



Juha Ikaheimo



Antti Asikainen

Juha Ikaheimo ja Antti Asikainen

Polttohakkeen tuotantomenetelmien tuottavuus ja kustannukset

Ikaheimo, J. & Asikainen, A. 1999. Polttohakkeen tuotantomenetelmien tuottavuus ja kustannukset. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/1999: 491–503.

Tutkimuksessa verrattiin neljän eri hakkeen tuotantomenetelmän tuottavuutta ja kustannuksia. Tämän tutkimuksen yhteydessä tehtiin vuoden mittaiset seurantatutkimukset kahdesta koneesta. Välivarastohakkureista tutkimuksessa seurattiin R9700 Future-hakkuria. Toinen seurantatutkimus tehtiin Moha-monitoimihakkurista, joka mahdollistaa hakkuutähteiden haketuksen palstalla ja hakkeen kuljetuksen käyttöpaikalle samalla yksiköllä. Tutkimuksessa käytettiin lisäksi VTT Energian aiemmin tekemien Chipset-palstahakkurin ja Evolution-välivarastohakkurin seurantatutkimuksien tuloksia.

Future-välivarastohakkuri osoittautui seurantatutkimuksessa teknisesti luotettavaksi ja toimivaksi. Ongelmaksi Futuren seurannassa havaittiin kuuma korjuuketju, joka aiheutti odotuksia sekä hakkurille että hakeautolle. Moha-monitoimihakkurin tekninen luotettavuus ja toimivuus oli seurantatutkimuksessa koneen prototyypiluonne huomioon ottaen hyvä.

Kustannusvertailussa Moha-monitoimihakkuriin perustuva puupolttoaineen tuotantomenetelmä osoittautui halvimmaksi alle 25 kilometrin kaukokuljetusmatkoilla. Chipset-palstahakkuriin perustuva hakkeen tuotantomenetelmä oli edullisin yli 25 kilometrin kuljetusmatkalla. Myös Evolution- ja Future-välivarastohakkureiden kilpailukyky parani kuljetusmatkan pidentyessä.

Varastojen kokoa kasvattamalla voidaan välivarastohakkureiden tuottavuutta nostaa merkittävästi. Välivarasto- ja palstahaketuksessa korostuu toiminnan organisoinnin, erityisesti kuljetusten järjestelyjen, merkitys tuotantomenetelmän tuottavuuteen ja kustannuksiin. Tehtaässä valintaa eri tuotantomenetelmien välillä on otettava huomioon paikalliset olosuhteet aina lämpölaitoksen sijainnista saatavilla olevaan raaka-aineeseen saakka.

Asiasanat: metsäenergia, haketus, logistiikka

Yhteystiedot: Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta, PL 111, 80101 Joensuu. Puhelin (013) 251 4428, sähköposti juha.ikaheimo@forest.joensuu.fi

Hyväksytty 24.5.1999

1 Johdanto

Viiime vuosina on kehitelty useita eri puupolttoaineen tuotantomenetelmiä, joilla voidaan tuottaa haketta kilpailukykyiseen hintaan. On arvioitu, että täysitehoisesti käytettynä niillä saavutettaisiin Bioenergian tutkimusohjelmassa asetettu kustannustavoite 45 mk/MWh käyttöpaikalle kuljetettuna. Edullisimmin puupolttoainetta on saatavissa kuusi-valtaisten metsien uudistushakkuiden hakkuutähteistä (Korpilahti 1998, Hakkila ja Fredriksson 1996).

Suomessa hakkuutädehakkeen tuottamiseen on vakiintunut kolme eri menetelmää. Välivarastohaketus on ollut perinteinen hakkeen tuotantomenetelmä ja siihen on kehitetty useita hakkureita. Yleisimmin haketus tehdään välivarastolla kuorma-autoalustaisella rumpuhakkurilla (Hakkila ja Fredriksson 1996). Niitä ovat muun muassa Evolution- ja Future-hakkurit (kuva 1). Palstahaketuksen on ke-

hitetty Chipset-palstahakkuri, jolla on mahdollista tuottaa haketta tienvarteen ilman erillistä hakkuutähteen metsäkuljetusta. Hakkuutähteen haketuksen palstalla ja kaukokuljetuksen samalla yksiköllä mahdollistaa Moha-monitoimihakkuri. Lisäksi suunnittelu- ja kokeiluvaiheessa on muitakin menetelmiä, kuten hakkuutähteen kuljettaminen kokonaisena käyttöpaikalle sekä kokopuujuonnon ja välivarastohaketuksen yhdistäminen (Hakkila ym. 1998, Nousiainen ja Vesisenaho 1996).

Eri puupolttoaineen tuotantomenetelmien toiminnasta on tehty joitakin tutkimuksia, mutta ne ovat olleet yleensä lyhytkestoisia aikatutkimuksia. Koneiden teknisen luotettavuuden, tuottavuuden ja kustannusten selvittämiseksi käytännön työssä tarvitaan pidempiä seurantatutkimuksia. Luotettavien vertailujen tekeminen vaatii tarkkoja tietoja koneiden toimintaympäristöstä, koska eri tuotantomenetelmät ovat kilpailukykyisiä eri olosuhteissa. Bioenergian tutkimusohjelman puitteissa VTT Energia on tehnyt vuoden kestäneen seurantatutkimuksen Evolu-



Kuva 1. Tutkimuksessa mukana olleet hakkurit. Ylhäällä vasemmalla Future-välivarastohakkuri, ylhäällä oikealla Moha-monitoimihakkuri, alhaalla vasemmalla Evolution-välivarastohakkuri ja alhaalla oikealla Chipset-palstahakkuri.

tion-hakkurista ja Chipset-palstahakkurista (Lahti ja Vesisenaho 1997, Laurila ja Vesisenaho 1997).

Aiempien tutkimusten ja laskelmien perusteella on todettu, että hakkeen tuottaminen Mohalla ja hakkuutähteiden kuljettaminen kokonaisina käyttöpaikalle ovat edullisia lyhyillä kuljetusmatkoilla. Sen sijaan pidemmillä kuljetusmatkoilla halvempia ovat olleet hakkeen välivarastohaketus esimerkiksi Future- tai Evolution-hakkurilla ja palstahaketus Chipset-hakkurilla (Asikainen ja Pulkkinen 1998, Asplund ja Nikku 1998).

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli vertailla eri menetelmiä puupolttoaineen tuotannossa. Vertailun pohjana käytettiin neljää seurantatutkimusta, joista kaksi tehtiin tämän tutkimuksen yhteydessä. Tutkimuksen päätavoitteet olivat:

- Tuottaa vuoden kestävä seurannan perusteella tuottavuus- ja kustannusluvut Moha-monitoimihakkurille ja Future-hakkurille niiden nykyisissä toimintaympäristöissä.
- Selvittää Moha-monitoimihakkuriin ja Future-hakkuriin perustuvien puupolttoaineen tuotantomenetelmien kustannuksia ja tuotetun hakkeen laatua eri olosuhteissa eri materiaaleilla painottuen päätehakuiden hakkuutähteiden korjuuseen.
- Verrata Moha-monitoimihakkuriin ja Future-hakkuriin perustuvien puupolttoaineen tuotantomenetelmiä Chipset-palstahakkuriin ja Evolution-hakkuriin perustuviin menetelmiin.
- Selvittää optimaalinen hakkeen kuljetustapa eri kuljetusmatkoilla.

2 Tutkimuksen toteutus

2.1 Tutkitut hakkurit

Future-hakkuri on suunniteltu välivarastohaketuksen. Hakkuri saa käyttövoimansa erillisestä moottorista. Monista muista välivarastohakkureista poiketen hakkurin syöttölaite on koneen oikealla sivulla, millä on pyritty helpottamaan raaka-aineen siirtämistä kasasta syöttöpöydälle. Hakeauto täytetään käännettävällä haketurvella. Aiempaan Evolution-hakkuriin verrattuna Future-hakkurista on pyritty tekemään maastokelpoisempi ja ketterämpi. Maastokelpoisuutta on parannettu alustan nelivedolla ja mahdollisuudella siirtää vetoa kitkapyörän avulla takapyöriin.

