

Hakkeen laatuun vaikuttavat tekijät

Putula Joel, Hilli Anu

9.10.2017

Metsähaketta on käytetty pääasiassa lämmön tuotantoon, mutta hakkeen käyttö muihin tarkoituksiin lisääntyy lähitulevaisuudessa. Lisääntyvä käyttö heijastuu hakkeen laatuvaatimuksiin. Hyvälaatuisen metsähakkeen tärkeimpiä osatekijöitä ovat palakoko, kosteuspitoisuus, irtotiheys ja tehollinen lämpöarvo.



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020

POHJOIS-POHJANMAA
Council of Oulu Region

1. Johdanto

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 ja laajenevassa määrin yhdistetyssä lämmön ja sähkön tuotannossa. Tämä asettaa myös hakkeen laadulle uusia vaatimuksia.

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

2. Hakkeen ominaisuudet

2.1. Haketyypit

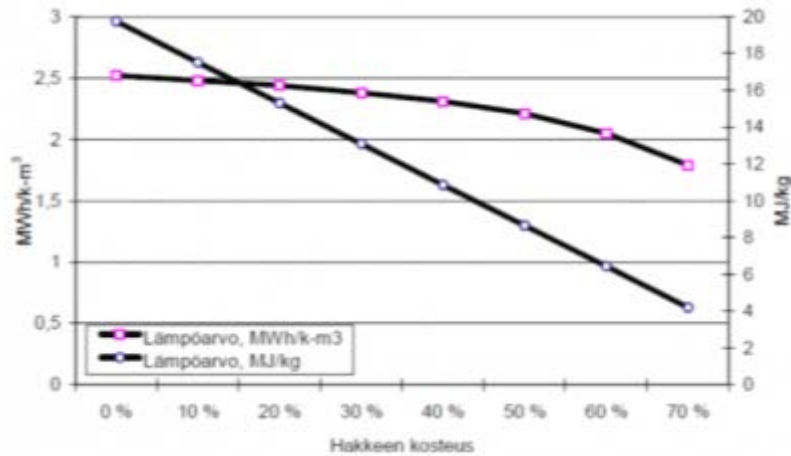
Tyypillisesti hake nimetään sen valmistukseen käytettävän raaka-aineen mukaan. Metsähake on yleisnimitys hakkeelle, joka on valmistettu rangoista, kokopuusta tai hakkuutähteistä. Metsähake voidaan luokitella sen perustella, mistä raaka-aineesta hake on tehty. Esimerkiksi rankahake tehdään puun karsitusta runko-osasta ja metsätähdehake puolestaan latvuksista ja oksista. Kokopuuhakkeessa on sekä runkopuuta että latvuksia ja oksia. ^[1]

Haketyypit voidaan myös jakaa niiden käyttötarkoituksen mukaan. Polttohake on polttokäyttöön ohjattua haketta ja selluhake menee selluteollisuuden raaka-aineeksi. Selluteollisuuden raaka-aineeksi käy vain puhdas puuhake, siinä ei saa olla mukana kuorta, vihreää massaa eikä epäpuhtauksia. ^[1]

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 neulasosus ^[1]. Esimerkiksi männyllä oksien ja latvusten lämpöarvo on korkeampi kuin runkopuun ^[2].

Puun kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo on suunnilleen 18,5–20 MJ/kg eri puulajeilla riippumatta siitä, mistä puun osasta tai osista polttoaine on valmistettu. 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 [31]. Hakkuutähdehакkeen lämpöarvo kasvaa noin 5 % ja kokopuusta valmistetun hakkeen 3,5 %, kun raaka-aineen kosteuspitoisuus alenee 10 %-yksikköä (taulukko 2).



KUVIO 1. Hakkuutähdehакkeen tehollisen lämpöarvon riippuvuus kosteudesta (MWh/m³ tai MJ/kg) [11]

TAULUKKO 1. Puupolttoaineiden lämpöarvoja [21]

Lämpöarvo	Metsätähdehake	Kokopuuhake	Rankahake
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	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	Pilke	Puutähdehake	Sahahake
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa MJ/kg	18,5-19	18,5-20	18,5-20
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa MJ/kg	13,4-14,5	6-15	6-10
Lämpöarvo	Sahanpuru	Kutterinlastu ja hiontapöly	Puupelletti
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa MJ/kg	19-19,2	19-19,2	19-19,2
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa MJ/kg	6-10	16-18	16,8

TAULUKKO 2. Polttoaineen lämpöarvon muutos, kun kosteuspitoisuus alenee 10 %-yksikköä [3]

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

Metsähakkeen erilaiset käyttökohteet vaativat erilaatuista haketta. Suuret ja keskisuuret lämpölaitokset voivat käyttää tuorekosteaa puuraaka-ainetta (kosteuspitoisuus 40–55 %), mutta pienkiinteistöissä ja pienissä lämpölaitoksissa käytettävän puuraaka-aineen kosteuspitoisuuden tulisi olla noin 25 % [4]. 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 [3]. Suurillakin laitoksilla metsähakkeen kosteuspitoisuus pyritään pitämään alle 50 %:ssa, sillä se vaikuttaa energia-tehokkuuteen [5].

