

# **KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU**

Metsätalouden koulutusohjelma

Atte Salojärvi

**HAKKUREIDEN TUOTTAVUUDEN VERTAILU TUOTETTAESSA KAHDEN ERI  
PALAKOON HAKETTA**

Opinnäytetyö  
05.2013



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Toukokuu 2013**  
**Metsätalouden koulutusohjelma**

Sirkkalantie 12 A  
80100 JOENSUU  
(013) 260 6900

Tekijä(t)  
Atte Salojärvi

Hakkureiden tuottavuuden vertailu tuotettaessa kahden eri palakoon haketta

Toimeksiantaja  
Simo Paukkunen, Karelia ammattikorkeakoulu

**Tiivistelmä**

Opinnäytetyössä tutkittiin haketuksen tuottavuuden muutosta tuotettaessa kahta eri palakokoja-kauman haketta samasta raaka-aineesta. Tutkimuksessa käytettiin laikka- ja kartioruuvihakkuria. Tuottavuuden lisäksi tutkimuksessa seurattiin tuotetun hakkeen palakokoa, kosteusprosenttia ja irtotiheyttä. Tutkimusaineisto kerättiin maastomittauksin, aikatutkimuksella selvitettiin tuotosta ja hakenäyteistä todennettiin hakkeen laatu. Hakkurityyppien välillä tuloksia ei vertailtu.


Kartioruuvihakkurilla tuotos laski 32 prosenttia, kun siirryttiin hakettamaan terän HP-21 1/104 sijaan terällä HP-21 3/104. Samalla palakoon mediaani laski 14,05 mm:stä 8,25 mm:iin. Laikka-hakkurilla 20 mm:n terävälillä tuotos oli 19,97 i-m<sup>3</sup>/h ja palakoon mediaani oli 6,63 mm. Tulosten perusteella haketuksen tuottavuus laskee noin kolmanneksella palakoon pienentyessä puoleen.

Jatkotutkimuksissa tärkeää olisi saada uudet mittaukset kullakin hakkurityypillä tulosten yleistettävyyden parantamiseksi. Jatkotutkimuksissa tärkeää on raaka-aineen samankaltaisuus, jolloin eri hakkurityypit ovat jollain tasolla vertailtavissa keskenään.

Kieli  
suomi

Sivuja 23  
Liitteet 6  
Liitesivumäärä 6

Asiasanat  
Hake, haketus, aikatutkimus, laikkahakkuri, kartioruuvihakkuri

	<p><b>THESIS</b>  <b>May 2013</b>  <b>Degree Programme in Forestry</b>  Sirkkalantie 12 A  80100 JOENSUU  (013) 260 6900</p>
<p>Author(s)  Atte Salojärvi</p>	
<p>Title  Comparison of Chipper Productivity When Producing Chips of Two Different Sizes</p> <p>Commissioned by  Simo Paukkunen, Karelia university of applied sciences</p>	
<p>Abstract</p> <p>This thesis studied chipping productivity chipping and its change when producing chips of two different sizes from the same raw material. Conescrew chipper and disk chipper were used in this study. Also chip size, moisture and bulk density of the produced chips were followed. Research data was collected in field measurements, time study was used to measure productivity and samples from the chips were used to verify the quality of the chips. Results between different types of chippers were not compared.</p> <p>With conescrew chipper the productivity declined 32 per cent, when changing from HP-21 1/104 blade to HP-21 3/104. Similarly average size of chips changed from 14.05 mm to 8.25 mm. With disk chipper when the space between blades was 20 mm, the output was 19.97 loose m<sup>3</sup>/h and the average size of chips was 6.63 mm. Based on this study output decreases by one third when the chip size is reduced to half.</p> <p>In further research it would be important to have more measurements with each chipper type to increase uses of the results. In further researches it is important that the raw material is similar so that different chipper types can be compared.</p>	
<p>Language  Finnish</p>	<p>Pages 23  Appendices 6  Pages of Appendices 6</p>
<p>Keywords</p> <p>Chips, chipping, time study, disk chipper, conescrew chipper</p>	

# Sisältö

Tiivistelmä

Abstract

1 Johdanto .....	5
2 Haketus ja hakkurityypit .....	6
2.1 Haketus osana puuenergian hankintaa .....	6
2.2 Hakkurityypit .....	6
2.2.1 Kartioruuvihakkuri.....	7
2.2.2 Rumpuhakkuri .....	7
2.2.3 Laikkahakkuri .....	8
3 Hakkeen laatu ja siihen vaikuttavat tekijät.....	9
4 Haketuksen tuottavuuteen vaikuttavat tekijät .....	11
5 Tutkimusmenetelmät ja standardit .....	12
5.1 Aikatutkimus .....	12
5.2 Palakoon määrittäminen.....	12
5.3 Kosteusprosentti.....	13
5.4 Tiheys ja tilavuus .....	13
6 Tutkimuksen tavoite.....	14
7 Tutkimusmenetelmät ja -aineisto .....	14
7.1 Tutkimusmenetelmät.....	14
7.2 Aineisto.....	15
8 Tulokset.....	17
8.1 Tuotos.....	17
8.2 Laatu.....	17
8.2.1 Laikkahakkurilla tuotettu hake .....	17
8.2.2 Kartioruuvihakkurilla tuotettu hake.....	19
9 Johtopäätökset .....	20
10 Pohdinta .....	21
Lähteet.....	23

Liitteet

Liite 1 Puuhakkeen standardin SFS-EN 14961-1 mukainen laatuluokitus

Liite 2 Puun yleisiä arvoja

Liite 3 Puun yleisiä kuiva-tuoretiheyksiä (kg/m<sup>3</sup>)

Liite 4 laikkahakkurin tekniset tiedot

Liite 5 kartioruuvihakkurin tekniset tiedot

Liite 6 Mediaaniarvon määrittäminen standardin SFS-EN 15149-1 mukaan

## 1 Johdanto

Hakkeen käytön lisääntyessä myös haketta käyttävät laitokset ovat monipuolistuneet. Enää haketta ei käytetä vain suurissa voimalaitoksissa, joille raaka-aineen laadun epätasaisuus ei ole ongelma, vaan myös pienempiä kunnallisia lämpövoimaloita ja maatila-kohtaisia käyttöpaikkoja syntyy lisää. Näillä pienillä käyttöpaikoilla laadun tasaisuus on vaatimus lämmitysjärjestelmän oikean toiminnan takaamiseksi. On syntynyt tarve tutkia, kuinka nouseviin laatuvaatimuksiin voidaan hakkeentuotannossa vastata tehokkaasti. Tuotantokaluston jatkuva kehittyminen ja hakkurityyppien jakautuminen kolmeen malliin luovat myös tarvetta eri hakkurityyppien haketusjäljen vertailulle.

Opinnäytetyön tavoitteena oli vertailla rumpu- ja laikkahakkurilla hakkurintuotoksia ja hakkeen laatua, kun käytettiin kahta eri seulakokoa. Kartioruuvihakkurilla palakoon muutos syntyi vaihtamalla hakkurin teränä toimiva ruuvi. Tavoitteena oli tuottaa eri hakkureilla palakooltaan kahta erilaista haketta ja selvittää haketuksen tuntituotoksia ja tuotoksen muutoksia, jotka johtuisivat palakoon muutoksesta.

Tutkimukseen päätettiin ottaa kaikki kolme yleisintä hakkurityyppiä, laikka-, rumpu- ja kartioruuvihakkuri. Tutkimukseen osallistuvilta kolmella hakeyrittäjällä oli sopivien hakkureiden lisäksi aiempaa kokemusta tutkimuksen tekemisestä haketuksen yhteydessä.

## 2 Haketus ja hakkurityypit

### 2.1 Haketus osana puuenergian hankintaa

Vuonna 2012 metsähake oli tärkein puupolttoaine 7,6 miljoonan kiintokuutiometrin kulutuksellaan, tässä kasvua edelliseen vuoteen on 11 prosenttia. Pientaloissa käytetty metsähake lisättynä kulutus oli 8,3 miljoonaa kiintokuutiometriä. Kiinteiden puupolttoaineiden kokonaiskulutus oli 17,8 miljoonaa kiintokuutiometriä. (Ylitalo 2013.)

Metsähake on yleisnimitys polttoaineelle, joka on valmistettu rangoista, kokopuusta tai hakkuutähteestä. Metsähake voidaan jakaa tarkemmin luokkiin sen perusteella, mistä hake on tuotettu; kokopuuhake on tuotettu karsimattomasta kokopuusta, rankahake karsitusta runkopuusta, hakkuutähdehake ja metsätähdehake on valmistettu teollisuuden menevän runkopuun hakkuun yhteydessä syntyvästä hakkuutähteestä, metsätähdehakeessa voi kuitenkin olla myös viherainesta. (Alakangas 2000, 17.) Vuonna 2012 tärkeimmät metsähakkeen raaka-aineet olivat: pienpuu (karsittu ranka, karsimaton pienpuu, kuitupuu), hakkuutähde, kannot ja juurakot sekä järeä runkopuu (Ylitalo 2013).

Haketuksessa on neljä erilaista haketusjärjestelmää riippuen siitä, missä vaiheessa haketus tapahtuu. Palstahaketuksessa, joka on nykyään harvinaista, haketus tehdään suoraan palstalla, jossa hakkuukin tehtiin. Hakkuri hakettaa suoraan hakkurin päällä olevaan säiliöön, jossa hake kuljetaan tienvarteen hakeauton kuljetettavaksi käyttöpaikalle. Välivarasto haketuksessa raaka-aine kuljetetaan hakkuualalta tienvarteen, jossa haketus tapahtuu. Käyttöpaikkajärjestelmässä raaka-aine toimitetaan esimerkiksi paalattuna käyttöpaikalle, jossa haketus tehdään keskitetysti suuri tehoisella hakkurilla. Neljäs järjestelmä on käyttää haketuspaikkana terminaalia, jonne raaka-aine toimitetaan ja josta voidaan tarpeen mukaan lähettää haketta voimalaitoksille. (Hakkila 2004, 39–48.)

