

Hakkeen laatuun vaikuttavat tekijät

Anu Hilli ja Joel Putula

 **POHJOIS-POHJANMAA**
Council of Oulu Region

 **UTAJÄRVI**
laatukunta

OAMK
OULUN AMMATTIKORKEAKOULU



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020


Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Sisällys

Hakkeen laatuun vaikuttavat tekijät	1
1. Johdanto.....	3
2. Hakkeen ominaisuudet	4
2.1. Haketyypit.....	4
2.2. Hakkeen kosteuspitoisuus ja lämpöarvo	4
2.3. Hakkeen palakoko	8
3. Tuotantoketjun merkitys hakkeen laatuun	10
3.1. Energiapuun korjuun ja varastoinnin vaikutus hakkeen laatuun	10
3.2. Haketustavat.....	13
3.3. Hakkurityypit	14
3.3.1. Laikkahakkuri.....	14
3.3.2. Rumpuhakkuri.....	16
3.3.3. Ruuvihakkurit	19
4. Hakkeen kuivaus	21
4.1. Luonnonolosuhteissa kuivaaminen	21
4.2. Hakkeen keinokuivaus	22
4.3. Hakkeen säilyvyys varastoitaessa.....	23
Lähteet	24

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



1. Johdanto

PUUTA (Puuraaka-aineen hyödyntäminen Utajärven kunnassa) hankkeen tavoitteena on saada syntymään uutta puunjalostusyrittäjätoimintaa ja työpaikkoja sekä edistää ja hyödyntää puunjalostuksen ja biotalouden osaamista Utajärven Mustikkakankaan teollisuusalueella.

Esiselvityksen mukaan Utajärven puunjalostuskeskuksen keskeisiä tuotteita olisi kosteuspitoisuudeltaan alle 30-prosenttinen hake, sillä pienten ja keskisuuren biolämpölaitosten haasteena on usein hyvälaatuisen hakkeen saanti. Metsähakkeen hankintaketjut on pääsääntöisesti rakennettu suurten voimalaitosten tarpeisiin, joiden vaatimukset polttoaineen laadulle eivät ole niin tiukat kuin pienemmissä laitoksissa. Muita uusia tuotteita voisivat olla brikettien ja pellettien raaka-aineet sekä CHP-laitoksen tuottama energia.

Metsähake määritellään hakkeeksi, joka on haketettu rangasta, kokopuusta tai hakkuutähteistä, kuten hakkuualalle jääneestä pienpuusta, latvuksista tai kannoista. Nykyisin metsähaketta tuotetaan pääasiassa lämmöntuotannon tarpeisiin. Vuonna 2015 metsähaketta käytettiin 8 milj. m³, josta lämpövoimalaitoksissa 7,3 milj. m³ ja pienkiinteistöissä 0,7 milj. m³.

Polttokäyttöön tuotettavan metsähakkeen laatuvaatimuksista tärkeimpiä ovat hakkeen palakoko, kosteuspitoisuus, irtotiheys ja tehollinen lämpöarvo. Lähitulevaisuudessa hakkeen käyttö muuhun kuin puhtaaseen lämmöntuotantoon lisääntyy, esimerkiksi haketta voidaan käyttää raaka-aineena biojalostamoilla. Tämä asettaa myös hakkeen laadulle vaatimuksia.

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Tämän raportin tarkoituksena on selvittää hakkeen laatuvaatimuksia erilaisissa lämmöntuotannon käyttökohteissa ja eri hakkurityyppien käytön vaikutus hakkeen laatuun. Laatuhake nimitystä voidaan käyttää pienipalakokoisesta, seulotusta ja koneellisesti kuivatusta hakkeesta. Selvitys perustuu kirjallisuudesta saatuun tietoon.

2. Hakkeen ominaisuudet

2.1. Haketyypit

Tyypillisesti hake nimetään sen valmistukseen käytettävän raaka-aineen mukaan. Metsähake on yleisnimitys hakkeelle, joka on valmistettu rangoista, kokopuusta tai hakkuutähteistä. Metsähake voidaan luokitella sen perustella, mistä raaka-aineesta hake on tehty. Esimerkiksi rankahake tehdään puun karsitusta runko-osasta ja metsätähdehake puolestaan latvuksista ja oksista. Kokopuuhakkeessa on sekä runkopuuta että latvuksia ja oksia.

Haketyypit voidaan myös jakaa niiden käyttötarkoituksen mukaan: polttohake, joka on polttokäyttöön ohjattua haketta tai selluhake, joka menee selluteollisuuden raaka-aineeksi. Selluteollisuuden raaka-aineeksi käy vain puhdas puuhake, siinä ei saa olla mukana kuorta, vihreää massaa eikä epäpuhtauksia.

2.2. Hakkeen kosteuspitoisuus ja lämpöarvo

Hakkeen laatu polttoaineena määräytyy sen lämpöarvon mukaan. Tärkeimmät hakkeen ominaisuudet, jotka vaikuttavat lämpöarvoon, ovat kosteuspitoisuus, puuaineen kemiallinen koostumus ja tiheys, tuhkapitoisuus ja neulasosuus (Alakangas 2000).

Esimerkiksi männyllä oksien ja latvusten lämpöarvo on korkeampi kuin runkopuun (Nurmi 1999).