Moha-monitoimihakkuri on kehitetty osana Bioenergian tutkimusohjelmaa. Hakkuri on rakennettu urakoitsija Matti Hämäläisen ideoiden pohjalta. Perusoivallukset liittyvät polttohakkeen tuotantologiikkaan: Mohassa on yhdistetty hakettaminen ja hakkeen kuljetus saman yksikön tehtäväksi, jolloin vältetään välivarastohaketuksessa esiintyviltä hakkurin ja hakeauton odotusajoilta. Ajoneuvon maastokelpoisuudella on pyritty helpottamaan hakkuutähteiden keräyksen ja varastoinnin vaatimuksia.

Moha kykenee toimimaan huonommissa varasto-olosuhteissa kuin perinteiset välivarastohakkurit. Palstalla toimiessaan Moha edellyttää korjattavalta leimikolta kuitenkin tasaisempaa maastoa kuin tavalinen kuormatraktori tai Chipset-palstahakkuri. Mohaan voidaan liittää perävaunu, tai kontit voidaan kuljettaa toisella ajoneuvolla käyttöpaikalle Mohan toimiessa palstahakkurin tavoin metsäpäässä.

Vertailussa mukana olleiden hakkureiden teknisiä ominaisuuksia on koottu taulukkoon 1.

Taulukko 1. Hakkureiden teknisiä tietoja.

	Future	Evolution	Chipset	Moha
Veroton hinta	2 500 000	2 500 000	1 750 000	2 500 000
Massa, kg	20 000	25 000	15 000	17 000
– kantavuus, kg	-	-	6 000	13 000
Voimansiirto	Mekaaninen	Mekaaninen	Hydrostaattinen	Mekaaninen/ hydrostaattinen
Moottorin teho, kW	147 (auto) + 220 (hakkuri)	147 (auto) + 294 (hakkuri)	205	230
Hakkurin rummun leveys, mm	700	1000	350	550

2.2 Tutkimusmenetelmät

Vuoden kestävät seurantatutkimukset sekä Mohan että Futuren osalta käynnistettiin maaliskuussa 1997. Yrittäjät Matti Hämäläinen MetEr Ky:stä ja Pekka Lahti Kotimaiset Energiat Ky:stä vastasivat koneiden ohjauksesta ja hakkeen toimittamisesta käyttöpisteisiin. Koneiden kuljettajat huolehtivat työmaakohtaisten tietojen kirjaamisesta seurantalomakkeille. Seurannassa eri työvaiheiden kirjaamistarkkuutena käytettiin puolta tuntia. Future-hakkurilla ajanmenekki kirjattiin pienillä työmailla ja lyhyissä siirroissa 10 minuutin tarkkuudella. Seurannassa tarkasteltiin seuraavia asioita: haketustyömaan koko, haketettu materiaali, käytetty aika työmaata kohti, siirtomatka ja siihen kulutettu aika, hakkeen toimituspaikka, huolto-, korjaus- ja odotusajat sekä työvuoron kesto.

Seurantatutkimuksien lisäksi projektissa tehtiin sekä Mohalle että Futurelle aikatutkimuksia, joissa selvitettiin koneiden ajankäytön rakennetta seurantatutkimuksia tarkemmin. Aikatutkimuksessa tarkasteltiin seuraavia työvaiheita: varsinainen haketustyö, siirtymiset työmaalla ja työmaiden välillä sekä keskeytykset. Lisäksi haketta kuljettaneen kuorma-auton ajankäyttöä seurattiin aikatutkimuksissa. Mohalla ajankäyttöä jaettiin aikatutkimuksissa tarkemmin kaukokuljetukseen, lämpölaitoksella kulutettuun aikaan ja varsinaiseen haketustyöhön kuluneeseen aikaan. Lisäksi Mohalla tarkasteltiin aikatutkimuksissa perävaunun vaikutusta ajankäyttöön. Aikatutkimuksia tehtiin Future-hakkurille seitsemänä työpäivänä, joiden aikana aineistoa kerättiin 23 kontillisen haketukselta. Futurella haketta tuotettiin aikatutkimuksien aikana yhteensä 1 050 i-m³. Mohalla aikatutkimuspäiviä kertyi yhteensä kuusi. Näiden aikana Mohalla haketettiin yhteensä 840 i-m³ eli 24 kontillista haketta.

Mohan ja Futuren seuranta- ja aikatutkimusten tuloksia verrattiin aiemmin tehtyihin Evolution- ja Chipset-hakkureiden seurantatutkimuksiin. Näiden tarkastelujen perusteella pystyttiin vertailemaan eri menetelmiä ja niillä tuotetun hakkeen hintaa käyttöpaikalle toimitettuna. Puupolttoaineen tuottamisen kustannuksista tehtiin kaksi vertailulaskelmaa; toinen seurannan mukaisten vuosituotoksien ja toinen potentiaalisten vuosituotoksien pohjalta.

Aikatutkimusjaksojen aikana hakkureiden tuotta-

masta hakkeesta otettiin näytteitä hakkeen laadun selvittämiseksi. Hakenäytteet tutkittiin Joensuun yliopistossa ja seulottiin Enocellin tehtailla Uimaharjussa. Seulana käytettiin reikä-rakoseulaa. Seulonnan avulla selvitetyn palakokojakauman lisäksi hakenäytteistä tutkittiin hakkeen kosteus. Seulonassa käytettiin reikä-rakoseulaa, jossa oli 45 mm:n reikäseula, 8 mm:n rakoseula sekä alimpana 13, 7 ja 3 mm:n reikäseulat. Perusseulonnan lisäksi hakenäytteistä eroteltiin 10–15 cm, 15–25 cm ja yli 25 cm pitkät hakepalat.

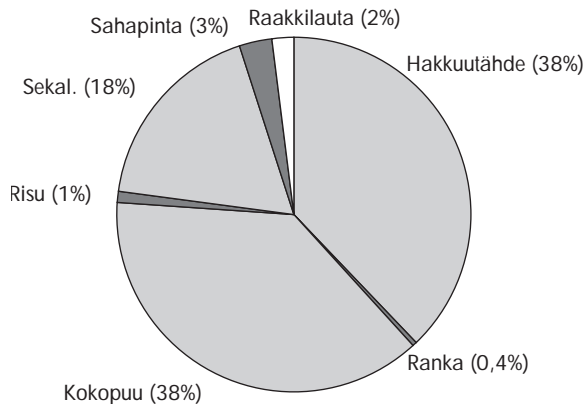
3 Tulokset

3.1 Future-hakkurin seuranta

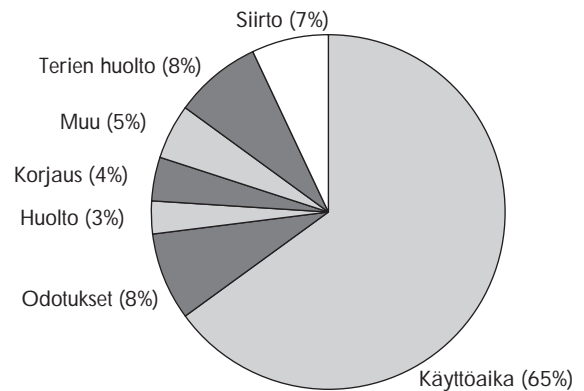
Future-hakkuria seurattiin 1.4.1997–31.3.1998 välisenä aikana. Futuren haketustyömaat sijaitsivat seurantajakson aikana pääasiassa Mikkelin kaupungissa ja sen ympäristökunnissa. Hake toimitettiin suurimmaksi osaksi yhteen lämpölaitokseen. Lisäksi toimituspaikkoina oli muutamia pienempiä kunnallisia lämpölaitoksia. Sahojen lämpökeskuksiin tuotettiin myös jonkin verran puupolttoainetta. Kesäkuukausina haketta kuljetettiin välivarastoon, josta se myöhemmin toimitettiin lämpölaitokselle. Future-hakkurilla tuotettiin haketta seurantajakson aikana yhteensä 41 500 irtokuutiometriä. Hakkurin työmaiden koko vaihteli muutaman kuutiometrin haketuskohteista lähes tuhannen irtokuutiometrin varastoihin saakka. Tutkimusjakson aikana Future työskenteli yhteensä 329 työmaalla.