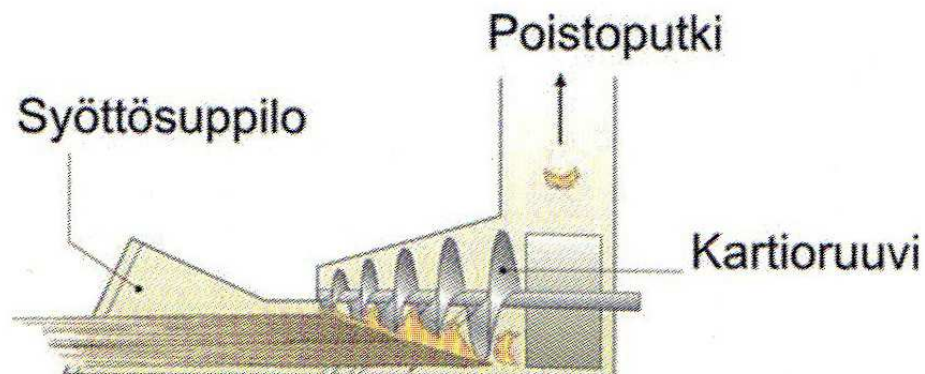
### 2.2 Hakkurityypit

Suomessa käytetään tällä hetkellä pääasiassa kolmea hakkurityyppiä, jotka ovat kartioruuvihakkuri, rumpuhakkuri ja laikkahakkuri. Suuremmissa kuorma-autoalustaisissa hakkureissa rumpuhakkuri on yleisin, ja pienemmissä tilakoon hakkureissa suosituin on laikkahakkuri. Kartioruuvihakkuri on näistä kolmesta vähiten käytetty. Tyypillisesti hakkurin voimanlähteenä on sama kuorma-auto tai traktori. Useimmissa hakkureissa on

syöttöjärjestelmä, joka estää hakkurin tukkeutumisen pysäyttämällä syötön hakkurin kierrosluvun laskiessa. Tämä järjestelmä parantaa myös hakkurin tuottavuutta ja hakkeen laatua, sekä mahdollistaa puun taaksepäin syötön ongelmatilanteissa. (Knuuttila 2003, 70–71.)

### 2.2.1 Kartioruuvihakkuri

Kartioruuvihakkuri on perusajatukseltaan yksinkertainen, sillä haketuksen hoitaa vauhtipyörään kiinnitetty ruuvi, joka pyöriessään hakettaa puun ja samalla vetää puuta sisäänpäin. Tuottavuutta voidaan parantaa erilaisilla syöttövälineillä kuten syöttörullilla. Ruuvihakkurin suuri ja raskas vauhtipyörä tasaa moottoriin kohdistuvaa raskuutta. Kuvassa 1 on esitetty kartioruuvihakkurin toimintaperiaate. Yksinkertaisen toimintaperiaatteen ansiosta hakkuri on toimintavarma ja ainoa huoltoa vaativa osa on teroitusta vaativa kartioterä. Parhaiten ruuvihakkuri soveltuu karsitun rangan ja sahauspintojen haketukseen. (Knuuttila 2003, 72.) Kartioruuvihakkurin tuntituotos vaihtelee mallista riippuen välillä 6-155 m<sup>3</sup>/h (Puuenergia 2012).

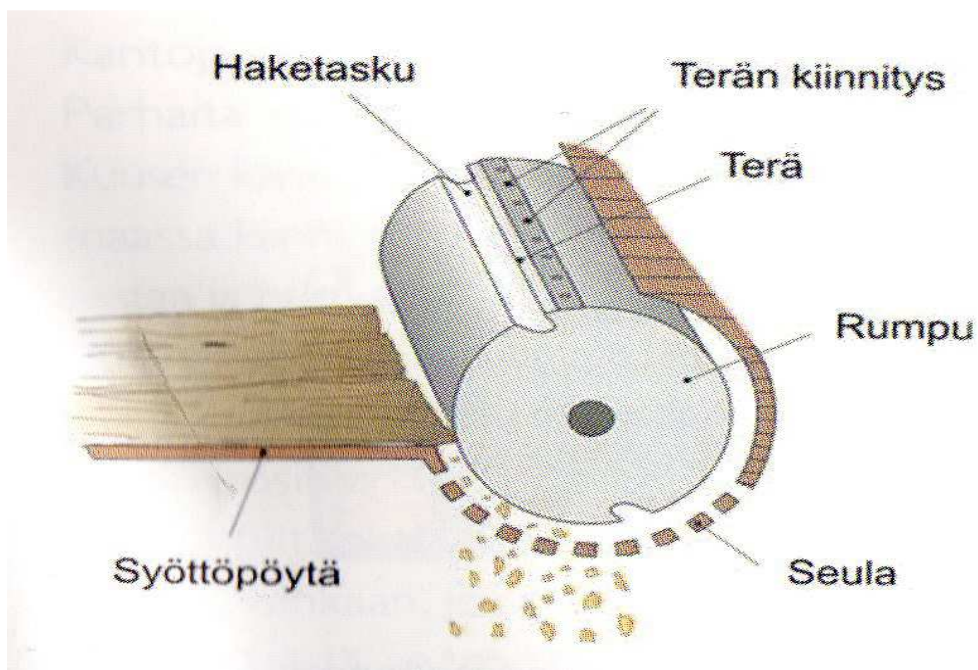


Kuva 1. Kartioruuvihakkurin toimintaperiaate (Knuuttila 2003, 72).

### 2.2.2 Rumpuhakkuri

Rumpuhakkurin laaja raaka-ainepohja selittää hakkurityypin suosiota suuren kokoluokan hakkureissa. Rumpuhakkurilla voidaankin hakettaa kestävämmän teräskenteen ansiosta epäpuhtaampia eriä, kuten hakkuutähdettä. (Laatuhakkeen tuotanto-opas 2010, 28.) Rumpuhakkuri on kuorma-auton alustalle kiinnitettynä laajalla alueella toimivan hakeyrittäjän työkalu (Knuuttila 2003, 71).

Rumpuhakkurissa on lieriömäiseen rumpuun kiinnitetty ulkokehälle mallista riippuen 2-20 terää, jotka hakettavat syöttömekanismin kuljettaman puuaineksen. Kuvassa 2 on esitettyä yksinkertaistettu malli hakkurin toimintaperiaatteessa. Raaka-aineen syöttö hakkurin terille tapahtuu, joko ketjukuljettimella tai telamatolla, näin voidaan varmistaa puuaineen tasainen syöttö terille. Rumpuhakkurissa käytetään yleensä seulaa, joka palauttaa liian suuret hakekappaleet takaisin hakkuriin ja näin vähentää rumpuhakkurille tyypillistä hakkeen tikkumaisuutta parantaen hakkeen laatua. (Laatuhakkeen tuotantopas 2010, 29.) Rumpuhakkureiden tuotos vaihtelee mallista riippuen välillä 6-400 m<sup>3</sup>/h, jossa 400 m<sup>3</sup> tuotos on käyttöpaikalle sijoitetulla kiinteällä hakkurilla. (Puuenergia 2012.)



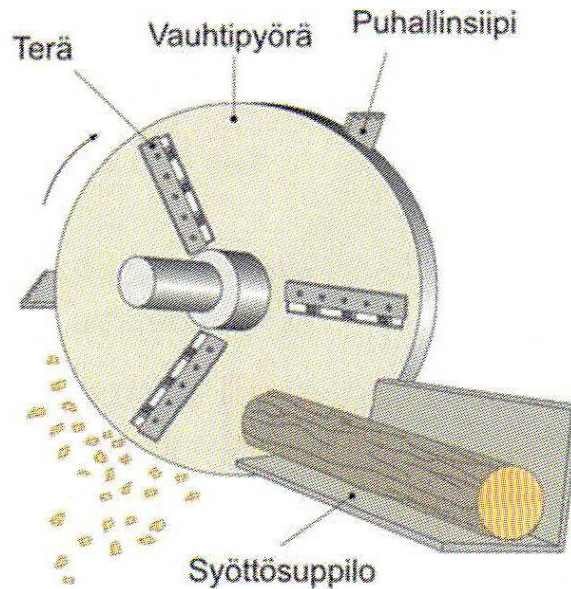
Kuva 2. Rumpuhakkurin toimintaperiaate (Knuutila 2003, 72).

### 2.2.3 Laikkahakkuri

Laikkahakkuri on itse syöttävä, joten pienimmissä hakkureissa ei tarvita syöttölaitetta. Itse syötön mahdollistaa syöttösuppilo, joka ohjaa puun vinosti haketusterällä, joka hakettaessaan vetää puuta hakkurin sisään. Hakkurissa on mallista riippuen 2-6 terää kiinnitettynä säteensuuntaisesti raskaaseen vauhtipyörään, kuvan 3 esimerkissä on 3 terää kiinnitetty vauhtipyörään. Tämä terärakenne on herkkä kiville ja muille epäpuhtauksille. Suuremmissa laikkahakkureissa käytetään syöttörullia, jotka ohjaavat puuaineksen oikeassa kulmassa terille ja näin ollen tasaavat moottorin kuormitusta ja parantavat hakkeen laatua. Hakkeen laatua voidaan parantaa myös asentamalla hakkuriin erillinen risu-



terä ja seula. Palakokoa voidaan muuttaa säätämällä hakkurin terien ja vastaterien etäisyyttä. (Knuuttila 2003, 71.) Laikkahakkureiden tuotos vaihtelee hakkurin koon mukaan välillä 5-100 m<sup>3</sup>/h (Farmi Forest 2013).