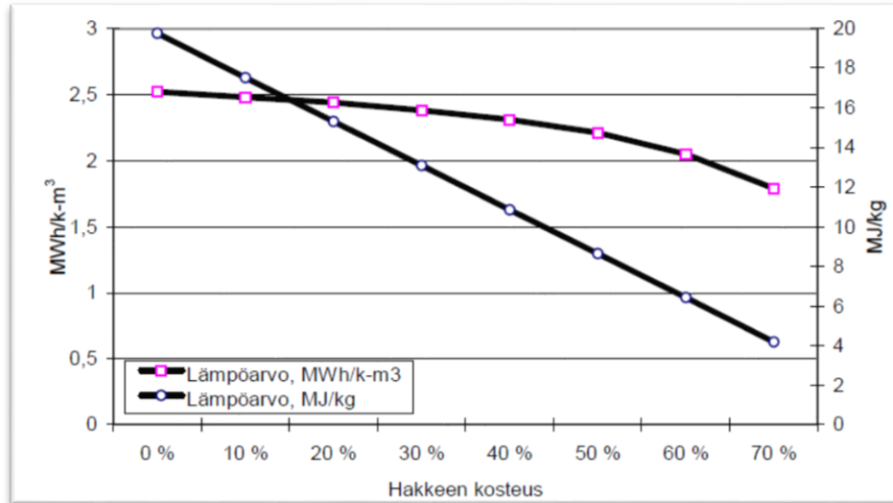
Metsähakkeen erilaiset käyttökohteet vaativat erilaatuista haketta. Suuret ja keskisuuret lämpölaitokset voivat käyttää tuorekostea puuraaka-ainetta (kosteuspitoisuus 40 – 55 %), mutta pienkiinteistöissä ja pienissä lämpölaitoksissa käytettävän puuraaka-aineen kosteuspitoisuuden tulisi olla noin 25 % (Metsäkeskukset 2010). Pienissä CHP-laitoksissa hakkeen kosteuspitoisuus on merkittävä tekijä laitoksen toimivuuden kannalta. CHP -laitoksissa käytettävän hakkeen kosteuspitoisuus saisi olla enintään 18 %, mutta mieluummin sen tulisi olla vain 15 % tai sen alle (Etelätalo 2013).

Myös pienillä lämpölaitoksilla hakkeen kosteuspitoisuus nähdään tärkeimpänä laatuun liittyvänä ongelmana (Jahkonen & Ikonen 2014). Suurillakin laitoksilla metsähakkeen kosteuspitoisuus pyritään pitämään alle 50 %:ssa, sillä se vaikuttaa energia-
tehokkuuteen (Hakkila 2004).

Hakkeen kosteuspitoisuuteen vaikuttaa huomattavasti käytetty raaka-aine. Esimerkiksi rangasta valmistetun hakkeen kosteuspitoisuus tuoreena on noin 50 % (Metsäkeskukset 2010; Hilli ym. 2017), mutta ilmakeivä ylivuotisen rankahakkeen kosteuspitoisuus voi olla laskenut jopa 25 – 30 %:iin. Sen sijaan hakkuutähteistä valmistetun hakkeen kosteuspitoisuus voi olla jopa 60 %:ia. (Alakangas 2000.)

Puun kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo on suunnilleen 18,5 – 20 MJ/kg eri puulajeilla riippumatta siitä, mistä puun osasta tai osista polttoaine on valmistettu (Taulukko 1.). Puupolttoaineen tehollinen lämpöarvo saapumistilassa puolestaan vaihtelee huomattavasti ja tällöin tärkein lämpöarvoon vaikuttava tekijä on polttoaineen kosteuspitoisuus (Kuvio 1. ja Taulukko 1.). Kostea haketta poltettaessa veden haihduttaminen kuluttaa lämpöenergiaa 0,7 kWh/kg vettä (Etelätalo 2013).

Hakkuutähdehakkeen lämpöarvo kasvaa noin 5 % ja kokopuusta valmistetun hakkeen 3,5 %, kun raaka-aineen kosteuspitoisuus alenee 10 %-yksikköä (Taulukko 2.).



Kuvio 1. Hakkuutähdehakkeen tehollisen lämpöarvon riippuvuus kosteudesta (MWh/m³ tai MJ/kg) (Alakangas 2000).

Kosteus on olennainen tekijä hakkeen laadussa, koska se aiheuttaa eniten ongelmia. Hakkeen kosteuspitoisuus vaikuttaa kattilan tai lämpölaitoksen polttoaineen kulutukseen, hyötysuhteeseen ja hiukkaspäästöihin. Kostea polttoainetta kuluu enemmän, lämpölaitoksen hyötysuhde laskee ja hiukkaspäästöt kasvavat. Lisäksi kostea hake aiheuttaa yleensä pienissä kohteissa ongelmia varastoinnissa ja kuljettimilla, mikäli se pääsee jäätymään. Kosteus vaikuttaa myös haketusprosessiin. Kostea hake laitettu syöte on laadultaan epätasaisempaa kuin kuiva syöte. (Etelätalo 2013; Raitila ym. 2014; Hilli ym. 2016.)

Pienkiinteistöissä käytettäväksi hakkeen raaka-aineeksi soveltuvat sahaustuotteet, karsittu ranka sekä kokopuu, sillä näiden kosteuspitoisuus on alhaisempi kuin hakkuutähteistä valmistetun hakkeen. Keskikokoisissa lämpölaitoksissa (200 – 1000 kW)

voidaan edellä mainittujen lisäksi käyttää kokopuusta ja latvuksista valmistettua haketta. Yli 1000 kW lämpölaitoksissa voidaan käyttää kaikista raaka-aineista valmistettua haketta, sillä polttoprosessit soveltuvat erilaatuisille raaka-aineille. (Alakangas 2000; Metsäkeskukset 2010.)

Taulukko 1. Puupolttoaineiden lämpöarvoja (Alakangas 2000).

Lämpöarvo	Metsätähdehake	Kokopuu-hake	Ranka-hake
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa MJ/kg	18,5-20	18,5-20	18,5-20
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa MJ/kg	6-9	7-10	7-11
Lämpöarvo			
Lämpöarvo	Kantohake	Havupuun kuori	Koivun kuori
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa MJ/kg	18,5-20	18,5-20	21-23
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa MJ/kg	8-13	5-9	8-11
Lämpöarvo			
Lämpöarvo	Pilke	Puutähdehake	Sahahake
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa MJ/kg	18,5-19,0	18,5-20	18,5-20
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa MJ/kg	13,4-14,5	6-15	6-10
Lämpöarvo			
Lämpöarvo	Sahanpuru	Kutterinlastu ja hiontapöly	Puupelletti
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa MJ/kg	19-19,2	19-19,2	19,0-19,2
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa MJ/kg	6-10	16-18	16,8

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Taulukko 2. Polttoaineen lämpöarvon muutos, kun kosteuspitoisuus alenee 10 %-yksikköä (Hakkila 2004, Taulukko 4.).

