

Autohakkurin seula-aukon koon vaikutus kokopuun haketuksen tuottavuuteen ja polttoaineen kulutukseen

Paula Jylhä

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

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

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

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

Toimitus

PL 18, 01301 Vantaa
puh. 029 532 2111
faksi 029 532 2103
sähköposti julkaisutoimitus@metla.fi

Julkaisija

Metsäntutkimuslaitos
PL 18, 01301 Vantaa
puh. 029 532 2111
faksi 029 532 2103
sähköposti info@metla.fi
<http://www.metla.fi/>

Tekijät Jylhä, Paula			
Nimeke Autohakkurin seula-aukon koon vaikutus kokopuun haketuksen tuottavuuteen ja polttoaineen kulutukseen			
Vuosi 2013	Sivumäärä 19	ISBN 978-951-40-2425-2 (PDF)	ISSN 1795-150X
Alueyksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet Länsi-Suomen alueyksikkö / ForestEnergy2020 / 3561 Toimitusvarmat ja tehokkaat puubiomassan hankintaketjut metsästä loppukäyttäjälle			
Hyväksynyt Antti Asikainen, professori, 17.6.2013			
Tiivistelmä <p>Tutkimuksessa selvitettiin hakkurin seula-aukon koon vaikutusta mäntykokopuun haketuksen tuottavuuteen ja kustannuksiin sekä polttoaineen kulutukseen, hiilidioksidipäästöihin ja hakkeen ominaisuuksiin. Tutkittu haketusyksikkö oli LHM Giant -autohakkuri ja koe tehtiin voimalaitoksen varastokentällä. Seulojen aukkokoot olivat 30 mm x 30 mm, 40 mm x 60 mm ja 80 mm x 150 mm.</p> <p>Seula-aukon koon pienentäminen alensi jyrkästi haketuksen tuottavuutta, lisäsi polttoaineen kulutusta ja hiilidioksidipäästöjä. Haketuksen tehotuntuottavuus oli 42–91 m³ (kiinto) ja polttoaineen kulutus 1,3–3,3 l/m³. Haketuksen suora energiankulutus vastasi 0,8–1,9 %:aa metsähakkeen lämpöarvosta ja haketuksenaikaiset hiilidioksidipäästöt olivat 3,5–8,7 kg/m³. Suurten hienoainesosuuksien vuoksi kokeessa tuotetut hakkeet eivät vastanneet nykyisen palakokostandardin (FprEN 15149-1) laatuluokkia. Pieniaukkoisinta seula käyttäen tehty hake poikkesi palakokojakaumaltaan selvästi karkeammista hakkeista. Haketuskustannus oli 3,1–7,2 €/m³ (1,8–4,2 €/MWh).</p> <p>Hakkeen palakokoon pienentäminen seulojen avulla lisäsi voimakkaasti tuotantokustannuksia ja polttoaineen kulutusta. Siten hienojakoisen hakkeen tuottaminen on perusteltua vain niissä tapauksissa, joissa se on loppukäytön kannalta välttämätöntä.</p>			
Asiasanat haketus, tuottavuus, kokopuu, seula, palakoko, energiankulutus			
Julkaisun verkko-osoite http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2013/mwp272.htm			
Tämä julkaisu korvaa julkaisun			
Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla			
Yhteydenotot Paula Jylhä, Silmäjärventie 2, 69100 Kannus. paula.jylha@metla.fi			
Muita tietoja			

Sisällys

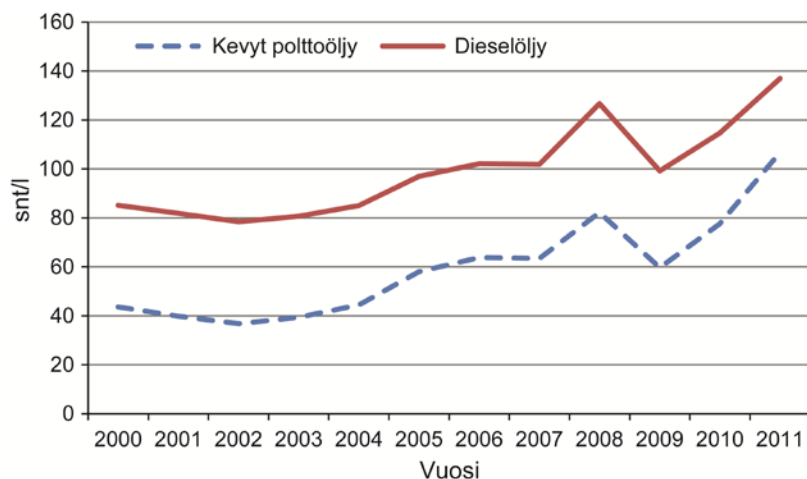
1 Johdanto.....	5
1.1 Tausta.....	5
2 Ainisto ja menetelmät	6
3 Tulokset.....	10
3.1 Haketuksen tuottavuus	10
3.2 Hakkeen ominaisuudet.....	11
3.3 Polttoaineen kulutus ja hiilidioksidipäästöt	12
3.4 Haketuskustannukset.....	13
4 Tulosten tarkastelu.....	14
Kirjallisuus	17

1 Johdanto

1.1 Tausta

Polttolaitoksen koko ja sen käyttämä teknologia vaikuttavat metsähakkeen laatuvaatimuksiin. Niistä tärkeimpiä ovat kosteus ja palakoko, joilla on vaikutusta myös kuormatiheyteen ja polttoaineen varastoitavuuteen (esim. Hakkila 1989, Kristensen ja Kofman 2000, Jirjis 2005, Spinelli ym. 2005). Polttoaineen laadun merkitys vähenee laitokseen kasvaessa (Hakkila 1989, Kofman 2006, Röser 2012). Pienimmät arinakattilat vaativat erittäin kuivaa (kosteus alle 30 %) ja palakokojakaumaltaan tasaista haketta, kun lämpö- ja voimalaitosten leijupolttokattiloissa voidaan polttaa palakooltaan heterogeenisempaa haketta, jonka kosteus voi olla jopa 60–65 % (Hakkila 1989). Tasainen palakokojakauma helpottaa kuitenkin polttoprosessin hallintaa (Flyktman ym. 2012). Palakoon optimi voimalaitoskokoluokassa riippuu hakkeen kosteudesta ja kattilan mitoituksesta. Hyvin alhaisilla kosteuksilla (alle 35 %) suuri hienoaineksen määrä voi aiheuttaa pölyräjähdyksriskin. Tavanomaisilla kosteuksilla (40–50 %) palakoolla ei ole suurta merkitystä, ja lähinnä käsittelylaitteiden toiminta määrittää suurimman sallitun palakoon. Erityisesti tikut voivat aiheuttaa ongelmia. Märän (kosteus yli 50 %) hakkeen palakokojakauman tulisi olla mahdollisimman tasainen, etenkin jos kattila toimii täydellä teholla. Liian pienet partikkelit saattavat kulkeutua ulos palamattomina savukaasujen mukana, isot palavat hitaasti eivätkä tuota täyttä tehoa (Rinne 2010). Hienoaines aiheuttaa myös käsittelyongelmia. Kuiva pöly voi levitä ympäristöön ja kostea hienoaines tarttuu varastojen seinämiin ja kuljettimiin, mikä lisää jäätyms- ja tukkeutumisriskiä (Flyktman ym. 2012). Puupolttoaineen tulisi olla erittäin hienojakoista silloin, kun sitä käytetään turpeen tai kivihiilen pölypolttoon suunnitelluissa kattiloissa (Laitila ym. 2010, Saastamoinen ym. 2010, Pirraglia ym. 2012). Tällöin metsähakkeen erillinen jauhatus on yleensä tarpeen. Metsähaketta voidaan myös kaasuttaa pölypoltto- tai maakaasuvoimalaitoksissa käytettäväksi tai biojalosteiden raaka-aineeksi. Kullakin prosessilla on omat vaatimuksensa kaasutettavalle biomassalle (Hakkila 1989, Lassi ja Wikman 2011).