Välivarastohaketukselle ongelmallisia ovat kuorman korjuun aiheuttamien odotusten lisäksi siirrot. Future-hakkurin toiminta-alue oli saatu pidettyä melko pienenä, ja siten koneen siirtomatkat jäivät suhteellisen lyhyiksi. Keskimääräinen siirtomatka oli 21 kilometriä. Kesken työpäivän konetta siirrettiin työmaalta toiselle yhteensä 250 kertaa. Futurea kuljetti viittä työpäivää lukuun ottamatta sama kuljettaja.

Future-hakkurilla haketetusta materiaalista hakuutähdettä oli 38 prosenttia ja lähes saman verran kokopuuta (kuva 2). Raaka-aineesta 18 prosenttia sisälsi sekä hakuutähdettä että kokopuuta. Loppuosa materiaalista koostui muun muassa raakkilaudasta (2 %), sahauspinnoista (3 %) sekä risuista ja



Kuva 2. Future-välivarastohakkurilla tuotetun hakkeen raaka-ainejakauma.



Kuva 3. Futuren työajan jakautuminen eri työvaiheisiin.

rangoista. Suoraan metsästä energiakäyttöön korjattujen raaka-aineiden osuus oli suuri, yli 90 prosenttia. Samoin hakkuutähteen suhteellinen osuus haketetusta materiaalista oli korkea. Tämä selittää osaltaan Futuren välivarastohakkurille alhaista vuosituotosta.

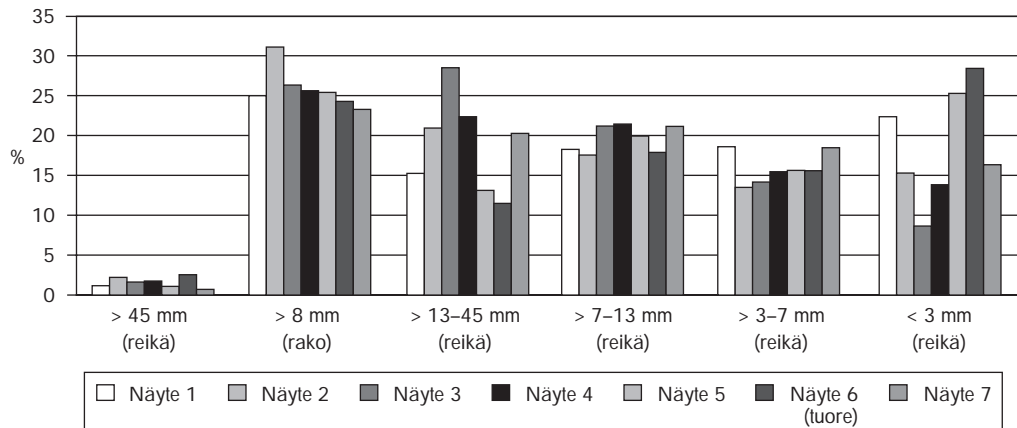
Future-hakkurin työajasta noin 65 prosenttia oli varsinaista haketusta, eli käyttöaika (kuva 3). Keskeytykset veivät yhteensä 27 prosenttia työajasta. Keskeytyksistä yleisimmät olivat hakeauton odottaminen (8 % työajasta) sekä terien vaihto ja huolto (8 %). Hakkurin huoltoon kului vajaa 3 prosenttia työajasta ja korjaamiseen 4,5 prosenttia. Muut keskeytykset, esimerkiksi tien puhdistus, kiinnijuttuminen ja vierailut veivät 5 prosenttia työajasta. Korjausten ja huoltojen osuus työajasta oli pieni, mikä on osoitus koneen teknisestä luotettavuudesta. Siirtoihin Futurella kului työajasta noin 8 prosenttia.

Organisaatiokeskeytysten (hakeauton odotus + siirrot + muut) osuus oli Futurella 21 prosenttia, mikä on välivarastohakkurille vähäinen määrä. Pääasiallisena syynä organisaatiokeskeytysten vähäisyyteen oli lyhyt siirtomatka; hakettava raaka-aine oli saatu hankittua suhteellisen suppealta alueelta Mikkelin ympäristöstä. Odotuksilta välivarastohaketuksessa ei voida välttyä, koska hakkurin ja hakeauton työskentely liittyvät kiinteästi toisiinsa (Hakkila ym. 1998). Futuren tekninen luotettavuus oli seurannan aikana hyvä. Tekninen käyttöaste oli 81 prosenttia, mikä on samaa tasoa kuin metsäkoneilla.

Future-hakkurilla haketuksen tuottavuus vaihteli selvästi raaka-aineittain. Keskimääräinen tuottavuus oli 32,2 irtokuutiometriä käyttötunnissa. Pienillä kohteilla saatiin seurannassa selvästi suurempiakin tuottavuuksia, mutta niissä karkeahko, puolen tunnin mittaustarkkuus ei ollut riittävän tarkka. Hakkuutähdeellä ja risuilla keskimääräinen tuottavuus oli 29 i-m³/käyttötunti. Selvästi korkeammaksi tuottavuus nousi kokopuuta (37,5 i-m³/h) ja sahauspintoja (34 i-m³/h) hakettaessa. Varsinaisen haketus työn tehotuntituottavuutta tutkittiin aikaturkimusjaksoilla. Hakkuutähdeellä se oli 40–60 i-m³/h. Kokopuulla päästiin parhaimmillaan noin 80 irtokuutiometriin tunnissa.

Futuren tekemän hakkeen laatua tutkittiin syyslokakuussa tehdyillä aikaturkimusjaksoilla. Hakenäytteitä otettiin yhteensä yhdeksältä eri kohteelta. Aikatutkimusjakson aikana Futurella hakettu materiaali oli suurimmaksi osaksi hakkuutähdettä ja sen vuoksi myös näytteet olivat pääasiassa hakkuutähdehaketta. Seitsemän näytettä otettiin hakkuutähdekohteilta ja kaksi näytettä kokopuukohteilta. Hakenäytteistä määritettiin kosteus ja hakkeen palakokajakauma. Hakkeen kosteus tuoremassasta vaihteli näytteissä 29 prosentista 64 prosenttiin. Kuivimmat näytteet olivat kokopuukasoista ja yhden kesän yli kuivuneista hakkuutähdekasoista. Keskimäärin kosteus oli näytteissä noin 40 prosenttia tuoremassasta.

Yli 10 cm pitkiä tikkuja Futuren hakkeessa oli



Kuva 4. Futuren hakkuutähdehakenäytteiden palakokojakauma.

enemmän kuin Evolution-hakkurin näytteissä, mikä aiheutui Futuren erilaisesta seulasysteemistä. Enimmillään tikkuja oli 8 % hakenäytteestä. Keskimäärin pitkien tikkujen määrä oli noin neljä prosenttia. Vähiten pitkiä tikkuja oli kokopuunäytteessä, noin kaksi prosenttia. Yli 25 cm:n luokassa ei tikkuja ollut missään näytteessä. Hakkeen tikuttomuusvaatimus oli vain parilla pienellä lämpölaitoksella seurantajakson aikana.

