Hakelämpölaitoksen hyötysuhteen parantaminen ja hakkeen laadun varmistaminen

Forsström Antti

Opinnäytetyö
Kesäkuu 2011
Paperitekniikan koulutusohjelma
Tampereen ammattikorkeakoulu

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

Tampereen ammattikorkeakoulu, Insinööri (AMK)
Paperitekniikan koulutusohjelma

Tekijä(t): Antti Forsström
Työn nimi: Hakelämpölaitoksen hyötysuhteen parantaminen ja hakkeen laadun varmistaminen
Sivumäärä: 35
Valmistumisaika: Kesäkuu 2011
Työn ohjaaja: DI Arto Nikkilä
Työn tilaaja: Osuuskunta Nummen perusenergia

TIIVISTELMÄ

Hakkeen laatu polttoaineena määräytyy siitä saadun lämpöarvon mukaan. Mitä parempaa haketta lämpöarvoltaan on pystytty toimittamaan, sitä paremmin siitä on saatu energiaa eli hyötysuhde parani. Kun haketoimittajalle maksetaan tuotetun energian mukaan, on haketoimittajalla suurempi tarve toimittaa laadukasta haketta.

Hakkeen laatuun vaikutti eniten sen kuiva-ainepitoisuus: 15 % kosteuspitoisuuden alenemisen on todettu parantavan hakkeen tehollista lämpöarvoa noin 8 %. Tehokkain tapa alentaa hakkeen kosteutta oli raaka-aineen oikea varastointimenetelmä.

Mekaanisesti hakkeen laatuun voitiin tutkimusten mukaan vaikuttaa oikealla haketusmenetelmällä ja hakettimen kunnossapidolla. Näillä vaikutettiin hakkeen koostumukseen ja siten polttolaitoksen käyttöasteeseen.

Lämpölaitokset ovat nykyään pitkälle automatisoituja ja pitävät huolen riittävästä lämmöntuotosta hakkeen laadusta huolimatta. Huonolaatuisen hakkeen on kuitenkin todettu lisäävän hakkeenkulutusta. Tämän vuoksi riittävän lämmön tuotto vaati kostealla puulla enemmän haketta, jolloin hyötysuhde heikkenee.

Opinnäytetyötä varten käytiin läpi lukuisia aiheesta tehtyjä aineistoja. Hakkeen dimensioiden määrityksessä sovellettiin SCAN-CM 40:01 -standardin mukaisia laitteita ja menetelmiä.

Asiasanat Opinnäytetyö, hakelämpölaitos, hakkeen laatu.

TAMK University of Applied Sciences, Bachelor Degree
Paper technology
Writer(s): Antti Forsström
Thesis: Improving Efficiency of Wood Chip Heating Plant and Ensure the Quality of Wood Chips
Pages: 35
Graduation time: May 2011
Thesis Supervisor: DI Arto Nikkilä
Co-operating Company: Osuuskunta Nummen perusenergia

ABSTRACT

The thermal value of wood material determines the quality of wood chips. The better the thermal value of wood chips is the better the efficiency of burning process is in the power plant.

The dry solid content of wood chips is the most important factor. The 15 % reduction in moisture content of wood chips improved 8 % the net heating value. The most effective way to affect the wood chips drought was the correct storage method of wood chips

According to the literature the mechanical quality of wood chips was affected by the right chipping methods and the maintenance of the chipper. It is the best way to improve the size distribution of wood chips.

The automation degree of power plants are high and the production capacity of heating energy is high despite of quality of wood chips. However the poor quality of fuel will increase the use of wood chips.

For this thesis was red and stuedied series of data and literature.The chips dimensions were measured by the equipment and methods of the standard SCAN-CM 40:01.

Keywords Thesis, chips heat plant, chip quality.

ESIPUHE

Opinnäytetyö oli kova työ niin minulle kuin perheellenikin. Perheen viemä aika ja opinnäytetyön aiheeseen perehtyminen loivat omat haasteensa. Haluan kiittää työn tilaajaa, ohjaajaa ja ennen kaikkea perhettäni kärsivällisyydestä.