Hakkeen palakokoa voidaan säätää käyttämällä hakkurissa seula; mitä pieniaukkoisempi seula, sitä hienojakoisempaa haketta syntyy. Partikkelikoon pienentäminen johtaa kuitenkin haketuksen tai murskauksen tuottavuuden alenemiseen ja polttoaineen kulutuksen kasvuun (Spinelli ja Hartshough 2001, Kärhä ym. 2010, Nati ym. 2010, Magagnotti ja Spinelli 2011, Röser 2012, Spinelli ym. 2011). Röserin (2012) ja Kärhän ym. (2010) mukaan loppukäyttäjän tarpeisiin nähden ylilaatuisen hakkeen tuottamista tulisikin välttää. Laitilan ja Väätäisen (2011) tutkimuksessa polttoaine oli pienpuun terminaalihaketuksen suurin yksittäinen kustannuserä noin 30 prosentin osuudella. Välivarastohaketuksessa polttoaineen osuus oli lähes yhtä suuri (26 %) ja samaa luokkaa työvoimakustannusten (25 %) kanssa. Polttoaineiden hinnat ovat nousseet voimakkaasti 2000-luvulla. Esimerkiksi kevyen polttoöljyn nimellishinta on yli kaksinkertaistunut vuosien 2000 ja 2011 välillä (kuva 1). Metsäalan konekustannusindeksien perusteella polttoainekustannusten nousu on ollut viime vuosina huomattavasti nopeampaa kuin muiden kustannustekijöiden (Tilastokeskus 2012). Siten polttoaineen kulutukseen tulisi kiinnittää entistä enemmän huomiota. Polttoaineen kulutus heijastuu myös suoraan tuotantoketjun hiilidioksidipäästöihin. Mälkin ja Virtasen (2003) mukaan haketuksen osuus esimerkiksi hakkuutähdehakkeen tuotantoketjun rikkidioksidi-, hiilimonoksidi- ja pienhiukkaspäästöistä on noin 30 %. Tuotantoketjun energiankulutus vastasi 3–4:ää prosenttia hakkuutähdehakkeen energiasisällöstä.



Kuva 1. Kevyen polttoöljyn ja dieselöljyn nimellishintojen (sis. alv) kehitys (Tilastokeskus 2013).

Tutkimuksessa selvitettiin hakkurin seula-aukon koon vaikutusta haketuksen tuottavuuteen, hakkeen ominaisuuksiin, polttoaineen kulutukseen, hiilidioksidipäästöihin ja haketuskustannuksiin.

2 Aineisto ja menetelmät

Haketuskoe tehtiin voimalaitoksen polttoainekentällä kahden päivän aikana syyskuun lopussa vuonna 2010. Hakettavana materiaalina oli edellisenä syksynä samasta leimikosta korjattu kokopuu, jossa männyn osuudeksi arvioitiin silmävaraisesti noin 95 %. Loppu oli lähinnä hieskoivua. Pinon kyljestä tehdyn otannan perusteella puiden keskimääräinen tyvilämpimitta oli noin yhdeksän senttimetriä. Puu oli varastoitu peittämättömänä.

Kokeessa käytettiin vuosimallin 2005 LHM Giant –rumpuhakkuria, joka oli asennettu kuorma-auton (Sisu 11E420) takarungon päälle (kuva 2). Hakkurin moottorin teho oli 400 kW, ja sen ohjaamo oli sijoitettu kiinteästi nosturin ja auton ohjaamon väliin. Nosturi ja hakepuhallin saivat käyttövoimansa alustana toimivasta kuorma-autosta, jonka moottorin teho oli 300 kW. Yhdistelmän kokonaismassa oli 36 800 kg. Hakkurin syöttöaukon koko oli 1440 mm x 600 mm. Aikatutkimuksessa käytettyjen hakkurin seulojen aukkokoot olivat 30 mm x 30 mm, 40 mm x 60 mm ja 80 mm x 150 mm. Haketuskokeessa kullakin seularilla tehtiin kaksi kehystilavuudeltaan noin 100 m³:n kuormaa. Hakkurin terät vaihdettiin jokaisen kuorman välillä lukuun ottamatta kahta kuormaa, jotka tehtiin peräkkäin suuriaukkoisinta seula käyttäen, ilman terien vaihtoa näiden kuormien välissä. Moottoripolttoöljyn kulutus kunkin haketuserän ja terien vaihdon aikana saatiin täyttämällä hakkurin ja alustan toimineen kuorma-auton tankit mittarilla varustetusta polttoainesäiliöstä aina kuorman täytyttyä sekä terien vaihdon jälkeen. Myös polttoaineen kulutus 86 km:n mittaisen siirtoajon aikana mitattiin. Haketuksen energiankulutus ja hiilidioksidipäästöt laskettiin kevyen polttoöljyn lämpöarvon ja ominaispäästökertoimen (Polttoaineiden... 2010) avulla. Hakkurin käyttäjällä oli seitsemän vuoden kokemus haketustyöstä.



Kuva 2. Tutkittu koneyhdistelmä (kuva: Jaakko Miettinen/Metla).

Haketustyö kuvattiin digitaalisella videokameralla ja työvaihekohtaiset ajanmenekit määritettiin jälkikäteen jatkuvalla ajanmittauksella. Työssä käytettiin Metsäntutkimuslaitoksessa kehitettyä Microsoft Excel -pohjaista sovellusta, joka lukee videon aikakoodia. Aikatutkimuksessa käytetty työvaihejaottelu on esitetty taulukossa 1. Keskimääräistä ajanmenekkiä laskettaessa apuajat (lähinnä kivien erottelua haketuksen aikana ja varastopaikan siivousta haketuksen päätyttyä) vakioitiin yhtä suuriksi kaikilla seuloilla.

Hakekuormien massat saatiin punnitsemalla hakeauto voimalaitoksen vastaanottoaseman ajoneuvovaa'alla kuormattuna ja tyhjänä. Hakekuorma tyhjennettiin voimalaitoksen siiloon, ja tilavuudeltaan 4,5 litran hakenäytteet (18 kpl/haketuserä) otettiin kuljettimelta putoavasta hakevirrasta kymmenen minuutin välein (CEN/TS 14778-1). Näytteet homogenisoitiin ja niistä otettiin kosteusnäytteet. Sen jälkeen kuusi peräkkäistä näytettä yhdistettiin ja homogenisoitiin. Näistä kokoomanäytteistä otettiin kahdeksan litran näytteitä (3 kpl/haketuserä) palakokojakauman määrittämiseksi (FprEN 15149-1). Hakenäytteiden kosteus määritettiin kuivaamalla näytteitä uunissa 105 C^o:een lämpötilassa kahden vuorokauden ajan. Haketuserien kiintotilavuudet johdettiin kuormien punnitustulosten, hake-erien keskimääräisten kuiva-ainepitoisuuksien ja Hakkilan (1978) esittämän mäntykokopuun kuiva-tuoretiheyden avulla (385 kg/m³). Seulontanäytteiden rinnakkaisnäytteistä koostettiin yksi näyte haketuserää kohti lämpöarvon määrittämiseksi (SFS-EN 14918:en).

Seula-aukon koon vaikutusta hakkeen ominaisuuksiin selvitettiin yksisuuntaisella varianssianalyysillä ja käsittelyjen välisiä eroja tutkittiin Tukeyn testin avulla. Jakaumien homogeenisuus varmistettiin Levenen testillä, ja tarvittaessa ne homogenisoitiin arcsinmuunnoksella. Haketuksen tuottavuuteen ja polttoaineen kulutukseen liittyvät seuloikohtaiset tunnuksot esitetään haketuserän koolla painotettuina keskiarvoina, muut tunnuksot aritmeettisina keskiarvoina.