Hakkuutähdenäytteissä suurten, yli 45 mm:n palojen osuus oli yhden prosentin luokkaa (kuva 4). Tuoreesta hakkuutähdeestä tehdyssä hakkeessa oli pientä, alle 3 mm:n, jaetta lähes 30 prosenttia. Se muodostui pääosin neulasista. Kaiken kaikkiaan alle 7 mm:n kokoisien hienoaineen määrä oli hakkuutähdehakkeesta otetuissa näytteissä 20–40 prosenttia.

Kokopuunäytteissä yli 45 mm:n hakepalojen osuus oli 2–3 prosenttia. Näissä näytteissä oli eniten paksuja, eli 8 mm:n rakoseulalle jääviä hakepaloja. Näiden osuus oli runsas 30 prosenttia. Kokopuunäytteissä oli purun osuus selvästi alempi kuin hakkuutähdehakkeesta otetuissa näytteissä. Alle 3 mm:n jaetta oli keskimäärin noin 9 prosenttia.

3.2 Moha-monitoimihakkurin seuranta

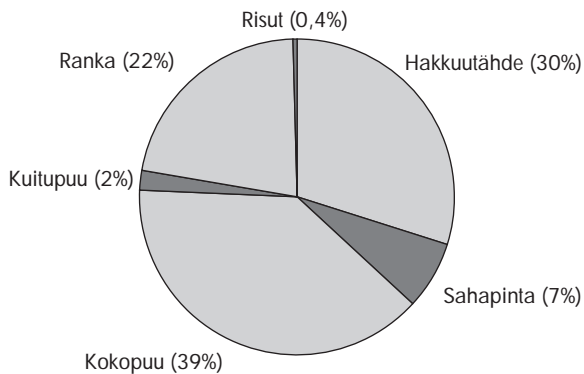
Moha-monitoimihakkuri on seurannassa 5.3.1997–5.3.1998 välisenä aikana. Seurantajakson aikana Mohan haketustyömaat sijaitsivat Itä-Savon alueel-

la. Haketta toimitettiin yhteensä kahdeksaan eri lämpölaitokseen. Keskimääräinen kuljetusmatka varastolta lämpölaitokselle oli 19 kilometriä. Noin 90 prosenttia hakkeesta kuljetettiin yhden kontin kuormina ja perävaunu oli mukana vajaalla 10 prosentilla kuljetuksista. Yhteensä seurantajakson aikana haketta tuotettiin 31 100 irtokuutiometriä. Haketus painottui Mohalla selvästi talvikuukausiin, jolloin polttohakkeen kysyntä oli suurinta. Kesäaikana Mohalla ei haketettu lainkaan kolmeen kuukauteen.

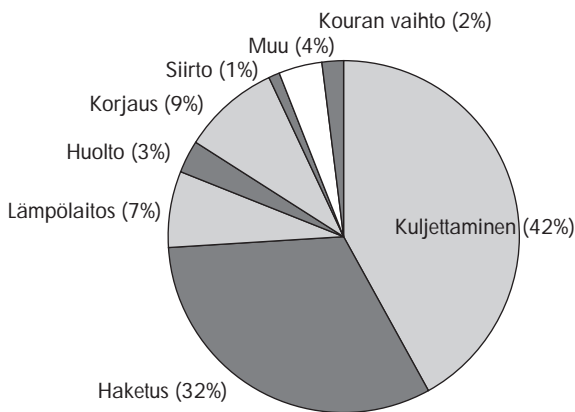
Mohan raaka-ainevarannoista lähes puolet (48 %) sijaitsi tienvarressa, maastovarastoja oli 44 prosenttia ja terminaalivarastoja 8 prosenttia. Keskimääräinen maastokuljetusmatka oli maastovarastoissa 250 metriä. Haketuspaikkaa kuljettajat pitivät hyvänä 68 prosentilla, keskinkertaisena 29 prosentilla ja huonona 3 prosentilla työmaista. Varaston heikoutta selittivät useimmiten paikan ahtaus ja pohjan upottaminen.

Haketettava materiaali oli Mohalla suurimmaksi osaksi suoraan metsästä energiapuuksi korjattua tavaraa (kuva 5). Kokopuuta haketettiin eniten; sen osuus kokonaismäärästä oli 39 prosenttia. Hakkuutähdeä oli raaka-aineesta 30 prosenttia ja rankaa 22 prosenttia. Sahapintojen osuus oli 7 prosenttia. Loppuosa raaka-aineesta oli risuja ja kuitupuuta.

Mohan kokonaistyöajasta oli 81 prosenttia koneen varsinaista käyttöaikaa (kuva 6). Seurantatutkimuksen tuloksista saatu käyttöaika jaettiin aikatutkimusten avulla kolmeen eri osaan: haketus, joka sisäl-



Kuva 5. Moha-monitoimihakkurilla tuotetun hakkeen raaka-ainejakauma.



Kuva 6. Mohan työajan jakautuminen eri työvaiheisiin. (Kuljettaminen = hakkeen kuljetus ja tyhjänä ajo, siirto = siirto korjaukseen)

tää haketuksen valmistelun ja lopetustyöt, ajaminen (maastossa ajo ja maantiellä ajo) ja lämpölaitoksella viipyminen. Kokonaistyöajasta haketustyön osuus oli 32 %, hakkeen kuljettamisen ja tyhjänä ajamisen osuus 42 % ja lämpölaitoksella viipymisen osuus 7 %.

Erilaisten keskeytysten määrä oli yhteensä 19 prosenttia Mohan työajasta. Hakkurin korjaaminen vei 9 prosenttia ja huolto 3 prosenttia. Kouran vaihdon osuus oli noin kaksi prosenttia kokonaistyöajasta. Siirto korjaukseen vei hieman yli prosentin Mohan työajasta. Luokkaan ”muu” luokiteltiin yhteensä 4 prosenttia työajasta. Tähän luokkaan kuuluvat muun

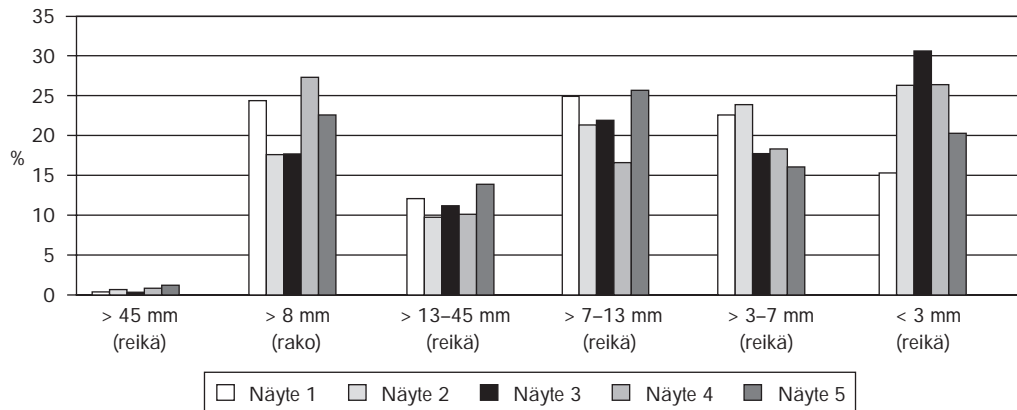
muassa kiinnijuuttumiset, työnäytökset ja vierailut. Tekniseksi käyttöasteeksi saatiin tutkimuksen perusteella 85 prosenttia. Mohan tekninen luotettavuus oli seurannan aikana hyvää tasoa, kun otetaan huomioon koneen prototyypiluonne.

