

Hakkuutyön tuottavuus metsävarustellulla turvetuotantotraktorilla karsitun aines- ja energiapuun korjuussa

The cutting productivity in integrated harvesting of pulpwood and delimited energy wood with a forestry-equipped peat harvesting tractor

Juha Laitila & Kari Väätäinen

Juha Laitila & Kari Väätäinen, Metsäntutkimuslaitos, PL 68, 80101 Joensuu, +358-050-391-3255, email: juha.laitila@metla.fi

Nykyisin Suomessa käytössä oleva puunkorjuukalusto on ensiharvennusten pienen määrän ja heikon kannattavuuden vuoksi suunniteltu ja mitoitettu käytettäväksi pääasiassa suurempirunkoisissa hakkuissa. Nämä koneet asettavat kuitenkin huomattavia rajoitteita etenkin kantavuudeltaan huonojen turvemaiden puunkorjuulle. Puunkorjuun kausivaihtelu on myös erityinen ongelma maakunnissa, joissa turvemaiden ja muiden huonosti kantavien maiden osuus metsäpinta-alasta on suuri. Näillä alueilla korjuukalustokapasiteetti joudutaan usein määrittämään talven korjuuhuippujen mukaan ja muina aikoina huomattava osa korjuukalustosta on vajaakäytössä. Yksi keino tasata kausivaihtelua ja vähentää perinteisten metsäkoneiden tarvetta voisi olla hyödyntää turvetuotannossa sesonkiluonteisesti käytettäviä traktoreita talvikauden hakkuissa. Näiden käyttökelpoisuudesta ja kannattavuudesta turvemaiden puunkorjuussa on kuitenkin hyvin vähän tietoa. Tutkimuksessa selvitettiin kuitupuun ja rangan harvennushakkuun tuottavuus metsävarustellulla turvetuotantotraktorilla ja laadittiin puukohtaiset ajanmenekkimallit yksinpuinhakkuulle. Aikatutkimusaineiston perusteella laadituissa ajanmenekkimalleissa hakkuun tuottavuutta selitettiin puun käyttöosan tilavuudella (dm^3) ja hakkuupoistuman tiheydellä (r/ha). Hakkuun tuottavuus ilmaistiin puolestaan kiintokuutiometreinä tehotunnissa ($\text{m}^3/\text{E}_0\text{h}$). Aikatutkimuksissa hakattiin kuitupuuta ja rankaa yhteensä $97,8 \text{ m}^3$. Määrästä pääosa oli mäntyä. Hakattuja runkoja oli 1010 kappaletta ja runkojen keskitilavuus oli 97 dm^3 . Tulosten mukaan metsävarustellulla turvetuotantotraktorilla on hyvissä olosuhteissa mahdollista saavuttaa hakkuun erikoiskoneiden tuottavuustaso harvennushakkuilla. Rungon tilavuudella $50 - 200 \text{ dm}^3$ ja $737 - 368$ rungon hehtaari-poistumalla metsävarustellun turvetuotantotraktorin tuottavuus tehotunnissa oli $8,0 - 19,1 \text{ m}^3/\text{E}_0\text{h}$ ja $7,1 - 17,7 \text{ m}^3/\text{E}_0\text{h}$, kun ajanmenekissä otettiin huomioon alikasvoksen raivaukseen kulunut aika. Tutkimuksessa tuotettujen ajanmenekkimallien avulla voidaan aiempaa tarkemmin verrata metsävarustellun turvetuotantotraktorin tuottavuutta erikoisrakenteiseen hakkuukoneeseen eri toimintaolosuhteissa sekä tehdä laskelmia lisälaitteinvestoinnin kannattavuudesta eri käyttötuntimäärillä tai investointikustannuksilla.

Avainsanat: Ajanmenekkimallit, ensiharvennus, hakkuukone, integroitu puunkorjuu, metsävarusteltu turvetuotantotraktori, turvemaa

Johdanto

Tutkimuksen tausta

Vuotuinen ensiharvennustarve on Suomessa yli 300 000 hehtaaria ja merkittävä osa ensiharvennuspotentiaalista sijaitsee turvemaidella (Korhonen ym. 2007, Bergroth ym. 2008). Ensiharvennuksilta on 2000-luvulla korjattu ainespuuta metsäteollisuuden käyttöön keskimäärin 7 milj. m³ vuodessa, mikä on noin 14 % metsäteollisuuden kotimaisen raakapuun käytöstä (Kärhä ja Keskinen 2011). Hakkuumäärät ovat huomattavasti pienemmät mitä metsien metsänhoidollinen tarve vaatisi ja 2000-luvulla ensiharvennuksia onkin tehty keskimäärin vain vajaat 190 000 hehtaaria vuodessa (Juntunen ja Herrala-Ylinen 2010). Syynä rästien syntyyn ovat korkeat korjuukustannukset, jotka aiheutuvat harvennettävien puiden pienestä koosta ja hehtaarikertymästä (Ylimartimo ym. 2001, Kärhä ja Keskinen 2011, Kojola ja Penttilä 2012). Myös raaka-aineen arvo on korjuukustannuksiin nähden vähäinen (Multamäki 1967, Sirén ja Tantt 2001, Jylhä et al. 2010, Jylhä 2011). Lisäongelmia turvemaidella aiheuttavat huono kantavuus, pitkät metsäkuljetusmatkat ja ojat (Mäkelä 1990, Eeronheimo 1991, Alalomäki 2006, Sirén 2000, Sirén ja Tantt 2001, Ylimartimo ym. 2001, Lauhanen 2002, Väättäinen ym. 2010, Palander ym. 2012a).

Kiinnostus ensiharvennusten hyödyntämiseen on kuitenkin lisääntynyt hakkuumahdollisuuksien kasvun sekä metsähakkeen lisääntyvän käytön myötä. Bergroth ym. (2008) mukaan turvemaiden ensiharvennuksilta poistuvan biomassan määrä kasvaisi noin puolella, mikäli energiapuu korjattaisiin ainespuuhakkuun yhteydessä kokopuuna ja noin neljänneksellä, mikäli korjattaisiin karsittuna. Korjuun integroinnilla on tarkoitus päästä pienempiin kokonaishankintakustannuksiin kuin aines- ja energiapuuajakeiden erillishankinnassa ja samalla laajentaa metsähakkeen raaka-ainepohjaa perinteisten ainespuuharvennusten puolelle (Kärhä ym. 2009, Laitila ym. 2010, Kärhä 2011). Integroidussa korjuussa yleisin hakkuutapa on ns. kahden kasan menetelmä, jossa ainespuu hakataan omaan kasaansa ja latvat sekä ainespuuksi kelpaamaton harvennuspuu omaan kasaansa joko karsittuna tai oksineen (Laitila ym. 2010, Kärhä

2011). Metsäkuljetuksen jälkeen ainespuu ohjautuu kuiduttavan metsäteollisuuden käyttöön ja energiapuuosite energian tuotantoon perinteisten metsähakkeen haketus- ja kuljetusketjujen kautta (Kärhä ym. 2009, Laitila ym. 2010, Kärhä 2011).

Suomessa puuta korjataan vuosittain keskimäärin 1900 hakkuukoneella ja 1970 metsätraktorilla (Metsätalastollinen vuosikirja 2011). Täyskäytössä puunkorjuukalusto on vain runsaat puoli vuotta, syyskuulta maaliskuulle (Metsätalastollinen vuosikirja 2011). Puunhankinnan kausiluonteisuus johtaa metsäkoneiden vajaakäyttöön ja työvoiman lomautuksiin. Seisokit alentavat metsäkoneiden käyttöasteita ja pienentävät koneyrittämisen kannattavuutta (Kärhä ja Peltola 2004). Lisäksi pitkät seisokit voivat vaikeuttaa ammattitaitoisen työvoiman saatavuutta, kun lomautuksien aikana osa työvoimasta hakeutuu muihin töihin, kuten maanrakennusalalle. Puunkorjuun kausittaisuus on erityinen ongelma Etelä-, Keski- ja Pohjois-Pohjanmaalla, Kainuussa, Pohjois-Savossa sekä Pohjois-Karjalassa, joissa suometsien ja heikosti kantavien maiden osuus korjatusta puumäärästä on merkittävä (Bergroth ym. 2007, Väättäinen ym. 2010). Näillä alueilla kalustokapasiteetti joudutaan usein määrittämään talven korjuuhuippujen mukaan. Roudattoman maan aikaan korjuukalusto on vajaakäytössä ja kaikille kuljettajille ei ole tarjolla työtä. Peruskoneiden monikäyttöisyys tai ympärivuotinen puunkorjuu varmistaisi ammattitaitoisen työvoiman pysyvyyden alalla sekä koneiden korkean käyttöasteen (Kärhä ja Peltola 2004, Väättäinen ym. 2010).

Ensiharvennuspuiden hakkuu tavaramenettelyllä

Ensiharvennusten korjuu on teknisesti mahdollista kaikilla käytössä olevilla hakkuukonetyypeillä ja markkinoilla on myös pelkästään harvennuksille suunniteltuja hakkuukoneita (Mäki 1999, Sirén ja Tantt 2001). Näiden harvennushakkuiden erikoiskoneiden kilpailukyky perustuu keskimääräistä alempaan hankintahintaan ja käyttötuntikustannukseen (Mäki 1999, Sirén ja Tantt 2001, Imponen 2005). Koneiden väliset tuotoserot jäävät harvennusolosuhteissa verraten pieniksi, koska pienillä puilla osa suurten hakkuukoneiden

korjuutehosta jää käyttämättä (Kärhä ym. 2004). Kuljettaja saattaakin useimmiten olla suurempi tuotokseen vaikuttava tekijä kuin hakkuukone-tyyppi. Tällöin on järkevää hakea ratkaisua korjuun kannattavuuteen pääomakustannuksiltaan edullisista hakkuukoneista (Sirén 2000).

