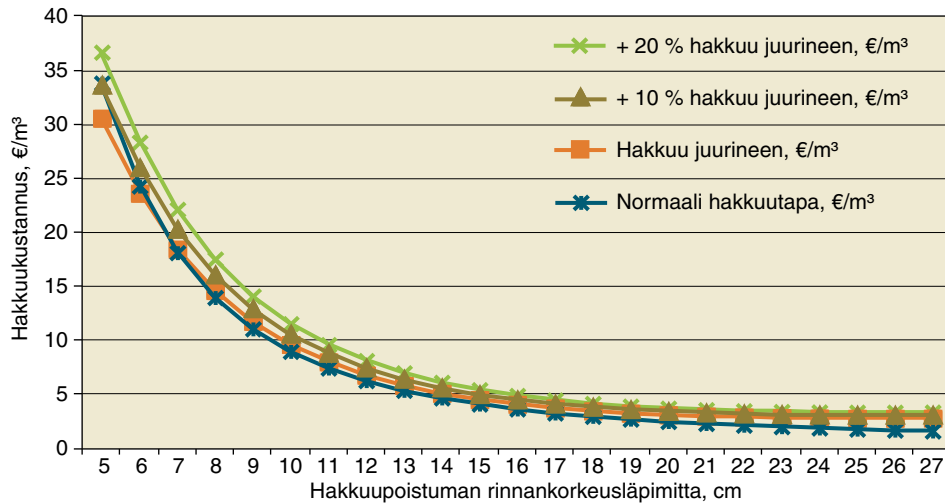
#### 3.3.2 Kantojen noston kustannus

Kantojen noston kustannus (€/m<sup>3</sup>) oli juurineen korjuussa sama kuin hakkuukustannus juurineen hakkuussa (kuva 13 ja 14) ja suuremmasta käsittely-yksikön tilavuudesta johtuen kantojen nostokustannus oli sen vuoksi selvästi alempi kuin perinteisellä korjuutavalla (kuva 14). Perinteisellä hakkuutavalla kantojen erilliskorjuu kaivukoneella oli kallista etenkin pienillä kannoilla hakkuupoistuman rinnankorkeusläpimittaluokissa 5–19 cm (kuva 14). Lisäksi on epävarmaa, havaitseeko kaivukoneen kuljettaja kaikki kannot.

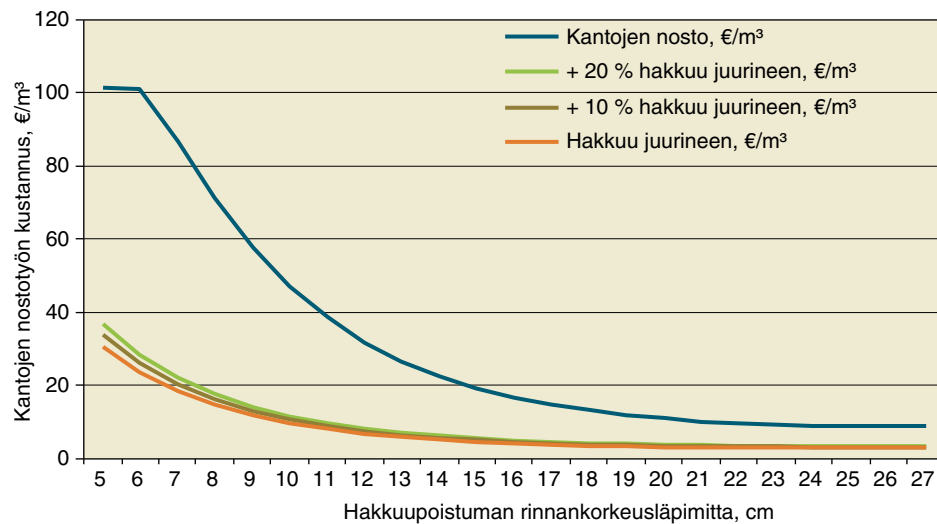
#### 3.3.3 Metsäkuljetuksen kustannus

Erilliskorjuussa metsäkuljetuskustannukset olivat alemmat kuin integroidussa korjuussa (juurineen korjuu), koska maapohjan alentuneesta kantavuudesta johtuen integroidussa korjuussa metsäkuljetuksen kuormakoon oletettiin olevan pienempi kuin erilliskorjuussa (kuva 15). Lisäksi kokonaisuena nostettuihin kantoihin jäävä maa-aines pienentää metsäkuljetuksen hyötykuormaa ja kuorman tiheyttä integroidussa korjuussa. Latvusmassan metsäkuljetuskustannus oli sama sekä erilliskorjuussa että integroidussa korjuussa. Pienillä hakkuupoistuman rinnankorkeusläpimitoil-