Tuntikustannusten laskennassa noudatettiin mm. Sundbergin ja Silversidesin (1988) kuvaamia periaatteita. Hakkurin hankintahinta saatiin konevalmistajalta. Jäännösarvo laskettiin Koneyrittäjien liitto ry:n käyttämän arvonalenemisen (17 % vuodessa) ja hakkurin pitoajan perusteella. Pääoman korkoprosenttina käytettiin Suomen Pankin (2013) tilastoimaa alle miljoonan euron yrityslainojen keskiporkkoa (2,9 %) tammi–marraskuussa 2012. Vuotuisten käyttötuntien määrä ja välilliset palkkakustannukset perustuvat Laitilan ja Väätäisen (2011) tutkimukseen. Lopun työajan oletettiin jakaantuvan tasan siirtojen ja muun työn välillä. Kuljettajan palkka vastaa metsäkonealan työehtosopimuksen mukaista kokeneen työntekijän (ammattikokemus yli 8 v) peruspalkkaa vaativuusryhmässä III (Puuliitto 2011). Vuotuiset huolto- ja voiteluainekustannukset saatiin muuntamalla Laitilan ja Väätäisen (2011) esittämät luvut vuoden 2013 alun tasoon metsäalan konekustannusindeksien avulla (Tilastokeskus 2012). Polttoainekustannukset laskettiin aikatutkimuksessa mitatun polttoaineen kulutuksen ja moottoripolttoöljyn hinnan avulla (Neste Oyj 2013). Vakuutuskustannuksia tiedusteltiin useista vakuutusyhtiöistä ja ne sisältävät liikenne-, kolari-, palo- ja ilkivaltavakuutuksen ilman yrityskohtaisia alennuksia. Vuotuisiin kokonaiskustannuksiin lisättiin lopuksi yrittäjäriskin sisältävä viiden prosentin laskentamarginaali. Käyttötuntikustannuslaskelman perusteet ja yksityiskohdat on esitetty taulukossa 2. Haketuksen yksikkökustannusten laskennassa tehoajan osuudeksi oletettiin 80 % käyttöajasta (Kärhä ja Mutikainen 2011).

Taulukko 1. Aikatutkimuksessa sovellettu työvaihejaottelu.

Työvaihe	Kuvaus
Taakan nouto kuormaimella hakkuriin	Kuormaimen vienti pinolle, taakan otto pinosta ja siirto hakkurin syöttölaitteistolle.
Taakan syöttö kuormaimella hakkurin syöttölaitteistoon	Taakan asettaminen syöttölaitteistoon siten, että taakka etenee haketusprosessiin.
Odotusaika syötössä	Taakka on jo noudettu, mutta sitä ei voi syöttää prosessiin, koska edellinen taakka on vielä syöttölaitteistossa.
Syöttölaitteiston tyhjänäkäynti	Syöttölaitteiston käynti toimeettomana, kun puuta ei ehditä syöttää riittävän nopeasti.
Työpistesiiirtyminen	Varastokasojen välillä siirtymiseen kuluva aika.

Taulukko 2. Hakkurin käyttötuntikustannuslaskelmat (alv 0 %).

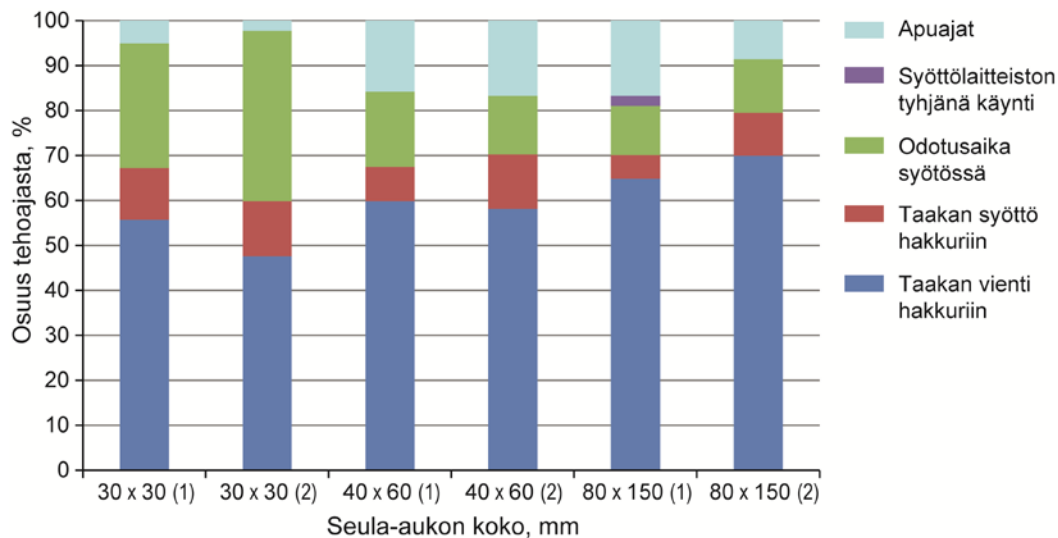
	Seula-aukon koko, mm		
	30 x 30	40 x 60	80 x 150
Hankintahinta, €	770 000	770 000	770 000
Jäännösarvo, €	303 306	303 306	303 306
Pitoaika vuosina	5	5	5
KIINTEÄT KUSTANNUKSET			
Poistot, €/vuosi	93 339	93 339	93 339
Korko, €/vuosi	16 916	16 916	16 916
Vakuutukset, €/vuosi	9 430	9 430	9 430
Hallinto, €/vuosi	7 500	7 500	7 500
TYÖVOIMAKUSTANNUKSET			
Vuotuinen työaika, h	3 050	3 050	3 050
Toiminnallinen käyttöaste, %	85	85	85
Vuotuiset käyttötunnit, h	2593	2593	2593
Työntekijän tuntipalkka, €	14,81	14,81	14,81
Väilliset palkkakustannukset, %	68	68	68
Vuotuiset työvoimakustannukset yhteensä, €	75 886	75 886	75 886
KÄYTTÖKUSTANNUKSET			
Polttoaineen hinta, €/litra	0,90	0,90	0,90
Vuotuiset polttoainekustannukset, €	339 494	304 462	290 760
Vuotuiset voiteluainekustannukset, €	15 975	15 975	15 975
Vuotuiset huolto- ja kunnossapitokustannukset, €/vuosi	47 925	47 925	47 925
Laskentamarginaali, €/vuosi	30 324	28 572	27 887
VUOTUISET KUSTANNUKSET YHTEENSÄ	636 796	600 012	585 625
Käyttötuntikustannus, €/h	245,63	231,44	225,89

3 Tulokset

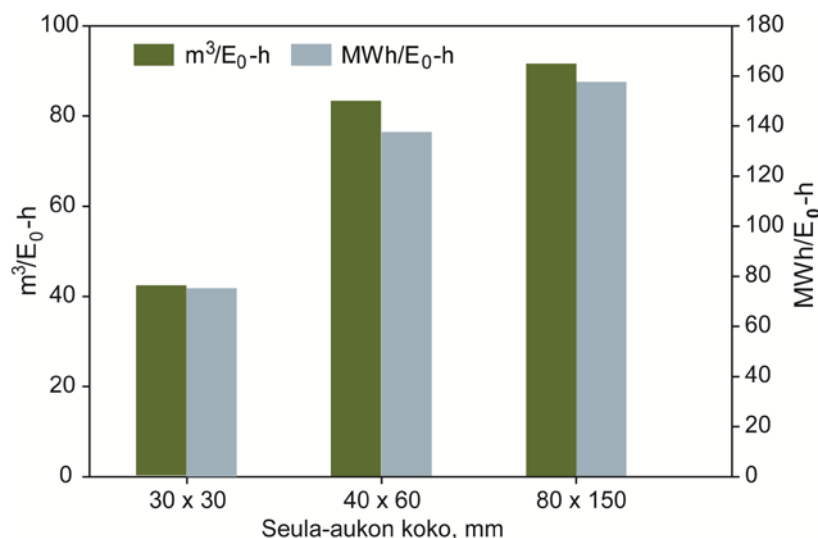
3.1 Haketuksen tuottavuus

Suurin osa työajasta kului kaikilla seulapareilla taakan vientiin hakkuriin, minkä osuus lisääntyi seula-aukon koon kasvaessa (kuva 3). Vastaavasti seula-aukon koon suurentaminen tehosti haketusta vähentämällä odotusaikaa syötössä. Syöttölaitteiston tyhjänäkäyntiä esiintyi ainoastaan käytettäessä suuriaukkoisinta seulaa, jolloin sen osuus oli keskimäärin prosentti tehoajasta. Kokopuu oli varastoitu korkeaksi pinoksi, joten hakekuormallinen pystyttiin tekemään ilman työpistesiiirtoja. Aikatutkimuksen aikana ei sattunut yhtään keskeytystä. Hakkurin terien ja seularin vaihtoon kuluva aika (keskimäärin 29 min 36 s) ei sisällynyt aikatutkimuksen työvaiheisiin.