Kuva 3. Laikkahakkurin toimintaperiaate (Knuuttila 2003, 71).

### 3 Hakkeen laatu ja siihen vaikuttavat tekijät

Hakkeen tärkeimmät laatuominaisuudet ovat, palakoko, kosteus, irtotiheys ja tehollinen lämpöarvo (Kokkonen & Lappalainen 2005, 30). Näihin arvoihin perustuukin vuonna 1998 käyttöön otettu puupolttoaineiden kuvan 4 mukainen laatuluokitus. Kuvan 4 hake-luokkaan kuuluvat metsähakkeet, teollisuuden tuottamat polttohakkeet ja erilaiset polttoon valmistetut karkeat murskeet. Liitteessä yksi on standardin SFS-EN 14961-1, kiinteät polttoaineet, polttoaineen laatuvaatimukset ja -luokat, osa 1 yleiset vaatimukset, mukainen puuhakkeen laatuluokitustaulukko. Laatuluokituksen tärkein tehtävä on luoda keinot määrittää puupolttoaineen laatu ja energiamäärä yksiselitteisesti. Luokitus helpottaa myös osaltaan kaupankäyntiä ja parantaa hakkeen laatua sitouttamalla hakkeen tuottaja tiettyyn laatuluokkaan. (Knuuttila 2003, 47-49.)

<b>Energiatiheys, MWh/i-m<sup>3</sup>, saapumistilassa vähintään</b>			
	Hake	Puru	Kuori
E1	0,9	0,7	0,7
E2	0,8	0,6	0,6
E3	0,7	0,5	0,5
E4	0,6	0,4	0,4

<b>Kosteuspitoisuus, p-%, enintään</b>			
	Hake	Puru	Kuori
K1	40	30	40
K2	50	50	50
K3	60	60	60
K4	65	65	65

<b>Palakoko, 95 % &lt; mm *</b>			
	Hake	Puru	Kuori
P1	30	5	60
P2	45	10	100
P3	60	20	200
P4	100	30	Repimätön

\* vähintään 95 % polttoaineesta läpäisee taulukosta valitun seulakoon

Kuva 4. Puupolttoaineen laatuluokitus (Knuutila 2003, 49).

Hakkurin mallilla ja tyyppillä on suuri vaikutus tuotettavan hakkeen palakokojakaumaan. Tylsillä terillä tuotettu hake on huonolaatuista ja se sisältää paljon pitkiä tikkuja (Metsäkeskukset 2010, 31). Laatua voidaan parantaa käyttämällä hakkurissa seulaa, joka palauttaa liian suuret kappaleet takaisin haketettaviksi. Haketettavalla raaka-aineella on myös suuri merkitys tuotettuun palakokoon. Metsätähdehakeesta tuotetussa hakkeessa hyvin pieniä jakeita on enemmän ja tikkujen osuus on suurempi raaka-aineen epätasaisuuden vuoksi. Sahauksessa jääneitä pintoja hakettaessa tasalaatuisuus on taas helpompi saavuttaa. Raaka-aineen kosteusprosentti tai jäätyneisyys vaikuttavat myös palakokojakaumaan. (Asp, Etelätalo 2012.) Hakkeen palakoon tasaisuus on erityisen tärkeää pienissä laitoksissa. Palan tavoitepituus on yleensä 30–40 mm, tikut ja hienoaines taas aiheuttavat ongelmia kuljettimilla (Knuutila 2003, 31).

Tuoreen puun kosteus on puulajista ja vuodenajasta riippuen noin 40–60 %. Pienillä alle 1 MW:n laitoksilla hakkeen kosteus ei saisi ylittää 40 %, suuremmat laitokset voivat polttaa kosteampaakin haketta. Varastoitaessa hake on myös vaarassa homehtua ja jäätyä, jos sen kosteusprosentti on yli 25. (Knuutila 2003, 31.) Kostean puun lämpöarvo

on heikompi kuin kuivan, koska syttyäkseen puusta haihtuu ensin siihen sitoutunut vesi ja tämä haihtuminen kuluttaa palamisessa vapautuvaa energiaa. Siksi haketta kuivataan ennakkoon varastopaikoilla peitetyissä pinoissa auringon ja tuulen vaikutuksen avulla.

Epätasainen palakokojakauma nostaa irtotiheyttä pienten hakekappaleiden täyttäessä suurempien kappaleiden väliin jäävät aukot. Jos hake koostuu litteistä palasista, irtotiheys taas laskee. (Kokkonen & Lappalainen 2005, 30.) Irtotiheyteen vaikuttaa myös miten hakekuorma täytetään, hakkeen puhaltaminen ylhäältä kuormaan nostaa tiheyttä ja mitä suuremmalla voimalla hake puhalletaan kuormaan, sitä suurempi tiheys on. Hakekuorman tiheys kasvaa myös kuljetuksessa riippuen alkutilanteen tiheydestä, kuljetuskalustosta, matkan pituudesta, tien kunnosta ja kuorman jääytymisestä. (Kokkonen & Lappalainen 2005, 30.)

Tehollinen lämpöarvo osoittaa palamisessa vapautuvan kokonaislämpömäärän, josta on kuitenkin vähennetty veden höyrystymiseen kuluva energia, niin että poistuvan höyryn lämpötilan oletetaan olevan sama kuin alkuperäisen raaka-aineen. Laskennassa huomioidaan myös puussa olevan vedyn määrä sitoutuneen veden lisäksi, sillä poltettaessa vety muuttuu vedeksi ja näin ollen palaessa vedeksi muuttunut vety joudutaan haihduttamaan. (Knuuttila 2003, 26–27.)

#### **4 Haketuksen tuottavuuteen vaikuttavat tekijät**

Hakkurin ominaisuudet, erityisesti koko vaikuttavat hakkurin tuotokseen (Knuuttila 2003, 67). Toinen erittäin merkittävä tekijä tuotoksen kannalta on raaka-aine, esimerkiksi Laitilan ja Väätäisen (2011, 118) tutkimuksessa rankahaketta pystyttiin tuottamaan 67 m<sup>3</sup>/h, kun kokopuu hakkeen vastaava tuotos oli vain 55 m<sup>3</sup>/h.

Raaka-aineen siirto syöttökuljettimelle kuormaimella vaikuttaa tuottavuuteen. Siirtoon taas vaikuttaa raaka-ainekasan jäätyneisyys ja puuaineksen toisiinsa tarttuminen, joka lisää raaka-aineen siirtoon käytettävän kuormaimen rasitusta ja laskee kourataakkojen kokoa. Tästä johtuen kourataakan koko on vain noin puolet tai kaksi kolmasosaa mahdollisesta kuormaimen maksiminostokapasiteetista. Siirtoon kuluvaan aikaan vaikuttavat myös kuljettajan taidot, kasan laatu ja sijainti hakkuriin nähden. (Rinne 2010, 34–35.)

Hakkurin syöttölaiteen vaikutus tuottavuuteen riippuu siitä kuinka hyvin syötetystä raaka-aineesta saadaan ote ja kuinka tehokkaasti se saadaan syötettyä hakkurin terille. Varsinainen haketus suoritetaan asettaen kuitenkin usein rajoituksia syötön nopeudelle. Haketuksen tuottavuuteen vaikuttavat: moottoriteho, terien kunto (tylsät terät vaativat enemmän moottoritehoja), käytetty puulaji ja sen leikkauslujuus tai hakkurista ei mahdu enempää haketta kerralla läpi. Harvoissa tilanteissa myös valmiin hakkeen kuljetin voi vaikuttaa tuottavuuteen esimerkiksi haketorven tukkeutuessa. (Rinne 2010, 34–37.)

Haketuksen tuottavuuteen vaikuttavat Laitilan ja Väätäisen (2011, 118) mukaan hakkurin työpistesierrot ja haketukseen valmistautuminen. Tuottavuuteen vaikuttaa myös haketuspaikan varasto- ja työmaajärjestelyt (Knuutila 2003, 67).

## **5 Tutkimusmenetelmät ja standardit**

### **5.1 Aikatutkimus**

Aikatutkimus on tutkimusmenetelmä, jolla seurataan eri työvaiheisiin kuluvaa aikaa, sekä tutkitaan tuottavuutta tiettyä aikayksikköä useimmiten tuntia kohti. Laitila ja Väätäinen (2011, 110–111) ovat jakaneet aikatutkimuksessaan haketuksen eri työvaiheisiin, ja näihin työvaiheisiin kulunutta aikaa tutkittiin ja verrattiin työsuoritukseen kokonaisuudessa kuluneeseen aikaan. Asikainen, Ranta, Laitila ja Hämäläinen (2001, 13,37) ovat aikatutkimuksen pohjalta luoneet myös ajanmenekkiprojektioita metsäkuljetukselle ja palstahaketukselle. Aikatutkimuksessa koneenkuljettajan kokemuksen merkitys saattaa olla huomattava. Aikatutkimus toteutetaan useimmiten kuvaamalla suorite videolle, jolta suoritetta on helppo tutkia jälkikäteen tai tallentamalla työvaiheiden ajanmenekit maastotietokoneelle, kuten Laitila ja Väätäinen (2011, 111) toteuttavat aikatutkimuksen.