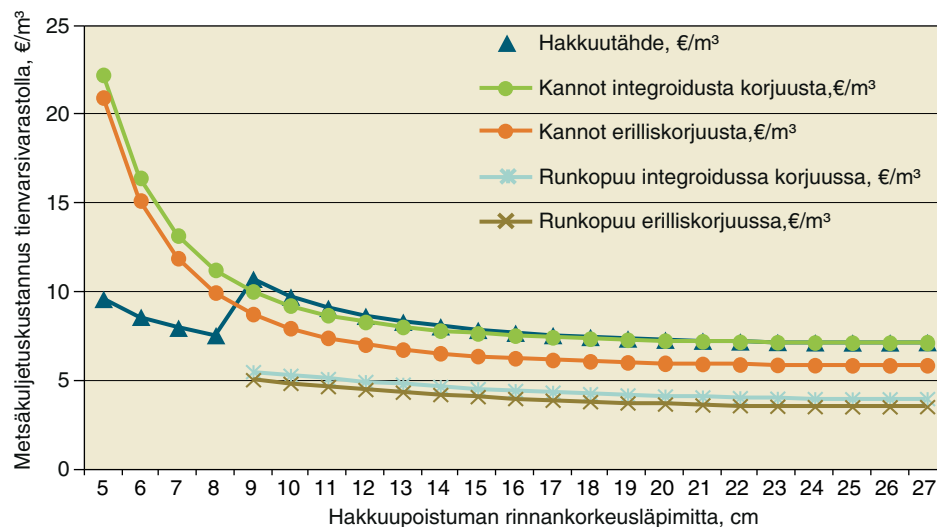




**Kuva 13.** Hakkuukustannus hakkuupoistuman rinnankorkeusläpimitan mukaan juurineen hakkuussa ja perinteisellä hakkuutavalla.



**Kuva 14.** Kantojen nostokustannus juurineen hakkuussa ja erilliskorjuussa hakkuupoistuman rinnankorkeusläpimitan mukaan (€/m³).

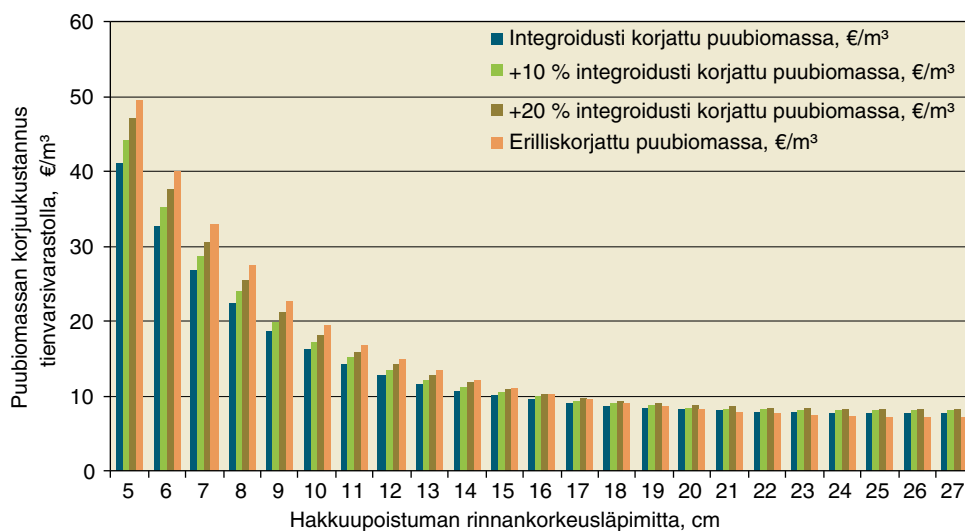


**Kuva 15.** Runkopuun, latvusmassan ja kantojen metsäkuljetuskustannus (€/m³) erilliskorjuussa ja integroidussa korjuussa.