Haketuksen tehotuntuottavuus oli keskimäärin 42–91 m³/E₀-h (kuva 4). Seula-aukon suurentaminen 30 mm x 30 mm:stä 40 mm x 60 mm:iin lähes kaksinkertaisti tuottavuuden. Aukkokoon suurentaminen 80 mm x 150 mm:iin lisäsi tuottavuutta enää 10 %.



Kuva 3. Työajan suhteelliset tehoajan menekit haketuserittäin.



Kuva 4. Haketuksen keskimääräiset tehotuntuottavuudet aikatutkimuksessa.

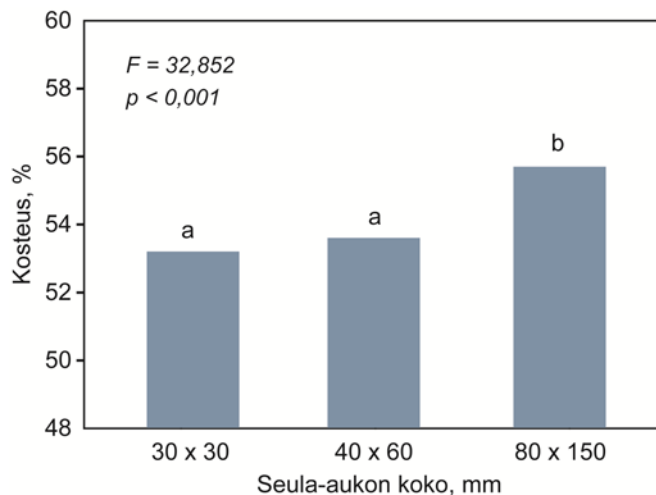
3.2 Hakkeen ominaisuudet

Hakkeen keskimääräinen kosteus oli 53–56 % (kuva 5). Yksisuuntaisen varianssianalyysin perusteella hakkeiden kosteudessa oli tilastollisesti merkitseviä eroja ($F = 32,852$, $p < 0,001$) siten, että palakooltaan suurin hake oli kosteampaa kuin hienommat hakkeet.

Lämpöarvoanalyysien ja niihin liittyvien kosteusanalyysien tulokset olivat yhdenmukaisia kuvassa 1 esitettyjen tulosten kanssa, mutta tilastollisia testejä ei voitu tehdä pienen otokoon (2 kokoomänäytettä/seula-asete) vuoksi (taulukko 3).

Pieniaukkoisinta seulaa käyttäen tuotettu hake erottui selvästi palakokojakaumaltaan muista hakkeista (kuva 6). Kaikki palakokojakauman mediaanit (7,4–14,3 mm) poikkesivat kuitenkin toisistaan tilastollisesti merkitsevästi ($F = 52,672$, $p < 0,001$).

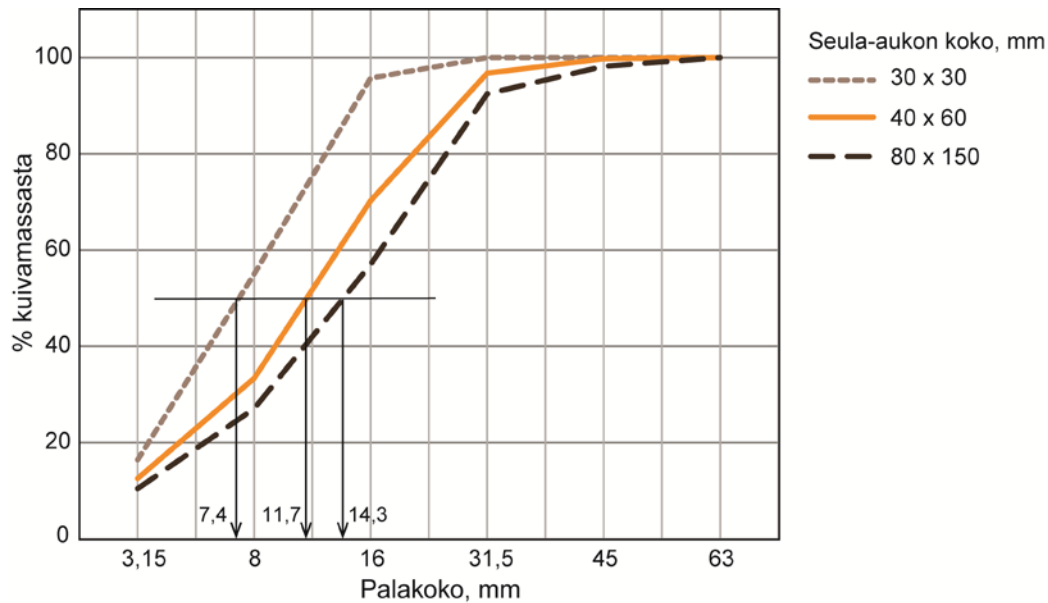
Seulojen väliset erot palakokojakaumassa näkyivät selkeimmin 3,15–8 mm:n ja 16–31,5 mm:n luokissa (kuva 7). Hienoainesta oli pieniauukkoisimmilla seuloilla tehdyssä hakkeessa merkitsevästi enemmän kuin suuriaukkoisimmalla seulalla tehdyssä. Pieniaukkoisimmalla seulalla alle 3,15 mm:n partikkeleiden osuus oli 16 % ja muilla 10–13 % hakkeen kuivamassasta. Pieniaukkoisimmalla seulalla tehdyssä hakkeessa ei ollut lainkaan kahta suurinta partikkelikokoluokkaa (31,5–63 mm), mutta muilla seuloillakin näiden palakokoluokkien osuudet olivat varsin pienet, 3 ja 8 % hakkeen kuivamassasta.



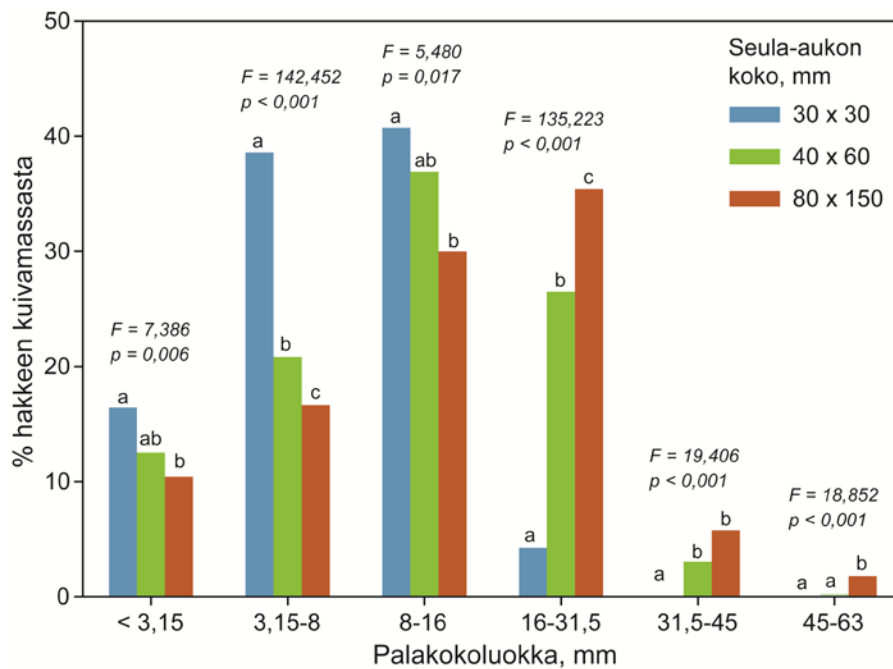
Kuva 5. Hakkeiden keskimääräiset kosteudet. Samalla kirjaimella merkityt keskiarvot eivät Tukeyn testin perusteella poikenneet toisistaan 5 %:n riskitasolla.