### **5.2 Palakoon määrittäminen**

Tässä tutkimuksessa suoritettavissa mittauksissa noudatettiin standardoituja mittausmenetelmiä palakoon, kosteusprosentin ja irtotiheyden määrittämisessä. Standardi SFS-EN 15149-1 (palakokojakauman määrittäminen kiinteistä biopolttoaineista osassa 1 täryseulamenetelmällä yli 1 mm ja sitä suurempien seulausluokkien, kertoo kuinka palakoon määrittäminen tulee tehdä). Tätä mittausmenetelmää käytetään palamaisilla, puristamattomilla poltto-

aineilla, kuten hakkeella. Hakkeella voidaan käyttää seuloja, joiden läpimitat ovat 3,15 mm, 8,0 mm, 16 mm, 31,5 mm, 45 mm ja 63 mm. Seulomisliikkeen tulee olla vaakasuorasti täryttävä ja seulontaa jatketaan 15 minuuttia. Näyte, jota seulotaan, pitää olla alle 20 %:n kosteuspitoisuudessa, tämä estää kappaleiden tarttumisen toisiinsa. Näytteen minimikoko on 8 litraa. Seulotusta näytteestä punnitaan 0,1 gramman tarkkuudella jokaiselle seulalle jäänyt aines. Mikäli seulaan on tarttunut kappaleita ne punnitaan kuin ne eivät olisi läpäisseet seula. Saadut tulokset ilmoitetaan prosentteina kokonaismassasta ja mediaaniarvo määritetään kumulatiivisesti 50 %:n kohdalta. Liitteessä viisi on standardin esimerkkilasku mediaaniarvon määrittämisestä.

### 5.3 Kosteusprosentti

Kosteusprosentin määrittämisessä on käytetty Alakankaan (2000, 30–31) seuraavasti kuvaamaa käytäntöä. Määrittämisessä käytettävien näytteiden koko riippuu punnituksen tarkkuudesta, mikäli tarkkuus on 0,01g tarvitaan vähintään kaksi 30–100g:n painoista näytettä tai jos mittaustarkkuus on 0,1g tarvitaan kaksi 200–400g:n suuruista näytettä. Näytteitä kuivataan ilmastoidussa lämpökaapissa  $105 \pm 2$  °C lämpötilassa vakio painoon. Jos näyte on aseteltu uuniin niin että se on enintään 30mm paksuisena kerroksena 16 tuntia kuivatusta riittää, näytettä ei kuitenkaan saa kuivata yli 24 tuntia. Kuivauksen jälkeen näytteet jäädytetään eksikaattorissa huoneen lämpöön, jos eksikaattoria ei ole, voidaan näytteet punnita välittömästi lämpökaapistä ottamisen jälkeen kuumina. Kosteusprosentti lasketaan alla olevan kaavan mukaan.

$$X = \frac{m_u - m_o}{m_u} * 100$$

, jossa X on kosteusprosentti märkäpainosta  
 $m_u$  on määrittämyksen massa  
 $m_o$  on absoluuttisen kuivannäytteen massa

### 5.4 Tiheys ja tilavuus

Irtotiheys voidaan määrittää laatikkomenetelmällä, jossa mittalaatikko, jonka tilavuus tunnetaan, täytetään hakkeella ja punnitaan. Laatikkomenetelmä antaa pienempiä irtotiheyden arvoja kuin, jos tiheys mitattaisiin punnitsemalla suurempi kuorma ja jakamalla

se kuormatilan tilavuudella. Tilavuus voidaan määrittää ennen kuorman purkamista toteamalla kuormatilan täyttöaste tai muulla vastaavalla ajoneuvossa tapahtuvalla mittauksella. (Alakangas 2000, 32–33.)

## **6 Tutkimuksen tavoite**

Opinnäytetyössä selvitettiin tuotetun hakkeen palakoon muutoksen vaikutusta hakkurin tuotokseen. Tutkimukseen valittiin kaikki kolme yleisintä hakkurityyppiä: laikka-, rumpu-, ja kartioruuvihakkuri. Oletuksena oli, että palakooltaan pienemmän hakkeen tuottaminen olisi hitaampaa kuin karkeamman hakkeen tuottaminen samalla hakkurilla samasta raaka-aineesta. Palakokoa säädeltiin kartioruuvihakkurilla vaihtamalla terää, jolloin ruuvin nousukulma muuttui kuvan 5 mukaan. Laikkahakkurilla palakokoa säädellään teräväliä muuttamalla. Rumpuhakkurilla mittauksia ei päästy suorittamaan. Rumpuhakkurilla palakoon muutos olisi toteutettu vaihtamalla hakkurin seula.

Haketuksesta laskettiin tuottavuus ( $\text{t}\cdot\text{m}^3/\text{h}$ ). Tuottavuuden määrittämisen lisäksi mitattiin eri hakkureiden palakoko seulomalla hakenäytteet. Hakkeen tarkemman laadun määrittämiseksi ja kuvattavuuden parantamiseksi hakkeesta mitattiin myös kosteus ja irtotiheys.

## **7 Tutkimusmenetelmät ja -aineisto**

### **7.1 Tutkimusmenetelmät**

Tutkimuksessa seurattiin haketuksen tuottavuutta eri seuloilla ja eri hakkureilla aikatuoksimuksen avulla. Hakkureissa käytettiin kahta eri palakokoa tuottavia asetuksia tuottavuudessa tapahtuvien muutosten tutkimiseksi. Aikatutkimus toteutettiin videoimalla haketussuoritus ja mittaamalla vaunun täyttämiseen kulunut aika. Ajanotto alkoi, kun ensimmäiset hakepalat tulivat hakkurin torvesta ja loppui viimeisiin paloihin. Vaunun, johon haketettiin, tilavuus mitattiin haketuspaikalla, sillä vaunujen tilavuudet vaihtelivat. Videokameran mahdollisten toimintahäiriöiden vuoksi ajanotto varmistettiin myös käsiajanotolla.

Hakkeesta otettiin näytteet tuotetun laadun toteamiseksi. Hakenäyte otettiin kasasta, johon hakekuorma purettiin mahdollisimman edustavan näytteen saamiseksi. Kasalta näyte kerättiin 65 litran saaviin, joka punnittiin koukkuvaa'alla irtotiheyden laskemista varten. Punnituksen jälkeen saaviin kerätystä hakkeesta otettiin rinnakkaisnäytteet folioastioihin kosteusprosentin määrittämistä varten. Kosteusprosentin määrittäminen tehtiin näytteenoton jälkeen kappaleessa 2.6.1 kuvatulla tavalla. Kosteusmittausten jälkeen valmiiksi kuivattu hake seulottiin palakokojakauman määrittämistä varten. Jotta saatiin riittävän iso erä seulontaa varten, kuivattiin saavista lisää haketta. Seulonta poikkesi standardista siten, että käytettävissä oli maalajien seulontaan tarkoitettu seulasarja, jossa seulakoot olivat: 63 mm, 31,5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm ja 0,5 mm. Muilta osin palakoon määrittäminen tehtiin standardin mukaan. Mittauksissa käyttämättä jäänyt saaviin kerätty hake otettiin talteen ja tuotiin varmuuden vuoksi säilytykseen ammattikorkeakoulun tiloihin, mikäli hakkeesta jouduttaisiin tekemään uusia mittauksia.

## 7.2 Aineisto

Aineisto kerättiin maastomittauksin kolmella eri haketuskerralla, kullakin hakkurityypillä oma mittauskertansa. Tasalaatuista raaka-ainetta tarvittiin jokaisessa haketuksessa riittävästi, jotta voitaisiin tuottaa haketta kummallakin seulakoolla samasta raaka-aineesta vertailtavuuden säilyttämiseksi. Rumpuhakkurilla ei saatu tutkimuksen kannalta riittävästi samankaltaista raaka-ainetta, joten haketusta ei päästy mittaamaan. Laikka- ja kartioruuvihakkurilla mittaukset päästiin suorittamaan kappaleessa 4.1 kuvatusti.

Laikkahakkurin mittaukset toteutettiin 12.12.2012 Liperissä, ensilumi oli jo satanut ja mittauspäivänä lämpötila oli +1°C. Hakkuri oli vuosimallin 2006 FarmiForest 380 hakkuri, jota hakeyrittäjä on muokannut itse eritavoin, tarkempia tietoja muokkauksista ei ollut saatavilla patentinhakuprosessin keskeneräisyyden vuoksi. Voiman lähteenä oli Valmetin 120 hevosvoimainen maataloustraktori. Syöttö hakkuriin tehtiin kuormaimella ja syöttökuljettimella. Hake tuotettiin kahdelle eri vaunulle, joiden tilavuudet olivat 10 m<sup>3</sup> ja 13,3 m<sup>3</sup>. Haketettava raaka-aine oli sekalainen kasa ylivuotista hakkuutähdettä, rankaa ja energiapuuta, jota haketuksen tilaaja oli kerännyt metsissään olleista hakkuisista. Kasa oli peitetty muovilla, mutta puiden seassa oli siitä huolimatta lunta. Haketus aloitettiin 20 mm terävälillä. Hakkurin terät oli teroitettu samana aamuna ennen haketusta. Hakkurin syöksytorvessa oli risumurskain. Risumurskain pienentää tikut, joita muuten pääsisi hakkurin läpi valmiiseen hakkeeseen, samalla risumurskain myös laskee

hakkurin tuotosta hieman. Haketus keskeytyi toisen vaunullisen haketuksen jälkeen voimanlähteenä olleen traktorin kytkinakselilla olleen värinänvaimentajan rikkoonnutta. Isompaa haketta ei päästy siis tuottamaan, mutta hakeyrittäjän omien kokemusten pohjalta saatiin muuntokerroin erikokoisten hakkeiden tuotannosta.

Kartioruuvihakkurin maastomittaukset tehtiin 15.4.2013 Tuusniemellä sateisessa säässä. Mittauksissa käytetty kartioruuvihakkuri oli Laimet HP-21, jonka voimanlähteenä oli 120-hevosvoimainen Deutz-Fahr Agrottron -traktori. Haketta tuotettiin yhteen vaunuun, jonka tilavuus oli 10,2 m<sup>3</sup>. Raaka-aine, jota hakettiin, oli hakkurin omistajan omalta sahalta ylijääneitä pintoja, jotka oli niputettu siirtelyn helpottamiseksi. Raaka-aineen seassa oli lunta ja hiekkaa, koska nippuja säilytettiin suojaamattomina hiekkakentällä. Puuta hakkuriin oli syöttämässä kaksi miestä, jotka olivat harjaantuneet työhön. Haketussuorituksia mitattiin neljä vaunullista, joista viimeinen keskeytyi ruuvien teroituksen ajaksi. Tuotetusta hakkeesta puolet oli karkeampaa HP-21 1/104 ruuvilla tuotettua haketta ja puolet HP-21 3/104 ruuvilla tuotettua hienompaa haketta.