Polttoaine	Alkukosteus %	Loppukosteus %	Lämpöarvon kasvu, %
Kuori, suuri laitos	60	50	8,2
Hakkuutähdehake, suuri laitos	50	40	5,2
Kokopuuhake, pieni laitos	40	30	3,5

2.3. Hakkeen palakoko

Tasainen hakelaatu ja oikea palakoko takaavat lämpölaitoksen luotettavan ja häiriöttömän toimivuuden. Hakkeen palakoon tasalaatuisuudella on suuressa osassa käyttökohteita suuri merkitys polttoprosessin toimivuuden kannalta. Optimaalinen hakkeen palakoko määräytyy polttolaitoksen kokoluokan ja laitoksen käyttämän teknologian mukaan. Pienimmät arinakattilat vaativat toimiakseen palakokojakaumaltaan tasaista haketta, kun taas lämpövoimalaitosten leiju- tai leijukerrospolttokattiloissa voidaan käyttää palakokojakaumaltaan vaihtelevaa haketta (Hakkila 1989; Hakkila 2004).

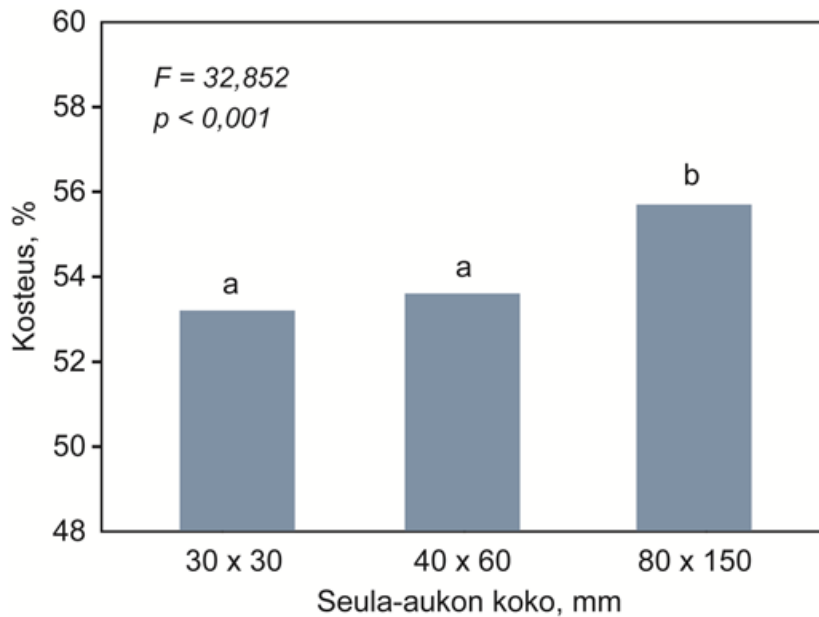
Yleisesti hakepalan keskipituudeksi tavoitellaan 30 – 40 mm. Hakkeen seassa oleva hienoaines ja ylisuuret palat tai ohuet pitkänomaiset tikut aiheuttavat varastossa ja kuljettimilla häiriöitä (Kuvio 2.). Polttoainekuljettimet voivat mennä tukkoon, jolloin niitä joudutaan puhdistamaan. Tämä aiheuttaa ylimääräistä vaivaa ja katkoksia toimintaan. Hake voi myös holvaantua varastoinnissa tai kuljettimilla, jolloin polttoprosessiin aiheutuu häiriöitä. (Autio 2009; Hilli ym. 2016.) Hakkeen palakoolla, sen tasalaatuisuudella sekä hienoainesosuudella on havaittu suuri merkitys prosessin toimivuuteen erityisesti pien-CHP-laitoksissa (Etelätalo 2013; Jahkonen & Ikonen 2014).



Kuvio 2. Ohuet, pitkänomaiset kappaleet aiheuttavat yleensä kuljettimilla ongelmia (Kuva: Anu Hilli 2017).

Hakkeen palakokojakaumaan vaikuttavat käytetty hakkurityyppi, seulakoko ja raaka-aine. Metsätähdehake ja kokopuuhake ovat laadultaan yleensä vaihtelevampaa verrattuna runkopuusta tehtyyn hakkeeseen, sillä ne sisältävät yleensä enemmän tikkuja ja hienoainesta. Myös varastokuivatun hakkeen hakettamisessa syntyy enemmän hienoainesta kuin tuoreen puun hakettamisessa (Etelätalo 2013; Raitila ym. 2014).

Pienempiaukkoisemmilla seuloilla tehdyissä hakkeissa hienoainepitoisuus on korkeampi kuin hakkeilla, joiden valmistuksessa on käytetty suurempiaukkoisia seuloja. Käytettäessä 30 x 30 mm seulaa alle 8 mm partikkeleiden osuus on huomattavasti suurempi kuin käytettäessä 40 x 60 mm tai 80 x 150 mm seuloja (Jylhä 2013). Hakkeen palakoko vaikuttaa myös hakkeen kosteuspitoisuuteen ja irtotiheyteen. Hakkeen kosteuspitoisuus kasvaa palakoon kasvaessa (Kuvio 3.). Irtotiheys puolestaan kasvaa palakoon pientyessä.



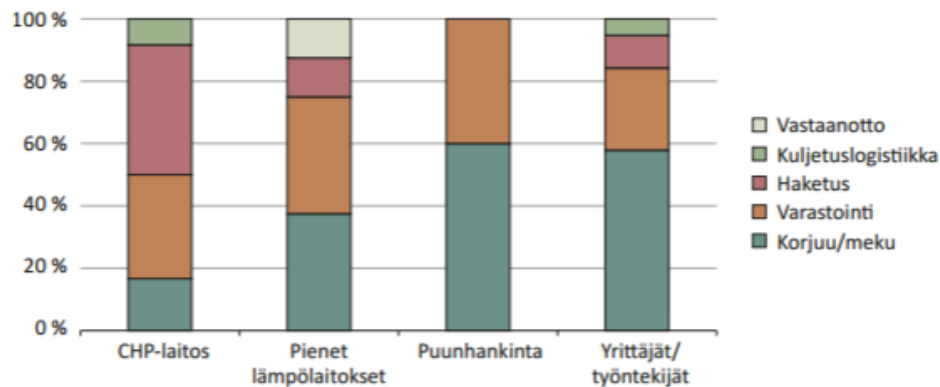
Kuvio 3. Hakkeiden keskimääräiset kosteudet palakoon mukaan (Jylhä 2013: kuvio 5).