Taulukko 3. Hakkeiden keskimääräiset kosteudet ja lämpöarvot.

Seula-aukon koko, mm	Kosteus, %	Lämpöarvo, MJ/kg	
		Kuiva-aineessa	Saapumiskosteudessa
30 x 30	53,2	19,1	7,6
40 x 60	53,6	19,1	7,6
80 x 150	55,7	19,1	7,1



Kuva 6. Hakkeiden kumulatiiviset palakokojakaumat. Palakoon mediaanit kullakin seulatyyppillä on merkitty nuolilla.



Kuva 7. Seulan aukkoon vaikutus hakkeen palakokojakaumaan. Samalla kirjaimella (a–c) merkityissä palakokoluokkien kuivamassaosuuksissa ei Tukeyn testin perusteella ollut eroja seula-parien välillä 5 %:n riskitasolla.

3.3 Polttoaineen kulutus ja hiilidioksidipäästöt

Seula-aukon koon suurentaminen vähensi jonkin verran haketuksen aikaista polttoaineen kulutusta, joka oli 118–139 l/h. Seula-aukon koolla oli kuitenkin suuri vaikutus haketettua puumäärää kohti laskettuun tuottavuuteen. Kiintokuutiometriä kohti polttoainetta kului

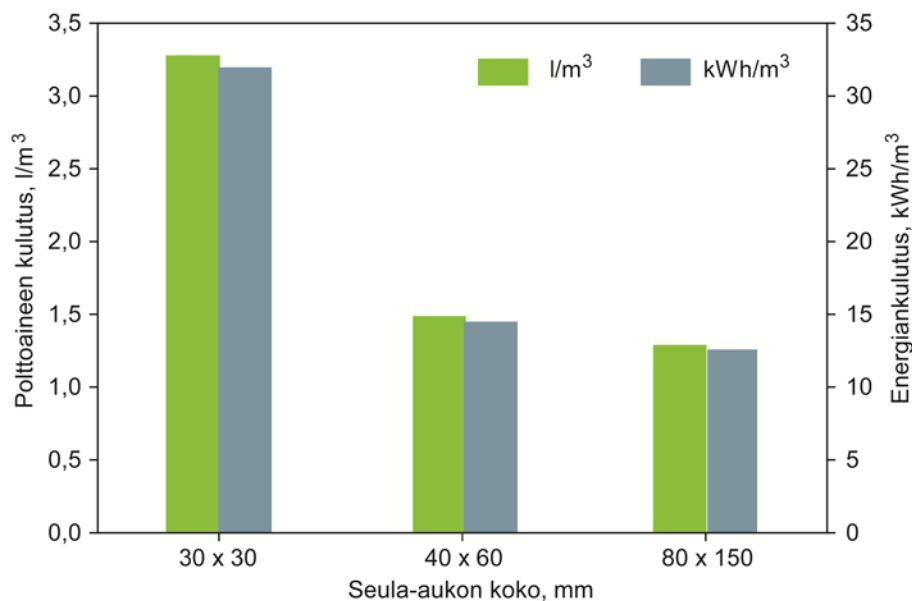
1,3–3,3 l (0,8–1,9 l/MWh) (kuva 8). Pieniaukkoisimmalla seulalla polttoaineen kulutus haketettua kuutiometriä kohti oli yli kaksinkertainen seuraavaan aukkokokoon (40 mm x 60 mm) verrattuna. Siirryttäessä välikoosta suurimpaan aukkokokoon polttoaineen kulutus aleni vielä 13 %. Terien ja seulojen vaihdon aikana kului polttoainetta keskimäärin 7,2 l ja hakkuriauton siirtoajossa 60 l/h. Haketuksen aikainen energiankulutus (13–33 kWh/m³) vastasi hienojakoisimmalla hakkeella 1,9:ää prosenttia tuotetun hakkeen energiasisällöstä. Palakooltaan tätä suuremmilla hakkeilla osuus oli 0,8–0,9 %.

Suurin osa tehoajasta kului taakan vientiin hakkuriin. Nosturi ja hakepuhallin saavat käyttövoimansa alusta-auton moottorista, jonka kulutus oli 57–70 % haketuksen aikaisesta polttoaineen kulutuksesta. Sekä hakkurin että alusta-auton polttoaineen kulutus kuutiometriä kohti vähenivät seula-aukon koon kasvaessa.

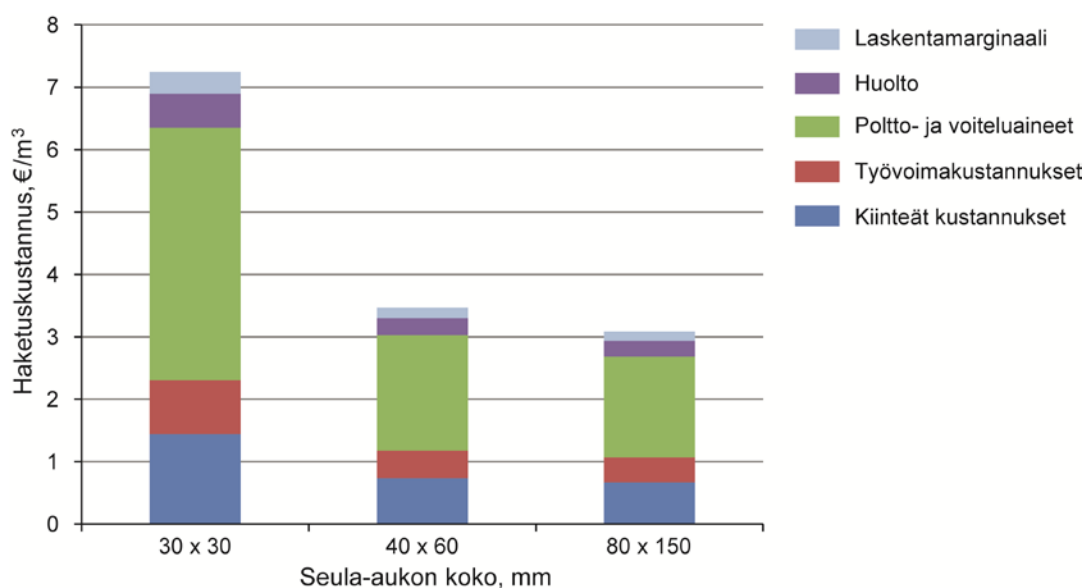
Haketuksen aikaiset hiilidioksidipäästöt olivat 3,5–8,7 kg/m³ (2,0–5,1 kg/MWh) ja hakkuriauton oletetun ajankäytön perusteella lasketut kokonaispäästöt 3,1–7,7 kg/m³ (2,1–5,3 kg/MWh).