Tampereella kesäkuussa 2011

Antti Forsström

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO....7
1.1 Osuuskunta Nummen perusenergia.... 8
1.2 Metsänhoitoyhdistys Länsi-Uusimaa....9
2 POLTTOLAITOKSET....10
2.1 Polttolaitoksen toiminta....10
2.2 Säädöt....12
3 HAKKEEN LAATUTEKIJÄT....14
4 HAKKEEN LAADUN VARMISTAMINEN....18
4.1 Raaka-aine....18
4.2 Hakkurityyppi....19
4.3 Varastointi....21
4.3.1 Palstavarastointi....21
4.3.2 Välivarasto....22
5 HAKETUS JA LOGISTIIKKA....26
5.1 Palstahaketus....26
5.2 Välivarastohaketus....26
5.3 Terminaalihaketus....27
5.4 Käyttöpaikkahaketus....27
6 TUOTANTOKUSTANNUKSET....29
7 JOHTOPÄÄTÖKSET....33
LÄHTEET....35

TERMIEN LUETTELO

Energiapuu
Polttoon tai muuhun energiakäyttöön tarkoitettu puu tai puutavara muodosta ja lajista riippumatta.

Hakkuutähde
Runkopuun hakkuussa syntyvä metsään jäävä puuaines kuten oksat. Myös raivauspuut ja hylkypölkyt luetaan hakkuutähteeksi.

Hakkuutähdehake
Hakkuutähteestä tehty hake.

Harvennuspuu
Harvennushakkuissa poistettava osa metsikön puustosta, harvennushakkuissa korjattu. puutavara

Kantohake
Kannoista tai liekopuusta tehty hake

Kokopuu
Karsimaton runko tai siitä katkaisemalla tehty puutavara.

Kokopuuhake
Kokopuusta tehty hake (runkopuu, oksat, neulaset).

Ranka
Karsittu runko tai pölkky, joka ei yleensä täytä kuitupuun vaatimuksia.

Rankahake
Karsitusta runkopuusta tehty hake. Sisältää usein myös metsään käyttämättä jäävän runkopuun kuorineen sekä ensiharvennuksen yhteydessä syntyvän puuaineksen.

1 JOHDANTO

Osuuskunta Nummen perusenergialla oli tarve kasvattaa toiminnan kannattavuutta lämpölaitosten hyötysuhdetta parantamalla. Työn painopisteiksi valittiin hakkeen laatu ja polttolaitoksen toiminnan varmistaminen.

Lämpölaitoksen hyötysuhteen parantaminen palvelee sekä hakkeen toimittajaa että käyttäjää. Mitä enemmän hakkeesta saadaan lämpöä kuutiota kohden, sitä vähemmän haketta tarvitaan. Siten lämpölaitoksen kulutus vähenee ja hakkeentoimittaja saa hakkeesta paremman katteen, jos hakkeesta maksetaan tuotetun lämmön mukaan. Hakkeen lämpöarvoon voidaan parhaiten vaikuttaa parantamalla sen kriittisintä laatutekijää kosteuspitoisuutta. Jos hakkeen kosteuspitoisuutta saadaan laskettua pienlämpölaitosten 40 %:n vaatimusrajasta 20 %:iin paranee hakkeen tehollinen lämpöarvo n. 4 MJ/kg(Hakkila 2004, 68.) Näin 1 MWh tuottamiseen kuluisi 0,6 m^3 vähemmän haketta kuin 40% kosteudessa olevalla hakkeella. 6200 MWh:n vuosituotannolla kosteuden alennus säästäisi haketta 3720 m^3/a.

Paras tapa nostaa hakkeen kuiva-ainepitoisuutta on raaka-aineen oikea varastointi. Hakkuutähteen osalta palstalla kuivatus riittää laskemaan raaka-aineen kosteuspitoisuuden alle 40 %:n raaka-aineen kosteuden lisääntyminen varastoinnin sadekausien ja lumien sulamisaikana saadaan minimoitua varastokasojen peittämisellä.

Polttoprosessin jatkuvan toiminnan kannalta hakkeen tulee olla tasalaatuista. Suuret kosteusvaihtelut aiheuttavat säätöteknisiä haasteita, ja ylisuuret partikkelit voivat estää kuljettimien toiminnan. Hakkeen tasalaatuisuuteen pystytään vaikuttamaan valitsemalla oikea haketin oikealle raaka-aineelle. Myös hakettimen kunnolla on suuri vaikutus hakkeen laatuun.