3 Tuotantoketjun merkitys hakkeen laatuun

3.1. Energiapuun korjuun ja varastoinnin vaikutus hakkeen laatuun

Hakkeen laatuun voidaan vaikuttaa jo puunkorjuuvaiheessa. Energiapuuhakkuukohteiden valinnalla, runkojen karsinnalla, palsta- tai varastokuivauksella sekä varastopaikan valinnalla, varastokasojen suunnittelulla, ladonnalla, varastoitavan puun pituudella sekä varastokasojen peittämisellä on merkitystä hakkeen laatuun. Kaikissa energiapuunkorjuuvaiheissa sekä varastoinnissa on tärkeää välttää epäpuhtauksien joutumista puuainekseen sekaan sekä edistää puuraaka-aineen kuivumista.

Tärkeimmät työvaiheet, jotka vaikuttavat metsähakkeen laatuun, ovat puun korjuu ja metsäkuljetus sekä energiapuun varastointi (Kuvio 4.) ja kantojen nostossa myös kohteen valinta. Erityisesti pienten lämpölaitosten ja puunhankintaorganisaatioiden toimijat korostavat hakkeen toimitusketjun alkuosan merkitystä hakkeen laadussa. (Jahkonen & Ikonen 2014.)



Kuvio 4. Toimijoiden näkemykset hakkeen laatuun vaikuttavista tekijöistä toimitusketjussa (Jahkonen & Ikonen 2014: kuvio 5).

Energiana käytettävän puun kosteuteen voidaan vaikuttaa helpoimmin järkevällä varastoinnilla ja kuivatuksella. Energiapuun kuivumisen tärkein tekijä on sopiva varastopaikka. Hyvä varastopaikka on kuivapohjainen, aukea ja tuulinen (Kuviot 5. ja 6.). Lisäksi kuivuvien puunrunkojen tulisi olla irti maasta. Tämä on helppo toteuttaa aluspuilla.

Energiapuun korjuun ja metsäkuljetuksen sekä varastoinnin merkityksestä hakkeen tuotantoketjussa on kirjoitettu kattavasti muun muassa Metsäkeskusten laatimassa Laatuhakkeen tuotanto-oppaassa ja VTT:n tutkimusraportissa: Metsäpolttoaineiden varastoitavuus runkoina ja hakkeena sekä lämmöntuotantoon integroitu metsäpolttoaineen kuivaus (Metsäkeskukset 2010; Raitila ym. 2014).



Kuvio 5. Energiapuuta varastoituna aurinkoisella ja tuulisella paikalla
(Kuva: Anu Hilli 2017).



Kuvio 6. Energiapuuta varastoituna metsänreunaan (Kuva: Anu Hilli 2017).

3.2. Haketustavat

Metsähakkeen tuotanto alkaa puuraaka-aineen käsittelyketjusta, alkaen puun korjuusta metsistä ja päättyen valmiin hakkeen toimitukseen käyttöpaikalle. Metsähakkeen tuotanto ohjautuu sen mukaan, mihin tuotantoketjun osaan haketus liittyy ja missä muodossa raaka-ainetta kuljetetaan. Yleisimmin metsähakkeen tuotantomenetelmät jaotellaan haketuspaikan mukaan palsta-, tienvarsi- eli välivarasto-, käyttöpaikka- ja terminaalihaketuksen.

Tienvarsihaketus on haketustavoista yleisin. Tienvarsihaketuksella tarkoitetaan raaka-aineen haketusta tien varressa tai välivarastossa joko hakkurilla tai murskaimella, jonka jälkeen hake kuljetetaan käyttöpaikalle. Hakettava raaka-aine kuljetetaan puolestaan hakkuualueelta kuormatraktoreilla eli ajokoneilla tien varteen. (Hakkila 2004; Kärhä 2009). Tienvarsihaketuksen osuus haketustavoista oli 53 % vuonna 2015. Tienvarsihaketuksen osuus on viime vuosina ollut hienoisessa laskussa, kun taas käyttöpaikkahaketuksen osuus on ollut kasvussa. Käyttöpaikkahaketuksen osuus on silti melko vähäinen, 16 % koko metsähakkeen tuotannosta. Käyttöpaikkahaketuksessa haketus tapahtuu kohteessa, jossa haketta käytetään. (Strandström 2016.) Tämä haketusmuoto soveltuu parhaiten suurille voimalaitoksille, sillä investointikustannukset ovat korkeat (Hakkila 2004; Laitila ym. 2010).

Terminaalihaketuksen osuus oli 31 % vuonna 2015. Terminaalihaketuksessa hakkeen raaka-aine on kuljettu erilliseen terminaaliin, jossa haketus tapahtuu hakkurilla tai murskaimella ja valmis hake kuljetetaan käyttökohteeseen auto-, juna- tai laivakuljetuksena. Toisin sanoen terminaaleista haketta voidaan kuljettaa eri kokoluokan laitoksille. (Strandström 2016.) Terminaalissa hakkeen raaka-aineena käytettävän materiaalin annetaan yleensä kuivua luonnonolosuhteissa kesän yli. Terminaalihaketus mahdollistaa eri kosteuspitoisuutta olevien hakkeiden tuotannon (Laitila ym. 2010).

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Palstahaketuksessa raaka-aineen haketus tapahtuu palstalla. Tällöin hakkuri on usein rakennettu metsäkoneen alustalle ja valmis hake kuljetetaan metsäautotien varteen. Tämä haketusmuoto ei ole enää lainkaan käytössä metsähakkeen kaupallisessa tuotannossa. (Laitila ym. 2010.)