Mohan tuottavuutta voitiin seurantajakson aikana tarkastella kokonaisuutena eli haketuksen, ajamisen ja lämpölaitoksella viipymisen suhteen. Tällä tavoin tarkasteltuna koneen tuottavuus oli 14,6 irtokuutiometriä käyttötunnissa, kun keskimääräinen kuljetusmatka oli 19 kilometriä. Hakuutähdeellä tuottavuus oli selvästi alempi eli 12 i-m³/käyttötunti ja vastaavasti kokopuulla korkeampi, 15,5 i-m³/käyttötunti. Varsinaisen haketustyön tehotuntuottavuutta tarkasteltiin aikatutkimusjaksojen aikana. Vaikka Mohalla päästiin haketustyössä hetkellisesti ja pienillä erillä jopa 70 irtokuutiometrin tuottavuuteen, käytännön työssä muodostuva tuottavuustaso on selvästi alempi. Hakuutähdeellä keskimääräinen haketuksen tehotuntuottavuus oli 35 i-m³. Kokopuulla haketuksessa päästiin selvästi korkeampaan tuottavuuteen, 55 i-m³. Asikaisen ja Pulkisen (1998) tutkimuksessa Mohan tehotuntuottavuus hakuutähdeellä oli jonkin verran alempi, 29 irtokuutiometriä tunnissa.

Mohan aikatutkimuksien yhteydessä tarkasteltiin myös vaihtolavojen siirtelyyn kuluvaan aikaan, joka oli keskimäärin 15 minuuttia. Vähimmillään konttien vaihtamiseen kului aikaa metsävarastolla 10 minuuttia vaihtolavaa kohti. Perävaunun liittäminen Mohaan ei lisännyt lämpölaitoksella konttia kohti kulunutta aikaa. Vaihtolavojen käyttö edellyttää Mohalla sitä, että metsävaraston läheisyydestä löytyy paikka, jossa konttien vaihtamiseen on riittävästi tilaa. Mikäli tällainen paikka löytyy, kannattaa Mohan ja perävaunun yhdistelmää käyttää 20 kilometrin kaukokuljetusmatkasta lähtien.

Mohan tekemän hakkeen laatua selvitetiin 3.–5.11.1997 tehdyn aikatutkimusjakson aikana. Hakenäytteitä otettiin yhteensä kymmeneltä eri kohteelta ja useista eri raaka-aineista. Hakkeen kosteus vaihteli hakuutähdeellä 35 prosentista 54 prosenttiin (kosteus tuoremassasta). Sahapintahakkeessa kosteutta oli alle 28 prosenttia.

Tikkujen määrää tutkittiin samoista näytteistä kuin kosteutta. Pitkiä tikkuja oli alle viisi prosenttia kaikissa näytteissä (kuva 7). Hakuutähdehakkeessa oli 10–15 cm:n pituisia tikkuja muutamissa näytteissä



Kuva 7. Mohan hakkuutähdehakenäytteiden palakokojakauma.

3–4 prosenttia. Sahauspinta-, kokopuu- ja rankahakkeesta otetuissa näytteissä oli tikkujen kokonaismäärä alle 1,5 prosenttia. Hakkuutähdehakkeessa oli yli 45 mm:n kokoisten palojen osuus kaikissa näytteissä alle yhden prosentin. Alle 7 mm:n kokoisen hienoaineen osuus oli näytteissä 35–50 prosenttia. Yhdessä näytteessä oli alle 3 mm:n jakeen osuus yli 30 prosenttia. Hakkurin terät eivät olleet näytteiden oton aikaan parhaassa mahdollisessa kunnossa, mikä vaikutti tutkitun hakkeen palakokojakaumaan.

4 Aiemmat seuranta-tutkimukset

4.1 Evolution-hakkurin seuranta

VTT Energia teki vuonna 1996 yhteistyössä yrittäjä Pekka Lahden kanssa vuoden mittaisen seurantatutkimuksen Evolution-hakkurista. Seurannassa tutkittiin koneen teknisen luotettavuuden lisäksi muun muassa hakkuriin asennetun seularakenteen merkitystä hakkeen laatuun. Evolution-hakkurilla hakettiin vuoden mittaisen seurantajakson aikana yhteensä 73 000 irtokuutiometriä. Työmaan keskikoko oli 270 i-m³ (Lahti ja Vesisenaho 1997).

Evolutionin tuottavuus vaihteli melko paljon materiaaleittain ja kohteittain. Keskimääräinen tuottavuus oli 45 irtokuutiometriä käyttötunnissa. Asikai-

sen ja Pulkkinen (1998) tutkimuksessa Evolutionin tehotuntituottavuus oli hakkuutähteellä 65 irtokuutiometriä tunnissa. Kuiton ja Nissin (1984) tutkimuksessa rumpuhakkureiden käyttötuntituotos oli samaa tasoa kuin Evolutionin seurannassa. Sen sijaan hakkureiden tekninen käyttöaste oli näillä koneilla selvästi alempi Evolutioniin verrattuna (Kuitto ja Nissi 1984, Lahti ja Vesisenaho 1997).

Työmaiden välinen siirtomatka oli Evolutionin seurantatutkimuksessa keskimäärin yli 90 kilometriä. Siirrot veivät viidenneksen Evolutionin työajasta ja muodostivat merkittävän, tuottamattoman kustannuserän. Siirtojen lisäksi odotuksien osuus työajasta oli suuri, yli kymmenen prosenttia. Korjaukset ja huollot veivät 6 prosenttia hakkurin työajasta. Koneen tekninen käyttöaste oli hyvää tasoa, 83 prosenttia. Evolution-hakkurilla hakettiin monentyyppistä materiaalia. Suurimman osan muodostivat erilaiset turvetuotannon ja puunjalostuksen sivutuotteet. Suoraan metsästä energiakäyttöön korjatun puuraaka-aineen, eli hakkuutähteen, kokopuun ja rankojen osuus oli seurannan aikana 45 prosenttia (Lahti ja Vesisenaho 1997).

Evolutionilla tuotettu hake osoittautui seurantatutkimuksessa laadultaan hyväksi. Tutkimuksessa todettiin hakkurin seularakenteen vähentävän hakkeen tikkupitoisuutta merkittävästi hakkureiden aiempiin seularakenteisiin verrattuna. Seularakenne ei alentanut haketuksen tuottavuutta. Pitkien tikkujen luokissa 10–15 cm ja 15–25 cm oli kaikissa hakenäytteissä varsin vähän haketta. Yli 25 cm:n paloja

ei esiintynyt lainkaan. Suurimmillaan pitkien tikkujen osuus oli 3,4 prosenttia hakenäytteen massasta. Suurten hakepalojen osuutta voitiin ehkäistä parhaiten käyttämällä hakkurilla suurta pyörimisnopeutta ja tiheää seulaa (Lahti ja Vesisenaho 1997).

4.2 Chipset-palstahakkurin seuranta

Chipset-palstahakkuria seurattiin Biowatti Oy:n ja VTT Energian tutkimuksessa 22.3.1996–23.3.1997. Seurannassa saatiin keskimääräiseksi tuottavuudeksi 16 i-m³/käyttötunti. Koneen teknistä luotettavuutta ja tuottavuutta on pystytty parantamaan seurannan jälkeen ja nykyisin hakkurin käyttötuntituottavuus on noin 19 i-m³ (Pekka Laurila, Biowatti Oy, suullinen tieto 7.4.1998). Haketettu materiaali oli seurannan aikana pääasiassa hakkuutähdettä. Sen osuus oli 83 prosenttia raaka-aineesta. Rankoja oli 16 prosenttia haketetusta materiaalista. Kokopuun ja sahapintojen osuus oli alle yksi prosentti (Laurila ja Vesisenaho 1997). Ruotsissa tehdyssä tutkimuksessa Chipsetin tehotuntituottavuus oli kokopuulla 29 irtokuutiometriä tunnissa (Thor 1996).

Työmaan keskikoko Chipsetillä oli seurannan aikana 340 i-m³, ja metsäkuljetusmatka oli keskimäärin 215 metriä. Työmaiden välinen keskisiirtomatka oli seurantatutkimuksessa 32 kilometriä. Chipset-palstahakkurin tekninen käyttöaste oli 71 prosenttia. Keskeytyksistä korjaukset muodostivat kolmasosan. Palstalta toiselle siirtymisen osuus oli 6 prosenttia työajasta. Hakkurin toiminnalliseksi käyttöasteeksi saatiin 58 prosenttia. Käyttöasteen alhaisuus johtui pääosin hakkuriin seurannan aikana tehdyistä muutostöistä, joihin kulunut aika laskettiin korjauksiin. Haketustoiminnan logistiikka eli siirtojen määrä ja vaihtolavojen kuljetuksen ajoitus havaittiin seurannassa palstahakkuriin perustuvan tuotantomenetelmän ongelmaksi (Laurila ja Vesisenaho 1997).