1.1 Osuuskunta Nummen perusenergia

Osuuskunta on perustettu 16.4.1996. Perustamista edelsi hankerahoituksen tuella tehty puuperäisen energian lisäämiseen tähdännyt selvitys Nummi-Pusulan, Sammatin ja Karjalohjan kunnissa. Kaupparekisteriin Nummen Perusenergia rekisteröitiin v. 1998. Osuuskunnan kotipaikka on Nummi-Pusula, toiminta-aluetta ei ole rajattu maantieteellisesti. Osuuskunnan sääntöjen mukaan sen toimialana on lämpöenergian tuotanto.(Iso-Markku 2011, 1).

Osuuskunnalla on 1.6.2010 kaikkiaan 49 jäsentä. Jäsenet ovat yksityisiä maan ja metsänomistajia Nummi-Pusulan, Sammatin, Karjalohjan, Lohjan ja Vihdin kunnista. Myös Länsi-Uudenmaan metsänhoitoyhdistys on osuuskunnan jäsen. Osuuskunnan hallituksen 7 jäsentä tulevat Nummi-Pusulasta, Sammatista, Lohjalta ja Vihdistä.(Iso-Markku 2011, 1).

Osuuskunnalla ei ole palkattua henkilöstöä. Osuuskunta ostaa hallinto- ja johtamispalvelut metsänhoitoyhdistykseltä, haketus-, kuljetus- ja lämmityspalvelut yksityisiltä urakoitsijoilta ja kirjanpitopalvelut tilitoimistolta.(Iso-Markku 2011, 1).

Osuuskunnalla on seuraavat lämmöntoimitussopimukset:

Nummi-Pusulan kunta	Oinolan koulukeskus, 2003	0,5 MW
Seliö-Boats Oy	venetehdas, Sammatti, 2005	0,3 MW
Lohjan kaupunki	Sammatin keskusta, 2008	0,5 MW
Työtehoseura	Lönnroth opisto, 2009	0,7 MW

Osuuskunnalla on myös hakkeen toimittamisesta sopimus:

Kansan Raamattuseura	Vivamon toimintakeskus	0,5 MW

Sopimusten piirissä olevien laitosten nimellisteho on 2,5 MWh. Vuonna 2010 laitokset tuottivat n. 6300MWh. Käytännössä laitokset käyttävät yhteensä n. 9000 i-m^3 haketta vuosittain.(Iso-Markku 2011, 2).

1.2 Metsänhoitoyhdistys Länsi-Uusimaa

Metsänhoitoyhdistys Länsi-Uusimaa on yksityismetsien asiantuntija ja metsänomistajien oma edunvalvoja. Yhdistys tuntee Länsi-Uudenmaan metsät ja paikallisen puukaupallisen tilanteen. Metsänhoitoyhdistys palvelee metsänomistajia kaikissa puukaupallisissa ja metsänhoidollisissa asioissa.(Metsänhoitoyhdistys).

Metsänhoitoyhdistys Länsi-Uusimaa toimii Karkkilan, Karjalohjan, Lohjan, Nummi-Pusulan, Sammatin ja Vihdin alueilla. Kaikki metsänhoitomaksua maksavat metsänomistajat ovat yhdistyksen jäseniä. Yhdistyksen korkeinta päätösvaltaa käyttää jäsenten postivaaleilla valitsema 30 henkilön valtuusto.(Metsänhoitoyhdistys).

Metsänhoitoyhdistys Länsi-Uusimaa on yhtenä osakkaana Osuuskunta Nummen perusenergiassa.

2 POLTTOLAITOKSET

2.1 Polttolaitoksen toiminta

Nummen perusenergian asiakkaina olevat lämpölaitokset tuottavat vuodessa n. 6200 MWh lämpöenergiaa ja käyttävät noin 9000 i-m^3 haketta (Iso-Markku 2011, 1). Vaikka polttolaitokset ovat eri valmistajilta ja eroavat nimellistehoiltaan, on niiden sisältämä tekniikka hyvin samanlainen. Polttolaitos kokonaisuutena muodostuu varastosiilosta, kuljettimesta, polttimesta ja kattilasta.