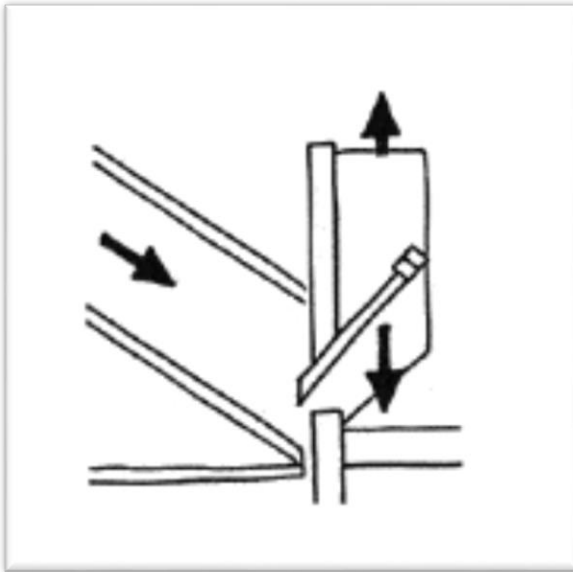
3.3. Hakkurityypit

Hakkeen valmistukseen on käytössä useita erityyppisiä hakkureita. Hakkurit voidaan jakaa terien pyörimisnopeuksien, terälaitteen geometrian tai syöttötavan mukaan eri tyypeihin. Syöttötavan mukaan hakkurit jaetaan pysty- ja vaakasyöttöhakkureihin. Suomessa käytetään yleisesti kolmea eri hakkurityyppiä. Nämä ovat laikkahakkuri, rumpuhakkuri ja kartioruuvihakkuri.

3.3.1. Laikkahakkuri

Yleisin pienhakkurityyppi on laikkahakkuri. 2 – 6 säteensuuntaisesti pyörivää terää on kiinnitetty teräpyörän sisäpinnalle (Kuvio 7.). Tämän rakenteen takia se on varsin herkkä kiville ja maa-ainekselle, joten syötteen tulee olla puhdasta. Syötteenä voi käyttää karsittua rankaa, kokopuuta tai sahapintoja, jotka syötetään vinosti teräpyörän sivupintaa kohden. Tuloksena syntyy varsin tasalaatuista haketta (Kuvio 8.). Hakkeen palakokoa voidaan muuttaa säätämällä terien etäisyyttä. (Metsäverkko 2017.)

Laikkahakkurit vaativat runsaasti tehoa traktorista, mutta ne ovat suhteellisen edullisia. Hinnat liikkuvat 8000 – 16000 euroon, riippuen mallista ja tehosta. Parhaimmillaan laikkahakkuri on pienen mittakaavan toiminnassa. Laikkahakkureiden tuotos on 5 – 100 irtokuutiota/tunti (Salojärvi 2013).



Kuvio 7. Laikkahakkurin toimintaperiaate (Sallinen 2017).



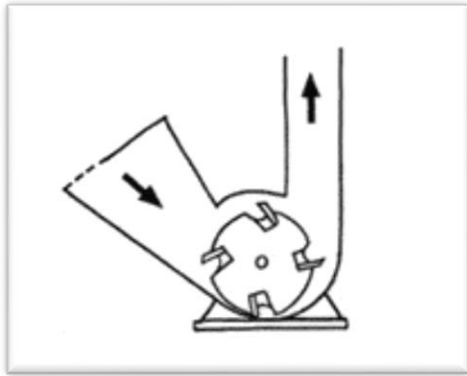
Kuvio 8. Laikkahakkurilla tuotettua haketta (Kuva: Aarno Pylväs 2017).



Kuvio 9. Foretecin Skorpion 120 S laikkahakkuri (Foretec 2017).

3.3.2. Rumpuhakkuri

Rumpuhakkuri soveltuu parhaiten suurten kokoluokkien toimintaan. Rumpuhakkurissa on nimensä mukaisesti terärumpu, jonka ulkopinnalla olevien terien määrä vaihtelee (Kuvio 10.) valmistajan mukaan. Rakenteensa vuoksi se sietää huomattavasti paremmin epäpuhtauksia ja sillä pystyy hakettamaan hakkutähteitä. Rumpuhakkurin tuottama hake on tasalaatuisempaa kuin muissa hakkurimalleissa (Kuvio 11.). Tasalaatuisuutta voidaan varmentaa käyttämällä seulaa rummun ja poistoputken välissä. (Sallinen 2017; Metsäkeskukset 2010.)



Kuvio 10. Rumpuhakkurin toimintaperiaate (Sallinen 2017).

Mikäli on tarkoitus valmistaa mahdollisimman paljon haketta nopeasti, rumpuhakkuri on paras vaihtoehto. Suurimpien rumpuhakkureiden (Kuvio 12.) tuotantokapasiteetti on jopa yli 130 irtokuutiometriä tunnissa (Karelia amk 2017). Luonnollisesti ne ovat myös kalliimpia. Hinnat ovat yleensä 15000 eurosta ylöspäin. Rumpuhakkureiden käyttövoima otetaan joko maataloustraktorista tai alustana toimivan kuorma-auton moottorista. Kuorma-autoalustaisilla hakkureilla tuottavuus on traktorikalustoa suurempi. (Raitila ym. 2014; Metsäverkko 2017).



Kuvio 11. Rumpuhakkurilla tuotettua haketta (Kuva: Mikko Aalto 2015).



Kuvio 12. Rumpuhakkuri (Karelia amk, 2017).