Kuva 5. Vasemmalla HP-21 3/104 terä ja oikealla hp-21 1/104.

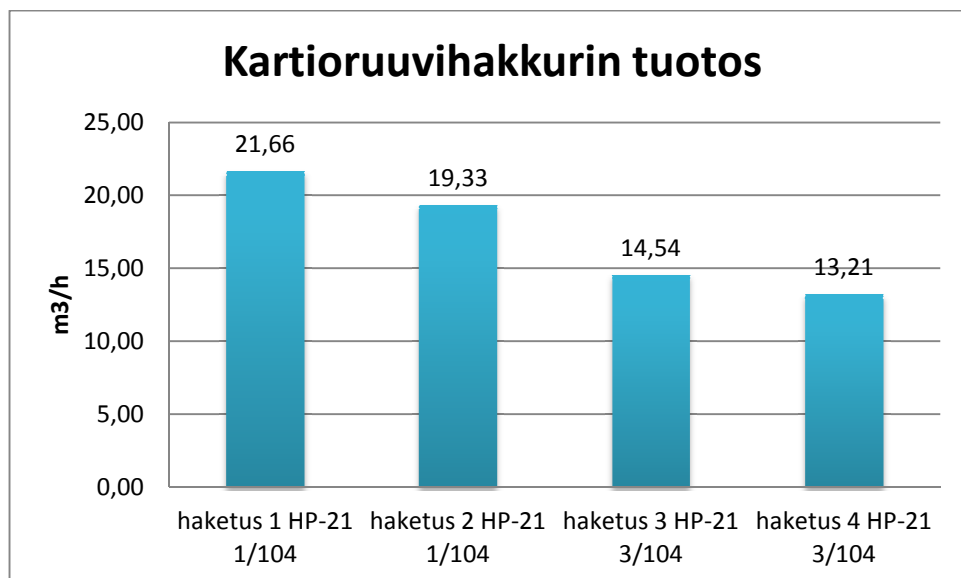


## 8 Tulokset

### 8.1 Tuotos

Laikkahakkurilla 20 mm:n terävälillä tuotos ensimmäisessä haketuksessa oli 17,53 i-m<sup>3</sup>/h ja toisessa 21,70 i-m<sup>3</sup>/h. Keskimääräinen tuotos oli 19,97 i-m<sup>3</sup>/h, keskiarvo on painotettu. Tutkimuksessa ei päästy toteuttamaan haketusta toisella terävälillä, mutta LiHAVaisen (2013) mukaan hakkurin tuotos nousee noin kolmanneksen kun terien väliä muutetaan 10–15 mm:stä 30 mm:iin. Tämän perusteella terävälin kaksinkertaistaminen nostaa tuotosta noin kolmanneksen.

Kartioruuvihakkurin tuottavuus vaihteli ensimmäisen haketuksen 21,66 i-m<sup>3</sup>/h ja viimeisen 13,21 i-m<sup>3</sup>/h välillä (kuvio 1). HP-21 1/104 terällä haketuksen keskimääräinen tuotos tunnissa oli 20,49 i-m<sup>3</sup> tunnissa ja HP-21 3/104 terällä 13,88 i-m<sup>3</sup> tunnissa. Siirtyminen tuottamaan hienompaa haketta laski tuottavuutta näin ollen 32 %:a.



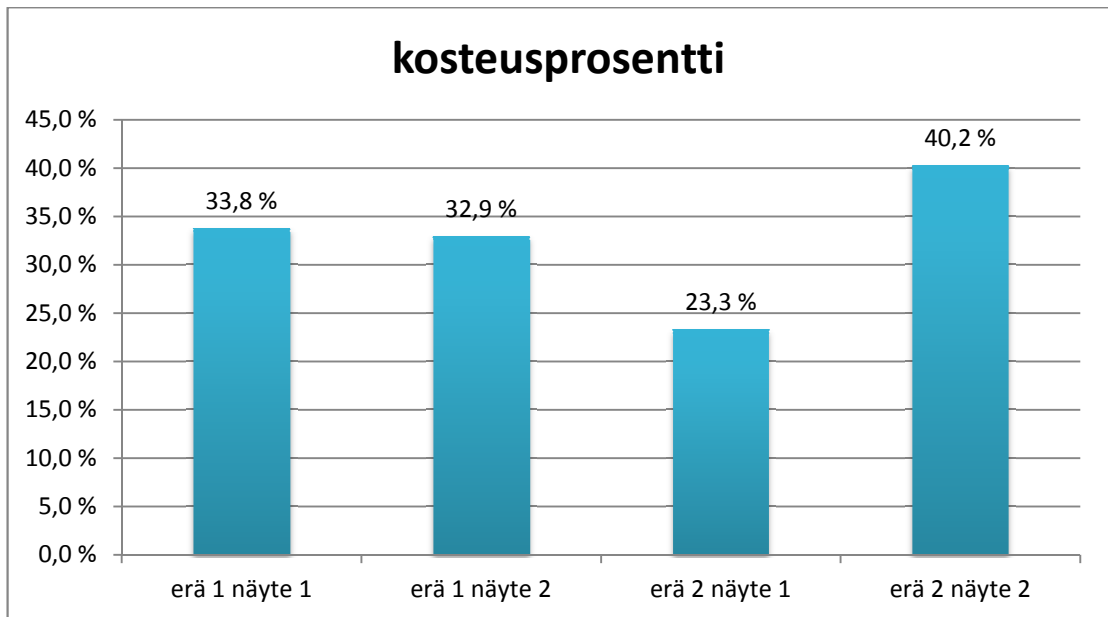
Kuvio 1. Kartioruuvihakkurin tuotokset.

### 8.2 Laatu

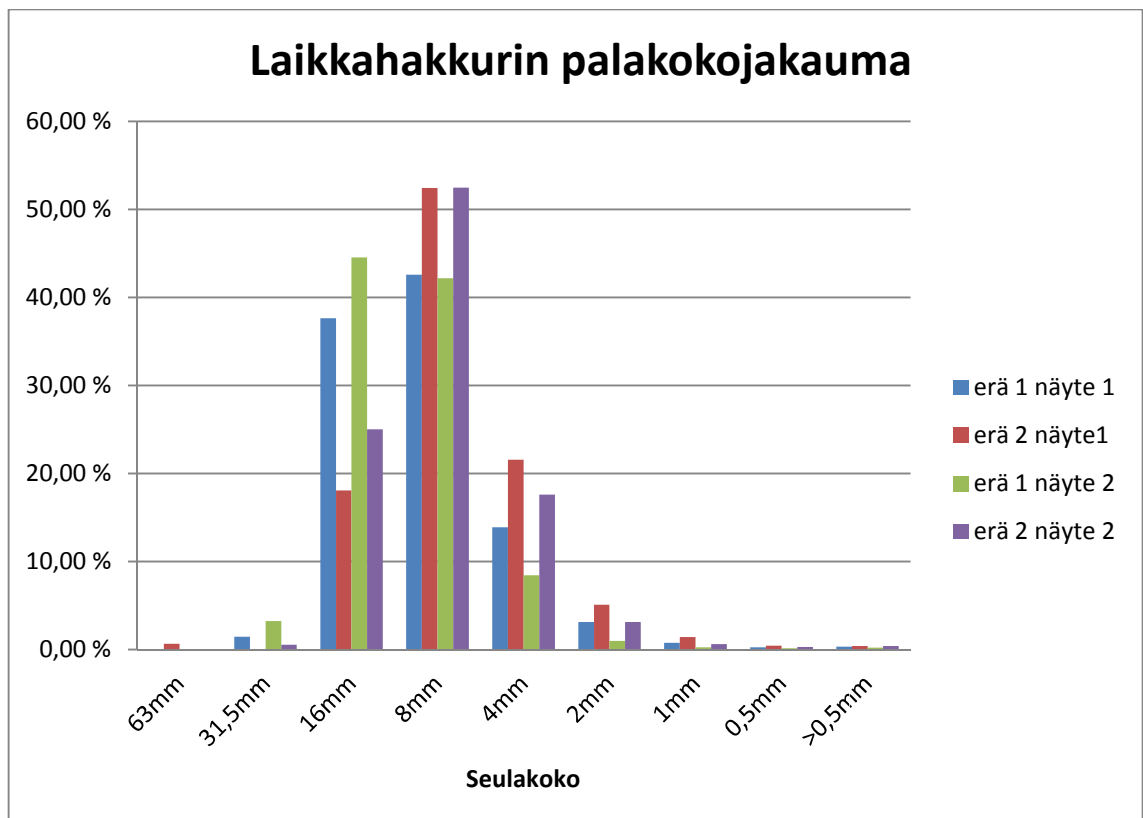
#### 8.2.1 Laikkahakkurilla tuotettu hake

Laikkahakkurilla tuotetun hakkeen laatua kuvaavat arvot olivat seuraavat: hakkeen keskimääräinen kosteusprosentti oli 32,6, vaihtelun ollessa kuvion 2 mukaista. Hakkeen

irtotiheys oli 242,9 kg/m<sup>3</sup> ensimmäisessä haketussa erässä ja toisessa hake-erässä 253,2 kg/m<sup>3</sup>. Tämä antaa hakkeen painotetuksi keskiarvoksi 248,9 kg/m<sup>3</sup>. Hakkeen palakokojakauma oli kuvion 3 mukainen. Palakoon mediaaniarvo vaihteli eri näytteissä 5,61–7,79 mm. Näytteiden mediaaniarvojen keskiarvo on 6,63 mm. Laikkahakkurilla tuotetun hakkeen laatuluokaksi saatiin liitteen 1 luokituksen mukaan M35, DB200 ja P16B.