3.4 Haketuskustannukset

Haketuskustannukset olivat keskimäärin 3,1–7,2 €/m³ (1,8–4,2 €/MWh) (kuva 9). Hakkurin seula-aukon suurentaminen pienimmästä toiseksi suurimpaan aukkokokoon alensi haketuskustannuksia 52 %. Kustannukset alenivat edelleen 10 %:lla siirryttäessä suuriaukkoisimpiin seuloihin. Polttoaine oli suurin yksittäinen kustannustekijä. Sen osuus oli 50–53 % haketuksen yksikkökustannuksista. Kiinteiden kustannusten (pääomakustannukset, vakuutukset ja hallinto) osuus oli kaikissa laskentavaihtoehdoissa noin viidesosa haketuksen yksikkökustannuksista.



Kuva 8. Seula-aukon koon vaikutus haketuksen aikaiseen polttoaineen kulutukseen.



Kuva 9. Seula-aukon koon vaikutus haketuskustannuksiin.

4 Tulosten tarkastelu

Haketuskoe tehtiin hyvissä olosuhteissa päällystetyllä varastokentällä. Hake jouduttiin puhaltamaan punnitusten vuoksi suoraan hakeauton kuormatilaan, mikä saattoi alentaa hieman tuottavuutta tavanomaiseen terminaali- tai käyttöpaikkahakemukseen verrattuna. Suuriaukkoisimpia seuloja käyttäen saavutetut tuottavuudet olivat varsin suuria kokopuun tienvarsi- ja terminaalihaketuksessa saavutettuihin tuloksiin verrattuina (esim. Kärhä ym. 2010 ja 2011ab; Pajuoja ym. 2011, Röser ym. 2012). Autohakkurilla on päästy runkopuun terminaalihaketuksessa vielä huomattavasti suurempiin tuottavuuksiin (Kärhä ja Mutikainen 2011). Polttoaineen osuus oli kaikilla seulapareilla noin puolet haketuksen yksikkökustannuksista, jotka olivat likimain suoraan verrannollisia polttoaineen kulutukseen.

Käytettävissä ei ollut ajantasaista seurantatietoa autohakkureiden ajankäytön rakenteesta, joten tuntikustannusten laskennassa jouduttiin tekemään useita siihen liittyviä oletuksia. Aikatutkimus tehtiin vuosimallia 2005 olevalla autohakkurilla. Uudempiin hakkureihin on voitu tehdä tuottavuuteen tai polttoaineen kulutukseen vaikuttavia muutoksia. Pääomakustannukset laskettiin uuden hakkurin hankintahinnan perusteella, joten saadut haketuksen yksikkökustannukset eivät välttämättä vastaa täysin laskentahetken tilannetta. Hakkurin käyttötuntien määrät ja työajan jakaumat oletettiin samoiksi kaikilla seuloilla. Aikatutkimuksessa saavutetuilla tuottavuuksilla tämä johti huomattaviin eroihin hakkureiden vuosisuoritteissa, mutta erojen mahdollisia vaikutuksia hakkurin arvonalenemiseen tai huolto- ja voiteluainekustannuksiin ei otettu huomioon. Esimerkiksi terien kulumisen nopeutuu, kun hakkeen palakoko pienenee. Terien kunto vaikuttaa myös polttoaineen kulutukseen ja haketuksen tuottavuuteen (Nati ym. 2011, Spinelli ym. 2011). Tässä tutkimuksessa terät vaihdettiin jokaisen hakekuorman välillä lukuun ottamatta suuriaukkoisimpia seuloja käyttäen haketettuja eriä, jotka haketettiin peräkkäin. Tällöin samoilla terillä haketettu määrä oli noin 200 irtom³, mikä on huomattavasti vähemmän kuin tavanomainen teroitusväli (ks. Rinne 2010). Terien vaihtoon ei ollut tarvetta, sillä hakkuriin ei joutunut kiviä ja suuriaukkoisilla seuloilla terien kulumisen on hitaampaa kuin hienojakoisempaa

haketta tehtäessä (Nati ym. 2010). Hakkurin polttoaineen kulutus toisella kuormalla oli 10 % ($0,1 \text{ l/m}^3$) suurempi kuin ensimmäisellä. Kulutuksen lisääntyminen ei todennäköisesti johtunut terien kulumisesta, sillä tuottavuus toista hakekuormallista tehtäessä oli 17 % ($15 \text{ m}^3/\text{E}_0\text{-h}$) suurempi kuin ensimmäisellä.

Hakkurin seula-aukon koolla oli huomattava vaikutus haketuksen tuottavuuteen, polttoaineen kulutukseen ja yksikkökustannuksiin. Seula-aukon koon suurentaminen pienimmästä (30 mm x 30 mm) seuraavaan (40 mm x 60 mm) lähes kaksinkertaisti tuottavuuden ja vähensi haketuksen aikaista polttoaineen kulutusta 55 %. Siirryttäessä suuriaukkoisimpaan (80 mm x 150 mm) seulaan tuottavuus parani vielä 10 % ja polttoaineen kulutus aleni 14 %. Haketuksen aikainen energiankulutus oli enimmillään alle kaksi prosenttia tuotetun, varsin kostean metsähakkeen lämpöarvosta. Spinellin ym. (2011) mukaan mobiilihakkureiden polttoaineen kulutus on lähes vakio, noin 3,2 litraa kuivatonna kohti. Tässä tutkimuksessa käytetyillä seuloilla kulutus oli keskimäärin 3,4–8,6 l/kuivatonna eikä se pieniaukkoisinta seulaa lukuun ottamatta poikennut olennaisesti Kärhän ym. (2010) mittaamasta tuloksesta, joka saatiin kokopuun terminaalihaketuksessa. Molemmista tutkituissa koneyksiköissä on poistopuhallin, joka on todettu suureksi energiankuluttajaksi nopeatoimisilla hakkureilla (Rinne 2010). Poistopuhaltimen voimanlähteenä toiminut alusta-auto kuluttikin suurimman osan polttoaineesta. Hakkurin polttoaineen kulutus hakettua puumäärää kohti pieneni palakoon kasvaessa, koska puun leikkaamisen vaatima energiantarve väheni. Hakkuriauton vastaava polttoaineen kulutus pieneni syötön tehostuessa, mutta sen suhteellinen osuus kokonaiskulutuksesta kasvoi.

Kokeessa tuotetut hakkeet olivat palakokojakaumaltaan heterogeenisiä. Pieniaukkoisinta seulaa käyttäen tuotetun hakkeen palakokojakauma poikkesi selkeästi karkeammista hakkeista. Millään seulalla ei pystytty tuottamaan haketta, jonka palakokojakauma vastaisi kaikilta osin jotakin standardissa SFS EN 1496-1 määriteltyä laatuluokkaa. Seulonnalla pystyttiin poistamaan varsin tehokkaasti polton kannalta ongelmallinen karkea fraktio, mutta kokopuuhakkeelle tyypilliseen tapaan hienoaineksen osuudet olivat suuria (esim. Jirjis 2005, Spinelli ym. 2005, Nati ym. 2010). Sen vuoksi laatuluokille määriteltyjen pääfraktioiden osuudet alittivat yleensä vähimmäisrajaksi asetetun 75 paino-%. Poikkeuksena oli hienojakoinen hake, jossa laatuluokille P16A ja 16B määriteltyä pääfraktiota (3,15–16 mm) oli 79 % hakkeen kuivamassasta. Se ei kuitenkaan täyttänyt näiden laatuluokkien vaatimuksia, sillä joko hienoainesta tai karkeaa fraktiota oli liikaa. Nykyisen standardin noudattaminen hienoaineksen määrän osalta onkin todettu käytännössä lähes mahdottomaksi ja sen uudistamista on vaadittu (Alakangas 2012, Kärhä ym. 2011a).