Nykyisin Suomessa käytössä oleva puunkorjuukalusto on ensiharvennusten vähäisen määrän ja heikon kannattavuuden vuoksi suunniteltu ja mitoitettu käytettäväksi pääasiassa suurempirunkoisissa hakkuissa. Ratkaisun etuna on hakkuukoneen laaja käyttöalue harvennuksista päätehakkuihin (Mäki 1999, Imponen 2005). Ns. yleiskoneiden hankintahinta asettaa kuitenkin niille korkean tuntituotosvaatimuksen, eikä niillä työskentely pienirunkoisissa harvennuksissa useinkaan ole taloudellista (Imponen 2005). Keskiraskaiden hakkuukoneiden tuottavuuden parantamiseksi on kehitetty puiden joukkokäsittelyn mahdollistavia hakkuulaitteita. Puiden keruulla hakkuulaitteeseen vähennetään kuormaimen liikkeitä ja tehostetaan hakkuutyön tuottavuutta pieniläpimittaisessa puustossa yksinpuin käsittelyyn verrattuna (Lilleberg 1997, Johansson & Gullberg 2002, Bergkvist 2003, Kärhä ym. 2005, Belbo 2011). Vertailevan aikatutkimuksen mukaan joukkokäsittelyllä voidaan parantaa kuitupuun hakkuun tuottavuutta männikön ensiharvennuksella keskimäärin 18 % (Bergkvist 2003).

Korjuri on kone, jolla voidaan tehdä puunkorjuun molemmat päävaiheet eli hakkuu ja metsäkuljetus (Sirén ja Aaltio 2003, Jylhä ym. 2006, Kärhä ym. 2007, Väätäinen ym. 2007). Korjurin hankintaa pidetään koneyritykselle pienempänä riskinä kuin investoimista korjuuketjuun, sillä kalustoon sitoutuu vähemmän pääomaa (Imponen 2005). Pääomakustannuksilla on merkitystä konevalintaa tehtäessä erityisesti silloin, kun korjuuketjulle ei pystytä takaamaan täyttä työllisyyttä. Korjuria käytettäessä työmaalta toiselle siirretään vain yksi kone kahden sijasta, mikä tuo lisästästä siirtokustannuksissa (Kärhä ym. 2007, Väätäinen ym. 2007). On kuitenkin muistettava, että korjuri on ”kompromissikone”, eli se ei ole kummassakaan työvaiheessa yhtä hyvä kuin näihin työvaiheisiin varta vasten suunnitellut hakkuukone ja metsätraktori. Lisäksi korjurin käyttötuntikustannus on metsäkuljetuksessa suurempi kuin vakiorakenteisen kuormatrakto-

rin tuntikustannus (Kärhä 2001). Tutkimusten mukaan (Talbot ym. 2003, Kärhä ym. 2007, Väätäinen ym. 2007) korjurin kilpailukyky on parhaimmillaan sellaisilla leimikoilla, joita luonnehtivat pieni työmaan pinta-ala, hakkuukertymä ja rungon koko sekä lyhyt metsäkuljetusmatka ja pitkä koneiden siirtomatka.

Neljäs harvennuspuun korjuun kehityslinjoista on rakentaa hakkuukone käyttäen peruskoneena suurina sarjoina valmistettavaa ja siksi hinnaltaan metsäkoneita edullisempaa traktoria, kaivukonetta tai muuta maastokelpoista työkonetta (Ryynänen 1994, Johansson 1995, Johansson 1997, Mäki 1999, Johansson 2000, Kärhä 2001, Ryynänen ja Rönkkö 2001, Väätäinen ym. 2004, Bergroth ym. 2006, Bergroth ym. 2007, Palander ym. 2012b). Traktori- ja kaivukonepohjaisten hakkuukoneiden etuna pidetään myös sitä, että puunkorjuun sesonkiaikojen ulkopuolella metsävarustus voidaan riisua ja käyttää peruskonetta perinteisissä sille tarkoitetuissa töissä, kuten maataloudessa, turvetuotannossa, metsänparannuksessa tai maanrakennuksessa. Traktorialustaiset hakkuukoneet voidaan lisäksi siirtää leimikolta toiselle ajamalla. Lisälaitteinvestointi parantaa koneiden käyttöastetta ja alentaa peruskoneeseen sitoutuneen pääoman määrää käyttötuntia kohden. Yrittäjän on kuitenkin aina asetettava kysymys, paljonko ja millä hinnalla työtä pitäisi tehdä, jotta peruskoneen lisälaitteinvestointi kannattaa ja siihen sijoitetulle pääomalle saadaan riittävä tuotto (Jaakkola 2011). Esimerkiksi turvetuotannossa käytetään järeitä neliveto traktoreita, joiden teho on 130–140 kW ja uushankintahinta noin 100000–110000 € (alv 0 %). Traktorin varustelu hakkuukoneeksi, eli metsäohjaamo, pohjapanssari, metsärenkaat, hakkuulaite, mittalaitteohjelmisto, kuormain sekä lisähydrauliikkapaketti maksavat puolestaan noin 110 000 € (alv 0).

Tutkimuksen tavoite

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää kuitupuun ja rangan integroidun hakkuun tuottavuus, kun peruskoneena oli metsävarusteltu turvetuotantotraktori. Tutkimuksessa tehtiin aikatutkimus, jonka perusteella laadittiin puukohtaiset ajanmenekki- ja tuottavuusmallit harvennushakkuulle yksinpuinmenetelmällä. Ajanmenekkimallissa

työn tuottavuus ilmaistiin kiintokuutiometreinä tehotunnissa (m^3/E_0h). Hakkuun tuottavuusmallissa tuottavuutta selitettiin puun käyttöosan tilavuudella (dm^3) sekä hakkuupoistuman tiheydellä (t/ha).

Traktoripohjaisten hakkuukoneiden tuottavuutta on tutkittu edellisen kerran yli kymmenen vuotta sitten (Ryynänen 1994, Mäki 1999, Ryynänen & Rönkkö 2001), eikä hakkuutyölle ole tehty ajanmenekkimalleja, joten tutkimukselle oli selvä tarve. Ajanmenekkimallien avulla voidaan verrata aiempaa tarkemmin metsävarustellun turvetuotantotraktorin tuottavuutta erikoisrakenteisiin hakkuukoneisiin eri toimintaolosuhteissa sekä tehdä laskelmia lisälaitteinvestoinnin kannattavuudesta eri käyttötuntimäärillä tai investointikustannuksilla.

Aineisto ja menetelmät

Aikatutkimukset

Hakkuukoneen peruskoneena oli nelivetoinen metsävarusteltu Valtra T171-turvetuotantotraktori, hakkuulaitteena oli Nisula 400C ja kuormaimena Kronos 8020 L (Kuva 1). Hakkuulaitteen paino oli 425 kg ja syöttönopeus oli 4,5 m/s. Kuormain oli asennettu traktoriin tuppimallisella runkosovitteella. Valtra T171-traktori oli vuosimallia 2011 ja sillä oli ajettu 1 400 käyttötuntia, joista metsätyössä 800 tuntia. Traktorissa oli metsäohjaamo, mikä paransi kuljettajan näkyvyyttä sekä työskentelyalueelle että puiden latvoihin. Kronos 8020 L-kuormaimen ulottuvuus oli puominpään ja jarruriipukkeen kanssa 9,8 metriä ja hydrauliiikkapumpun teho oli 170 litraa minuutissa. Hydrauliikkapumppu ja -säiliö sijaitsivat koneen perässä (Kuva 1). Peruskoneen massa ilman hakkuulaitteita ja pohjapanssaria oli 5950 kg ja 6-sylinterisen 74 CTA-4V-moottorin nimellisteho oli 136 kW. Traktorin keulassa oli 13 x 40 kg lisäpainosarja ja puomituki. Traktorin renkaat olivat metsäkäyttöön vahvistetut Nokia Forest Rider 650/65R38 – 600/60R28. Hakkuukokeeseen osallistuneella kuljettajalla oli 4 – 5 vuoden työkokemus hakkuukonetyöstä erityyppisillä hakkuukoneilla ja 4 – 5 kuukauden työkokemus metsävarustellun turvetuotantotraktorin käytös-



Kuva 1. Hakkuukoneeksi varusteltu Valtra T171-turvetuotantotraktori (Kuva: Juha Laitila/METLA)

Fig. 1. Forestry-equipped Valtra T171 peat harvesting tractor (Photo: Juha Laitila /METLA)

tä. Kuljettaja oli taitava ja työhön harjaantunut. Hakkuukokeet suoritettiin kolmena työpäivänä 4. – 8.11.2011 Haapajärven Kuonalla ($63^{\circ}44.014'N$, $25^{\circ}36.751'E$) päivänvalossa kello 8:00 ja 16:00 välillä. Hakkuutyömaalla maa oli sula ja lumeton.

Aikatutkimuksissa hakkuutapana oli yksinpuinkäsittely ja aineisto kerättiin jatkuvaan kelloaikatutkimukseen ja havainnointiin perustuvalla menetelmällä, missä työvaiheet kirjataan niiden vaihtumisajankohdan mukaan. Työvaiheiden ajanmenekki tallennettiin Rufco 901-maastotietokoneella yhden senttiminuutin tarkkuudella. Lopullisissa tuloksissa tehoajanmenekki muutettiin 60 jaolliseen sekunti- ja minuuttimuotoon.