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

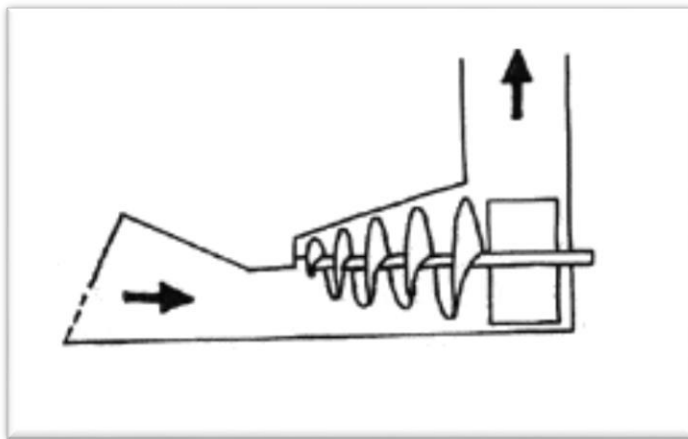
Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



3.3.3. Ruuvihakkurit

Ruuvihakkurit ovat rumpuhakkureita pienempiä ja edullisempia. Kuten laikkahakkurit, ne ovat myös herkkiä epäpuhtauksille johtuen niiden rakenteesta. Vaakatasossa pyörivä, suureen vauhtipyörään kiinnitetty kartioruuviterä vetää puun hakkuriin ja hakettaa sen (Kuvio 13 ja 14.). Se soveltuu hyvin vain karsitun rangan ja sahauspintojen hakettamiseen (Metsäkeskukset 2010).

Ruuvihakkurit ovat parhaimmillaan pienessä mittakaavassa, mutta ne ovat selkeästi muita hakkureita heikompija ratkaisuja. Vaikka niiden tuntituotos on parhaimmillaan 100 – 200 irtokuutiometriä, niiden vaatima suuri vääntömomentti ja terän työläs vaihto tekevät niistä huonomman vaihtoehdon kuin muut hakkurit. Ruuvihakkurin tuottama palakoko on myös suurempi kuin laikka- ja rumpuhakkureiden. (Karelia amk 2017; Metsäverkko 2017.)



Kuvio 13. Ruuvihakkurin toimintaperiaate (Sallinen 2017).



Kuvio 14. Kartioruuvihakkurin haketta (Kuva: Tanja Lepistö/Metsäkeskukset 2010).

Koska Mustikkakankaan teollisuusalueella olisi tarkoitus tuottaa hyvälaatuista haketta niin pienkohteisiin kuin keskisuuriin lämpölaitoksiin, rumpuhakkuri voisi olla sopiva valinta. Rumpuhakkurien monipuolinen syötteen vastaanottokyky, epäpuhtauksien sieto ja käyttöteho tekevät siitä parhaan vaihtoehdon. Vaikka rumpuhakkuri sietääkin hyvin epäpuhtauksia, laatuhakkeen tuotannossa raaka-aineella on suuri merkitys, myös hakkeen raaka-aineen tulee olla hyvälaatuista, jotta lopputuloksesta saadaan haluttua. Raaka-aineeksi laatuhakkeen valmistukseen soveltuu parhaiten karsittu ranka.

Valmistajat eivät ilmoita myyntihintojaan verkkosivuilla, joten hinta-arvio on laadittu jälleenmyyjien hinnoittelujen perusteella. Tämän arvion perustella halvimmat rumpuhakkurit maksaisivat 15000 – 25000 €.

4. Hakkeen kuivaus

Puumateriaalin kuivumiseen vaikuttavat useat eri tekijät, joista tärkeimpiä ovat: materiaalin alkukosteus, palakoko, kerralla kuivattava määrä, kuivauslämpötila, kuivausilman virtausnopeus sekä ilman suhteellinen kosteus (Raitila 2014). Myös puulajilla ja puun korjuun ajankohdalla on merkitystä kuivattavan puumateriaalin alkukosteuteen. Suomen kasvavien yleisimpien puulajien kosteuspitoisuus vaihtelee tuoreena 40 – 55 %:iin. (Routa 2014).

4.1. Luonnonolosuhteissa kuivaaminen

Suurin osa energiaksi käytettävästä puusta kuivataan luonnonolosuhteissa. Kosteus- pitoisuus luonnonkuivauksella kuivatussa puurangassa ja siitä valmistetussa hakkeessa jää yleensä 30 – 50 %:iin, mutta hyvin onnistuttaessa voidaan jopa päästä 25 % kosteus- pitoisuuksiin. (Metsäkeskukset 2010; Raitila ym. 2014).

Paras kuivausaika on huhtikuusta elokuuhun, jolloin ilman suhteellinen kosteus on alhainen. Tällöin alkukesään mennessä korjattu ja hyvin varastoitu ja kasattu energiapuu voidaan hakettaa jo seuraavana talvena (Metsäkeskukset 2010). Ulkona varastoitu energiapuu alkaa kuitenkin kostua uudelleen elo-syyskuusta alkaen, kun ilman kosteus- pitoisuus nousee. Energiapuun kosteuspitoisuus voi hyvinkin nousta 5 – 10 % verrattuna kesän kuivumisjaksoon (Erkkilä ym. 2010).

Yleisimmin luonnonolosuhteissa kuivataan kokopuuta, karsittua rankaa tai hakkuutähteitä. Myös haketta voidaan kuivata haketuksen jälkeen luonnonolosuhteissa. Luonnonmukainen kuivaus on halvempaa, mutta sillä saadaan hakkeen kosteuspitoisuus parhaimmillaan 30 – 50 %:iin, kun taas koneellisesti hake voidaan kuivata haluttuun kosteuspitoisuuteen. Mikäli hakkeen kosteuspitoisuus luonnonolosuhteissa halutaan saada alle 30 – 40 %:iin, se edellyttää hakkeen suojaamista katoksella. Pelkkä hakeau-

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



mojen peittäminen ei riitä, sillä peitettyjen hakeumojen on todettu kostuvan sateissa ja kosteuspitoisuuden nousevan jopa 50 %:iin. (Raitila ym. 2014.) Luonnonkuivauksella hake-erän kosteuspitoisuutta ei voida ennustaa, joten hyvälaatuisen hakkeen ympärivuotinen tuotanto vaatii keinokuivausta.