Hakkeen kosteuspitoisuuteen vaikuttaa huomattavasti käytetty raaka-aine. Esimerkiksi rangasta valmistetun hakkeen kosteuspitoisuus tuoreena on noin 50 % [4] [6], mutta ilmakehän ylivuotisen rankahakkeen kosteuspitoisuus voi olla laskenut jopa 25–30 %:iin. Sen sijaan hakkuutähdeistä valmistetun hakkeen kosteuspitoisuus voi olla jopa 60 %:ia. [1]

Pienkiinteistöissä käytettäväksi hakkeen raaka-aineeksi soveltuvat sahaustuotteet, karsittu ranka sekä kokopuu, sillä näiden kosteuspitoisuus on alhaisempi kuin hakkuutähdeistä 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 erilaatuksille raaka-aineille. [1] [4]

Kostea hake aiheuttaa yleensä pienissä kohteissa ongelmia varastoinnissa ja kuljettimilla, mikäli se pääsee jäätymään. Kosteus vaikuttaa myös haketusprosessiin. Kostea hake hakeriin laitettu syöte on laadultaan epätasaisempaa kuin kuiva syöte. [3] [7] [8]

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 [9] [5].

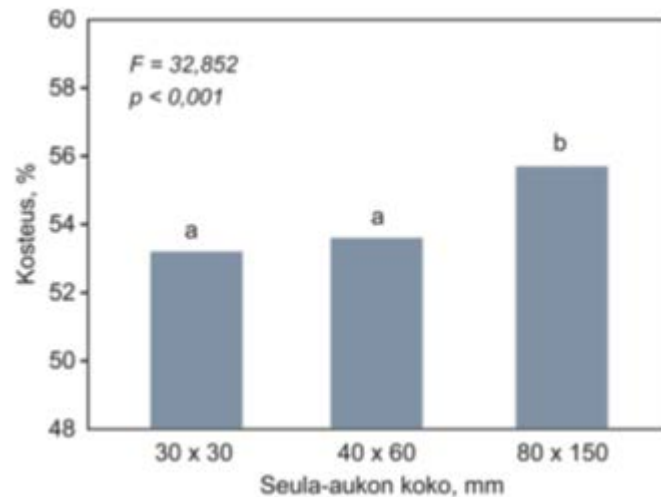
Yleisesti hakepalan keskipituudeksi tavoitellaan 30–40 mm. Hakkeen seassa oleva hienoaines ja ylisuuret palat tai ohuet pitkänomaiset tikut aiheuttavat varastossa ja kuljettimilla häiriöitä (kuva 1). Polttoainekuljettimet voivat mennä tukkoon, jolloin niitä joudutaan puhdistamaan. Tämä aiheuttaa ylimääräistä vaivaa ja katkoksia toimintaan. Hake voi myös holvaantua varastoinnissa tai kuljettimilla, jolloin polttoprosessiin aiheutuu häiriöitä. [10] [8] Hakkeen palakoolla, sen tasalaatuisuudella sekä hienoainesosuudella on havaittu suuri merkitys prosessin toimivuuteen erityisesti pien-CHP-laitoksissa [3] [11].



KUVA 1. Ohuet, pitkänomaiset kappaleet aiheuttavat yleensä kuljettimilla ongelmia (kuvaaja: Anu Hilli)

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 [31] [71].

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 [12]. Hakkeen palakoko vaikuttaa myös hakkeen kosteuspitoisuuteen ja irtotiheyteen. Hakkeen kosteuspitoisuus kasvaa palakoon kasvaessa (kuvio 2). Irtotiheys puolestaan kasvaa palakoon pienentyessä.