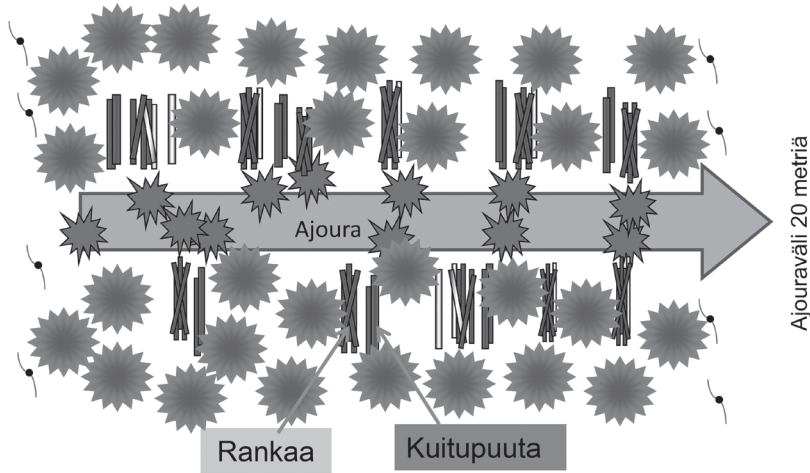
Aikatutkimuksissa hakkuukoneen työskentelyaika jaettiin seuraaviin hakkuukonetutkimuksissa yleisesti käytettyihin työvaiheisiin (vrt. Kärhä ym. 2006) :

— *Työpistesiiro*: Työpistesiiro alkoi, kun hakkuukone lähti liikkeelle työpisteestä, ja päättyi, kun se pysähtyi seuraavalle työpisteelle ja seuraava työvaihe alkoi. Kone työskenteli pääosin ajouralta käsin mutta teki tarvittaessa pistoja, kun kaadettiin etäällä ajourasta olevia suuria puita.

— *Hakkuulaitteen vienti puun tyvelle*: Työvaihe alkoi, kun hakkuulaitetta alettiin siirtää poistettavan puun luokse, ja päättyi, kun hakkuulaite tarttui puuhun ja kaatosahaus alkoi.

— *Puun kaato*: Työvaihe alkoi kaatosahauksesta ja päättyi, kun kaatuvaa/kaadettua puuta

Koealan pituus 25 metriä. Koealojen alku ja loppu oli merkitty kuitunauhalla



Kuva 2. Periaatekuva 20 m x 25 m hakkuukoealasta sekä kuitupuun ja rangan kasauksesta ajouran varteen.

Fig. 2. Layout of the 20 m x 25 m-sized time study plot and the location of pulpwood and energy wood piles beside the strip road

alettiin siirtää karsinta ja katkontaa varten tai karsintasyöttö alkoi.

— *Puun tuonti käsittelypaikalle*: Kaadon jälkeinen työvaihe, jossa puuta siirretään lähemmäksi ajouraa karsintaa ja katkontaa varten.

— *Prosessointi*: (karsinta ja katkonta): Alkoi, kun hakkuulaitteen syöttörullat alkoivat syöttää kaadettu runkoa, ja päättyi, kun latvapölkyn katkaisusahaus oli tehty.

— *Pölkkyjen kasaus ja järjestely*: Tavaralajien erillään pitoa tai pölkkyjen järjestelyä suurempiin kourakasoihin hakkuun yhteydessä.

— *Peruutus*: Koneen siirtyminen työpisteeltä taaksepäin puun tuonnin tai työpistesiiirron yhteydessä (kannon tai muun havaitun esteen kiertäminen).

— *Raivaus*: Raivausvaiheeseen kuuluu alikasvoksen raivaaminen ajouralta ja hakkuualueelta joko sahaamalla tai hakkuulaitteella painelemalla. Ajoura raivattiin puhtaaksi, ettei alikasvos kiilautunut ohjaamon ja kuormaimen tai hydrauliiikkasäiliön väliin.

— *Ajouran havutus*: Latvuksen siirto ajouralle sen jälkeen kun latvapölkyn katkaisusahaus oli tehty.

— *Häiriöt ja keskeytykset*: Normaalisti hakkuutyöstä poikkeavat keskeytykset, kuten korjaus, häiriö, huolto, tauko tms. Häiriön ja keskeytyksen syy kirjattiin muistiin.

Koetyömaa ja puustotiedot

Aikatutkimuksissa puut korjattiin karsittuna ja pölkkyjen minimilatuläpimittana oli 6 cm. Katkonnassa pölkkyjen ohjepituus oli 5 metriä ja lyhin sallittu pituus oli 2,7 metriä. Korjuutapana oli integroitu korjuu eli hakkuussa korjattiin sekä kuitupuuta että rankaa. Palstalla latvaläpimitaltaan yli 11 cm paksuiset tyvi- tms. järeät havupuupölkkyt hakattiin omaan kuitupuukaasaansa ja vastaavan kokoiset koivupölkkyt omaan kuitupuukaasaansa. Ohuet rungot ja latvapölkkyt hakattiin rankakasaan, jossa sai olla sekaisin sekä havupuuta että lehtipuuta. Lisäksi yksittäiset koivukuitupuurungot hakattiin suoraan rankakasaan. Hakattu kuitupuun ja ranka kasattiin kourakasoihin ajouran varteen niin, että pölkkyjen päät olivat kohtisuoraan ajouralle päin.

Hakkuukoetyömaa oli harvennuksen tarpeessa oleva mäntyvaltainen turvekankaan metsä, jossa oli sekä toisen että kolmannen kehitysluokan puustokuvioita. Suorakaiteen muotoinen työmaa rajautui toiselta sivulta turvetuotantoalueeseen ja toiselta sivulta tilarajaan. Hakkuut tehtiin Tapion harvennusohjeiden mukaan (Hyvän metsähoidon suositukset 2006). Koetyömaalle perustettiin 40 kappaletta suorakaiteen muotoisia ja puustoltaan vaihtelevia hakkuukoealoja (Kuva 2 ja Taulukko 1), joiden pituus oli 25 metriä ja leveys 20 metriä (koneen työskentelyleveys). Suorakaiteen

muotoiset hakkuukoealat sijaitsivat kahdessa rinnakkaisessa rivissä ja ne merkittiin maastoon merkkimaalin ja kuitunauhan avulla. Maaperä hakkuukoealoilla oli kantava eikä maassa ollut

lunta tai routaa. Maasto oli tasaista ja helppokulkuista eivätkä yksittäiset ajouraan nähden poikittain sijanneet vanhat ja madaltuneet ojat hidastaneet hakkuukoneen etenemistä. Huomat-

Taulukko 1. Hakkuukoealojen puustotiedot ennen harvennusta ja harvennuksen jälkeen mäntyvaltaisessa ojitusalue-metsikössä.

Table 1. Basic stand data of the time study plots before and after thinning in drained Scots pine dominated peatland stand.

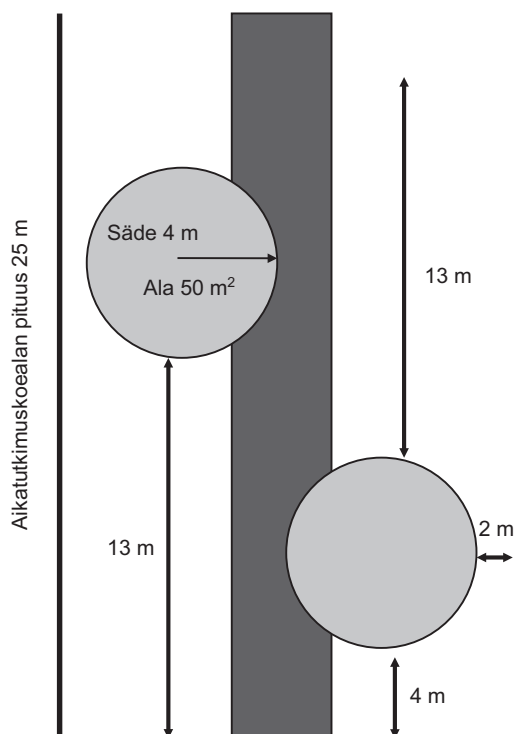
Koe-ala	Lähtö puusto kpl/ha	Jäävä puusto kpl/ha	Ali-kasvos kpl/ha	Jäävän puuston			Poistuman keskijäreys dm ³	Poistuma kuitua/rankaa, m ³ /ha
				keskilpm (1,3m) mm	valtapituus (H100) m	ppa m ² /ha		
Sample plot	Stand before thinning n/ha	Stand after thinning n/ha	Under-story trees n/ha	Stand after thinning			Harvesting	removal
				Mean diameter (h1.3m) mm	Dominant height (H100) m	Basal area m ² /ha	Mean stem volume dm ³	pulp wood/fuel wood m ³ /ha
1	1620	800	0	134	9,2	11	42	18,1 / 16,1
2	1520	900	0	97	10,9	12	42	12,5 / 13,4
3	1640	900	5000	135	9,0	12	55	22,1 / 18,6
4	1720	1100	0	190	13,5	11	48	13,4 / 16,4
5	1400	800	1800	194	14,2	14	71	20,6 / 21,9
6	1240	700	0	206	14,6	16	106	35,4 / 22,0
7	1080	700	0	205	14,3	17	89	20,5 / 13,2
8	1200	700	0	157	14,5	15	80	22,3 / 17,6
9	1120	700	0	186	13	13	77	19,4 / 13,0
10	1280	700	0	179	12,6	13	92	32,3 / 20,8
11	1400	900	0	180	12,8	14	98	30,5 / 18,7
12	1560	900	0	192	13,0	12	93	35,3 / 26,0
13	1120	600	0	189	12,2	12	103	28,5 / 24,9
14	1300	800	2200	166	14,0	11	89	26,3 / 18,0
15	1220	800	1000	175	13,8	14	97	26,4 / 14,5
16	1120	700	0	180	12,8	15	127	32,7 / 20,6
17	1420	900	0	173	13,8	14	134	38,2 / 31,4
18	1200	800	4000	210	15,8	17	153	33,0 / 28,2
19	1180	700	4400	204	16,5	18	119	31,5 / 25,8
20	980	700	3000	176	15,5	19	148	22,6 / 22,0
21	1640	600	0	220	15,5	19	45	21,5 / 25,4
22	1300	700	0	203	16,5	18	52	14,2 / 17,2
23	1320	600	3400	194	15,5	17	64	22,5 / 23,6
24	1300	800	2400	195	13,8	14	61	15,5 / 15,2
25	1280	700	0	207	12,8	15	109	37,2 / 26,3
26	1020	500	0	165	13,8	14	154	44,4 / 35,8
27	980	600	2400	212	14,0	11	122	27,3 / 18,8
28	1100	800	1800	230	12,2	12	78	12,6 / 10,8
29	1400	800	3000	180	13,0	12	53	12,8 / 19,0
30	1000	700	0	152	12,8	14	92	15,2 / 12,2
31	1140	600	0	154	12,6	13	84	25,2 / 20,3
32	1280	700	0	149	13,0	13	112	33,6 / 31,1
33	800	500	0	120	14,5	15	202	32,2 / 28,3
34	1280	800	0	175	14,3	17	146	39,9 / 30,3
35	1180	700	0	235	14,6	16	125	33,3 / 26,6
36	1160	700	0	188	14,2	14	146	36,8 / 30,4
37	1080	700	0	155	13,5	11	216	44,5 / 37,6
38	1120	900	0	175	9,0	12	164	19,8 / 16,3
39	1280	900	0	101	10,9	12	154	32,6 / 25,9
40	1220	900	0	179	9,2	11	192	31,5 / 29,8