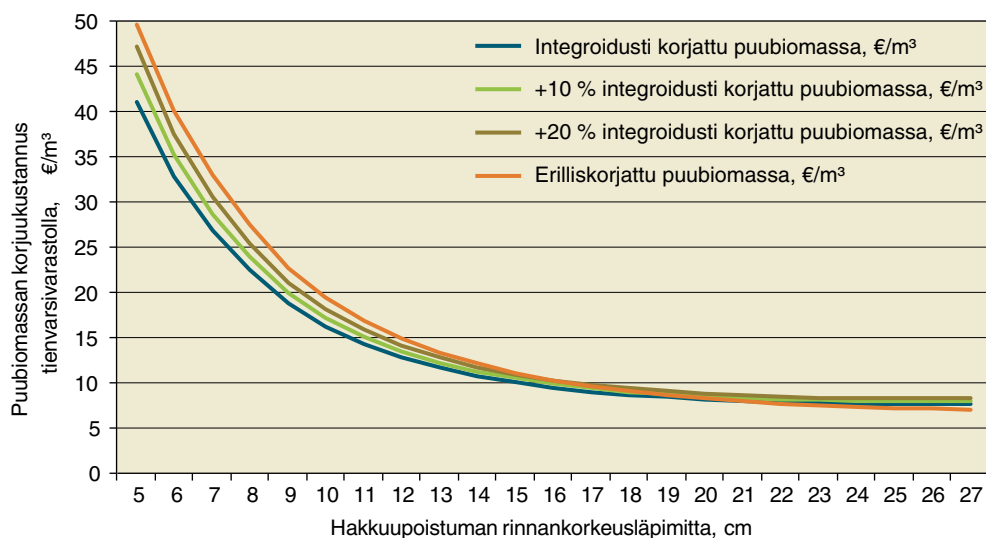
la latvusmassan metsäkuljetus tehostui ja kertymä kasvoi, kun runkopuuta ei korjattu erikseen, vaan se otettiin talteen hakkuutähteenä rinnankorkeusläpimitaan 9 cm saakka. Em. läpimittaa suuremmilla puilla runkopuu hakattiin ainespuuksi.

### 3.3.4 Puubiomassan korjuukustannus tienvarsivarastolla

Korjuukustannus tienvarsivarastolla laskettiin korjattua puubiomassakiintokuutiometriä kohden hakkuupoistuman rinnankorkeusläpimitan mukaan (kuva 16 ja 17). Puubiomassan korjuukustannus (€/m<sup>3</sup>) laskettiin puubiomassaositteiden korjuukustannuksilla ja tilavuuksilla painotettuna keskiarvona. Korjuukustannuksissa oli mukana hakkuun (kuva 13), kantojen noston (kuva 14) ja metsäkuljetuksen (kuva 15) kustannus. Korjuukustannukset laskettiin sekä perinteiselle korjuutavalle että integroidusti korjatulle puubiomassalle. Integroidussa korjussa hakkuukoneen käyttö-



**Kuva 16.** Korjuukustannus tienvarsivarastolla korjattua puubiomassakiintokuutiometriä kohden (€/m<sup>3</sup>) hakkuupoistuman rinnankorkeusläpimitan mukaan.



**Kuva 17.** Korjuukustannus tienvarsivarastolla korjattua puubiomassakiintokuutiometriä kohden (€/m<sup>3</sup>) hakkuupoistuman rinnankorkeusläpimitan mukaan.

tuntikustannus oli joko sama kuin perinteisellä hakkuutavalla tai hakkuukoneen käyttötuntikustannus oli 10 % tai 20 % kalliimpi.

Vertailulaskelman mukaan integroitu korjuu oli kannattava menetelmä rinnankorkeusläpimittaan 20 cm saakka, kun hakkuukoneen käyttötuntikustannus oli sama kuin normaalilla hakkuutavalla (kuva 16 ja 17). Jos hakkuukoneen käyttötuntikustannus oli 10 % kalliimpi kuin perinteisellä hakkuutavalla, niin integroitu korjuu on kannattava menetelmä hakkuupoistuman rinnankorkeusläpimittaan 18 cm saakka. Kun hakkuukoneen käyttötuntikustannus oli 20 % kalliimpi, niin integroitu korjuu oli kannattava hakkuutapa rinnankorkeusläpimittaan 16 cm saakka turvetuotantoalueen valmisteluhakkuussa.