Chipsetillä tuotetun hakkeen laatu havaittiin seurantatutkimuksen yhteydessä tyydyttäväksi. Pitkien tikkujen määrä oli hakkeessa tylsilläkin terillä vähäinen. Tikkujen vähyyteen oli päästy pienentämällä palakokoa. Tämä alensi haketuksen tuottavuutta, mutta toisaalta paransi hakkeen kuormatuvuutta ja hakekuutiometrin lämpöarvoa. Hakkuutähdehakkeessa oli alle 3 mm:n jakeen osuus syksyllä

tehdyssä mittauksessa 25 % ja talvella 15 %. Alle 7 mm:n hienoaineen osuus oli molemmilla tutkimuskerroilla yli 50 % hakkeen kokonaismäärästä (Laurila ja Vesisenaho 1997).

5 Tuotantomenetelmien vertailu

5.1 Tekninen vertailu

Kaikkien neljän hakkurin tekninen luotettavuus oli vähintään tyydyttävä (taulukko 2). Parhaimmillaan päästiin 84 prosentin tekniseen käyttöasteeseen. Korjaukset ja huollot veivät välivarastohakkureilla selvästi alle kymmenen prosenttia työajasta. Sen sijaan Moha-monitoimihakkurilla ja Chipset-palstahakkurilla korjauksien ja huoltojen osuus oli suurempi, Chipsetillä noin 20 prosenttia ja Mohalla 12 prosenttia. Odotukset ja siirrot muodostivat Futarella ja Evolutionilla selvästi suuremman osan työajasta kuin Mohalla ja Chipsetillä.

Hakkureiden vuosituotoksissa oli suuria eroja. Evolution-hakkurilla tuotettiin seurantatutkimuksen aikana yli 70 000 i-m³, kun Chipset-palstahakkurilla vastaava tuotos oli 25 000 i-m³ (taulukko 3). Myös koneiden käyttötuntituottavuudet poikkesivat melkoisesti toisistaan. Tuottavuuksia tarkastellessa on otettava huomioon koneiden erilaiset työtehtävät:

Taulukko 2. Hakkureiden työajan jakautuminen eri työvaiheisiin ja koneiden tekninen käyttöaste. Käyttöaika sisältää Chipsetillä metsäkuljetuksen ja haketuksen, Mohalla haketuksen, kuljetuksen ja lämpölaitoksella viipymisen. Mohalla siirto = siirto korjaukseen.

Työajan jakautuminen, %	Future	Evolution	Moha	Chipset
Käyttöaika	65	57	80	58
Huolto	3	2	3	9
Korjaus	4	4	9	12
Odotus	8	12	0	2
Siirto	7	18	1	6
Kouran/terän vaihto	8	6	2	2
Muu	5	2	5	11
Tekninen käyttöaste, %	81	83	85	71

Taulukko 3. Hakkureiden vuosituotos sekä käyttötuntituottavuus kokopuulla ja hakkuutähteellä. (Chipsetin tutkimuksessa laskettiin käyttötuntituottavuus vain kokonaisuutena.)

	Future	Evolution	Moha	Chipset
Vuosituotos, i-m ³	41500	73000	31000	25000
Käyttötuntituottavuus, i-m ³ /h	32,7	45,8	14,8	16,1
– hakkuutähte	29,2	46	11,5	-
– kokopuu	35,8	51	15,6	-

välivarastohakkureilla keskitytään pelkkään haketuustyöhön, palstahakkurilla tehdään haketuksen lisäksi myös hakkeen metsäkuljetus ja Moha-monitoimihakkurilla hoidetaan haketuksen ohella hakkeen kaukokuljetus ja jossain tapauksissa myös osa metsäkuljetuksesta.

5.2 Kustannusvertailu

5.2.1 Laskentaperusteet

Puupolttoaineen tuotantomenetelmien kustannuksia laskettaessa otettiin huomioon jokaisen korjuuketjun erilainen luonne. Kaikissa tuotantomenetelmissä laskettiin tuotetun hakkeen hintaan korjuun yleiskustannukset ja korjattavan raaka-aineen hinta. Välivarastohaketuksessa otettiin haketuskuustannuksien lisäksi huomioon hakkuutähteen kuljetus metsästä tienvarteen ja hakkeen kaukokuljetus käyttöpaikalle. Chipset-palstahakkuriin perustuvassa menetelmässä hakkurin kustannukset sisälsivät sekä haketuksen että hakkeen metsäkuljetuksen. Näiden lisäksi määritettiin hakkeen kaukokuljetuskustannukset. Niiden laskennassa pohjana käytettiin puutavaran kuljetuksen kustannuslaskentamalleja, joita muokattiin hakkeen kuljetukselle sopiviksi.

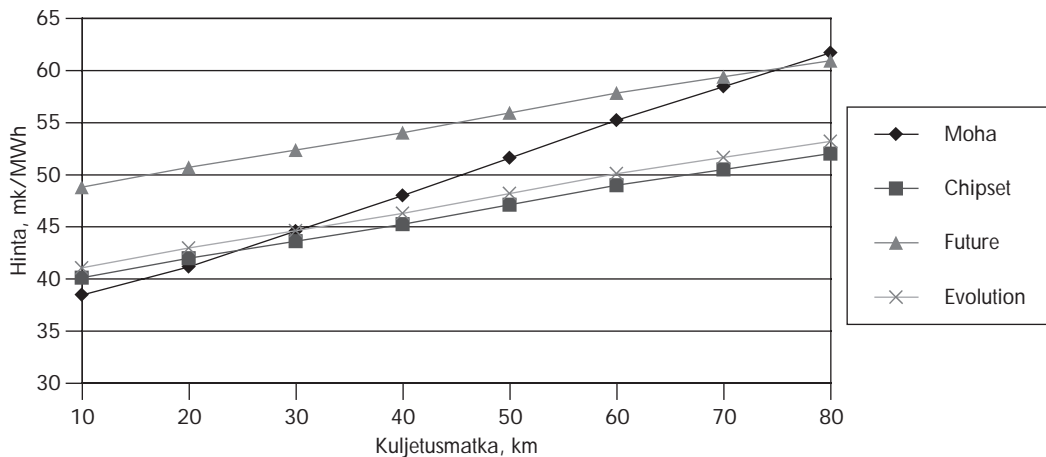
Moha-monitoimihakkurin kustannukset kattoivat haketuksen ja hakkeen kuljetuksen käyttöpaikalle. Lisäksi raaka-aineen metsäkuljetuksen hinta laskettiin kokonaiskustannuksiin. Mohan tuottavuus- ja kustannuslaskelmissa huomioitiin sekä yhden että kahden kontin käyttömahdollisuus. 20 kilometrin kuljetusetäisyydelle saakka hake kuljetettiin Mohan

laskelmissa yhdellä kontilla. Sitä pidemmällä kuljetusmatkoilla laskettiin ketjun tuottavuus ja kustannukset Mohan ja perävaunun yhdistelmällä.