tava osa hakkuukoealoista oli vailla alikasvosta ja suurimmillaan alikasvoksen tiheys oli 5 000 runkoa hehtaarilla (Taulukko 1). Alikasvos oli 2–4 metristä lehdetöntä hieskoivua. Alikasvokseksi luettiin puu, jonka kantoläpimitta oli yli 11 mm ja läpimitta 1,3 m korkeudelta oli alle 70 mm (vrt. Kärhä ym. 2006).

Puustotiedot inventoitiin hakkuun jälkeen koealoittain ja niiltä mitattiin kasvatuskelpoisten puiden lukumäärä hehtaarilla (kpl/ha), keskiläpimitta 1,3 m korkeudelta (mm), valtapituus (m) sekä puuston pohjapinta-ala (m^2/ha). Kasvatuskelpoiseksi puuksi luettiin kasvatettavaan jaksoon kuuluva elävä puu, jonka läpimitta oli vähintään 70 mm 1,3 m korkeudelta (Korjuujälki harvennushakkuussa... 2003). Alikasvoksen osalta mitattiin runkoluku ja keskipituus. Mittaukset tehtiin ympyräkoealoilta, joiden säde oli 3,99 m (50 m^2). Puustokoealoja sijoitettiin systemaattisesti kaksi jokaiselle hakkuukoealalle, yksi ajouran kummallekin puolelle (Kuva 3). Lähtöpuuston tiheys saatiin laskettua lisäämällä jäävän puuston runkolukuun hakkuukoealalta hakattujen runkojen kappalemäärä.

Puustotietojen lisäksi hakkuutyömaalta mitattiin ajourien leveys ja ajouraväli. Mittaukset tehtiin 40 metrin välein hakkuukoealoilta. Ajouran leveydellä (cm) tarkoitettiin ajouraa reunustavien lähimpien puiden kylkien kohtisuoraa etäisyyttä uran keskelle ja ajouravälillä (m) kahden rinnakkaisen ajouran keskilinjojen välistä kohtisuoraa etäisyyttä toisistaan (Korjuujälki harvennushakkuussa... 2003). Ajouraleveyshavainto mitattiin rajatulta 10 metrin jaksolta määrittämällä uran oikealta ja vasemmalta puolelta lähimmän puun etäisyys ajouran keskilinjaan ja summaamalla nämä kaksi etäisyyttä (Björheden ja Fröding 1985). Uraleveys mitattiin, kun runkoluku oli yli 600 runkoa/ha (Korjuujälki harvennushakkuussa... 2003). Raiteen syvyyttä ei tässä tutkimuksessa mitattu, koska se ei ollut maaston hyvän kantavuuden vuoksi mielekäästä. Mittaus olisi ollut myös hankalaa ja epäluotettavaa runsaan havituksen vuoksi.

Hakkuukoneen mittalaitteen keräämistä mitattiedoista tulostettiin mittalistas koealoittain, jolloin saatiin hakattujen puiden käyttöosan tilavuudet hakkuujärjestyksessä aikatutkimustiedon analysointia varten. Aineiston analysoinnissa

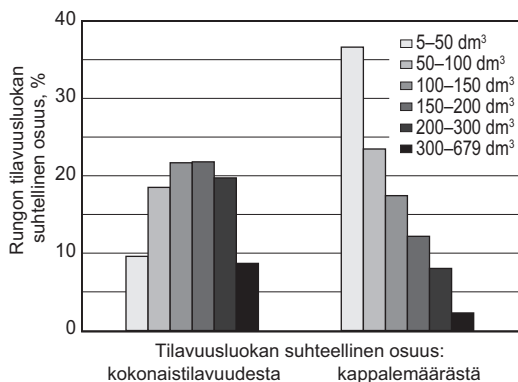


Kuva 3. Puustokoealojen sijoittuminen 20 m x 25 m hakkuukoealalle.

Fig. 3. Location of the sample plots for stand measurements in the 20 m x 25 m-sized time study plots.

yhdistettiin aikatutkimuksessa kerätty puukohdainen käsittelyaika hakkuukoneen mittaamaan puun käyttöosan tilavuuteen. Hakkuukoneen apteeraus- ja ohjausjärjestelmänä oli Motomit IT ja hakkuukoneen kuljettaja vastasi mittalaitteen kalibroinnista ja toimivuudesta aikatutkimusten alussa ja sen aikana aikana. Puutavara hakattiin 6 cm latvaläpimittaan, koska sitä pienemmillä latvaläpimitoilla mittalaitteen tarkkuus ei olisi ollut riittävä. Aikatutkimuskoealan lopussa hakkuukoneen kuljettaja teki mittalistaan merkinnän aikatutkimuskoealan vaihtumisesta, jonka jälkeen hakkuutyö jatkui normaalisti.

Aikatutkimuksissa hakattiin kuitupuuta (45 %) ja rankaa (55 %) yhteensä $97,8 \text{ m}^3$ (Taulukko 1). Määrästä pääosa (90 %) oli mäntyä. Hakattuja runkoja oli 1010 kappaletta ja runkojen keskitilavuus oli 97 dm^3 . Suurin aikatutkimuksissa hakattu runko oli käyttöosan tilavuudeltaan 679 dm^3 ja



Kuva 4. Aikatutkimuskoealalta hakattujen runkojen tilavuusluokkien osuudet kokonaistilavuudesta ja kappalemäärästä.

Fig. 4. Summary of stems processed in time study plots as a function of total stem volume and number of stems.

pienin runko oli 5 dm³. Hakatuista rungoista kappalemääräisesti laskien yli puolet (370 kappaletta ja 237 kappaletta) kuului tilavuusluokkiin 5–50 dm³ ja 50–100 dm³ (Kuva 4). Hakattujen runkojen kokonaistilavuudesta em. tilavuusluokkien osuus oli puolestaan 10 % ja 18 % (Kuva 4).

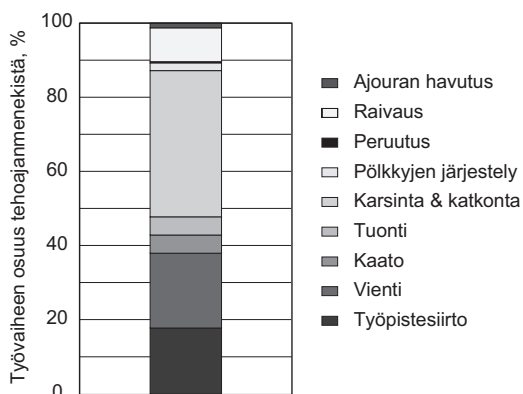
Tulokset

Työvaiheiden suhteelliset osuudet tehoajanmenekistä

Aikatutkimuksessa käytetyllä työvaihejaottelulla työpistesiiirron osuus tehoajanmenekistä oli 18 % ja hakkuulaitteen viennin aika puun tyvelle oli 20 %. Puun kaatoon ja puun tuontiin prosessointipaikalle kului 5 % tehoajasta. Karsinnan ja katkonnan osuus tehoajasta oli 39 %. Pölkkyjen kasaukseen ja järjestelyyn kului tehotyöajasta 2 %, peruutteluun 0,3%, raivaukseen 9 % ja ajouran havutukseen 1% tehotyöajasta (Kuva 5).

Ajanmenekkimallit

Hakkuukoneen työvaiheiden ajanmenekin mallinnuksessa työvaiheet koottiin kolmeksi päätyövaiheeksi, jotka olivat: Työpistesiiirtyminen (Kuva 6), Hakkuulaitteen vienti, kaato & tuonti (Kuva 7), sekä Prosessointi (Kuva 8). Lisäksi laskettiin



Kuva 5. Hakkuun eri työvaiheiden suhteelliset tehoajanmenekit aikatatutkimuksen perusteella.

Fig. 5. The average proportion of various working elements in integrated cutting of pulpwood and energy wood.

raivaustyön ja muiden apuvaiheiden keskimääräinen ajanmenekki runkoa kohti. Aineistossa oli mukana sekä mänty- että koivuvarunot, koska koivuaineiston koko oli pieni, eikä puulajien välillä havaittu aineiston perusteella eroja ajanmenekissä.