## 4 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Tutkimuksen mukaan hakkuuseen integroidulla kantojen nostolla oli mahdollista alittaa erillis-korjuun kustannukset turvetuotantoalueen valmisteluhakkuussa, silloin kun poistettavien puiden rinnankorkeusläpimitta oli pienempi kuin 16–20 cm. Haittana on, että integroidussa korjuussa menetetään joukkuekäsittelyhakkuun edut, kun puut nostetaan yksinpuin. Joukkokäsittelyhakkuun edut ovat suurimmillaan rinnankorkeusläpimitoissa 5–13 cm ja hakkuun tuottavuus paranee 10–20 % yksinpuin hakkuuseen verrattuna (esim. Bergkvist 2003). Toisaalta juurineen korjuu lisää puun tilavuutta ja parantaa sitä kautta hakkuun tuottavuutta joukkokäsittelyhakkuuseen verrattuna.

Juurakon maasta irrottamiseksi tarvittava voima riippuu puulajista, juurakon tyypistä, sen läpimitasta, maalajista ja juurakon irrotusmenetelmästä. Juurineen korjuussa puun runkoa voidaan käyttää vipuvartena juurakkoa irrotettaessa, jolloin voimantarve pienenee oleellisesti suoraan ylösnostoon verrattuna (Lindroos ym. 2010, Hakkila 1989). Ideana kantopuun korjuu runkopuun yhteydessä ei ole uusi (esim. Koivulehto 1969, Ahonen ja Mäkelä 1972, Koch ja Coughran 1975, Hakkila 1976, Jonsson 1978, 1985). Idean uutuusarvo piileekin siinä, että työ tehtiin vakiorakenteisella hakkuukoneella kun aiemmissa kokeiluissa työhön on tarvittu erikoiskalustoa. Ruotsalaisessa tutkimuksessa (Lindroos ym. 2010) havaittiin, että voimakkaan harvesterin ja metsätraktorin kuormaimen nostoteho (273 tai 155 kNm) riittää nostamaan kuusen kannot ylös maasta kantoläpimittaan 61 cm ja 32 cm saakka.

Puunkorjuussa juurineen hakkuukoneen puomi kuormittuu tavallista enemmän ja polttoaineen kulutus kasvaa perinteiseen hakkuutapaan verrattuna (kuva 18). Pyöräalustaisen hakkuukoneen sijaan turvetuotantoalueen valmisteluhakkuussa voidaan käyttää myös kaivukonealustaista hakkuukonetta (kuva 19), jonka puomin nostovoima ja etenkin kestävyys on huomattavasti suurempi kuin tavanomaisissa hakkuukoneissa tai metsätraktoreissa. Lisäksi kaivukoneen pienemmästä hankintahinnasta johtuen kaivukoneharvesterin käyttötuntikustannukset ovat pienemmät kuin normaalin hakkuukoneen (Väätäinen 2004, Bergroth ym. 2007, Hallongren 2010).

Integroidussa korjuussa kantoihin jää huomattavia määriä turvetta ja pintakunttaa, koska kantoja ei voi ravistella tai pilkkoa hakkuutyön yhteydessä. Kokonaisuin kantoihin jäävä maa-aines pienentää metsäkuljetuksen hyötykuorman kokoa ja vaikuttaa kantojen kuivumiseen varastokasoissa sekä lisää eloperäisen hienoaineksen määrään polttohakkeessa. Juurineen korjuussa tyviosat halkeavat tai säilytyvät helposti kantojen irtisahauksessa. Säilytymisen vuoksi rungon tukkiosuus pienenee tai tukki menee kokonaan pilalle. Tyven halkeilu ei ole haitta, jos runkopuu korjataan kuitupuuksi tai



**Kuva 18.** Kanto- ja juuripuun korjuuta hakkuutyön yhteydessä (Juha Laitila/Metla).



**Kuva 19.** Kaivukonealustainen hakkuukone (Kari Väätäinen/Metla).

energiapuuksi. Lisäksi turvemailla runkopuun tukkiosuus on vikaisuuksien ja yms. vuoksi yleensä selvästi pienempi kuin kivennäismailla (Eeronheimo 1991). Maanpinnan rikkoutuminen nostotyön yhteydessä heikentää kantavuutta ja vaikeuttaa metsäkuljetusta integroidussa korjuussa. Erilliskorjuussa maanpinta rikotaan vasta kantojen nostossa, jolloin pääosa puutavarasta on jo kuljetettu pois.