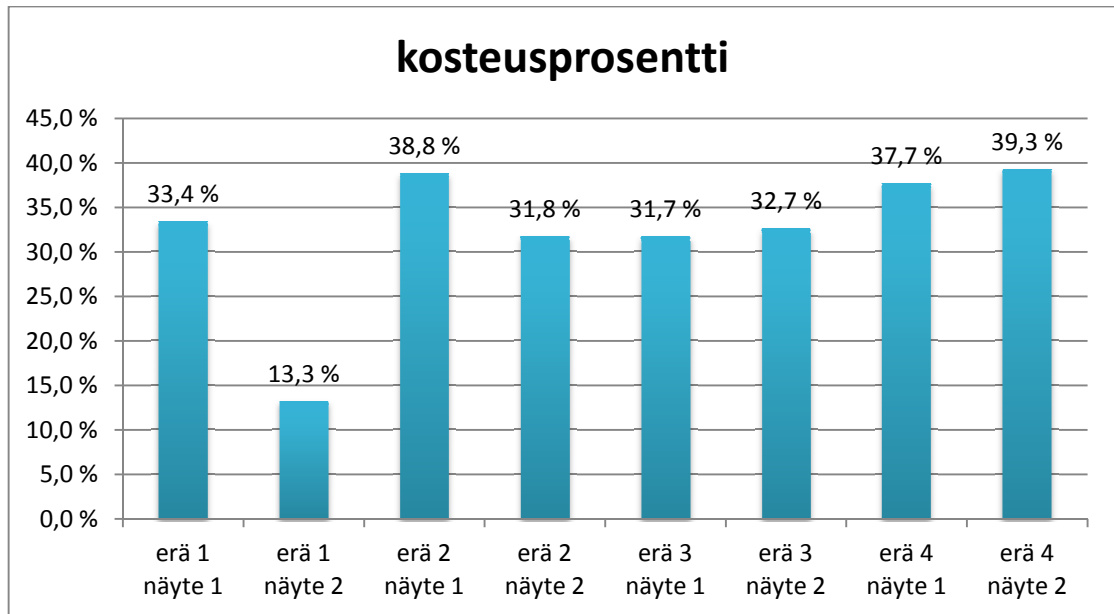
Kuvio 2. Laikkahakkurilla tuotetun hakkeen kosteusprosentti.



Kuvio 3. Laikkahakkurilla tuotetun hakkeen palakokojakauma.

### 8.2.2 Kartioruuvihakkurilla tuotettu hake

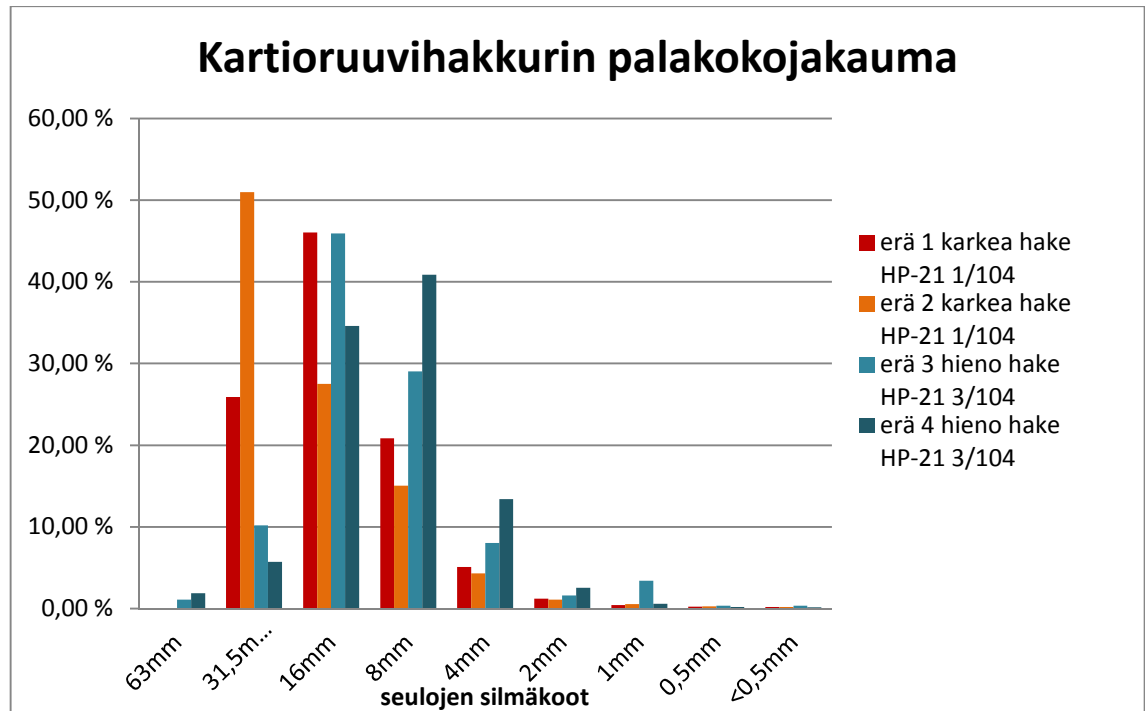
Kartioruuvihakkurilla tuotetun hakkeen kosteusprosentti vaihteli otetuissa näytteissä kuvion 4 mukaisesti välillä 13,3–39,3 %. Näytteiden keskiarvokosteus oli 32,3 %, joka antaa liitteen 1 luokituksen mukaan kosteuden laatuluokaksi M35.



Kuvio 4. Kartioruuvihakkurilla tuotetun hakkeen kosteusprosentti.

Hakkeesta otettujen näytteiden irtotiheys oli erässä 1  $240,3 \text{ kg/m}^3$ , erässä 2  $237,2 \text{ kg/m}^3$ , erässä 3  $188,3 \text{ kg/m}^3$  ja erässä 4  $220,5 \text{ kg/m}^3$ . Hienompaa haketta tuotettaessa irtotiheys oli pienempi, keskiarvon hienommalla hakkeella ollessa  $204,4 \text{ kg/m}^3$  kun karkeammalla hakkeella keskiarvo oli  $238,8 \text{ kg/m}^3$ . Liitteen 1 Standardin SFS-EN 14961-1 mukaan karkeamman ja hienomman hakkeen laatuluokat ovat BD200.

Kuviossa 5 näkyy kartioruuvihakkurilla tuotetun hakkeen jakautuminen eri kokoluokkiin. Hakenäytteiden palakoon mediaanit karkeammassa hakkeessa olivat 11,81 mm:ä ja 16,29 mm:ä, josta saadaan keskiarvo 14,05 mm:ä. Hienommassa hakkeessa mediaanit näytteissä olivat 9,25 mm:ä ja 7,24 mm:ä, joiden keskiarvo on 8,25 mm:ä. Hienommas- sa hakkeessa olevat yli 63 mm luokkaan kuuluvat palat aiheutuivat todennäköisesti hak- kurin terän tylsymisestä. Liitteessä 1 olevan laatuluokituksen mukaan kartioruuvihak- kurilla tuotetun hakkeen palakoon laatuluokka on kaikissa muissa erissä P16B, paitsi erästä 2 otetussa näytteessä, jonka laatuluokka on P45A.



Kuvio 5. Kartioruuvihakkurilla tuotetun hakkeen palakokojakauma.

## 9 Johtopäätökset

Laikkahakkurilla Lihavaisen (2013) mukaan palakoon muutos vaikuttaa tuottavuuteen, koska terien välin pienentyessä laikan kierroksella hakkurin läpi mahtuu menemään vähemmän haketta. Kappaleen 5.1 alhaista tuotosta laikkahakkurilla verrattuna valmistajan liitteessä 3 olevaan tuotoslukemaan selittää hakkurin vanha vuosimalli, hankala raaka-aineen syöttö kasasta, sekä mahdollisesti traktorin vaurioituminen ja matala tehon tuotto. Myös syöksytorvessa ollut risumurskain on saattanut laskea tuotosta.

Kartioruuvihakkurin tuotoksen laskuun palakoon pienentyessä vaikutti konetta syöttävien miesten väsyminen terän vaihdoksen lisäksi. Tämä selittää osaltaan miksi liitteen 5 mukaisista valmistajan tuotos luvuista jäätin hienompaa haketta tuottaessa. Karkeammalla hakkeella päästiin kuitenkin valmistajan antamiin arvoihin. Haketuksen tuotosta olisi voitu parantaa raaka-ainetta muuttamalla.

Tutkimuksessa on useita mahdollisia virhelähteitä, hakenäytteiden otto on näistä kriittisin, koska mittausolosuhteiden takia näytettä ei voitu ottaa joka kerralla samalla tavalla. Näytteet on otettu kuorman päältä vaunusta mahdollisimman monesta erikohdasta, vaunun purkamisen yhteydessä, sekä vaunun purkamisen jälkeen hakekasasta. näyt-

teenotosta johtuvat ongelmat ovat saattaneet vääristää hakkeen laatua kuvaavia arvoja. Palakokojakauman arvoja on saattanut vääristää myös standardista poikkeava seulonta maalajiseuloilla, sillä seulojen tilavuus ei ollut vaadittu, joten seulottu näyte oli standardin kahdeksan litran sijaan noin litran. Suuremmilla tilavuuksilla seulat olisivat menneet tukkoon. Seulontaliike jouduttiin myös tuottamaan käsin asianmukaisen koneen puuttuessa. Kaikissa näytteiden punnituksissa on myös mahdollisuus mittavirheeseen vaakojen virhemarginaalin sisällä. Laikkahakkurilla voimanlähteenä olleen traktorin rikkoutuminen on saattanut vaikuttaa hakkurin tuotokseen viimeisessä hake-erässä.