Työpistesiiirtyminen

Runkokohtainen siirtymisajanmenekki (työpistesiiirto & peruuttelu) laskettiin käyttäen kaavaa, jossa työpistesiiirtymisen ajanmenekkiä selitettiin hakkuupoistuman tiheydellä (r/ha) (Kuva 6):

$$T_{\text{Työpistesiiirto}} = 1,339 + 2180,137 \cdot 1/x \quad (1)$$

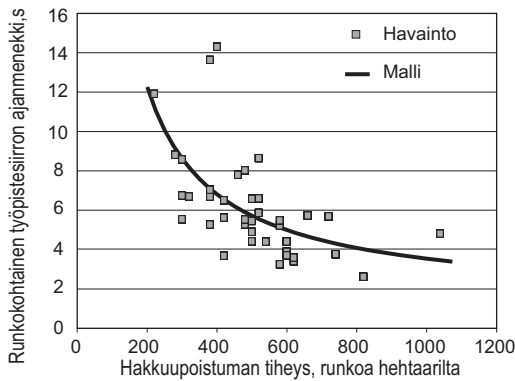
$T_{\text{Työpistesiiirto}}$ = runkokohtainen työpistesiiirtymisen ajanmenekki, s

x = hakkuupoistuman tiheys, runkoja hehtaarilla

$$r^2 = 0,341$$

Hakkuulaitteen vienti puulle, puun kaato ja tuonti

Ajanmenekkiyhälöiden laadinnassa rungon tuonnin ajanmenekki kannolta rungon prosessointipaikalle yhdistettiin hakkuulaitteen viennin ja puun kaaton ajanmenekkiin. Ajanmenekkimallissa selittäjinä oli hakkuupoistuman tiheys (r/ha) ja rungon koko (dm³) (Kuva 7):



Kuva 6. Hakkuupoistuman tiheyden vaikutus työpistesiiirron ajanmenekkiin.

Fig. 6. The time consumption of moving between work locations as a function of stems harvested per hectare.

$$T_{\text{Vienti, kaato \& tuonti}} = 5,886 + 0,019x + 0,003z \quad (2)$$

$T_{\text{Vienti, kaato \& tuonti}}$ = runkokohtainen viennin, kaadon ja tuonnin ajanmenekki

x = rungon käyttöosan tilavuus, dm^3

z = hakkuupoistuman tiheys, runkoja hehtaarialla

$$r^2 = 0,106$$

Prosessointi (karsinta & katkonta)

Rungon prosessointiajan ajanmenekki laskettiin rungon käyttöosan tilavuuden (dm^3) funktiona (Kuva 8):

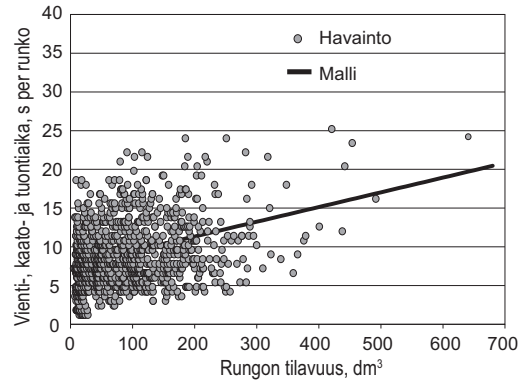
$$T_{\text{Prosessointi}} = 5,412 + 0,04x + 0,00014x^2 \quad (3)$$

x = rungon käyttöosan tilavuus, dm^3

$$r^2 = 0,531$$

Apu aika

Hakkuussa apuajat ($T_{\text{Apu aika}}$) (pölkkyjen kasaus ja järjestely sekä latvusten siirtely uralle tai ojiin) oli keskimäärin 1,1 sekuntia per runko.



Kuva 7. Rungon tilavuuden vaikutus hakkuulaitteen puulle viennin sekä puun kaadon ja tuonnin ajanmenekkiin. Laskelmassa hakkuupoistuma oli 550 runkoa hehtaarialta.

Fig. 7. The time consumption of the positioning-to-cut and felling as a function of stem volume and number of stems harvested per hectare (550 stems per hectare).

Raivaus

Aikatutkimuskoealoilla ei juuri ollut alikasvosta, joka olisi haitannut näkyvyyttä tai hakkuulaitteen vientiä puun tyvelle, vaan pääosa raivaukseen käytetystä ajasta kului ajouran raivaamiseen tai alamittaisten runkojen harventamiseen.

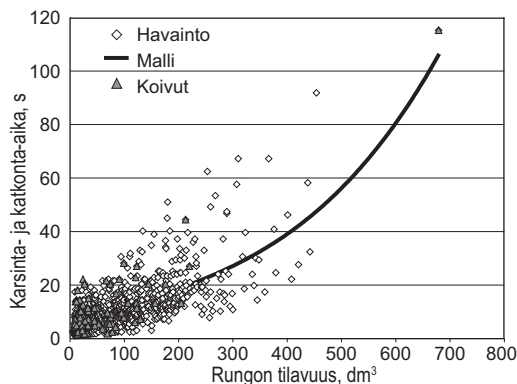
Raivauksen ajanmenekki (T_{Raivaus}) selvitettiin laskemalla raivaamiseen kulunut aika hakattua runkoa kohti. Raivauksen ajanmenekki oli keskimäärin 2,86 sekuntia runkoa kohden.

Hakkuutyön runkokohtainen ajanmenekki ja tuottavuus

Hakkuutyön runkokohtainen ajanmenekki (T_{Runko}) saatiin osatyövaiheiden summana:

$$T_{\text{Runko}} = T_{\text{Työpistesiiirto}} + T_{\text{Vienti, kaato \& tuonti}} + T_{\text{Prosessointi}} + T_{\text{Apu aika}} + T_{\text{Raivaus}}$$

Hakkuukonetyön tuottavuus runkoina tehotuntia kohden ($\text{kpl}/E_0\text{h}$) laskettiin jakamalla 3600 sekuntia (= 1 tunti) runkokohtaisella tehoajanmenekillä (T_{Runko}). Runkoina ilmoitettu tehotuntituotos muutettiin kiintokuutiometrikoh-

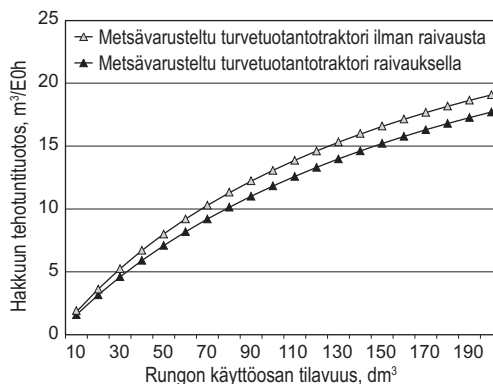


Kuva 8. Rungon käyttöosan tilavuuden vaikutus karsinnan ja katkonnan ajanmenekkiin.

Fig. 8. The time consumption of processing as a function of stem volume.

taiseksi tehotuntituotokseksi ($\text{m}^3/\text{E}_0\text{h}$) kertomalla tehotunnissa hakattujen runkojen kappalemäärä rungon kiintotilavuudella (m^3).

Ajanmenekkimallien perusteella metsävarustellulle turvetuotantotraktorille laskettiin kaksi tehotuntituotostasoa (Kuva 9). Ensimmäisessä tehotuntituotostasossa (metsävarusteltu turvetuotantotraktori raivauksella) oli mukana kaikki hakkuutyön työvaiheet ja toisessa tuottavuustasossa (metsävarusteltu turvetuotantotraktori ilman raivausta) ajanmenekistä oli poistettu raivauksen ajanmenekki. Em. laskennallisella tarkastelulla mallinnettiin tilannetta, jossa aikatutkimuskoalat olisivat sijainneet ennakkoraivatussa metsässä. Rungon käyttöosan tilavuudella 50 – 200 litraa ja 737 – 368 rungon hehtaari-poistumalla metsävarustellun turvetuotantotraktorin tehotuntituotos oli 8,0 – 20,0 $\text{m}^3/\text{E}_0\text{h}$ tai 7,1 – 18,5 $\text{m}^3/\text{E}_0\text{h}$, kun ajanmenekissä huomioitiin alikasvoksen raivaukseen kulunut aika (Kuva 9). Hakkuupoistuman tiheys (r/ha) mäntyvaltaiselle kohteelle laskettiin Kärhän ja Keskinen (2011) mallilla. Mallin mukaan rungon tilavuuden kasvaessa hakkuussa poistettavien runkojen kappalemäärä hehtaarilta (r/ha) pienenee (Kärhä ja Keskinen 2011).

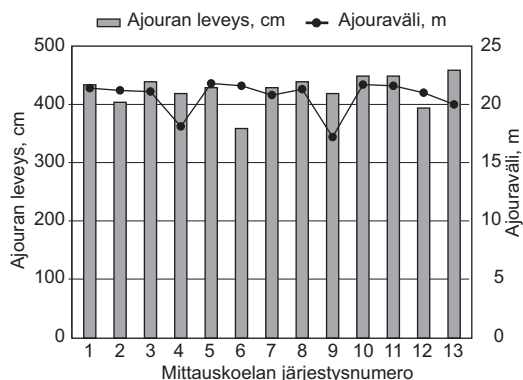


Kuva 9. Metsävarustellun turvetuotantotraktorin hakkuutyön tuottavuus rungon tilavuuden mukaan, kun hakkuupoistuma on 1647–368 runkoa hehtaarilta.

Fig. 9. Cutting productivity as a function of stem volume, when the effect of undergrowth on cutting productivity is either taken into account or not.

Ajouraväli ja ajouran leveys

Ajouran leveys oli 360 – 460 cm ja keskiarvo oli 426 cm (Kuva 10). Mitattu ajouran leveys oli hieman suurempi kuin suositusten mukainen 4 m (Korjuujälki harvennushakkuissa... 2003). Ajouraväli oli 17,2 – 21,8 m ja keskiarvo oli 20,7 m (Kuva 9). Ajourien välinen etäisyys oli korjuusuositusten mukainen eli yli 20 metriä (Korjuujälki harvennushakkuissa... 2003).