Metsäkoneiden maastoliikkuvuutta voidaan parantaa ja pintapaineita vähentää huonosti kantavilla mailla mm. seuraavilla keinoilla (Airavaara ym. 2008): 1) Leveämmät ja maastoystävällisemmät telat 2) Telojen kantopinnan pidentäminen apupyörän avulla 3) Yksittäisten pyörien leveyden kasvattaminen pari- tai levekepyörien avulla 4) Aiempaa leveämmät renkaat 5) Renkaiden ilmanpaineen alentaminen. Lisäksi ajourien sijoittelulla sekä kuorman koon ja urakohtaisten ajokertojen säätelyllä voidaan vaikuttaa työn onnistumiseen (Lamminen 2008, Airavaara ym. 2008, Väättäinen ym. 2010), kuten myös kaksivaiheisella korjuulla. Kaksivaiheisessa korjuussa hakkuu tehdään sulan maan aikaan, kasat merkitään ja metsäkuljetus tehdään talvella maan ollessa roudassa. Metsurihakkuiden aikaan tällainen toimintatapa oli yleistä (Heikkilä 2007). Eeronheimo (1991) piti vaatimuksena pyörätraktorilla tapahtuvalle metsäkuljetukselle suolla joko 20 cm:n paksuista routaa lumettomassa maassa tai yli 40 cm lumipeitettä. Ehdot täyttävien vuorokausien määrä oli etelärannikolla 60 ja Oulun korkeudella noin 120.

Saadut tutkimustulokset ovat erittäin lupaavat integroidun korjuun osalta. Hakkuutapa on kuitenkin uusi ja koottu aineisto sekä kaluston ja kuljettajien osalta suppea, mikä vaikeuttaa tulosten yleistämistä. Käytännön kokeiluja kannattaa jatkaa etenkin kaivukoealustaisilla hakkuukoneilla. Hakkuutyön käytännön tuottavuuden ohella tulisi seurata polttoaineen kulutusta sekä puomiston ja hakkuulaitteen kestävyttä ja selvittää hakkuukoneen todellinen käyttötuntikustannus perinteiseen hakkuutapaan verrattuna. Lisäksi tulisi kerätä kokemuksia ainespuun, latvusmassan ja kantopuun metsäkuljetuksen onnistumisesta myllerretyillä suopohjilla. Erityisesti tulisi selvittää integroidulla korjuulla saatavat säästöt ja edut sekä turvetuotantoalueen valmistelutöissä että turvetuotannossa. Minkä verran kantojen poisto tehostaa turvekentän muotoilua ja jysintää sekä pienentää konerikkojen määrää? Minkä kokoiset kannot eivät haittaa turvetuotantoalueen valmistelutöitä?

Uudistushakkuiden osuus turvemailla kasvaa lähivuosina ja – vuosikymmeninä merkittävästi (Saarinen 2005). Kantojen korjuun osalta tässä tutkittu hakkuutapa on kokeilemisen arvoinen myös perinteisellä metsätalousmaalla. Kivennäismaan kantoihin verrattuna turvemaan kantojen etu on se, että kantopuun joukossa ei ole kiviä tai kivennäismaata. Metsäkuljetuksen ohella ongelmaksi voi muodostua kaukokuljetus, ellei kantoja voida murskata polttojakeeksi jo tienvarsivarastolla. Kokonaisten juurakoiden pinotiheys on suuruusluokkaa 0,1, kun pilkottujen kantojen pinotiheys on 2–4 kertaa suurempi (Hakkila 1976).