4.2. Hakkeen keinokuivaus

Hakkeen keinokuivauksessa pyritään lyhentämään kuivausaikaa lisälämmön ja puhaltimien avulla, joista kylmä- ja lämminilma-kuivaus ovat Suomessa yleisimpiä. Kylmäilma-kuivauksella tarkoitetaan kuivausta, jossa puhallusilmaa lämmitetään muutamia asteita auringon säteilyenergiaa hyödyntäen tai puuraaka-aine kuivataan ulkoilman lämpötilassa. Kylmäilma-kuivaus on riippuvainen sääolosuhteista. Se onnistuu parhaiten, kun ilman lämpötila on korkea ja suhteellinen kosteus alhainen. (Raitila 2014; Niemitalo 2011.) Kuivumistulokseen vaikuttaa myös hakkeessa olevan hienoaineksen määrä ja se, kuinka tasaisesti ilma saadaan johdettua hakekerroksen läpi (Raitila 2014; Hilli ym. 2017). Aksiaalipuhaltimilla kuivausenergian kulutus hakkeen kylmäilma-kuivauksessa on ollut keskimäärin 10 kWh/i-m³ ja keskipakopuhaltimilla 15 – 25 kWh/i-m³ (Rinne 2002; Metsäkeskukset 2010).

Lämminilma-kuivauksessa kuivausilman lämpötila kohotetaan yleisimmin 60 – 70 asteeseen. Myös lämminilma-kuivauksessa ilman kosteuspitoisuudella on suuri merkitys hakkeen kuivumiseen. Kuivausilma voi kyllästyä vesihöyrystä, jolloin käytetyllä kuivausilmavirralla ei pystytä irrottamaan puumateriaalista enää kosteutta ja kuivausilman kosteuspitoisuus kasvaa. Tällöin kuivausilmaa joudutaan kierrättämään lämmönvaihtimelle, jotta sen lämpötilaa saadaan nostettua ja kosteuspitoisuutta laskettua. Lisäksi on todettu, että lämminilma-kuivureiden hyötysuhde paranee, mikäli kuivausilma esilämmitetään. (Raitila 2014.)

Puupilkkeiden ja hakkeiden kuivauksen teoriaa ja esimerkkejä erilaisista kuivureista on muun muassa Suomen metsäkeskuksen julkaisemassa Puupolttoaineen kuivurioppaassa (2014) ja raportissa Puuhakkeen käsittely- ja poltto-ominaisuuksien parantaminen (Roitto 2014).

4.3. Hakkeen säilyvyys varastoitaessa

Hakkeen kuivaus vaikuttaa hakkeen säilyvyyteen varastoitaessa. Kuiva-ainetappiot hakkeen varastoinnissa johtuvat mikrobitoiminnasta ja kemiallisesta hajoamisesta. Mikrobitoiminnalle olosuhteet ovat otolliset, kun materiaalin kosteus on 30 – 60 % ja lämpötila 20 – 30 astetta. Hakekasojen lämpötilan nousun on havaittu olevan kuivemmissa hakkeissa (32 %) vähäisempää ja lyhytaikaisempaa kuin kosteissa (42 %). Hake säilyy hyvin varastoitaessa, mikäli se on kuivattu 32 %:n kosteuspuiteeseen ja varastoitu kosteudelta suojattuna. Tällöin ei myöskään muodostu huomattavia kuiva-ainetappioita. (Raitila 2014.)

Hakkeen kosteuspuiteisuuden ollessa alle 30 %, se pysyy lähes muuttumattomana koko talven ajan, mikäli hake varastoidaan kuivassa hallissa. Sen sijaan talven jälkeen ulkona varastoitujen hakkeiden kosteuspuiteisuudet ovat keväällä korkeita, jopa 60 – 70 %. Hakkeen lähtökosteudella tai hakkeen raaka-aineella ei ole havaittu olevan oleellista merkitystä talven jälkeiseen loppukosteuteen, mikäli haketta varastoidaan ulkona. (Raitila ym. 2014.) Tällaista haketta ei voida toimittaa pienkiinteistöille eikä se myöskään sovi pienille lämpölaitoksille.

Lähteet

Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia, VTT-tiedote 2045. Espoo 2000. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/t2045.pdf>.

Autio, H. 2009. Osaamistarpeet keskisuomalaisessa metsäenergian hankintaketjussa. Selvitys. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Erkkilä, A., Hillebrand, K., Raitila, J., Virkkunen, M., Heikkinen, A., Tiihonen, I. & Kaipainen, H. 2010. Kokopuun ja mäntykantojen korjuuketjujen sekä varastoinnin kehittäminen. VTT, Jyväskylä. Tutkimusraportti: VTT-R-10151-10. 52 s.

Etelätalo, E. 2013. Erilaatuisten hakkeiden käyttökohdemahdollisuuksista ja tuotantokustannuksista. KARELIA-Ammattikorkeakoulu / Biotalouskeskus/ Hajautetut biojalostamot –hanke. Raportti 74 s.

Foretec. 2017. <http://www.foretec.fi/fi/tuotteet>.

Hakkila, P. 1989. Utilization of Residual Forest Biomass. Springer-Verlag, Heidelberg. 568 s.

Hakkila, P. 2004. Puuenergian teknologiaohjelma 1999-2003. Teknologiaohjelmaraaportti 5/2004, Helsinki 2004. 104 s.

Hilli, A., Kylmänen, E., Härkönen, M. & Uutela, T. 2016. Hake pelletin korvaajana keskuslämmityskattilassa. ePooki 32/2016.

Hilli, A., Posio, M., Kylmänen, E., Åman, E. & Åman, K. 2017. Aurinkoenergian hyödyntäminen puuhakkeen kuivauksessa. ePooki 7/2017.

Jahkonen, M. & Ikonen, T. 2014. Toimijoiden näkemykset metsähakkeen toimitusketun laadusta Pohjois-Karjalan alueella. Metlan työraportteja 280. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp280.pdf>.

Jylhä, P. 2013. Autohakkurin seula-aukon koon vaikutus kokopuun haketuksen tuottavuuteen ja polttoaineen kulutukseen. Metlan työraportteja 272. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2013/mwp272.htm>.

Karelia amk. 2017. <http://www.karelia.fi/bioenergia/pienpuuntuotanto/2/2.3.htm>.