Kuva 10. Mitattu ajouran leveys ja ajouraväli hakkuutyömaalla.

Fig. 10. The observed strip road width and strip road spacing on the time-study stand.

Tulosten tarkastelu

Vertailu aiempiin tutkimustuloksiin

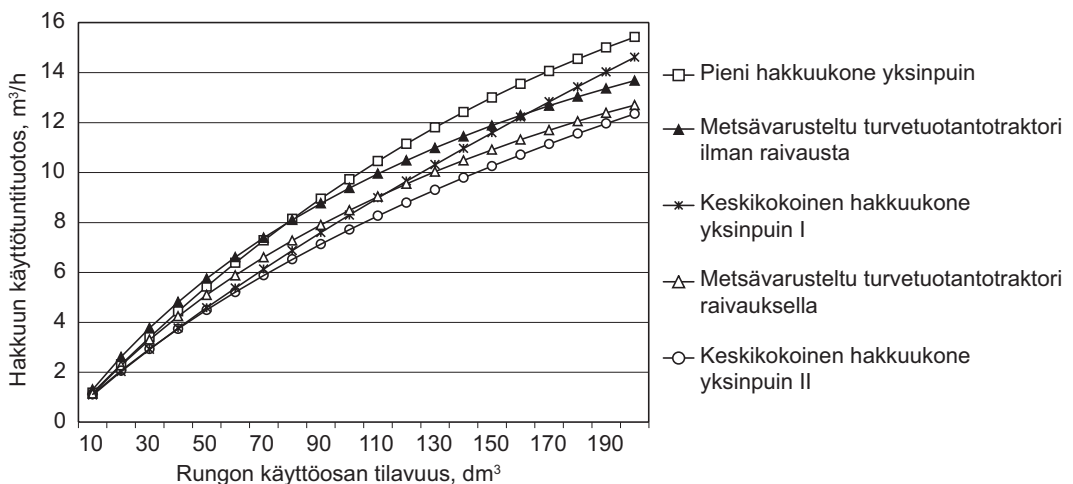
Kuvassa 11 verrataan tässä tutkimuksessa saatuja tuottavuustuloksia aiempiin tutkimustuloksiin hakkuun tuottavuudesta harvennusemetsissä, kun työ tehtiin kevyellä alle 13 tonnin hakkuukoneella (Ryynänen & Rönkkö 2001) tai keskiraskailla 13 – 17 tonnin hakkuukoneilla (Kärhä ym. 2006 ja Väättäinen ym. 2007). Kuvan 11 vertailulaskelmissa hakkuupoistuman tiheys oli 1647 – 368 runkoa hehtaarilta (Kärhä ja Keskinen 2011), rungon käyttöosan tilavuus oli 10 – 200 dm³ ja hakkuukoneiden tehotuntituotos (tehoaika) muutettiin tuottavuudeksi käyttötuntia kohden kertoimella 1,393 (Kärhä ym. 2009). Kuvassa 11 tuottavuuskäyrä ”Keskikokoinen hakkuukone yksinpuin I” perustui Kärhä ym. (2006) tutkimukseen ja tuottavuuskäyrä ”Keskikokoinen hakkuukone yksinpuin II” perustui Väättäinen ym. (2007) tutkimukseen. Tulokset ovat keskenään vertailukelpoiset, koska tutkimuksissa sovellettiin samoja katkenta (2,7–5 m) ja katkaisuläpimittajia (min 6 cm).

Kuvan 11 vertailun perusteella metsävarustellun turvetuotantotraktorin tuottavuus on samalla tasolla varsinaisten hakkuukoneiden kanssa ja erot tuottavuuksissa tutkimustulosten välillä ovat pienet kun rungon käyttöosan tilavuus on alle 200 litraa. Yli 300 litran rungoilla metsävarustellun turvetuotantotraktorin hakkuutyö hidastui (Kuva 8).

Tulosten yleistäminen

Tämän tutkimuksen työmaa oli tyypillinen ojitusalueen mäntyvaltainen metsä, jossa puut ovat jonkin verran tyvekkäämpiä, lengompia sekä paksuoksisempia kuin kivennäismaan männiköt. Lisäksi hakkuussa poistettavia runkoja oli hehtaarilla vähemmän. Puustotietojen perusteella kerätty tutkimusaineisto kattaa hyvin nykyiset korjuuolot ojitusalueiden mäntyvaltaisten metsien ensimmäisessä ja toisessa harvennuksessa. Aikatutkimuksissa metsävarusteltu turvetuotantotraktori toimi moitteettomasti, eikä hakkuutyössä ollut kahta ketjurikkoa lukuun ottamatta peruskoneen tai hakkuulaitteen aiheuttamia keskeytyksiä.

Aikatutkimuskoealojen pituus (25 m) oli ta-



Kuva 11. Metsävarustellun turvetuotantotraktorin hakkuutuottavuuden vertailu aiempiin 2000-luvulla tehtyihin hakkuukonetutkimuksiin. Hakkuupoistuma 1647 – 368 runkoa hehtaarilta rungon käyttöosan tilavuuden mukaan (Kärhä ja Keskinen 2011).

Fig. 11. The cutting productivity of the forestry-equipped peat harvesting tractor compared to cutting productivity with small and medium-sized wheel harvesters.

vanomaista lyhyempi (vrt. Kärhä ym. 2006), koska lyhyillä koealoilla pyrittiin tuomaan aiempaa tarkemmin esille suopuuston ryhmittäisyydestä johtuva tiheysvaihtelu työmaan sisällä. Lyhyiden koealojen käyttöä puolsi myös se, että aineiston analysoinnissa lyhyet hakkuukoealat voi tarvittaessa yhdistää suuremmiksi kokonaisuuksiksi, eli 50, 75 tai jopa 100 metrin aikatutkimuskoealoiksi. Aikatutkimukset tehtiin täysinä työpäivinä klo 8:00 – 16:00 välillä, jolloin tuli luonnollisesti huomioitua kuljettajan vireystilassa tapahtuvat muutokset työpäivän aikana. Hakkuutyö pyrittiin pitämään mahdollisimman luonnollisena myös niin, että aikatutkimuskoealan päättyessä ei pidetty ylimääräisiä taukoja, vaan työ jatkui keskeytyksettä pl. hakkuukoneen kuljettajan mittalistaan tekemiä merkintöjä hakkuukoealojen vaihtumisesta.

Tämän tutkimuksen tuottavuustasoja ei voida kuitenkaan soveltaa sellaisenaan käytännön työhön, koska on havaittu, että seurantatutkimukseen perustuvat tuottavuuskäyrät ovat selvästi alemmalla tasolla kuin aikatutkimuksien perusteella lasketut käyttötuntituotokset (Mäki 1999, Ryyänen ja Rönkkö 2001, Sirén ja Aaltio 2003). Syynä tähän on mm. se, että lyhyinä koealurupeamina toteutettavat aikatutkimukset eivät täysin vastaa käytännön työtilanteita ja lisäksi osa kuljettajista kokee tutkimuksen kilpailutilanteena. Pitkäkestoinen seurantatutkimus antaa sen vuoksi luotetavamman kuvan käytännön työn tuottavuudesta (Ryyänen ja Rönkkö 2001, Sirén ja Aaltio 2003).

Hakkuukoneyöhön liittyviä tutkimustuloksia vertailtaessa on lisäksi huomioitava eri tutkimuksissa vallinneet olosuhdetekijät (maasto, puusto, sääolosuhteet, vuodenaika, koneet, laitteet, kuljettaja) ja niiden vaikutukset tuloksiin sekä aikatutkimusaineiston suuruus. Tähän tutkimukseen osallistui yksi kokenut ja taitava kuljettaja. Aiemmissä tutkimuksissa on havaittu koneenkuljettajan ammattitaidolla olevan merkittävä vaikutus työn tuottavuuteen ja siten korjuukustannuksiin (Sirén ym. 1998, Ryyänen ja Rönkkö 2001, Väättäinen ym. 2005, Kariniemi 2006) Hakkuukoneenkuljettajien väliset tuottavuserot ovat suurimmillaan tiheissä nuorissa metsissä ja hakkuukoneenkuljettajan ns. hiljaisella tiedolla voi olla jopa 40–55 %:n vaikutus työn tuottavuuteen rungon koosta riippuen, vaikka muut tehokkuuteen vaikuttavat

tekijät ovat kuljettajien välillä olleet samanlaiset (Väättäinen ym. 2005).

Tässä tutkimuksessa kuitupuu ja ranka hakattiin pitkänä, koska se on selvästi tehokkaampaa kuin lyhyen 3 m puun hakkuu. Metsätehon tutkimuksessa (Kuitto ym. 1994) lyhyttä kuitupuuta valmistettaessa karsinnan ja katkonnan ajanmenekki oli keskimäärin 20 % suurempi kuin pitkää kuitupuuta hakattaessa. Lisäksi lyhyellä kuitupuulla metsäkuljetuksen tuottavuus on 10 – 20 % alempi kuin pitkällä kuitupuulla (Väkevä 2001). Autokuljetuksessa lyhyen rangan kuormaus on 33 % ja purku 24 % hitaampaa kuin pitkän rangan kuormaus ja purku (Laitila ja Väättäinen 2011). Katkonnassa pölkkyjen minimiläpimita oli tutkimustulosten keskinäisen vertailtavuuden ja hakkuukoneen mittatarkkuuden vuoksi 6 cm. Käytännön korjuutoiminnassa energiarangan minimiläpimita on jonkin verran pienempi eli noin 3 – 4 cm (Heikkilä ym. 2005). Puutasolla latvaläpimitan alentaminen kasvattaa rungon käyttöosan tilavuutta ja parantaa siten nimellisesti myös hakkuun tuottavuutta (Hakkila ym. 1995). Hakkuupoistuman jakautuminen kertymän ja hukkapuun kesken riippuu puun pituudesta, läpimitasta ja runkomuodosta sekä puutavaran pituus ja läpimittavaatimuksista. Latvaläpimitan vaikutus kertymään on suurin pieniläpimittaisessa puustossa (Pasanen ym. 2012).