Varastosiilo

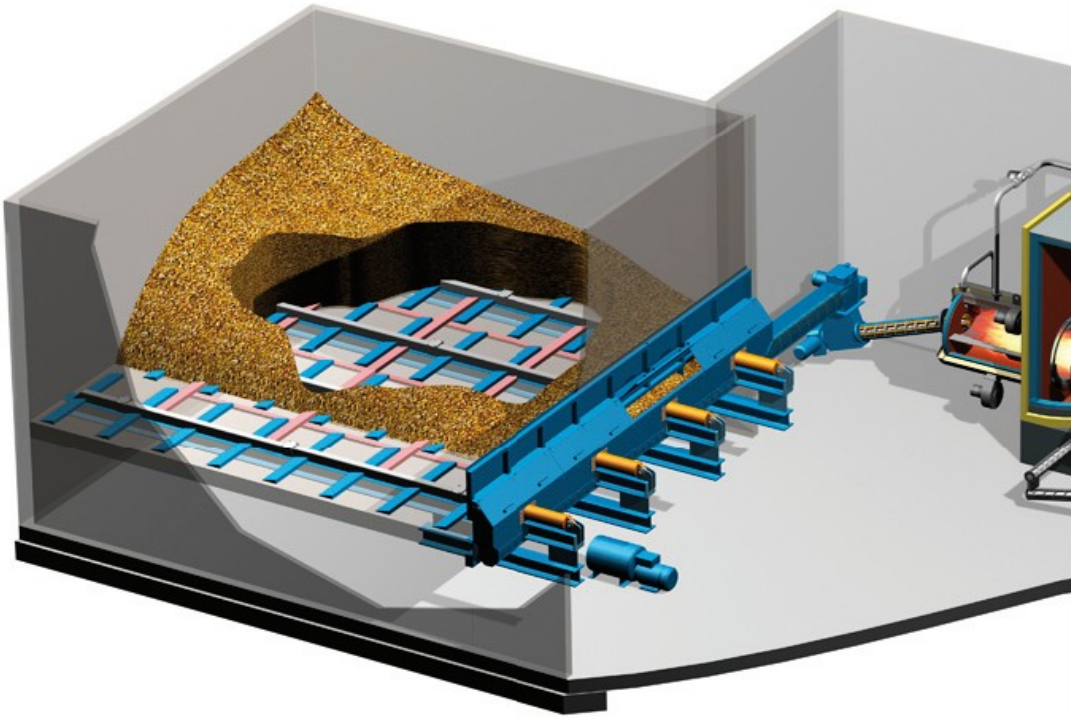
Polttolaitokselle tuleva hake ajetaan varastosiiloon, jonka pohjalta se siirretään tankopurkaimilla ruuvikuljettimelle (kuvio 1). Varastosiilon koko riippuu polttolaitoksen kulutuksesta.

Kuljetin

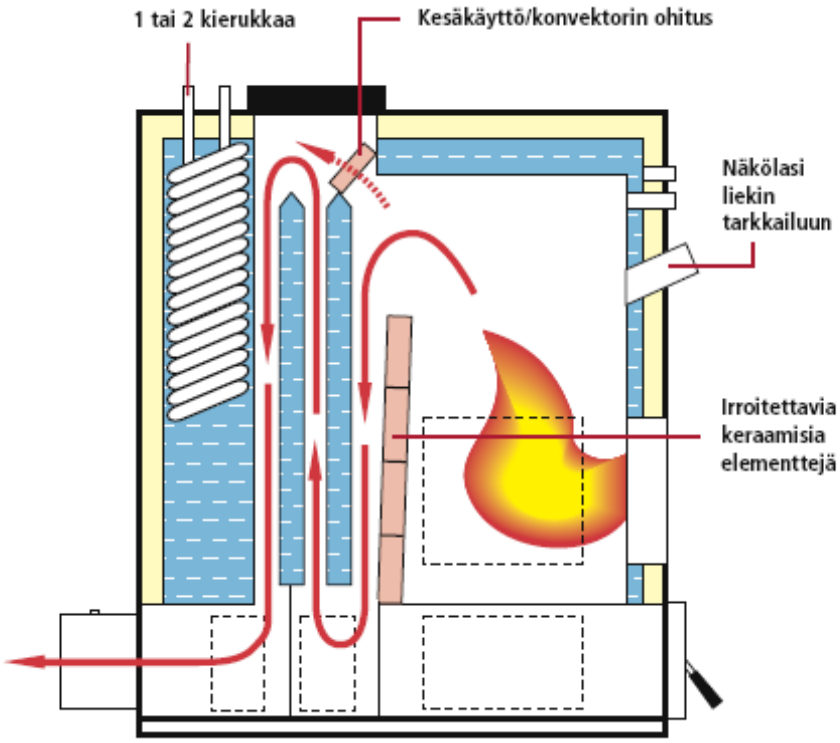
Varastosiilosta hake siirretään tankopurkaimilla ruuvikuljettimelle, joka siirtää hakkeen polttopäälle. Ruuvin liike säätyy automatiikan avulla. Ruuvikuljetin on osoittautunut häiriöherkäksi isoille lastuille, jotka saattavat jumittaa kuljettimen.