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Kärhä, K. 2009. Metsähakkeen tuotantoketjut Suomessa vuonna 2008. Metsätehon tuloskalvosarja 14/2009. 33 s. http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja_2009_14_Metsahakkeen_tuotantoketjut_kk.pdf.

Laitila, J., Leinonen, A., Flyktman, M., Virkkunen, M. & Asikainen, A. 2010. Metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan haasteet ja kehittämistarpeet. VTT:n tiedotteita 2564. Edita Prima Oy, Helsinki. 134 s.

Metsäkeskukset. 2010. Laatuhaakkeen tuotanto-opas. Lepistö, T. (toim.) Sastamala: Vammaspaino. 42 s.

Metsäverkko. 2017. http://virtuoosi.pkky.fi/metsaverkko/Energiapuu/Energiapuun_korjuu/haketus/hakkurit.htm.

Niemitalo, V. 2011. Hakkeen kuivaus; yhteenvetoa eri koe- ja tutkimustoiminnasta. Puuenergiatoimisto-hanke. Ammattiopisto Lappia.

Nurmi, J. 1999. Hakkuutähteiden ominaisuuksista. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 722. Kannuksen tutkimusasema. 32 s.

Puupolttoaineiden pienkäyttö. 2007. Lappalainen, I. (toim.). Tekes, Helsinki.

Raitila, J. 2014. Puun kuivaaminen. Puupolttoaineen kuivuriopas (toim. Kauppinen, V-P.). Vammalan kirjapaino Oy, Vammala. 51 s.

Raitila, J., Virkkunen, M. & Heiskanen, V-P. 2014. Metsäpolttoaineiden varastoitavuus runkoina ja hakkeena sekä lämmöntuotantoon integroitu metsäpolttoaineen kuivaus. TUTKIMUSRAPORTTI VTT-R-04524-14. 52 s.

Rinne, S. 2002. Puupolttoaineiden kuivausmenetelmien kartoitus. Jyväskylä. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Energiatekniikan osasto.

Roitto, J. 2014. Puuhakkeen käsittely- ja poltto-ominaisuuksien parantaminen. Biotalouden kehittäminen Parikkalassa hankeraportti. <http://www.parikkala.fi/loader.aspx?id=dfcff301-0665-435e-81a2-b04daeb99593>.

Routa, J. 2014. Energiapuuvarastojen kosteusmallit. Laava-seminaari. Vantaa 19.2.2014.

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Sallinen, T. 2017. Piirrookset hakkureiden toimintaperiaatteista. http://virtuoosi.pkky.fi/met-saverkko/Energiapuu/Energiapuun_korjuu/haketus/hakkurit.htm.

Salojärvi, A. 2013. Hakkureiden tuottavuuden vertailu tuotettaessa kahden eri palakoon haketta. Karelia ammattikorkeakoulu, opinnäytetyö. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/63740/Salojarvi_Atte.pdf?sequence=1.

Strandström, M. 2016. Metsähakkeen tuotantoketjut Suomessa 2015. Metsätehon tuloskalvosarja 7/2016.

Suomen metsäkeskus. 2014. Puupolttomateriaalin kuivuriopas. Veli-Pekka Kauppinen (toim.). Suomen metsäkeskus, Julkiset palvelut. Vammalan kirjapaino Oy, Vammala. 51 s.

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Liite 1. Puuhakkeen laatuluokat (Puupolttoaineiden pienkäyttö 2007).

Alkuperä Standardin CEN/TS 14961 taulukon 1 mukaan		Puubiomassa (1)	
Kauppanimike		Puuhake	
Mitat (mm)³			
	Pääfraktio > 80 % painosta	Hienoaines < 5 %	Karkea fraktio, palan maksimipituus
P16	3,15 mm ≤ P ≤ 16 mm	< 1 mm	max 1 % ³ > 45 mm, kaikki < 85 mm
P45	3,15 mm ≤ P ≤ 45 mm	< 1 mm	max 1 % ³ > 63 mm
P63	3,15 mm ≤ P ≤ 63 mm	< 1 mm	max 1 % ³ > 100 mm
P100	3,15 mm ≤ P ≤ 100 mm	< 1 mm	max 1 % ³ > 200 mm
Kosteus (p-% saapumistilassa)			
M20	≤ 20 % (kuiva)		
M30	≤ 30 % (varastointikelpoinen)		
M40	≤ 40 % (rajoitettu varastointi)		
M55	≤ 55 %		
M65	≤ 65 %		
Tuhka (p-% kuiva-aineesta)			
A0.7	≤ 0,7 %		
A1.5	≤ 1,5 %		
A3.0	≤ 3,0 %		
A6.0	≤ 6,0 %		
A10.0	≤ 10,0 %		
Typpi, N (p-% kuiva-aineesta)			
N0.5	≤ 0,5 %	Typpi on velvoittava vain kemiallisesti käsitellylle biomassalle	
N1.0	≤ 1,0 %		
N3.0	≤ 3,0 %		
N3.0+	> 3,0 % (todellinen arvo on ilmoitettava)		
Tehollinen lämpöarvo, $q_{p,net,ar}$ (MJ/kg saapumistilassa) tai energiasisältö, E_{ar} (kWh/irto-m³)			
Vähittäismyyjän on ilmoitettava arvo			
Irtotiheys saapumistilassa (kg/irto-m³)			
Jos kauppa käydään tilavuuden perusteella, on siitä ilmoitettava seuraavissa irtotiheyslukissa: BD200, BD300, BD450			
Kloori, Cl (kuiva-aineesta, p-%)			
Ilmoitettava luokka-arvona Cl 0.03, Cl 0.07, Cl 0.10 ja Cl 0.10+ (jos Cl > 0,10 %, todellinen arvo on ilmoitettava)			

- 3 Palakoon arvot viittaavat seulojen pyöreisiin silmäkokoihin (3,15 mm, 16 mm, 45 mm, 63 mm ja 100 mm). Todellisten palojen mitat vaihtelevat, erityisesti palan pituus.