Hakkuukoneen kehittämistarpeet ja soveltuvuus puunhankintaan

Hakkuukoneessa havaitut puutteet liittyivät rajoittuneeseen näkyvyyteen koneen ohjaamosta etuviistoon ja sivuille, alustakoneen vakautteen sekä hydraulikkapumpun tuottoon sekä sen sijaintiin koneen perässä. Ojien ylityksessä koneen takaosassa sijaitseva hydraulikkasäiliö osuu ojan penkkaan ja lisäksi koneen perässä oleva kuormain ja hydraulikkajärjestelmä tekevät hakkuukoneesta takapainoisen. Muotoilemalla koneen ohjaamo ja lokasuojat uudelleen kuljettajan näkyvyyttä työskentelyalueelle voidaan parantaa. Hydraulikan tehoa, koneen vakautta sekä maastoliikkuvuutta voidaan puolestaan parantaa sijoittamalla aiempaa tehokkaampi hydraulikkapumppu sekä –säiliö vastapainoksi koneen keulaan. Aikatutkimuksen jälkeen mark-

kinoille on tullut versio, jossa hydraulikkasäiliö ja –pumppu voidaan kytkeä traktorin etunostolaitteisiin. Nestetäytteisin renkain tai lisäpainoilla traktoriin saadaan tarvittaessa lisämassaa vakauttamaan konetta. Hakkuussa kaadettua puuta joudutaan usein siirtämään ennen karsintaa ja katkontaa. Lisäksi puuta kannatellaan karsinnan ja katkonnan aikana, minkä vuoksi traktoriin kohdistuvat heiluntaa aiheuttavat voimat ovat suuria. Toisin kuin hakkuukoneissa traktoreissa nosturi sijaitsee akseleiden ulkopuolella, minkä vuoksi nosturin aiheuttama vääntömomentti tekee traktorista epävakaan ja vaikeammin hallittavan. Vakaajasynterillä hakkuutyön ajaksi jäykistetty etuakseli sekä keulapainot parantavat merkittävästi hakkuukoneen työskentelyvakautta.

Turvemaavaltaisilla korjuualueilla talvileimikoiden runsaus ja kesäleimikoiden vähäisyys puoltaa korjaamaan turvemaakohteita myös kesäaikaan käyttäen pehmeiden maiden erikoiskoneita tai varusteltuja yleiskoneita (Väättäinen ym. 2010). Maaperän heikko kantavuus on ongelma, johon on vastattu tekemällä korjuu pääsääntöisesti talvella maan ollessa roudassa. Talvikorjuuajan kestolla on selvä vaikutus siihen, kuinka paljon turvemaita on mahdollista korjata vuoden aikana. Tasainen ja ympärivuotinen puunkorjuu tuo kustannussäästöjä puunhankintaan vähäisempien varastotappioiden, pienemmän varastoon sitoutuneen pääoman, tehokkaamman korjuu- ja kuljetuskaluston käytön sekä pysyvän ja motivoituneen kuljettajakunnan kautta (Väättäinen ym. 2010).

Toisaalta puunkorjuun ja hankinnan kausittaisuus tarjoaa myös mahdollisuuksia uusiin toimintamalleihin hyödyntämällä puunkorjuussa esim. turvetuotannon kalustoa ja työvoimaa, joilla kiivain sesonkiaika on kesällä. Traktoripohjaisten hakkuukoneiden käyttö talvella, puunkorjuun kovimman sesonkiipiikin aikaan luo mahdollisuuden vähentää perinteisen hakkuukonekapasiteetin määrää ja siten pienentää perinteisten hakkuukoneiden ylikapasiteettia ja seisokkeja kiivaimman puunkorjuusesongin ulkopuolella. Turve on metsähakkeen ohella merkittävä CHP-laitoksien polttoaine Lapissa, Pohjois-, Keski- ja Etelä-Pohjanmaalla, Satakunnassa, Kainuussa, Keski-Suomessa, Pohjois-Karjalassa ja Pohjois-Savossa (Energiateollisuus ry 2011), mikä merkitsee että noilla alueilla on paljon aines- ja energiapuun kau-

siurakointiin soveltuvia järeitä turvetuotantotraktoreita. Parhaita korjuukohteita traktoripohjaisille hakkuukoneille ovat turvemaiden ja muiden tasaisten maiden harvennushakkuut, koska niiden tuottavuus ja maastoliikkuvuus etenkin kivikoissa ja rinteillä on hakkuukoneita huonompi. Ehdoton edellytys turvetuotantotraktoreiden hakkuukäytön kannattavuudelle kausiurakoinnissa, riittävän työmäärän ja kohtuullisten investointikustannusten ohella on huolellinen korjuukohteen valinta maaston suhteen.

Kirjallisuus

- Ala-Ilomäki, J. 2006. The effect of weather conditions on the trafficability of unfrozen peatlands. *Metsanduslikud Uurimused - Forestry Studies* 45: 57–66.
- Belbo, H. 2011. Efficiency of accumulating felling heads and harvesting heads in mechanized thinning of small diameter trees. *Linnaeus University Dissertations No 66/2011*. 42 p.
- Bergkvist, I. 2003. Flerträdshantering höjer prestationen och ökar nettot i klen gallring. *Resultat från Skogforsk* 5. 4 s.
- Bergroth, J., Palander, T. & Kärhä, K. 2006. Excavator-based harvesters in wood cutting operations in Finland. *Forestry Studies* 45:74–88.
- Bergroth, J., Kärhä, K., Palander, T. & Keskinen, S. 2007. Tela-alustainen kaivukone hakkuukoneena. *Metsätehon raportti* 199. 36 s.
- Bergroth, J., Ihalainen, A. & Heikkilä, J. 2008. Ojitettujen turvemaiden taloudellinen ensiharvennuspotentiaali. *Metsätehon katsaus* 32. 4 s.
- Björheden, R. & Fröding, A. 1986. Ny rutin för gallringsuppföljning. *Julkaisussa: Tänk till gallringsfrågan. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik, Uppsatser och Resultat* 52:71–76.
- Eeronheimo, O. 1991. Suometsien puunkorjuu. *Folia Forestalia* 779: 1–29.
- Energiateollisuus ry. 2011. *Kaukolämpötilasto 2010*. 72 s.
- Hakkila, P., Kalaja, H. & Saranpää, P. 1995. Etelä-Suomen ensiharvennusmänniköt kuituja energialähteenä. *Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja* 582. 93 s.

- Heikkilä, J., Laitila, J., Tantt, V., Lindblad, J., Sirén, M., Asikainen, A., Pasanen, K. & Korhonen, K.T. 2005. Karsitun energiapuun korjuuvaihtoehdot ja kustannustekijät. Metlan työraportteja/ Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 10. 56 s.
- Hyvän metsänhoidon suositukset. 2006. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. ISBN 13-978-952-5118-84-1.
- Imponen, V. 2005. Korjuukonevalinta ja resurssien valinta aluetasolla. Julkaisussa: Kehittyvä puuhuolto 2005. Seminaarijulkaisu: 34–40.
- Jaakkola, S. 2011. Vaadi tuottoa lisälaitteinvestoinnille. Koneyrittäjä 8/2011. s. 20–21.
- Johansson, J. 1995. Excavators as Base Machines in Logging Operations. International Journal of Forest Engineering 7(1): 7–17.
- Johansson, J. 1997. Small Tree Harvesting with a Farm Tractor and Crane Attached to the Front. International Journal of Forest Engineering 8(1): 21–33.
- Johansson, J. 2000. Excavators and backhoe loaders as base machines in logging operations. Swedish University of Agricultural Sciences, Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Silvestria 141. 32 s.
- Johansson, J. & Gullberg, T. 2002. Multiple tree handling in the selective felling and bunching of small trees in dense stands. International Journal of Forest Engineering 13(2): 25–34.
- Juntunen, M-L. & Herrala-Ylinen, H. 2010. Metsien hoito. Teoksessa: Ylitalo, E. (toim.). Metsätilastollinen vuosikirja 2010. Suomen virallinen tilasto. Maa-, metsä- ja kalatalous 2010. Metsäntutkimuslaitos. s. 121–166.
- Jylhä, P. 2011. Harvesting of undelimited Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) from first thinnings for integrated production of kraft pulp and energy. Dissertationes Forestales 133. 73 s. + 4 osajulkaisua.
- Jylhä, P., Väätäinen, K., Rieppo, K. & Asikainen, A. 2006. Aines- ja energiapuun hakkuu ja lähikuljetus korjureilla. Kirjallisuuskatsaus. Metlan työraportteja/Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 34. 40 s.
- Jylhä, P., Dahl, O., Laitila, J. & Kärhä, K. 2010. The effect of supply system on the wood paying capability of a kraft pulp mill using Scots pine harvested from first thinnings. Silva Fennica 44(4): 695–714.
- Kariniemi, A. 2006. Kuljettajakeskeinen hakkuukonetyön malli – työn suorituksen kognitiivisen tarkastelu. Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja 38. 127 s.
- Kojola, S. & Penttilä, T. 2012. Harvennusten ajoittaminen ojitetuilla soilla – metsiköittäin vai kunnostusojituksen yhteydessä kerralla kuntoon? Suo 63 (2):45–55.
- Korhonen, K.T., Ihalainen, A., Heikkinen, J., Henttonen, H. & Pitkänen, J. 2007. Suomen metsävarat metsäkeskuksittain 2004–2006 ja metsävarojen kehitys 1996–2006. Metsätieteen aikakauskirja 2B/2007: 149–213.
- Korjuujälki harvennushakkuussa –opas. 2003. Metsäteho Oy. 33 s.
- Kuitto, P.-J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Terävä, J. 1994. Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus. Metsätalon Tiedotus 410. 38 s.
- Kärhä, K. (toim.). 2001. Harvennuspuun koneelliset korjuuvaihtoehdot. HARKO-projektin (1999–2001) loppuraportti. Työtehoseuran julkaisuja 382. 93 s.
- Kärhä, K. 2011. Integrated harvesting of energy wood and pulpwood in first thinnings using the two-pile cutting method. Biomass and Bioenergy 35 (8): 3397–3403.
- Kärhä, K. & Peltola, J. 2004. Metsäkoneiden monikäyttöisyys. Metsätalon raportti 181. 23 s.
- Kärhä, K., Rönkkö, E. & Gumse, S-I. 2004. Productivity and cutting costs of thinning harvesters. International Journal of Forest Engineering 15(2): 43–56
- Kärhä, K., Jouhio, A., Mutikainen, A. & Mattila, M. 2005. Mechanized energy wood harvesting from early thinnings. International Journal of Forest Engineering 16(1): 15–26.
- Kärhä, K., Keskinen, S., Kallio, T., Liikkanen, R. & Lindroos, J. 2006. Ennakkoraivaus osana ensiharvennuspuun korjuuta. Metsätalon raportti 187. 77 s.
- Kärhä, K., Poikela, A., Rieppo, K., Imponen, V., Keskinen, S. & Vartiama, T. 2007. Korjurit ainespuun korjuussa. Metsätalon raportti 200. 50 s.
- Kärhä, K., Laitila, J., Jylhä, P., Nuutinen, Y. & Keskinen, S. 2009. Kokopuun paalaus tuotantoketjun tuottavuus ja kustannukset. Metsätalon raportti 211. 61 s.