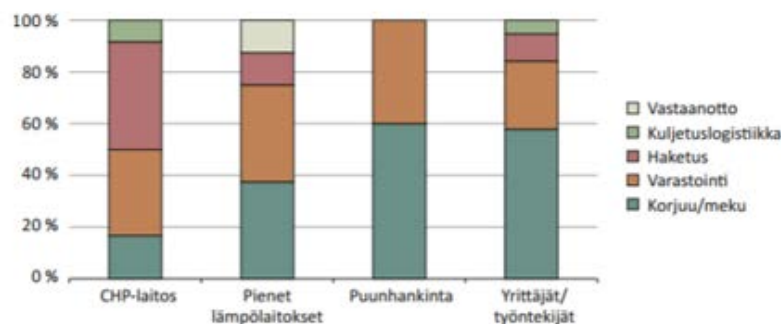
KUVIO 2. Hakkeiden keskimääräiset kosteudet palakoon mukaan [41]

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 puuaineksen sekaan sekä edistää puuraaka-aineen kuivumista.

Tärkeimmät työvaiheet, jotka vaikuttavat metsähakkeen laatuun, ovat puun korjuu ja metsäkuljetus sekä energiapuun varastointi (kuvio 3) ja kantojen nostossa myös kohteen valinta. Erityisesti pienten lämpölaitosten ja puunhankintaorganisaatioiden toimijat korostavat hakkeen toimitusketjun alkuosan merkitystä hakkeen laadussa. [11]



KUVIO 3. Toimijoiden näkemykset hakkeen laatuun vaikuttavista tekijöistä toimitusketjussa [51]

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 (kuvat 2 ja 3). Lisäksi kuivuvien puunrunkojen tulisi olla irti maasta. Tämä on helppo toteuttaa aluspuilla.



KUVA 2. Energiapuuta varastoituna aurinkoisella ja tuulisella paikalla (kuvaaja: Anu Hilli)



KUVA 3. Energiapuuta varastoituna metsänreunaan (kuvaaja: Anu Hilli)

Energiapuun korjuun ja metsäkuljetuksen sekä varastoinnin merkityksestä hakkeen tuotantoketjussa on kirjoitettu kattavasti muun muassa Metsäkeskusten laatimassa Laatuhaakkeen tuotanto-oppaassa ja VTT:n tutkimusraportissa: Metsäpolttoaineiden varastoitavuus runkoina ja hakkeena sekä lämmöntuotantoon integroitu metsä-polttoaineen kuivaus [\[4\]](#) [\[7\]](#).

3.2. Haketustavat

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

Tienvarsihaaketusta on haketustavoista yleisin. Tienvarsihaaketuksella 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. [\[5\]](#) [\[13\]](#). Tienvarsihaaketuksen osuus haketustavoista oli 53 % vuonna 2015. Tienvarsihaaketuksen osuus on viime vuosina ollut hienoisessa laskussa, kun taas käyttöpaikkaa haaketuksen osuus on ollut kasvussa. Käyttöpaikkaa haaketuksen osuus on silti melko vähäinen, 16 % koko metsähaakkeen tuotannosta. Käyttöpaikkaa haaketuksessa haketus tapahtuu kohteessa, jossa haketta käytetään. [\[14\]](#) Tämä haketusmuoto soveltuu parhaiten suurille voimalaitoksille, sillä investointikustannukset ovat korkeat [\[5\]](#) [\[15\]](#).

Terminaalihaaketuksen osuus oli 31 % vuonna 2015. Terminaalihaaketuksessa haakkeen raaka-aine on kuljetettu 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. [\[14\]](#) Terminaalissa haakkeen raaka-aineena käytettävän materiaalin annetaan yleensä kuivua luonnonolosuhteissa kesän yli. Terminaalihaaketusta mahdollistaa eri kosteuspiitoisuutta olevien haakkeiden tuotannon [\[15\]](#).

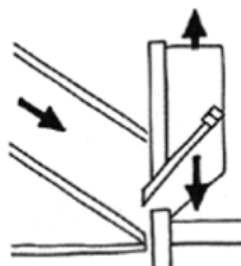
Palstahaaketuksessa raaka-aineen haketus tapahtuu palstalla. Tällöin hakkuri on usein rakennettu metsäkoneen alustalle ja valmis hake kuljetetaan metsäautotien varteen. Tämä haketusmuoto ei ole enää lainkaan käytössä metsähaakkeen kaupallisessa tuotannossa. [\[15\]](#)

3.3. Hakkurityypit

Haakkeen valmistukseen on käytössä useita erityyppisiä hakkureita. Hakkurit voidaan jakaa terien pyörimisnopeuksien, terälaitteen geometrian tai syöttötavan mukaan eri tyyppisiin. 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 4). 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 (kuva 4). Haakkeen palakokoa voidaan muuttaa säätämällä terien etäisyyttä. [\[16\]](#)