## Kirjallisuus

- Ahonen, M. & Mäkelä, M. 1972. Juurakoiden irrottaminen maasta pyöräkuormaajalla. *Folia Forestalia* 140: 21 s.
- Airavaara, H., Ala-Ilomäki, J., Högnäs, T. & Sirén, M. 2008. Nykykalustolla turvemaiden puunkorjuuseen. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 80. 46 s.
- Ala-Ilomäki, J. 2005. Metsäisten turvemaiden kulkukelpoisuus. Julkaisussa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947: 98–111.
- Ala-Ilomäki, J. 2006. The effect of weather conditions on the trafficability of unfrozen peatlands. *Metsanduslikud Uurimused – Forestry Studies* 45: 57–66.
- Asikainen, A., Ranta, T., Laitila, J. & Hämäläinen, J. 2001. Hakkuutähdehakkeen kustannustekijät ja suurmittakaavainen hankinta. Research Notes 131, Faculty of Forestry, University of Joensuu. 107 s.
- Backlund, C. 2007. Stump wood fuel in large scale industrial use. Bioenergy 2007, 3rd International Bioenergy Conference and Exhibition, 3rd–6th September 2007, Jyväskylä Paviljonki. Finbio Publications 36: 375–377.
- Bergkvist, I. 2003. Flerträdshantering höjer prestationen och ökar nettot i klen gallring. [Multi-tree handling increases both productivity and profitability in smallwood thinnings]. Resultat från Skogforsk 5. 4 s. (In Swedish.)
- Bergroth, J., Kärhä, K., Palander, T. & Keskinen, S. 2007. Tela-alustainen kaivukone hakkuukoneena. Metsätehon raportti 199. 38 s.
- Eeronheimo, O. 1991. Suometsien puunkorjuu. *Folia Forestalia* 779: 1–29.
- Flyktman, M. 2009. Energia- ja ympäristöturpeen kysyntä ja tarjonta vuoteen 2020 mennessä. VTT, Tutkimusraportti VTT\_R-07128-09. 41 s.
- Hakkila, P. 1975. Kanto- ja juuripuun kuorimäärä, puuaineen tiheys ja asetoniuutteiden määrä. *Folia Forestalia* 224. 14 s.
- Hakkila, P. 1976. Kantopuu metsäteollisuuden raaka-aineena. *Folia Forestalia* 292. 39 s.
- Hakkila, P. 1978. Pienpuun korjuu polttoaineeksi. *Folia Forestalia* 342. 38 s.
- Hakkila, P. 1989. Utilization of residual forest biomass. Springer Series in Wood Science. 568 s.
- Hakkila, P. 2003. Juurakot polttoainelähteenä. *Bioenergia* 4: 32–35.
- Hakkila, P. 2004. Developing Technology for Large-Scale Production of Forest Chips. Wood Energy Technology Programme 1999–2003. Technology Programme Report 6/2004. National Technology Agency. 98 s.
- Hallongren, H. 2010. Kaivukoneen ympärivuotinen metsätyökäyttö – simulointitutkimus koneellisesta metsänistutuksesta ja turvemaiden puunkorjuusta. Metsä- ja puuteknologian Pro Gradu. Itä-Suomen yliopisto. Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta. 61 s.
- Heikkilä, J. 2007. Turvemaiden puun kasvatusta ja korjuu – nykytila ja kehittämistarpeet. Metlan työraportteja 43. 29 s.
- Heikurainen, L. 1983. Soiden käyttö metsänkasvatukseen. Julkaisussa: Suomen suot ja niiden käyttö. Suoseura Ry. IPS:n Suomen kansallinen komitea. s. 52–59.
- Högnäs, T. 1986. Harvennuspuutavaran kuljetus Jermu-telamaasturilla. Metsähallituksen kehittämissaosto. Koeselostus 230. 11 s.
- Jonsson, Y. 1978. Jämförelser av drivningssystem för stubb- och rotved. Skogsarbeten Redogörelse 1. 31 s.
- Jonsson, Y. 1985. Teknik för tillvaratagande av stubbved. Skogsarbeten Redogörelse 3. 33 s.
- Koch, P. & Coughran, S.J. 1975. Development of a puller-buncher for harvesting southern pines with taproot attached. *Forest Products Journal* 25(4):23–30.
- Koivulehto, P. 1969. Juurakoiden maasta irroittamisesta. *Folia Forestalia* 73. 12 s.
- Kuitto, P.-J. 1984. Kantopuun korjuu kivennäismailla. Metsätehon Tiedotus 385. 16 s.
- Laitila, J., Leinonen, A., Flyktman, M., Virkkunen, M. & Asikainen, A. 2010. Metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan haasteet ja kehittämistarpeet. VTT Tiedotteita 2564. 143 s.