- Kärhä, K. & Keskinen, S. 2011. Ensiharvennukset metsäteollisuuden raaka-ainelähteenä 2000-luvulla. Metsätehon tulosalvosarja 2/2011. 29 s.
- Laitila, J., Leinonen, A., Flyktman, M., Virkkunen, M. & Asikainen, A. 2010. Metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan haasteet ja kehittämistarpeet. VTT Tiedotteita – Research Notes 2564. 143 s.
- Laitila, J. & Väätäinen, K. 2011. Kokopuun ja rangan autokuljetus ja haketustuottavuus. Metsätieteen aikakauskirja 2/2011: 107–126.
- Lauhanen, R. 2002. Decision support tools for drainage maintenance planning on drained Scot pine mires. Doctoral thesis. Research Notes 139, Faculty of Forestry, University of Joensuu. 53 s.
- Lilleberg, R. 1997. New techniques for small-tree harvesting. Teoksessa: Hakkila P., Heino M. & Puranen, E. (toim.). Forest management for bioenergy. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 640: 65–70.
- Metsätilastollinen vuosikirja 2011. Suomen virallinen tilasto: Maa-, metsä- ja kalatalous. 472 s
- Multamäki, M. 1967. Hakkuukertymän jakautumisesta puutavaralajeihin metsäojitetuilla soilla Etelä-Suomessa. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 64.2:1–46.
- Mäkelä, M. 1990. Turvemaiden koneellinen puunkorjuu kesäaikaisissa ensiharvennuksissa. Metsätehon katsaus 4. 4 s.
- Mäki, J.-P. 1999. Runko-ohjattavat erikoistraktorit harvennushakkuussa. Työtehoseuran monistetta 4/1999 (74). 78 s.
- Palander, T., Punttila, T. & Kariniemi, A. 2012a. Kuormatraktorin massan hallinta kuormaimen avulla turvemaiden puunkorjuuta varten. Suo 63 (2):57–72.
- Palander, T., Bergroth, J. & Kärhä, K. 2012b. Excavator technology for increasing the efficiency of energy wood and pulp wood harvesting. Biomass and Bioenergy (40) May 2012:120–126.
- Pasanen, K., Laitila, J., Anttila, P. & Pykäläinen, J. 2012. Estimating the accumulation of energy- and pulpwood from integrated harvesting operations in young forests with a ComBio decision support model. Esitarkastuksessa oleva käsikirjoitus. 25 s.
- Ryynänen, S. 1994. Maataloustraktoriharvesteri männikön ensiharvennuksessa. Työtehoseuran julkaisu 338. 68 s.
- Ryynänen, S. & Rönkkö, E. 2001. Harvennusharvestereiden tuottavuus ja kustannus. Työtehoseuran julkaisu 381. 67 s.
- Sirén, M. 1998. Hakkukonetyö, sen korjuujälki ja puustovaurioiden ennustaminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 694. 179 s.
- Sirén, M. 2000. Turvemaiden puunkorjuun kehittäminen. Metsätieteen aikakauskirja 2/2000: 301–307.
- Sirén, M. & Tantt, V. 2001. Pienet hakkuukoneet ja korjuri rämemännikön talvikorjuussa. Metsätieteen aikakauskirja 4/2001: 599–614.
- Sirén, M. & Aaltio, H. 2003. Productivity and costs of thinning harvesters and harvester-forwarders. International Journal of Forest Engineering 14(1): 39–48.
- Talbot, B., Nordfjell, T. & Suadicani, K. 2003. Assessing the Utility of Two Integrated Harvester-Forwarder Machine Concepts Through Stand-Level Simulation. International Journal of Forest Engineering 14(2): 31–43.
- Väkevä J., Kariniemi A., Lindroos J., Poikela A., Rajamäki J. & Uusi-Pantti K. 2001. Puutavaran metsäkuljetuksen ajanmenekki. Metsätehon raportti 123. 41 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., Ovaskainen, H., Ranta, P. & Ala-Fossi, A. 2005. Hakkuukonekuljettajanhiljaisen tiedon merkitys hakkuutulokseen työpistetasolla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 937. 100 s.
- Väätäinen K., Liiri H., Asikainen A., Sikanen L., Jylhä P., Rieppo K., Nuutinen Y. & Ala-Fossi A. 2007. Korjureiden ja korjuuketjujen simulointi ainespuun korjuussa. Metlan työraportteja/ Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 48. 78 s.
- Väätäinen, K., Lamminen, S., Sirén, M., Ala-Ilomäki, J. & Asikainen, A. 2010. Ympäri-voitosen puunkorjuun kustannusvaikutukset ojitetuilla turvemaidella — korjuuyrittäjätason simulointitutkimus. Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 184. 57 s.
- Ylimartimo, M., Harstela, P., Korhonen, K.T. & Sirén, M. 2001. Ensiharvennuskohteiden korjuukelpoisuus ojitetuilla turvemaidella. Metsätieteen aikakauskirja 2/2001:253–263.

Summary: The cutting productivity in integrated harvesting of pulpwood and delimbed energy wood with a forestry-equipped peat harvesting tractor

The purpose of the study was to determine the productivity of the integrated cutting of pulpwood and delimbed energy wood, along with the time consumption of cutting work phases performed with a forestry-equipped Valtra T171 peat harvesting tractor as the base machine and a Nisula 400C as the harvester head. In total, 1010 stems were cut in the Scots pine (*Pinus sylvestris*) dominated time study stand located on drained peatland, consisting of 44.0 m³ of pine pulpwood and 53.8 m³ of delimbed energy wood. The average stem volume was 97 litres (minimum 5 and maximum 679 litres). On the basis of the time-study data collected, per-stem time-consumption and productivity models were prepared for the single-stem cutting of delimbed wood. In the single-stem cutting time-consumption model, productivity was explained in terms of stem volume and harvesting intensity (number of stems removed per hectare). Productivity was expressed in solid cubic metres per effective hour (m³/E₀h).

The tractor harvester's ability to operate was good where terrain and ground surface was easy and there were no interruptions caused by machine breakdowns. Moreover, the harvesting quality met the recommended standards. The results indicate that the productivity of the Valtra T171 tractor-based harvester and the Nisula 400C harvester head was at the same level as that of conventional small and medium-sized wheeled harvesters in previous studies during the last ten years. Cutting productivity per effective hour (m³/E₀h) increased as the trees' stem volume grew, with a stem volume of 50–200 litres and a harvesting intensity of 737–368 trees per hectare, a cutting productivity of 8.0–19.1 m³/E₀h and 7.1–17.7 m³/E₀h, when the effect of undergrowth clearing was taken into account.

In Finland, forest machines are fully utilised for only around six months of the year, between September and March. The seasonal nature of wood procurement leads to the underutilisation of forest machines and employee layoffs. Idle time lowers the utilisation rate of forest machines and whittles away at the profitability of the machine-contracting business. Versatility of machinery represents one way of achieving year-round employment and ensuring the availability and stability of a professional workforce. One way of evening out the seasonal fluctuation in harvesting would involve utilising machinery that is deployed seasonally in peat harvesting as base machines for harvesters in logging operations during the autumn and winter. At the same time, the number of conventional harvesters would be reduced. The advantage of heavy-duty tractors produced in high volumes include a purchase price that is lower than that of forest machines and, outside the harvesting season, the option of removing the forestry equipment and using the base machine in the work for which it was originally designed. The investment in additional equipment and work output would improve the utilisation rate of the base machine while reducing the amount of capital tied up in the base machine per hour of its operation. However, a contractor should also always bear in mind the amount of work and money required to render the investment in additional equipment for the base machine profitable, with sufficient return on capital. The regression models presented provide accurate productivity estimates in typical Finnish thinning conditions as well as for cost calculations and different types of simulation and modeling purposes.

Keywords: time consumption models, first thinning, harvester, integrated harvesting, forestry-equipped peat harvesting tractors, peatland

(Received 21.3.2013, Accepted 6.6.2013)