Tämän tutkimuksen kustannuslaskelmat tehtiin hakkuutähtehakkeelle. Näissä laskelmissa jokaisen tuotantomenetelmän kustannuksiin määritettiin korjuun yleiskustannuksiksi 4 markkaa/irtokuutiometri. Hakkuutähteen korjuulle laskettiin hinnaksi 0,8 mk/i-m³ eli kaksi markkaa kiintokuutiometrille. Välivarastohaketuksessa hakkuutähteen metsäkuljetuksen kustannuksiksi (metsäkuljetusmatka keskimäärin 250 metriä) laskettiin 7,2 markkaa irtokuutiometriä kohden (18 mk/k-m³). Vastaavasti Mohaan perustuvassa tuotantomenetelmässä metsäkuljetuskustannuksiksi määritettiin 6 mk/i-m³ (15 mk/k-m³) (metsäkuljetusmatka 150 m). Lyhyempi metsäkuljetusmatka ja sen myötä alemmat korjuukustannukset selittyvät sillä, että Mohalla voidaan ajaa myös palstalla, eikä hakkuutähdettä tarvitse kuljettaa metsäautotien varteen.

Hakkureiden verottomina hankintahintoina käytettiin kustannuslaskelmissa seuraavia valmistajilta saatuja arvoja: Future-hakkuri 2 500 000 markkaa, Evolution-hakkuri 2 500 000 mk, Chipset-palstahakkuri 1 750 000 mk ja Moha-monitoimihakkuri 2 500 000 markkaa. Hakkureiden tuntikustannusten laskennassa käytettiin yrittäjiltä saatuja tietoja koneiden vuosikustannuksista. Tuntikustannukset laskettiin Metsätehon metsäkoneiden ja puutavara-auton kustannuslaskentamalleilla, jotka sovitettiin erikseen kullekin koneelle.

Vuosittainen haketusmäärä eli hakkurin vuosituotos vaikuttaa merkittävästi tuotantomenetelmän kokonaiskustannuksiin. Tämän vuoksi tutkimuksessa tehtiin kaksi vertailulaskelmaa. Ensimmäisessä kustannuslaskelmassa käytettiin pääasiassa koneiden seuranta-tutkimusten haketusmääriä. Seuranta-tutkimuksessa koneille saatiin seuraavat vuosituotokset: Evolution-hakkuri 73 000 i-m³, Future-hakkuri 41 500 i-m³, Chipset-palstahakkuri 25 000 i-m³ ja Moha-monitoimihakkuri 31 000 i-m³. Ensimmäisessä vertailulaskelmassa Chipset-palstahakkurin osalta otettiin huomioon koneen parantunut tuottavuus ja samalla kasvanut vuosituotos. Mohalla käytettiin ensimmäisessä laskelmassa 35 000 irtokuutiometrin vuosituotosta. Toisessa kustannuslaskelmassa käytettiin koneille määritettyjä potentiaalisia vuosituotoksia.



Kuva 8. Hakkuutähdehakkeen hinta käyttöpaikalla eri tuotantomenetelmillä. Laskelmassa on käytetty seuraavia vuosituotoksia: Moha 35 000 i-m³, Chipset 35 000 i-m³, Future 41 000 i-m³ ja Evolution 75 000 i-m³.

5.2.2 Seurantatulosten mukainen vertailu

Moha-monitoimihakkuriin perustuva korjuuketju oli edullisin menetelmä hakkuutähdehakkeen tuottamisessa runsaan 30 kilometrin kuljetusetäisyyteen asti. Sitä pidemmällä kuljetusmatkoilla Mohan tuottavuus laski nopeammin ja sen tuottaman hakkeen hinta nousi jyrkemmin kuin muilla tuotantoketjuilla. Esimerkiksi 60 kilometrin kuljetusmatkalla Mohan tuottavuus oli seurantatutkimuksessa enää 9 i-m³/käyttötunti. Pidemmällä kuljetusmatkoilla olisi mahdollista käyttää Mohaa palstahakkurina, jolloin hakkeen kaukokuljetus tehtäisiin eri ajoneuvolla. Tästä olisi tosin seurauksena samoja kuumen korjuun ongelmia kuin palstahaketuksessa. Tässä tutkimuksessa ei laskettu kustannuksia Mohan ja erillisen hakeauton muodostamalle ketjulle.

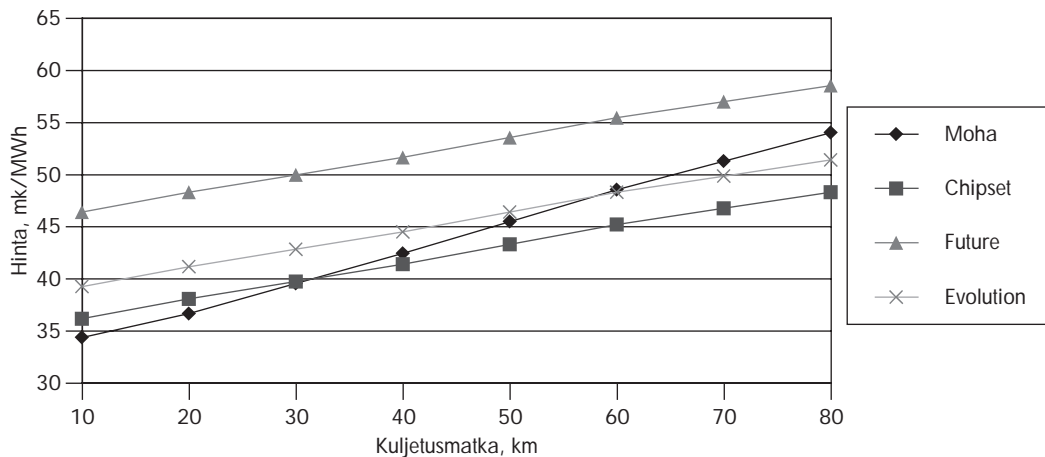
Chipset-palstahakkuriin ja Evolution-hakkuriin perustuvat tuotantomenetelmät olivat kalliimpia Mohaan verrattuna alle 25 kilometrin kuljetusmatkoilla (kuva 8). Matkan pidentyessä näiden korjuuketjujen kaukokuljetuskapasiteettia voidaan lisätä ja ketjun tuottavuus saadaan säilymään samalla tasolla. Ongelmia näissä menetelmissä aiheuttaa kuljetusten rytmittäminen siten, ettei hakkurille eikä hakeautolle tule odottamista varastolla. Future-hakkurin vuosikustannukset olivat samaa tasoa Evolutionin kanssa ja pienemmän tuottavuuden vuoksi Fu-

turen haketus-kustannukset irtokuutiometriä kohden olivat selvästi korkeammat.

5.2.3 Potentiaalisten suoritteiden mukainen vertailu

Toisessa kustannuslaskelmassa tuotantomenetelmille määritettiin vuosituotokset, jotka olisivat tuotantoketjuille käytännössä mahdollisia. Tämä tarkoittaa kesätaukoa lukuun ottamatta täysitehoista työskentelyä kahdessa vuorossa ympäri vuoden. Mohalla käytännössä mahdollinen vuosituotos olisi 55 000 irtokuutiometriä, Chipsetillä 50 000 i-m³, Futurella 60 000 i-m³ ja Evolutionilla 85 000 i-m³.

Tässä laskelmassa Moha-monitoimihakkurilla tuotettu hakkuutähdehake oli edullisinta alle 30 kilometrin kaukokuljetusmatkalla (kuva 9). Chipset-palstahakkuriin perustuva tuotantomenetelmä oli pidemmällä, yli 30 kilometrin kuljetusmatkalla edullisin tapa tuottaa hakkuutähdehaketta. Mohan ja Chipsetin tuottaman hakkeen hinta oli 20 kilometrin kuljetusmatkalla 4 mk/MWh halvempaa kuin edellisessä laskelmassa. Evolution-hakkurilla seurantatutkimuksen vuosituotos oli lähempänä käytännössä mahdollista vuosituotosta kuin Mohalla ja Chipsetillä, joten sillä tuotettu hake ei halventunut yhtä paljon ensimmäiseen laskelmaan verrattuna.



Kuva 9. Hakkuutähdehakkeen hinta käyttöpaikalla, kun eri tuotantomenetelmillä on käytetty seuraavia vuosituotoksia: Moha 55 000 i-m³, Chipset 50 000 i-m³, Future 60 000 i-m³ ja Evolution 85 000 i-m³.