KUVIO 4. Laikkahakkurin toimintaperiaate [\[16\]](#)



KUVA 4. Laikkahakkurilla tuotettua haketta (kuvaaja: Aarno Pylväs)

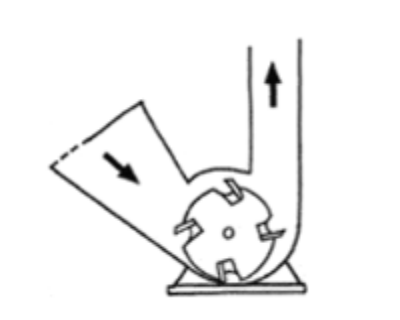
Laikkahakkurit vaativat runsaasti tehoa traktorista, mutta ne ovat suhteellisen edullisia (kuva 5). Hinnat liikkuvat 8 000–16 000 euroon, riippuen mallista ja tehosta. Parhaimmillaan laikkahakkuri on pienen mittakaavan toiminnassa. Laikkahakkureiden tuotos on 5–100 irtokuutiota/tunti [\[17\]](#).



KUVA 5. Foretecin Skorpion 120 S laikkahakkuri [\[2\]](#)

3.3.2. Rumpuhakkuri

Rumpuhakkuri soveltuu parhaiten suurten kokoluokkien toimintaan. Rumpuhakkurissa on nimensä mukaisesti terärumpu, jonka ulkopinnalla olevien terien määrä vaihtelee (kuvio 5) valmistajan mukaan. Rakenteensa vuoksi se sietää huomattavasti paremmin epäpuhtauksia ja sillä pystyy hakettamaan hakkuutähteitä. Rumpuhakkurin tuottama hake on tasalaatuisempaa kuin muissa hakkurimalleissa (kuva 6). Tasalaatuisuutta voidaan varmentaa käyttämällä seulaa rummun ja poistoputken välissä. [\[18\]](#) [\[4\]](#)



KUVIO 5. Rumpuhakkurin toimintaperiaate [\[8\]](#)



KUVA 6. Rumpuhakkurilla tuotettua haketta (kuvaaja: Mikko Aalto)

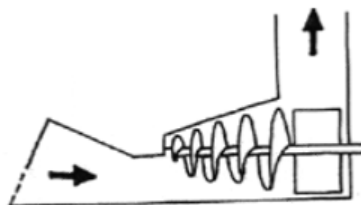
Mikäli on tarkoitus valmistaa mahdollisimman paljon haketta nopeasti, rumpuhakkuri on paras vaihtoehto. Suurimpien rumpuhakkureiden (kuva 7) tuotantokapasiteetti on jopa yli 130 irtokuutiometriä tunnissa ^[19]. Luonnollisesti ne ovat myös kalliimpia. Hinnat ovat yleensä 15 000 eurosta ylöspäin. Rumpuhakkureiden käyttövoima otetaan joko maataloustraktorista tai alustana toimivan kuorma-auton moottorista. Kuorma-autoalustaisilla hakkureilla tuottavuus on traktorikalustoa suurempi. ^[7] ^[16] Rumpuhakkurit ovat muihin hakkurityyppeihin verrattuna kalliimpia. Valmistajat eivät ilmoita myyntihintojaan verkkosivuilla, joten hinta-arvio on laadittu jälleenmyyjien hinnoittelujen perusteella. Tämän arvioon perustella halvimmat rumpuhakkurit maksaisivat 15 000–25 000 euroa.



KUVA 7. Rumpuhakkuri ^[9]

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 6 ja kuva 8). Se soveltuu hyvin vain karsitun rangan ja sahauspintojen hakettamiseen ^[4].



KUVIO 6. Ruuvihakkurin toimintaperiaate ^[9]



KUVA 8. Kartioruuvihakkurin haketta (kuvaaja: Tanja Lepistö) ^[11]

Ruuvihakkurit ovat parhaimmillaan pienen mittakaavan tuotannossa, mutta ne ovat selkeästi muita hakkureita heikompia ratkaisuja. Vaikka niiden tuntituotos on parhaimmillaan 100–200 irtokuutiometriä, niiden vaatima suuri vääntömomenti ja terän työläs vaihto tekevät niistä huonomman vaihtoehdon kuin muut hakkurit. Ruuvihakkurin tuottama palakoko on myös suurempi kuin laikka- ja rumpuhakkureiden. ^{[19] [16]}

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 ^[20]. Myös puulajilla ja puun korjuun ajankohdalla on merkitystä kuivattavan puumateriaalin alkukosteuteen. Suomen kasvavien yleisimpien puulajien kosteuspitoisuus vaihtelee tuoreena 40–55 %:iin ^[21].