Poltin ja kattila

Hake syötetään pienissä erissä kattilassa olevaan polttopäähän (Kuvio 2). Palamisilmaa syötetään tarpeen mukaan eri paikkoihin. Tuhka putoaa kattilan tuhkatilaan, josta se poistetaan mekaanisesti. (Puun polttotekniikka 2008.) Lämpö siirtyy keraamisten levyjen välityksellä vesikiertoon ja siitä putkistoja pitkin jakeluverkkoon. Polttolaitoksen säätö tapahtuu kattilan lämpötilan asetusarvon mukaan.



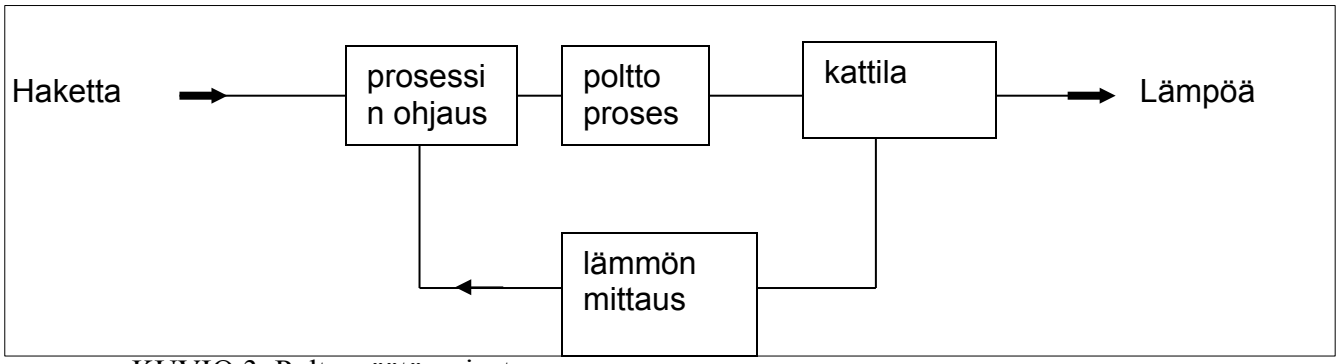
KUVIO 1. Hakesiilo kuljettimineen (Biolämpöopas 2009, 15)



KUVIO 2. Poltin ja kattila(Biolämpöopas 2009, 20)

2.2 Säädöt

Kattilan tehoa voidaan säätää hakepolttoaineen asettamissa rajoissa. Suurin osa säädöistä tapahtuu automaattisesti. Niihin voidaan vaikuttaa joko asetusarvoa muuttamalla tai käsiohjauksella. Ohjauslogiikka säätää polttimen tehoa muuttamalla polttoaineen syöttöä (syöttöruuvin pulssi- ja taukoaikojen suhdetta) sekä ensiö- ja toisioilmapuhaltimien pyörimisnopeutta, lämpökuorman vaihteluihin reagoiden (kuvio 3). Säädöt perustuvat kattilaveden lämpötilaan (Arimatic 1000 käyttöohje).