- Laitila, J. 2010. Kantojen korjuun tuottavuus. Metlan työraportteja 150. 29 s.
- Laitila, J., Ranta, T. & Asikainen, A. 2008. Productivity of stump harvesting for fuel. *International Journal of Forest Engineering* 19(2): 37–46.
- Lamminen, S. 2008. Raiteistumista selittävät tekijät turvemaiden puunkorjuussa. Metsähallituksen tulosraportti. 53 s.
- Lauhanen, R. 2002. Decision support tools for drainage maintenance planning on drained Scot pine mires. Doctor thesis. Research Notes 139, Faculty of Forestry, University of Joensuu. 53 s.
- Lindroos, O., Henningsson, M., Athanassiadis, D. & Nordfjell, T. 2010. Forces required to vertically uproot tree stumps. *Silva Fennica* 44(4): 681–694.
- Markkila, M. 2005. Kannot energianlähteenä. Kehittyvä puuhuolto 2005 – seminaari metsäammattilaisille, 16.–17.2.2005. Paviljonki, Jyväskylä. Esitysmateriaali.
- Metsätilastollinen vuosikirja 2010. Metsäntutkimuslaitos. 470 s.
- Nuutinen, T. 2000. Suometsät osana metsätalouden kestävyyttä. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2000. Sivut 282–285.
- Repola, J., Ojansuu, R. & Kukkola, M. 2007. Biomass functions for Scots pine, Norway spruce and birch in Finland. Metlan työraportteja 53. 28 s.
- Saarinen, M. 2005. Metsänuudistaminen turvemaidella. Julkaisussa: Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Ahti E., Kaunisto S., Moilanen M. & Murovaara I. (toim.) 2005. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947: 177–193.
- Sirén, M. 2000. Turvemaiden puunkorjuun kehittäminen. *Metsätieteen aikakauskirja* 2: 301–307.
- Soiden ja turvemaiden kansallista strategiaa valmistellut työryhmä. 2011. Ehdotus soiden ja turvemaiden kestävä ja vastuullisen käytön ja suojelun kansalliseksi strategiaksi. Maa- ja metsätalousministeriö. 159 s.
- Suoninen, A. 1983. Turveteollisuus. Julkaisussa: Suomen suot ja niiden käyttö. Suoseura Ry. IPS:n Suomen kansallinen komitea. s. 64–79.
- Tomppo, E. 2005. Suomen suometsät 1951– 2003. Julkaisussa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murovaara, I. (toim.) 2005. Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947: 26–38.
- Virtanen, K., Hänninen, P., Kallinen, R.-L., Vartiainen, S., Herranen, T. & Jokisaari, R. 2003. Suomen turvevarat 2000. Summary: The peat reserves of Finland in 2000. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 156. 101 s.
- Väätäinen, K., Lamminen, S., Sirén, M., Ala-Ilomäki, J. & Asikainen, A. 2010. Ympärivuotisen puunkorjuun kustannusvaikutukset ojitetuilla turvemaidella – korjuuyrittäjätason simulointitutkimus. Metlan työraportteja 184. 57 s.
- Väätäinen, K., Sikanen, L. & Asikainen, A. 2004. Feasibility of excavator-based harvester in thinning of peatland forests. *International Journal of Forest Engineering* 15(2): 103–111.
- Väätäinen K., Liiri H., Asikainen A., Sikanen L., Jylhä P., Rieppo K., Nuutinen Y. & Ala-Fossi A. 2007. Korjureiden ja korjuuketjujen simulointi ainespuun korjuussa. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 48. 78 s.
- Ylimartimo, M., Harstela, P., Korhonen, K.T. & Sirén, M. 2001. Ensiharvennuskohteiden korjuukelpoisuus ojitetuilla turvemaidella. *Metsätieteen aikakauskirja* 2: 253–263.
- Ylitalo, E. 2011. Puun energiakäyttö 2010. Metsätilastotiedote 16. 7 s.