4.1. Luonnonolosuhteissa kuivaaminen

Suurin osa energiaksi käytettävästä puusta kuivataan luonnonolosuhteissa. Kosteuspitoisuus luonnonkuivauksella kuivatussa puurangassa ja siitä valmistetussa hakkeessa jää yleensä 30–50 %:iin, mutta hyvin onnistuttaessa voidaan jopa päästä 25 % kosteuspitoisuuksiin. ^{[4] [7]}

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 ^[4]. Ulkona varastoitu energiapuu alkaa kuitenkin kostua uudelleen elo-syyskuusta alkaen, kun ilman kosteuspitoisuus nousee. Energiapuun kosteuspitoisuus voi hyvinkin nousta 5–10 % verrattuna kesän kuivumisjaksoon ^[22].

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 hakeaumojen peittäminen ei riitä, sillä peitettyjen hakeaumojen on todettu kostuvan sateissa ja kosteuspitoisuuden nousevan jopa 50 %:iin. ^[7] 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 lämminilmakuivaus ovat Suomessa yleisimpiä. Kylmäilmakuivauksella tarkoitetaan kuivausta, jossa puhallusilmaa lämmitetään muutamia asteita auringon säteilyenergiaa hyödyntäen tai puuraaka-aine kuivataan ulkoilman lämpötilassa. Kylmäilmakuivaus on riippuvainen sääolosuhteista. Se onnistuu parhaiten, kun ilman lämpötila on korkea ja suhteellinen kosteus alhainen. ^{[20] [23]} Kuivumistulokseen vaikuttavat myös hakkeessa olevan hienoaineksen määrä ja se, kuinka tasaisesti ilma saadaan johdettua hakekerroksen läpi ^{[20] [6]}. Aksiaalipuhaltimilla kuivausenergian kulutus hakkeen kylmäilmakuivauksessa on ollut keskimäärin 10 kWh/i-m³ ja keskipakopuhaltimilla 15–25 kWh/i-m³ ^{[24] [4]}.

Lämminilmakuivauksessa kuivausilman lämpötila kohotetaan yleisimmin 60–70 asteeseen. Myös lämminilmakuivauksessa 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 lämminilmakuivureiden hyötysuhde paranee, mikäli kuivausilma esilämmitetään. ^[20]

Puupilkkeiden ja hakkeiden kuivauksen teoriaa ja esimerkkejä erilaisista kuivureista on muun muassa Suomen metsäkeskuksen julkaisemassa Puupolttoaineen kuivurioppaassa ^[20] ja raportissa Puuhakkeen käsittely- ja poltto-ominaisuuksien parantaminen ^[25].

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 kuivemmissä hakkeissa (32 %) vähäisempää ja lyhytaikaisempaa kuin kosteissa (42 %). Hake säilyy hyvin varastoitaessa, mikäli se on kuivattu 32 %:n kosteuspitoisuuteen ja varastoitu kosteudelta suojattuna. Tällöin ei myöskään muodostu huomattavia kuiva-ainetappioita. ^[20]

Hakkeen kosteuspitoisuuden ollessa alle 30 %, se pysyy lähes muuttumattomana koko talven ajan, mikäli hake varastoidaan kuivassa hallissa. Sen sijaan talven jälkeen ulkona varastoitujen hakkeiden kosteuspitoisuudet 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. ^[7] Tällaista haketta ei voida toimittaa pienkiinteistöille eikä se myöskään sovi pienille lämpölaitoksille.

5. Loppupäätelmät

Nykyisin metsähaketta tuotetaan pääasiassa erilaisiin lämmöntuotantolaitoksiin, missä hake poltetaan lämmöksi. Tulevaisuudessa hakkeen käyttö muuhun kuin puhtaaseen lämmöntuotantoon lisääntyy, jolloin hakkeen laatu tulee korostumaan. Esimerkiksi yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa hakkeen tasaisella kosteuspitoisuudella ja palakoon tasalaatuisuudella on tärkeä merkitys.

Mikäli kiristyviin hakkeen laatuvaatimuksiin halutaan vastata, joudutaan vaikuttamaan jo hakkeen raaka-aineen valintaan sekä haketustapaan ja hakkurityyppiin. Toisin sanoen jo hankintaketjun alussa tulee tietää, mihin käyttökohteeseen hake tulee päätyvän. Tuoreesta energiapuusta saadaan laadukkampaa haketta kuin luonnonolosuhteissa vuoden kuivatusta, mutta tällaisen koneellisesti kuivatun hakkeen tuotantokustannukset ovat toki korkeammat.