Future-välivarastohakkurin Evolutionia alempi käyttötuntituottavuus aiheutti sen, että sillä tuotetun hakkeen hinta oli myös tässä laskelmassa vertailun korkein.

6 Tulosten tarkastelu

Future-välivarastohakkuri osoittautui seurantatutkimuksessa teknisesti luotettavaksi koneeksi. Futuren käyttötuntituottavuus jäi kuitenkin selvästi pienemmäksi kuin aiemmin tutkitulla Evolution-välivarastohakkurilla (Lahti ja Vesisenaho 1997). Pienempi tuottavuus nosti Futurella tuotetun hakkeen hintaa merkittävästi, sillä hakkurin käyttötuntikustannus on samaa luokkaa Evolution-hakkurin kanssa. Futuren haketuskuksia voidaankin pienentää helpommin lisäämällä hakkurin tuottavuutta. Future-hakkurissa on monia, haketustyötä helpottavia ominaisuuksia, joita voidaan käyttää välivarastohakkurin jatkokehittämisessä. Näitä ovat esimerkiksi koneen ketteryys ja syöttölaitteen sijoittaminen koneen sivulle.

Moha-monitoimihakkuri osoittautui seurantatutkimuksessa hyvin toimivaksi. Hakkurin tekninen luotettavuus oli seurantatutkimuksen aikana hyvä. Mohassa oleva hakkuri osoittautui pienestä koostaan huolimatta tehokkaaksi. Haketuksen tehotuntituotta-

vuus oli vain vähän pienempi kuin suuremmilla välivarastohakkureilla. Asikaisen ja Pulkkisen (1998) tutkimukseen verrattuna haketuksen tuottavuus oli noussut selvästi. Erityisesti lyhyillä kuljetusmatkoilla Mohalla pystyttiin tuottamaan puupolttoainetta kilpailukykyisesti. Kuljetusmatkan pidentyessä Mohan tuottavuus väheni kuitenkin nopeasti. Mohan toiminnan kannattavuudelle on tärkeää saada raaka-aine läheltä käyttöpaikkaa. Varastojen koolla ei ole Mohalle samanlaista merkitystä kuin välivarasto- ja palstahakkureille. Työmaalta toiselle voidaan siirtyä helposti. Lisäksi pienten erien keräily onnistuu Mohalla kohtuullisen hyvin, sillä työmaalla koneen asentaminen työvalmiiksi ei vie kauan.

Välivarasto- ja palstahakkureilla saadaan suurilta työmailta ja pitkiltä kuljetusmatkoilta tuotettua puupolttoainetta edullisemmin kuin Mohalla. Pienemmillä työmailta siirtojen osuus työajasta kasvaa välivarasto- ja palstahaketuksessa korkeaksi ja koneiden tuottavuus jää alhaiseksi. Näille tuotantomenetelmille siirtojen ohella ongelmia aiheuttaa kuumakorjuuketju. Jos kuljetusten järjestely ei onnistu toivotulla tavalla, voi odotusten osuus työajasta nousta kohtuuttoman suureksi. Välivarastohaketuksessa kannattavan toiminnan edellytys on tehokas hakkuri (Lahti ja Vesisenaho 1997).

Hakkureiden pääomakulut muodostavat suuren osan koneiden vuotuisista kokonaiskustannuksista. Tuotetun hakkeen hinnassa pääomakuluilla on si-

ten merkittävä asema (Lahti ja Vesisenaho 1997). Hakkeen tuotanto on pyrittävä saamaan ympärivuotiseksi, jotta voitaisiin varmistaa koneiden ja kuljettajien täystyöllisyys (Hakkila ym. 1998). Mikäli hakkurin kesätauko kestää useita kuukausia, on hakkeen tuotantoa hankalaa saada kannattavaksi. Pääomakulujen ohella koneiden tekninen luotettavuus on tärkeää hakkeen tuotannon kannattavuuden turvaamiseksi. Välivarastohakkureiden tekninen luotettavuus on parantunut Kuiton ja Nissin (1984) tekemään tutkimukseen verrattuna selvästi. Kustannusten hallinnan kannalta hankintalogistiikan toimivuus on kuitenkin keskeisin tekijä. Viime vuosina saavutetut kustannussäästöt ovat olleet enemmänkin logistiikan hioutumisen kuin koneteknisen kehityksen ansiota (Hakkila ym. 1998).

Puupolttolaitteiden tuotantomenetelmien seuranta- tutkimuksien tuloksia tarkasteltaessa on muistettava, että tuotantoketjujen seuranta on tehty erilaisissa ympäristöissä. Erot haketetussa raaka-aineessa, haketus- ja kuljetusolosuhteissa sekä korjuun organisoinnissa vaikuttavat menetelmien seurannasta saataviin koneiden tuottavuuksiin ja kustannuksiin. Tehtäessä valintaa tuotantoketjujen välillä onkin otettava huomioon paikalliset olosuhteet aina lämpöläitoksen sijainnista saatavilla olevaan raaka-aineeseen saakka. Yhtenä vaihtoehtona tämän tutkimuksen tuotantomenetelmille on haketuksen siirtäminen terminaaleihin. Ongelmana tässä vaihtoehdossa on kuitenkin hakettamattoman materiaalin kaukokuljetus, joka on hakkeen kuljetusta kalliimpaa (Hakkila ym. 1998).

Kirjallisuus

- Asikainen, A. & Pulkkinen, P. 1998. Comminution of logging residues with Evolution 910R chipper, MOHA chipper truck, and Morbark 1200 tub grinder. *Journal of Forest Engineering* 9(1): 47–53.
- Asplund, D. & Nikku, P. 1997. Bioenergian tutkimusohjelman sisältö, keskeiset tulokset vuonna 1996 ja näkymät vuodelle 1997. Julkaisussa: Nikku, P. (toim.). Bioenergian tutkimusohjelma. Vuosikirja 1996, osa I. Puupolttolaitteiden tuotantotekniikka. s. 9–32.
- Hakkila, P. & Fredriksson, T. 1996. Metsämme bioenergian lähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 613. 92 s.
- , Nurmi, J. & Kalaja, H. 1998. Metsänuudistusalojen hakkuutähde energianlähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 684. 68 s.
- Korpilahti, A. 1998. Puupolttolaitteiden tuotanto – tutkimusalueen katsaus. Julkaisussa: Nikku, P. (toim.). Bioenergian tutkimusohjelma. Vuosikirja 1997, osa I. Puupolttolaitteiden tuotantotekniikka. s. 29–36.
- Kuitto, P.-J. & Nissi, I. 1984. Hakkuutähdehakkurit ja -murskaimet: Algol Hem 300-1000 WEA, Lokomo MS 9, TT 910 R ja Morgårdshammar SK 2800. Metsätehon katsaus 8/1984. 6 s.
- Lahti, P. & Vesisenaho, T. 1997. Evolution-energiapuuhakkurin käyttöselvitys. Energiaselvityksen loppuraportti KTM:n energiaosastolle. Dnro 21/854/95. KTM. 20 s.
- Laurila, P. & Vesisenaho, T. 1997. Uudentyyppisen metsähakeharvesterin Logset Chipset 536 C seuranta- ja käyttöselvitys. Energiaselvityksen loppuraportti KTM:n energiaosastolle. Dnro 2/854/96. KTM. 18 s.
- Nousiainen, I. & Vesisenaho, T. 1996. Polttoaineen tuottaminen kokopuujuontomenetelmällä. Julkaisussa: Alakangas, E. (toim.). Bioenergian tutkimusohjelma. Vuosikirja, osa I. Puupolttolaitteiden tuotantotekniikka. s. 213–226.
- Thor, M. 1996. Chipset 536 C stickvägsgående flisare – tidsstudie och systemanalys. Skogforsk. 10.2.1996.

10 viitettä