Pienpuu haketetaan Suomessa enimmäkseen tienvarressa, mutta terminaali- ja käyttöpaikkahaketuksen osuus on kasvussa (Strandström 2012). Tienvarsihaketukseen perustuvan kokopuuhakkeen tuotantoketjun hiilidioksidipäästöt ovat yleensä pienemmät kuin terminaali- ja käyttöpaikkahaketuksessa, joita tämän tutkimuksen koejärjestelyt muistuttavat. Erot johtuvat lähinnä hakettamattoman puun kaukokuljetuksesta, joka oli Kariniemen ym. (2009) tutkimuksessa toiseksi merkittävin pienpuuhakkeen tuotantoketjun hiilidioksidipäästöjen lähde hakkuun jälkeen. Jylhän (2011) tutkimuksessa mäntykokopuun korjuun (hakkuu ja lähikuljetus) hiilidioksidipäästöt olivat $4,3\text{--}9,5 \text{ kg/m}^3$, kun poistuman keskiläpimitta oli 6–12 cm ja metsäkuljetusmatka 296 m. Autokuljetuksen päästöiksi tulisi esimerkiksi 45 km:n matkalla Laitilan ym. (2012) esittämää laskentatapaa käyttäen $3,6 \text{ kg/m}^3$. Jos haketuskokeessa käytetty puu olisi hankittu vastaavista olosuhteista, kokopuuhakkeen tuotantoketjun suorat hiilidioksidipäästöt olisivat olleet 12–22 kg/m^3 (6–13 kg/MWh), josta haketuksen osuus olisi ollut 21–54 %. Tuotantoketju olisi ollut

energiataloudellisesti melko tehokas, sillä sen suora energiankulutus olisi ollut ainoastaan 3–5 % tässä tutkimuksessa tuotetun, varsin kostean metsähakkeen lämpöarvosta. Tulokset ovat yhdenmukaisia esim. Kariniemen ja Kärhän (2009) ja Laitilan ym. (2012) tutkimusten kanssa, joissa otettiin huomioon myös epäsuoria päästöjä. Jylhän (2011) tutkimus osoitti, että puun järeys vaikuttaa merkittävästi hakkuun hiilidioksidipäästöihin. Järeydellä on vaikutusta myös haketuksen tuottavuuteen (esim. Nati ym. 2011) ja sitä kautta polttoaineen kulutukseen ja päästöihin.

Haketusvolyyymien kasvaessa investointi kiinteisiin terminaali- ja käyttöpaikkamurskaimiin tai -hakkureihin tulee kannattavammaksi. Terminaaleissa voidaan käyttää hidastoisia hakkureita tai murskaimia, joissa hake siirtyy yleensä poistokuljetinta pitkin murskaimelta kasalle tai kuormaan. Rannan (2002) mukaan hihnakuljettimien tehontarve on ainoastaan kymmenen prosenttia puhaltimien tarpeesta ja heittimellä tehostettunakin vain neljäsosa. Toisaalta puhaltimilla hakekuormista saadaan tiiviimpiä kuin muilla hakkeenpoistotratkaisuilla (Spienelli ja Hartsough 2001, Kärhä ja Mutikainen 2011), millä on merkitystä erityisesti tienvarsihaketuksessa. Terminaali- ja käyttöpaikkamurskauksessa voidaan käyttää sähkökäyttöisiä laitteita, joiden laskennalliset hiilidioksidipäästöt ovat pienemmät kuin polttomoottorilaitteilla, sillä sähköön ominaispäästökerroin on pienempi kuin polttoöljyn (Laitila ym. 2012, Polttoaineiden...2010). Samalla lopputuotteen palakoolla murskaus kuluttaa kuitenkin huomattavasti enemmän energiaa kuin haketus (Hamelinck ym. 2003, Rinne 2010, Spinelli ym. 2012). Lisäksi murskainten tuottavuus on pienempi kuin hakkureiden. Siksi Spinelli ym. (2012) suosittelevat murskaimia ainoastaan kiviä, metallia tai muuta teriä vaurioittavaa ainesta sisältävän materiaalin hienontamiseen.

Hakkeen palakoon pienentäminen lisäsi olennaisesti tuotantokustannuksia. Kärhä ym. (2010) suosittelevatkin tuottamaan sitä karkeampaa haketta tai murskettä, mitä karkeampaa polttoainetta energialaitos pystyy käyttämään. Kokonaistaloudellisessa tarkastelussa tulisi polttoaineen tuotantokustannusten ja energiatalouden lisäksi ottaa huomioon myös palakoon vaikutus polton hyötysuhteeseen. Polttoaineen palakokojakauma voi vaikuttaa myös hiukkaspäästöihin (Kattelus 2010). Pieniaukkoisen seulan käyttö on perusteltua lähinnä silloin, kun metsähakkeen loppukäyttö edellyttää hienojakoista raaka-ainetta. Pieniaukkoista seulaa käyttämällä voidaan joissakin tapauksissa ehkä välttää pölypolttolaitosten vaatima erillinen metsähakkeen jauhatus. Myös uudet biomassan jalostusprosessit vaativat usein hienojakoista raaka-ainetta.

Tässä tutkimuksessa hakkeen kosteus näytti alenevan, kun seula-aukko ja hakkeen palakoko pienenevät. Seula-aukon koon vaikutusta tuotetun hakkeen kosteuteen ei kuitenkaan voida arvioida, sillä hakettamattoman kokopuun kosteutta ei selvitetty. On kuitenkin mahdollista, että seulan aukkokoon pienentämisellä oli haketta kuivattava vaikutus. Palakoon pienentyessä tarvitaan enemmän leikkausenergiaa, mikä lisää kitkaa. Kitka puolestaan lämmittää haketta, ja myös lisääntyvä hakepartikkeleiden pinta-ala edistää haihtumista. Tätä teoriaa tukee se, että pieniaukkoisinta seulaa käytettäessä ilmassa oli silmin nähtävää vesihöyryä. Kosteuden alenemisella mahdollisesti saavutettava lämpöarvon paraneminen ei kuitenkaan kompensoi lisääntyvää haketuksen energiankulutusta ja varsinkaan haketuskuksennusten nousua.

Kirjallisuus

- Alakangas, E. 2012. Analysis of particle size of wood chips and hog fuel – ISO/TC 238. Research Report VTT-R-02834-12. VTT. 28 s.
- CEN/TS 14778-1:fi. 2005. Kiinteät biopolttoaineet. Näytteenotto. Osa 1: näytteenotto-menetykset. CEN tekninen spesifikaatio, Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 43 s.
- Flyktman, M., Impola, R. & Linna, V. 2012. Kotimaista polttoainetta käyttävien 0,5..30 MW kattilalaitosten tekniset ratkaisut sekä palamisen hallinta. Energiategollisuus, Ympäristöministeriö. 50 s.
- FprEN 15149-1. 2010. Solid biofuels. Determination of particle size distribution. Part 1: Oscillating screen method using sieve apertures of 1 mm and above. Final draft, European Committee for Standardization. 13 s.
- Hakkila, P. 1978. Pienpuun korjuu polttoaineeksi. Summary: Harvesting small-sized wood for fuel. Folia Forestalia 342. 38 s.
- Hakkila, P. 1989. Utilization of Residual Forest Biomass. Springer-Verlag, Heidelberg. 568 p.
- Hamelinck, C.N., Suurs, R.A.A. & Faaij. A.P.C. 2003. International bioenergy transport costs and energy balance. Utrecht University, Copernicus Institute, Science Technology Society. 50 s.
- Jirjis, R. 2005. Effects of particle size and pile height on storage and fuel quality of comminuted *Salix viminalis*. Biomass and Bioenergy 28(2): 193–201.
- 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.
- Kariniemi, A. & Kärhä, K. 2009. Energy efficiency and CO₂-eq emissions of forest chip supply chains in Finland in 2020. Julkaisussa: Savolainen, M. (toim.). Bioenergy 2009. Sustainable Bioenergy Business. 4th International Bioenergy Conference from 31st of August to 4th of September 2009. Book of Proceedings Part I. FINBION julkaisusarja - FINBIO Publications 1(44): 433–437. ISBN 978-952-5135-43-5.
- Kattelus, J. 2010. Biomassan termisen konversion ja palamisen mallinnus leijupetikattilassa. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Teknillinen tiedekunta, Energia-tekniikan koulutusohjelma. 62 s.
- Kofman, P.D. 2006. Quality wood chip fuel. Coford connects. Harvesting/Transportation No. 6. Coford, Irlanti. 4 s.
- Kristensen, E. F. & Kofman, P. D. 2000. Pressure resistance to air flow during ventilation of different types of wood fuel chip. Biomass and Bioenergy 18(3): 175–180.
- Kärhä, K. & Mutikainen, A. 2011a. Jenz HEM 820 DL runkopuun terminaalihaketuksessa. Metsätehon tulosalvosarja 13/2011. 26 s.
- Kärhä, K., Mutikainen, A. & Hautala, A. 2010. Vermeer HG6000 terminaalihaketuksessa ja -murskauksessa. Metsätehon tulosalvosarja 15/2010. 37 s.
- Kärhä, K., Hautala, A. & Mutikainen, A. 2011a. Jenz HEM 581 DQ hakkuutähteiden ja pienpuun tienvarsihaketuksessa. Metsätehon tulosalvosarja 5/2011. 49 s.
- Kärhä, K., Hautala, A. & Mutikainen, A. 2011b. Heinola 1310 ES hakkuutähteiden ja pienpuun tienvarsihaketuksessa. Metsätehon tulosalvosarja 9/2011. 33 s.
- Laitila, J. & Väätäinen, K. 2011. Kokopuun ja rangan autokuljetus ja haketuottavuus. Metsätieteen aikakauskirja 2/2011: 107–126.