Julkaisu on laadittu osana PUUTA-hanketta (Puuraaka-aineen hyödyntäminen Utajärven kunnassa)



Lähteet

- ¹ ^ ^{abcde} Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia, VTT-tiedote 2045. Espoo. Hakupäivä 6.9.2017. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/t2045.pdf>
- ² ^ Nurmi, J. 1999. Hakuutähteiden ominaisuuksista. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 722. Kannuksen tutkimusasema.
- ³ ^ ^{abcde} Etelätalo, E. 2013. Erilaatuisten hakkeiden käyttökohdemahdollisuuksista ja tuotantokustannuksista. KARELIA-Ammattikorkeakoulu, Biotalouden keskus, Hajautetut

- biojalostamot -hanke. Raportti. Hakupäivä 6.9.2017.
<http://www.forestenergy.org/openfile/466>
4. ^ [abcdeghi](#) Lepistö, T. (toim.) 2010. Laatuhaakkeen tuotanto-opas. 2. p. Metsäkeskukset. Sastamala: Vammaspaino. Hakupäivä 6.9.2017.
<https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files...>
 5. ^ [abcd](#) Hakkila, P. 2004. Puuenergian teknologiaohjelma 1999-2003. Teknologiaohjelmaraportti 5. Helsinki.
 6. ^ [ab](#) Hilli, A., Posio, M., Kylmänen, E., Åman, E. & Åman, K. 2017. Aurinkoenergian hyödyntäminen puuhakkeen kuivaamisessa. ePooki. Oulun ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitystyön julkaisut 7. Hakupäivä 6.9.2017.
<http://urn.fi/urn:nbn:fi-fe201703031957>
 7. ^ [abcdefg](#) Raitila, J., Virkkunen, M. & Heiskanen, V-P. 2014. Metsäpolttoaineiden varastoitavuus runkoina ja hakkeena sekä lämmöntuotantoon integroitu metsäpolttoaineen kuivaus. Tutkimusraportti VTT-R-04524-14. VTT, Helsinki.
 8. ^ [ab](#) Hilli, A., Kylmänen, E., Härkönen, M. & Uutela, T. 2016. Hake pelletin korvaajana keskuslämmityskattilassa. ePooki. Oulun ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitystyön julkaisut 32. Hakupäivä 6.9.2017.
<http://urn.fi/urn:nbn:fi-fe2016121431395>
 9. ^ Hakkila, P. 1989. Utilization of Residual Forest Biomass. Heidelberg: Springer-Verlag.
 10. ^ Autio, H. 2009. Osaamistarpeet keski-suomalaisessa metsäenergian hankintaketjussa. Selvitys. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Jyväskylä.
 11. ^ [ab](#) Jahkonen, M. & Ikonen, T. 2014. Toimijoiden näkemykset metsähakkeen toimitusketun laadusta Pohjois-Karjalan alueella. Metlan työraportteja 280. Hakupäivä 6.9.2017.
<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp280.pdf>
 12. ^ Jylhä, P. 2013. Autohakkurin seula-aukon koon vaikutus kokopuun haketuksen tuottavuuteen ja polttoaineen kulutukseen. Metlan työraportteja 272. Hakupäivä 6.9.2017.
<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2013/mwp272.htm>
 13. ^ Kärhä, K. 2009. Metsähakkeen tuotantoketjut Suomessa vuonna 2008. Metsätehon tuloskalvosarja 14. Hakupäivä 6.9.2017.
<http://www.metsateho.fi/metsahakkeen-tuotantoketjut-suomessa-vuonna-2008/>
 14. ^ [ab](#) Strandström, M. 2016. Metsähakkeen tuotantoketjut Suomessa 2015. Metsätehon tuloskalvosarja 7.
 15. ^ [abc](#) 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.
 16. ^ [abc](#) Metsäverkko. 2017. Hakkurit. Hakupäivä 6.9.2017.
http://virtuoosi.pkky.fi/metsaverkko/Energiapuun_korjuu/haketus...
 17. ^ Salojärvi, A. 2013. Hakkureiden tuottavuuden vertailu tuotettaessa kahden eri palakoon haketta. Karelia-ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Hakupäivä 6.9.2017.
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/63740...>
 18. ^ Sallinen, T. 2017. Piirrookset hakkureiden toimintaperiaatteista. Hakupäivä 6.9.2017.
http://virtuoosi.pkky.fi/metsaverkko/Energiapuun_korjuu/haketus...
 19. ^ [ab](#) Karelia ammattikorkeakoulu. 2017. Pienpuun tuotanto ja käyttö energiaksi. Karelia ammattikorkeakoulu. Hakupäivä 6.9.2017.
<http://www.karelia.fi/bioenergia/pienpuuntuotanto/2/2.3.htm>
 20. ^ [abcdef](#) Kauppinen, V-P. (toim.) 2014. Puun kuivaaminen. Puupolttoaineen kuivuriopas. Vammalan kirjapaino Oy, Vammala.
 21. ^ Routa, J. 2014. Energiapuuvastojen kosteusmallit. Laava-seminaari 19.2.2014. Vantaa.
 22. ^ Erkkilä, A., Hillebrand, K., Raitila, J., Virkkunen, M., Heikkinen, A., Tiihonen, I. & Kaipainen, H. 2010. Kokopuun ja mäntykantojen korjuuketjujen sekä varastoinnin kehittäminen. Tutkimusraportti VTT-R-10151-10. VTT, Jyväskylä.
 23. ^ Niemitalo, V. 2011. Hakkeen kuivaus; yhteenvetoa eri koe- ja tutkimustoiminnasta. Hakupäivä 6.9.2017. Puuenergiatoimisto-hanke. Ammattiopisto Lappia. Hakupäivä 6.9.2017.
<http://docplayer.fi...>
 24. ^ Rinne, S. 2002. Puupolttoaineiden kuivausmenetelmien kartoitus. Jyväskylä. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Energiatekniikan osasto. Opinnäytetyö. Lappeenranta.
 25. ^ Roitto, J. 2014. Puuhakkeen käsittely- ja poltto-ominaisuuksien parantaminen. Biotalouden kehittäminen Parikkalassa hankeraportti. Hakupäivä 6.9.2017.
<http://www.parikkala.fi/loader.aspx?id=dfcfff301-0665-435e-81a2-b04daeb99593>