## 10 Pohdinta

Kartioruuvihakkurilla HP-21 3/104 -terällä hakettaessa tuntui terä tylsyvän nopeammin, sillä molemmat terät oli teroitettu ennen haketuksen aloittamista ja molemmilla terillä hakettiin samaa raaka-ainetta, mutta jo ensimmäistä vaunullista hakettaessa terän tylsyminen alkoi haitata haketuksen tuottavuutta. 1/104-terällä ei koko haketus-suorituksen aikana syntynyt tarvetta teroittaa terää, kun 3/104-terällä teroittaminen oli pakko tehdä kesken haketuksen. Toinen kartioruuvihakkurilla tuotokseen vaikuttanut tekijä oli hakkurin itse syötön hidastuminen terällä 3/104. Tästä johtuen hakkurin käyttäjien oli jatkuvasti työnnettävä jo hakkurille syötettyjä puita uudelleen terälle, tätä syötön ongelmaa saattaisi syöttörullat tai muu syöttöjärjestelmä korjata kuitenkin huomattavasti.

HP-21 1/104 -terällä tuotetun hakkeen palakoon pituus valmistajan mukaan pitäisi olla välillä 40–70 mm (liite 5), mutta tutkimuksessa mediaani arvo hakkeella oli 14,05 mm. Voiko näin suuri virhe johtua vain käytetystä raaka-aineesta? Ero 3/104-terällä tuotettuun hakkeeseen, jonka palakoon pituuden pitäisi olla 15–25 mm, ei ollut kovin suuri palakoon mediaanin ollessa 8,25 mm. Molemmilla terillä tuotetun hakkeen palakoko oli kuitenkin huomattavasti alle valmistajan antamien arvojen. Laikkahakkurilla on havaittavissa samaa trendiä, sillä hakkurin terien väli oli 20 mm, mutta tuotetun hakkeen mediaani koko oli 6,63 mm.

Käytetyt raaka-aineet olivat hyvin erilaisia, mutta silti liitteen 1 standardin mukaisen laatuluokituksen perusteella tuotetut hakkeet olivat lähes identtisiä. Kosteusprosentin osalta mielenkiintoista on, että laikkahakkurilla raaka-ainetta oli kuivatettu peitettyä yli

vuosi ja kartioruuvihakkurilla raaka-aine oli ollut täysin sään armoilla. Kuitenkin tuotetut hakkeet kuuluvat laatuluokituksen mukaan samaan luokkaan.

Tutkimuksen tulosten yleistettävyys on heikko, sillä rumpuhakkurista ei päästy tekemään mittauksia ja laikkahakkurinkin mittaukset jäivät kesken. Kartioruuvihakkurilla tuotoksen tuloksia voidaan jossain määrin yleistää onnistuneen mittauksen ansiosta. Lisätutkimusta tarvittaisiinkin laikka- ja rumpuhakkurilla tutkimuksen yleistettävyyden parantamiseksi ja palakoon vaikutuksen tuotokseen selvittämiseksi. Tulosten yleistämisen parantamiseksi haketuksessa käytettävän raaka-aineen tulisi olla mahdollisimman yhdenmukaista.

Oma kokemattomuus on myös saattanut aiheuttaa virheitä mittauksissa varsinkin laikkahakkurin mittauksissa, sillä olin ensimmäistä kertaa tekemässä tämän tyyppistä tutkimusta enkä osannut tästä johtuen toimia parhaalla mahdollisella tavalla. Tottumattomuus aiheutti turhaa kiirettä, kartioruuvihakkurilla tosin osasin varautua tilanteisiin paremmin ja ylimääräistä kiirettä ei enää syntynyt.

## Lähteet

- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Espoo: Ota media Oy.
- Asikainen, A., Ranta, T., Laitila, J. & Hämäläinen, J. 2001. Hakkuutähdehakkeen kustannustekijät ja suurimittakaavainen hankinta. Joensuu: Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Tiedonantoja 131.
- Asp, J & Etelätalo, E. 2012. Typografia. Joensuu, 17.12.2012. PKAMK. Suunnitelma-seminaari.
- Farmi Forest Corporation. 2013. Tehokkaat ja tuottavat laikkahakkurit. Iisalmi. [http://www.farmiforest.fi/en/files/dealer\\_brochures/01/Chippers%20FIN.pdf](http://www.farmiforest.fi/en/files/dealer_brochures/01/Chippers%20FIN.pdf). 13.5.2013
- Hakkila, P. 2004. Puuenergian teknologiaohjelma 1999-2003. Sipoo: Paino-Center Oy
- Knuutila, K. 2003. Puuenergia. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oyj.
- Laitila, J & Väätäinen, K. 2011. Kokopuun ja rangan autokuljetus ja haketustuottavuus. Metsätieteen aikakauskirja 2/2011, 107-126.
- Lihavainen, M. 2013. Haketustutkimus. Email [atte.salojarvi@edu.pkamk.fi](mailto:atte.salojarvi@edu.pkamk.fi). 3.5.2013
- Metsäkeskukset. 2010. Laatuhaakkeen tuotanto- opas. Lepistö, T. (toim.) Sastamala: Vammaspaino.
- Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. Motiva Oy. Työteho-seura. 2005. Hakelämmöstä yritystoimintaa. Kokkonen, A. & Lappalainen, I. (toim.) Kuopio: Offset-paino L. Tuovinen.
- Puuenergia. 2012. Hakkurit ja murskaimet. Helsinki. [http://www.farmiforest.fi/en/files/dealer\\_brochures/01/Chippers%20FIN.pdf](http://www.farmiforest.fi/en/files/dealer_brochures/01/Chippers%20FIN.pdf). 13.5.2013
- Rinne, S. 2010. Energiapuun haketuksen ja murskauksen kustannukset. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto, teknillinen tiedekunta, energiatekniikan koulutusohjelma.
- SFS-EN 14961-1 Standardi
- SFS-EN 15149-1 Standardi
- SFS-EN 15149-2 Standardi
- Ylitalo, E. 2013. Puun Energiäkäyttö 2012. Metsäntutkimuslaitos. <http://www.metla.fi/tiedotteet/metsatilastotiedotteet/2013/puupolttoaine2012.htm>. 18.4.2013

# Liitteet

## Liite 1 Puuhakkeen standardin SFS-EN 14961-1 mukainen laatuluokitus

	Päätaulukko			
	Alkuperä: Kohdan 6.1 ja taulukon 1 mukaan.		Puubiomassa (1)	
	Kauppanimike		Puuhake	
	Mitat (mm) CEN/TS 15149-1, CEN/TS 15149-2			
		Pääfraktio, vähintään 75 p-%, mm a	Hienoaines, p-% (< 3,15 mm)	
		Karkea fraktio (p-%), palan suurin pituus, mm		
	P16A <sup>c</sup>	3,15 < P < 16 mm	< 12 %	
	P16B <sup>c</sup>	3,15 < P < 16 mm	< 12 %	
	P45A <sup>c</sup>	8 < P < 45 mm	< 8 % <sup>b</sup>	
	P45B <sup>c</sup>	8 < P < 45 mm <sup>b</sup>	< 8 % <sup>b</sup>	
	P63	8 < P < 63 mm <sup>b</sup>	< 6 % <sup>b</sup>	
	P100	16 < P < 100 mm <sup>b</sup>	< 4 % <sup>b</sup>	
		Karkea fraktio (p-%), palan suurin pituus, mm		
		< 3 % > 16 mm ja kaikki < 31,5 mm		
		< 3 % > 45 mm ja kaikki < 120 mm		
		< 6 % > 63 mm ja max 3,5 % > 100 mm, kaikki < 120 mm		
		< 6 % > 63 mm ja max 3,5 % > 100 mm, kaikki < 350 mm		
		< 6 % > 100 mm, kaikki < 350 mm		
		< 6 % > 200 mm, kaikki < 350 mm		
	Kosteus, M (p-% saapumistilassa) EN 14774-1, EN 14774-2			
Velvoittavat	M10	≤ 10 %		
	M15	≤ 15 %		
	M20	≤ 20 %		
	M25	≤ 25 %		
	M30	≤ 30 %		
	M35	≤ 35 %		
	M40	≤ 40 %		
	M45	≤ 45 %		
	M50	≤ 50 %		
	M55	≤ 55 %		
	M55+	> 55 % (suurin arvo ilmoitettava)		
	Tuhka, A (p-% kuiva-aineesta) EN 14775			
	A0.5	≤ 0,5 %		
	A0.7	≤ 0,7 %		
	A1.0	≤ 1,0 %		
	A1.5	≤ 1,5 %		
	A2.0	≤ 2,0 %		
	A3.0	≤ 3,0 %		
	A5.0	≤ 5,0 %		
	A7.0	≤ 7,0 %		
	A10.0	≤ 10,0 %		
	A10.0+	> 10,0 % (suurin arvo ilmoitettava)		
	Tyyppi, N (p-% kuiva-aineesta) CEN/TS 15104			
Velvoittavat/Opastavat	N0.3	≤ 0,3 %		
	N0.5	≤ 0,5 %		
	N1.0	≤ 1,0 %		
	N2.0	≤ 2,0 %		
	N3.0	≤ 3,0 %		
	N3.0+	> 3,0 % (suurin arvo ilmoitettava)		
		Kloori, Cl (p-% kuiva-aineesta) CEN/TS 15289		
	Cl0.02	≤ 0,02 %		
	Cl0.03	≤ 0,03 %		
	Cl0.07	≤ 0,07 %		
Cl0.10	≤ 0,10 %			
Cl0.10+	> 0,10 % (suurin arvo ilmoitettava)			
		Velvoittava:		
		Kemiallisesti käsitelty biomassa (1.2.2; 1.3.2)		
		Opastava:		
		Kaikki polttoaineet, joita ei ole kemiallisesti käsitelty (ks. poikkeukset yllä)		
		Velvoittava:		
		Kemiallisesti käsitelty biomassa (1.2.2; 1.3.2)		
		Opastava:		
		Kaikki polttoaineet, joita ei ole kemiallisesti käsitelty (ks. poikkeukset yllä)		