- Laitila, J., Leinonen, A., Flyktman, M., Virkkunen, M. & Asikainen, A. 2010. Metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan haasteet ja kehittämistarpeet. VTT tiedotteita (2564). 143 s.
- Laitila, J., Asikainen, A. & Pasanen, K. 2012. Hankinnan teknologia, logistiikka ja hiilidioksidipäästöt. Julkaisussa: Asikainen, A., Ilvesniemi, H., Sievänen, R., Vapaavuori, E. & Muhonen, T. (toim.). Bioenergia, ilmastonmuutos ja Suomen metsät. Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 240: 171–184.
- Lassi, U. & Wikman, B. (toim.). 2011. Biomassan kaasutus sähköksi, lämmöksi ja biopolttoaineiksi. HighBio-projektijulkaisu. Jyväskylän yliopisto, Kokkolan yliopistokeskus Chydenius. 103 s.
- Magangnotti, N. & Spinelli, R. 2011. Determining the effect of feedstock type on chipping productivity, fuel consumption and quality output. Proceedings of the Formec Conference “Pushing the boundaries with research and innovation in forest engineering”, Graz, Austria. 8 s.
- Mälkki, H. & Virtanen, Y. 2003. Selected emissions and efficiencies of energy systems based on logging and sawmill residues. Biomass & Bioenergy 24(4–5): 321–327.
- Nati, C., Spinelli, R. & Fabbri, P. 2010. Wood chips size distribution in relation to blade wear and screen use. Biomass and Bioenergy 34(5): 583–587.
- Nati, C., Eliasson, L. & Spinelli, L. 2011. Fuel consumption and productivity for two tractor-mounted chippers in relation to knife wear and raw material. Formec 2011 Proceedings Pushing the boundaries with research and innovation in forest engineering. October 9–13, 2011, Graz. 8 s.
- Neste Oil. 2013. [www-sivusto]. Saatavissa: https://www.neste.fi/temperatilaus_yritys.aspx?path=2589%2c2655%2c2710%2c2772%2c2781%2c2629. [Viitattu 8.1.2013].
- Polttoaineiden lämpöarvot, hyötysuhteet ja hiilidioksidin ominaispäästöt sekä hinnat. 2010. [Verkkodokumentti]. Motiva Oy. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/3193/Polttoaineiden_lampoarvot_hyotysuhteet_ja_hiilidioksidin_ominaispaastokertoimet_seka_energianhinnat_19042010.pdf. [Viitattu 25.2.2013]
- Pajuoja, H., Kärhä, K. & Mutikainen, A. 2011. Kesla C645A pienpuun tienvarsihaketuksessa. Metsätehon tulosalvosarja 17/2011. 24 s.
- Pirraglia, A., Gonzalez, R., Denig, J., Saloni, D. & Wright, J. 2012. Assessment of the most adequate pre-treatments and woody biomass sources intended for direct co-firing in the U.S. BioResources 7(4): 4817–4842.
- Puuliitto. 2011. [Verkkodokumentti]. Metsäkonealan työsopimuksen tarkistuspyytäkirja. http://www.puuliitto.fi/files/2323/METSAKONE_tarkistuspyotakirja_18112011.pdf. [Viitattu 8.1.2013].
- Ranta, T. 2002. Metsähakkeen autokuljetuksen ja kuljetustalouden kehittäminen. Esitys puuenergian teknologiaohjelman tutkijaseminaarissa Pietarsaareissa 10.–12.2002. VTT Prosessit. 26 s.
- Rinne, S. 2010. Energiapuun haketuksen ja murskauksen kustannukset. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, energiatekniikan osasto, energiantuotannon ja ympäristötekniikan opintosuunta. 102 s.
- Röser, D. 2012. Operational efficiency of forest energy supply chains in different operational environments. Dissertationes Forestales 146. 83 s.
- Röser, D., Mola-Yudego, B., Prinz, R., Emer, B. & Sikanen, L. 2012. Chipping operations in different operational environments. Silva Fennica 46(2): 275–286.

- Saastamoinen, J., Aho, M., Moilanen, A., Holst Sørensen, L., Clausen, S. & Berg, M. 2010. Burnout of pulverised biomass particles in large scale boiler – Single particle model approach. *Biomass and Bioenergy* 34(5): 728–736.
- SFS-EN 14918:en. 2010. Solid biofuels. Determination of calorific value. Standardi, Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 61 s.
- Spinelli, R. & Hartsough, B. 2001. A survey of Italian chipping operations. *Biomass and Bioenergy* 21(6): 433–444.
- Spinelli, R., Hartsough, B.R., Magagnotti, N. 2005. Testing mobile chippers for chip size distribution. *International Journal of Forest Engineering* 16: 29–35.
- Spinelli, R., Magagnotti, N., Paletto, G. & Preti, C. 2011. Determining the impact of some wood characteristics on the performance of a mobile chipper. *Silva Fennica* 45(1): 86–95.
- Spinelli, R., Cavallo, E., Facello, A., Magagnotti, N., Nati, C. & Paletto, C. 2012. Performance and energy efficiency of alternative comminution principles: Chipping versus grinding. *Biomass and Bioenergy* 27(4): 393–400.
- Strandström, M. 2012. Metsähakkeen tuotantoketjut Suomessa vuonna 2011. Metsätehon tulosalvosarja 4/2012. 24 s. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja_2012_04_Metsahakkeen_tuotantoketjut_2011_ms.pdf
- Sundberg, U. & Silversides, C.R. 1988. Operational efficiency in forestry. Volume 1: Analysis. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 219 s.
- Suomen Pankki. 2013. [www-sivusto]. Suomen rahalaitosten uudet euromääräiset lainasopimukset euroalueen yrityksille lainan koon mukaan. Saatavissa: http://www.suomenpankki.fi/fi/tilastot/tase_ja_korko/Pages/tilastot_rahalaitosten_lainat_talletukset_ja_korot_lainat_lainat_uudet_sopimukset_yrityksille_fi.aspx. [Viitattu 8.1.2013].
- Tilastokeskus. 2012. [www-sivusto]. Metsäalan kone- ja autokustannusindeksit (2010=100), marraskuu 2012. 18.12.2012. [Viitattu 18.12.2012].
- Tilastokeskus. 2013. [www-sivusto]. PX-Web-tietokannat. Polttonesteiden kuluttajahinnat. Saatavissa: http://pxweb2.stat.fi/database/StatFin/ene/ehi/ehi_fi.asp. [Viitattu 11.2.2013].