Kuvalähteet

1. ^ KUVIO 1. Hakuutähdehakkeen tehollisen lämpöarvon riippuvuus kosteudesta (MWh/m³ tai MJ/kg). Teoksessa Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia, VTT-tiedote 2045. Espoo. Hakupäivä 6.9.2017. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/t2045.pdf>

2. [△TAULUKKO 1. Puupolttoaineiden lämpöarvoja. Teoksessa Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia, VTT-tiedote 2045. Espoo. Hakupäivä 6.9.2017. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/t2045.pdf>](#)
3. [△TAULUKKO 2. Polttoaineen lämpöarvon muutos, kun kosteuspitoisuus alenee 10 %-yksikköä. Teoksessa Hakkila, P. 2004. Puuenergian teknologiaohjelma 1999-2003. Teknologiaohjelmaraportti 5. Helsinki.](#)
4. [△KUVIO 2. Hakkeiden keskimääräiset kosteudet palakoon mukaan. Teoksessa Jylhä, P. 2013. Autohakkurin seula-aukon koon vaikutus kokopuun haketuksen tuottavuuteen ja polttoaineen kulutukseen. Metlan työraportteja 272. Hakupäivä 6.9.2017. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2013/mwp272.htm>](#)
5. [△KUVIO 3. Toimijoiden näkemykset hakkeen laatuun vaikuttavista tekijöistä toimitusketjussa. Teoksessa Jahkonen, M. & Ikonen, T. 2014. Toimijoiden näkemykset metsähakkeen toimitusketun laadusta Pohjois-Karjalan alueella. Metlan työraportteja 280. Hakupäivä 6.9.2017. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp280.pdf>](#)
6. [△KUVIO 4. Laikkahakkurin toimintaperiaate. Teoksessa Sallinen, T. 2017. Piirroksiset hakkureiden toimintaperiaatteista. Hakupäivä 6.9.2017. Sallinen, T. 2017. Piirroksiset hakkureiden toimintaperiaatteista. Hakupäivä 6.9.2017. \[http://virtuosi.pkky.fi/metsaverkko/Energiapuu/Energiapuun_korjuu/haketus/hakkurit.htm\]\(http://virtuosi.pkky.fi/metsaverkko/Energiapuu/Energiapuun_korjuu/haketus/hakkurit.htm\)](#)
7. [△KUVA 5. Foretecin Skorpion 120 S laikkahakkuri. Teoksessa Foretec Oy. 2017. Tuotteet. Hakupäivä 6.9.2017. <http://www.foretec.fi/fi/tuotteet>](#)
8. [△KUVIO 5. Rumpuhakkurin toimintaperiaate. Teoksessa Sallinen, T. 2017. Piirroksiset hakkureiden toimintaperiaatteista. Hakupäivä 6.9.2017. \[http://virtuosi.pkky.fi/metsaverkko/Energiapuu/Energiapuun_korjuu/haketus/hakkurit.htm\]\(http://virtuosi.pkky.fi/metsaverkko/Energiapuu/Energiapuun_korjuu/haketus/hakkurit.htm\)](#)
9. [△KUVA 7. Rumpuhakkuri. Teoksessa Karelia ammattikorkeakoulu. 2017. Pienpuun tuotanto ja käyttö energiaksi. Karelia ammattikorkeakoulu. Hakupäivä 6.9.2017. <http://www.karelia.fi/bioenergia/pienpuuntuotanto/2/2.3.htm>](#)
10. [△KUVIO 6. Ruuvihakkurin toimintaperiaate. Teoksessa Sallinen, T. 2017. Piirroksiset hakkureiden toimintaperiaatteista. Hakupäivä 6.9.2017. \[http://virtuosi.pkky.fi/metsaverkko/Energiapuu/Energiapuun_korjuu/haketus/hakkurit.htm\]\(http://virtuosi.pkky.fi/metsaverkko/Energiapuu/Energiapuun_korjuu/haketus/hakkurit.htm\)](#)
11. [△KUVA 8. Kartioruuvihakkurin haketta \(kuvaaja: Tanja Lepistö\) Teoksessa Lepistö, T. \(toim.\) 2010. Laatuhakkeen tuotanto-opas. 2. p. Metsäkeskukset. Sastamala: Vammaspaino. Hakupäivä 6.9.2017. \[https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/laatuhakkeen_tuotanto-opas_2.painos.pdf\]\(https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/laatuhakkeen_tuotanto-opas_2.painos.pdf\)](#)