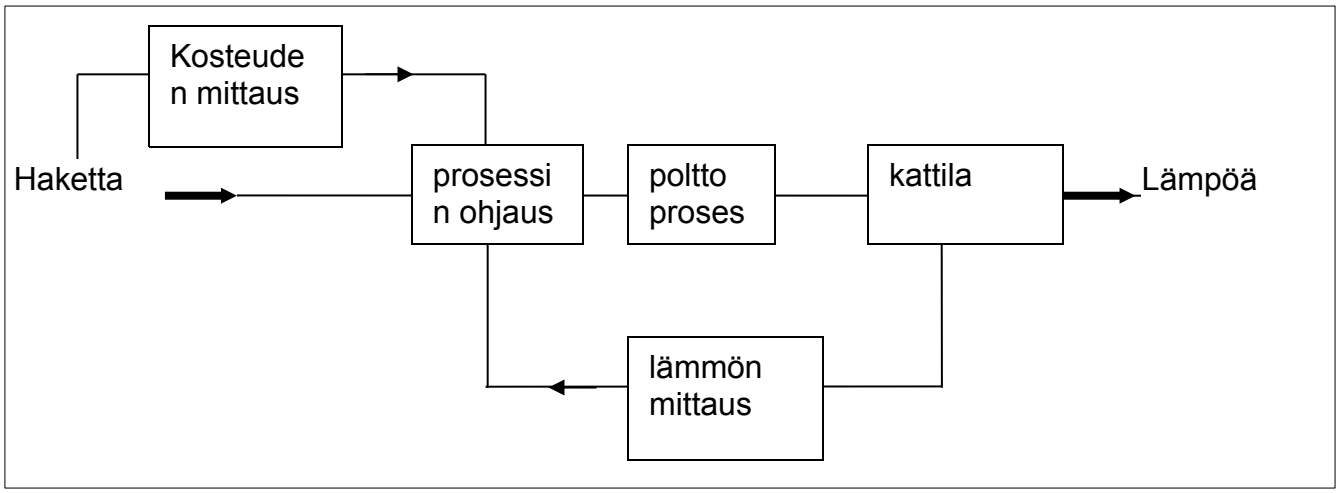


KUVIO 3. Poltonsäätöperiaate

Automaattisen säädön ongelmana on, että säätö tapahtuu vasta kun kattilaveden lämpötila poikkeaa asetusarvosta. Säädin ei pysty reagoimaan raaka-aineessa oleviin muutoksiin etukäteen. Tämä aiheuttaa säädön hitautta ja epästabiilia tilaa, raaka-aineen kosteuden vaihdellessa.

VTT ja Kuopion yliopiston fysiikan laitos tutkivat sellu- ja hakkuutähdehakkeiden kosteuden on-line-määritykseen tähtääviä tekniikoita (Järvinen, Siikanen, Tiitta. & Tomppo, 2008). Riittävä tarkkuus saavutettiin vain silloin, kun mittausolosuhteet olivat vakaat ja mitattava materiaali säilyi koko ajan samanlaisena. Hakkeen palakoon tai materiaalin lämpötilan muuttuessa mittausjärjestelmä piti kalibroida uudestaan. Tämän takia hakelämpölaitoksella tulisi käyttää vähintään kahden järjestelmän yhdistämistä ja automaattista kalibrointi järjestelmää. (Järvinen ym. 2008, 61.)

Kosteuden on-line-määritykseen liittäminen prosessiin (kuvio 4) nopeuttaisi prosessin säätämistä ja osaltaan parantaisi polttolaitoksen hyötysuhdetta ja käytettävyyttä.