	Tehollinen lämpöarvo, Q (MJ/kg tai kWh/kg saapumistilassa) tai energiasisältö, E (MJ/ irto-m <sup>3</sup> tai kWh/ irto-m <sup>3</sup> ) EN 14918 pienin arvo ilmoitettava	
	Irtotiheys (BD) saapumistilassa (kg/m <sup>3</sup> ) EN 15103	
Opastavat	BD150	> 150
	BD200	> 200
	BD250	> 250
	BD300	> 300
	BD350	> 350
	BD400	> 400
	BD450	> 450
	BD450+	> 450 (pienin arvo ilmoitettava)
	Suositellaan ilmoitettavan, jos kauppa käydään tilavuusyksiköissä	
	Tuhkansulamiskäyttäytyminen (°C) CEN/TS 15370-1	
	Muodonmuutoslämpötila, DT ilmoitettava	

<sup>a</sup> Palakoon arvot (P-luokka) viittaavat seulojen pyöreisiin silmäkokoihin, jonka läpäisee vähintään 75 p-% aineksesta (CEN/TS 15149-1). Ylisuurten kappaleiden poikkileikkauspinta-ala on P16 < 1 cm<sup>2</sup>, P45, < 5 cm<sup>2</sup> ja P63 < 10 cm<sup>2</sup> ja P100 < 18 cm<sup>2</sup>.

<sup>b</sup> Hakkuutähde, joka sisältää hienoainesta kuten neulasia, lehtiä ja oksia, pääfraktio on luokalle P45B 3,15 < P < 45 mm, luokalle P63 3,15 < P < 63 mm ja luokalle P100, 3,15 < P < 100 mm) ja hienoaineksen määrä (< 3,15 mm) maksimissaan 25 p-%.

<sup>c</sup> Ominaisuusluokat P16A, P16B ja P45A on tarkoitettu ei-teollisiin sovelluksiin ja ominaisuusluokat P45B, P63 ja P100 teollisiin sovelluksiin. Teollisuussovelluksissa luokissa P45B, P63 ja P100 hienoaineksen määrä voidaan sopia seuraavista luokista F04, F06 ja F08.

HUOM. 6 Erityistä huomiota on kiinnitettävä joidenkin biomassojen tuhkansulamiskäyttäytymiseen, esimerkiksi eukalyptus, poppeli ja nopea-kasvuiset puulajit.



## Liite 2 Puun yleisiä arvoja

Polttoaine	Tiiviys m <sup>3</sup> /i-m <sup>3</sup>	Tehollinen lämpöarvo kuivana (kosteus 0%) kWh / kg MJ/kg		Energiatiheys, kuiva (kosteus n.40%) kWh /i-m <sup>3</sup> MJ/i-m <sup>3</sup>		Energiatiheys, tuore hake (kosteus lehtipuu 47%, havupuu 55%) kWh /i-m <sup>3</sup> MJ/i-m <sup>3</sup>	
<b>KOKOPUUHAKE</b>							
Mänty	0,42	5,4	19	820	3000	760	2700
Kuusi	0,41	5,4	19	810	3000	750	2700
Koivu	0,41	5,4	19	970	3500	940	3400
Leppä	0,43	5,3	19	770	2800	740	2800
<b>HAKKUUTÄHDEHAKE</b>							
Mänty neulasineen	0,42	5,6	20	870	3100	800	2900
Mänty neulasitta	0,42	5,6	20	880	3200	810	2900
Kuusi neulasineen	0,42	5,4	19	880	3200	810	2900
Kuusi neulasitta	0,42	5,5	20	990	3600	910	3300
<b>KUORIMURSKE</b>							
Mänty	0,37	5,4	19	510	1800	470	1700
Kuusi	0,37	5,5	20	670	2400	620	2200
Koivu	0,37	6,3	23	1 190	4300	1 160	4200
<b>PILKE</b> (pituus 33 mm)	Tiiviys m <sup>3</sup> /i-m <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /p-m <sup>3</sup>	Tehollinen lämpöarvo käyttökosteudessa (20%), kWh/kg MJ/kg		Energiatiheys (kosteus 20 %) kWh/i-m <sup>3</sup> (MJ/ i-m <sup>3</sup> )		Energiatiheys (kosteus 20%) kWh/i-m <sup>3</sup> (MJ/ i-m <sup>3</sup> )	
Mänty	0,40/0,67	4,15	14,9	810	2900	1 360	4900
Kuusi	0,40/0,67	4,10	14,8	790	2800	1 320	4800
Koivu	0,40/0,67	4,15	14,9	1010	3600	1 700	6100
Leppä	0,40/0,67	4,05	14,6	740	2700	1 230	4400
Haapa	0,40/0,67	4,00	14,4	790	2800	1 330	4800

### Liite 3 Puun yleisiä kuiva-tuoretiheyksiä (kg/m<sup>3</sup>)

Puulaji/ Puutavaralaji, puun osa/	Mänty	Kuusi	Koivu	Leppä	Haapa	Havupuu
Kuorellinen pinopuu	390	380	490	360	360	-
Harvennusten kokopuuhake	385	400	475	370	385	-
Hakkuutähdehake neulasitta	405	465	500	-	-	-
Hakkuutähdehake neulasineen	395	425	-	-	-	-
Sahaustähde kuorellinen	-	-	-	-	-	415
Oksat	450	610	530	430	-	-
Kuori	300	340	550	-	-	-
Kanto- ja juuripuu	475	435	510	-	-	-

Liite 4 laikkahakkurin tekniset tiedot

<b>Tekniset tiedot</b>	<b>FARMI 380 HFC</b>
Tuotos m <sup>3</sup> /h	30-100
Max.puun halkaisija, syöttö	380 / 380x420
Hakkeen paksuus, mm	10 - 30
Tehon tarve, kW	145 - 205
Työskentely kierrokset, rpm	540 - 1000
Puhallusputken korkeus, m	4,1
Syöttölaite	Syöttökuljetin
Hakkurin paino, kg	2300
No-stress kierrosvahti	Vakio
Risunmurskain	Vakio
Oma hydraulipumppuyksikkö	Vakio
Hydr. puhalluksen ohjaus	Vakio

## Liite 5 kartioruuvihakkurin tekniset tiedot

Syöttöaukko	210 x 315 mm
Kierrosnopeus	540...1 000 r/min
Tehontarve	50...80 kW käsisyöttöllä 60...100 kW koneasyöttöllä
Paino	n. 1100 kg
Kapasiteetti	20...40 m <sup>3</sup> haketta/h
Syöttönopeus	0,4...0,8 m/s

Hakkuri on kartioruuvihakkuri, jonka terää vaihtamalla voidaan valita hakekoko.

MAALLI	HAKEPITUUS
HP-21 1/104	40...70 mm
HP-21 2/160	30...50 mm
HP-21 1/80	30...50 mm
HP-21 2/104	25...30 mm
HP-21 3/160	25...30 mm
HP-21 2/80	20...25 mm
HP-21 3/104	15...25 mm

Liite 6 Mediaaniarvon määrittäminen standardin SFS-EN 15149-1 mukaan

**Taulukko A.1 Esimerkki sahanpurunäytteen palakokoluokittelusta**

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Seulan luokka	Seula/Luokka koko C (mm)	Näytteen massa (g)	Jae (%)	Kumulatiivinen osuus S (%)
0 – 0,25	C <sub>1</sub> : 0,25	12,44	24,9	S <sub>1</sub> : 24,9
> 0,25 – 0,5	C <sub>2</sub> : 0,50	10,39	20,8	S <sub>2</sub> : 45,8
> 0,5 – 1,0	C <sub>3</sub> : 1,00	15,45	31,0	S <sub>3</sub> : 76,8
> 1,0 – 1,4	C <sub>4</sub> : 1,40	6,84	13,7	S <sub>4</sub> : 90,5
> 1,4 – 2,0	C <sub>5</sub> : 2,00	3,77	7,6	S <sub>5</sub> : 98,0
> 2,0 – 2,8	C <sub>6</sub> : 2,80	0,70	1,4	S <sub>6</sub> : 99,4
> 2,8 – 3,15	C <sub>7</sub> : 3,15	0,04	0,1	S <sub>7</sub> : 99,5
> 3,15		0,24	0,5	100,0
<i>Yhteensä</i>		<i>49,87</i>	<i>100</i>	

**A.3 Laskenta**

Edellä kuvatussa esimerkissä lineaarinen interpolointi voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$d_{50} = C_2 + (50 - S_2) \times \frac{C_3 - C_2}{S_3 - S_2} = 0,5 + (50 - 45,8) \times \frac{1,0 - 0,5}{76,8 - 45,8} = 0,568 \text{ mm}$$

missä

d<sub>50</sub> on palakokojakauman mediaaniarvo (millimetreinä)

C<sub>2</sub> on seulan C<sub>2</sub> reiän halkaisija (millimetreinä)

C<sub>3</sub> on seulan C<sub>3</sub> reiän halkaisija (millimetreinä)

S<sub>2</sub> on kumulatiivinen palaosuus kokoluokassa C<sub>2</sub> (paino-%)

S<sub>3</sub> on kumulatiivinen palaosuus kokoluokassa C<sub>3</sub> (paino-%).