Metatiedot

Nimeke: Hakkeen laatuun vaikuttavat tekijät

Tekijä: Putula Joel; Hilli Anu

Aihe, asiasanat: energiapuu, hake, haketus, hakkurit, kotimaiset polttoaineet, laatu, metsähake, ominaisuudet, puuenergia, puutavara

Tiivistelmä: Haketta käyttävät pienet lämpölaitokset sekä pienet sähköä tuottavat CHP-laitokset toimivat parhaiten kuivalla ja hyvälaatuisella puuhakkeella. Hyvälaatuisen hakkeen tuotanto alkaa oikein toteutetusta raaka-aineen hankinnasta ja energiapuun kuivauksesta.

Julkaisussa selvitetään kirjallisuuden perustuen hyvälaatuisen hakkeen valmistamiseen ja käsittelyyn liittyviä vaatimuksia erilaisissa käyttökohteissa. Julkaisussa keskitytään pääasiassa hakkeen polttoon liittyviin ominaisuuksiin ja tuotantoketjun osalta selvitetään eri hakkurityyppien käytön vaikutusta hakkeen laatuun.

Tärkeimmät hakkeen polttoon vaikuttavat ominaisuudet ovat kosteuspitoisuus, puuaineen kemiallinen koostumus ja tiheys, sillä hakkeen laatu polttoaineena määritetään lämpöarvon mukaan. Myös hakkeen palakoko ja sen tasalaatuisuus ovat merkittäviä tekijöitä erityisesti pienissä laitoksissa. Hakkurityypistä tasalaatuisinta haketta saadaan tuotettua rumpuhakkureilla. Ne soveltuvat hyvin erilaisille syötteille. Laatuhakkeen tuotannossa raaka-aineen tulee kuitenkin olla hyvälaatuista, jotta lopputulos on halutunlainen.

Julkaisija: Oulun ammattikorkeakoulu, Oamk

Aikamääre: Julkaistu 2017-10-09

Pysyvä osoite: <http://urn.fi/urn:isbn:978-951-597-150-0>

Kieli: suomi

ISBN: 978-951-597-150-0

Suhde: <http://urn.fi/URN:ISSN:1798-2022>, ePooki - Oulun ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitystyön julkaisut

Oikeudet: Julkaisu on tekijänoikeussäännösten alainen. Teosta voi lukea ja tulostaa henkilökohtaista käyttöä varten. Käyttö kaupallisiin tarkoituksiin on kielletty.

Näin viittaat tähän julkaisuun

Putila, J. & Hilli, A. 2017. Hakkeen laatuun vaikuttavat tekijät. ePooki. Oulun ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitystyön julkaisut 30. Hakupäivä xx.xx.201x. <http://urn.fi/urn:isbn:978-951-597-150-0>.