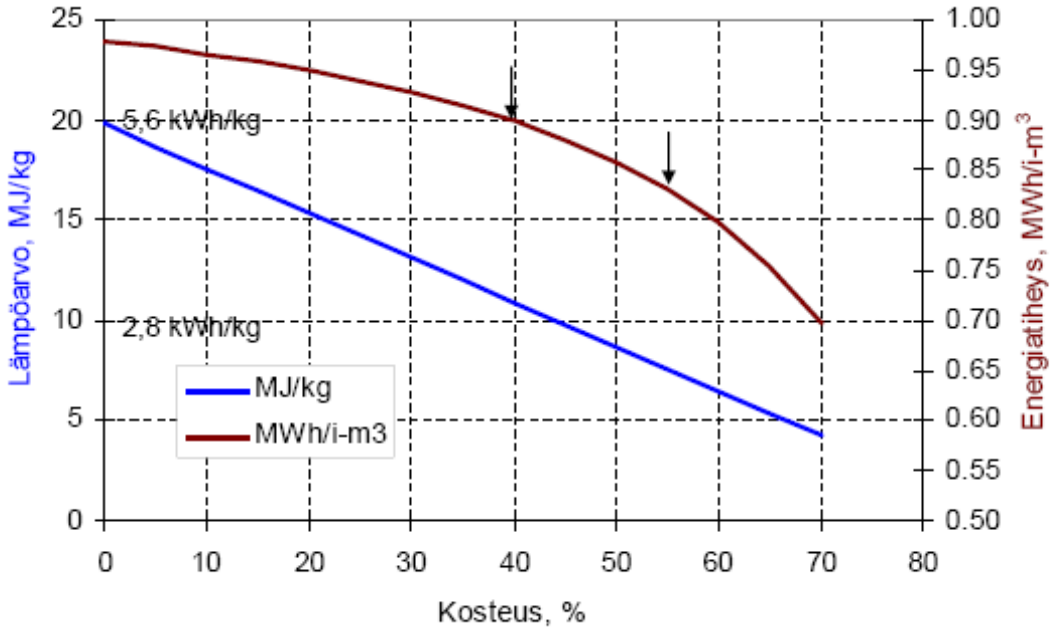


Kuvio 4. Poltonsäätöperiaate hyödyntäen kosteuden on-line-mittausta

Nykyisellä menetelmällä toimivissa polttolaitoksissa pystytään vaikuttamaan säädön viiveeseen muuttamalla automatiikan parametrejä. Tällä menetelmällä ei kuitenkaan saada kokonaan poistettua säädön ”kankeutta”.

3 HAKKEEN LAATUTEKIJÄT

Hakkeen laatu polttoaineena määräytyy sen lämpöarvon mukaan. Hakkeen lämpöarvoon vaikuttavia tekijöitä ovat kosteus, kemiallinen koostumus, puuaineen tiheys, tuhkapitoisuus ja neulasosuus (Hillebrand 2009, 8). Lämpöarvon lisäksi hakkeen rakenteella on merkitystä käytettävyyden kannalta. Kosteuden vaikutus on suurin lämpöarvoon vaikuttava tekijä (kuvio 5), joten voidaan sanoa, että laatu muodostuu lähinnä kahdesta tekijästä: palakoosta ja kosteuspitoisuudesta.



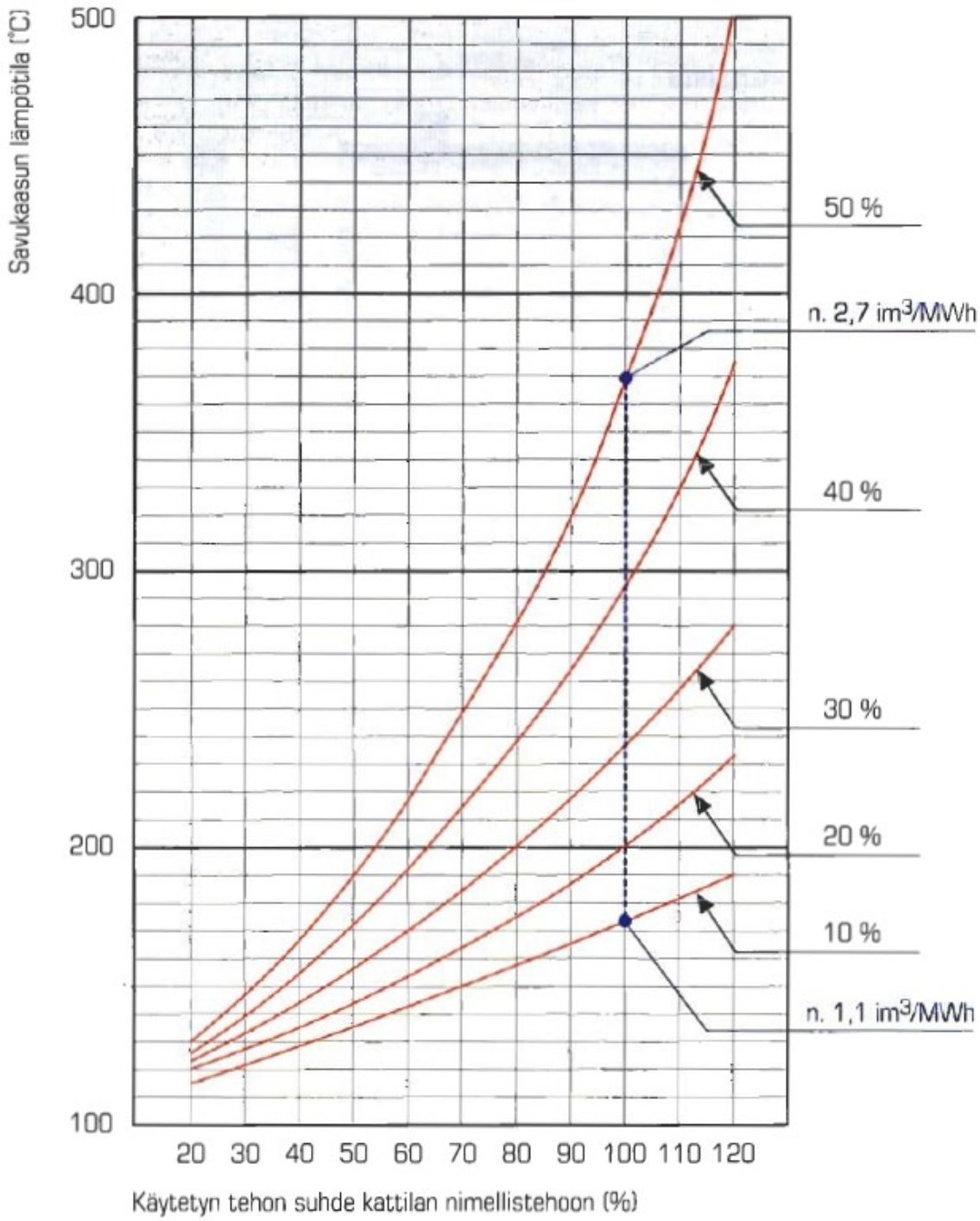
KUVIO 5. Kosteuden vaikutus puun lämpöarvoon ja energiatiheyteen. (Hillebrand 2009, 11)

Palakoon vaikutus polttoon ei ole merkittävä, mutta hakkeen seassa olevat erikokoiset puunosat aiheuttavat varastossa ja kuljettimilla erilaisia häiriöitä. Häiriöt lisäävät ylimääräistä työtä ja häiritsevät lämmöntuotantoa. Polttoainekuljettimet voivat mennä tukkoon, jolloin niitä joudutaan puhdistamaan. Polttoainevarastossa saattaa myös esiintyä erilaisia häiriöitä polttoaineen liikkumisessa varastolta palopäälle (Autio 2009, 26).

Kostea puupolttoaine aiheuttaa ongelmia niin palotapahtumassa kuin polttoaineen varastoinnissa. Kostean puupolttoaineen käyttö ei myöskään ole taloudellisesti kannattavaa. Kosteasta puupolttoaineesta ei saada tuotettua lämpöä tehokkaasti, koska polttoaineesta poistuva vesihöyry kulkeutuu lämpöhäviöinä savukaasujen mukana pois. Veden haihduttaminen vie poltossa lämpöenergiaa 0,7 kWh/kg. Jos havupuun kosteus saadaan pudotettua 55 %:sta 40 %:iin, alkuperäisestä vesimäärästä häviää puolet pois, ja tehollinen lämpöarvo nousee 8 %.(Hakkila 2004, 68.)

Kostea puupolttoaine palaa hitaasti, ja se kehittää siksi myös lämpöä hitaasti. Kosteus aiheuttaa myös normaalia enemmän haitallisia hiukkaspäästöjä ilmaan. Käytettäessä kosteaa puupolttoainetta sitä kuluu huomattavasti enemmän kuin kuivempaa polttoainetta käytettäessä (kuvio 6). (Biolämpöopas 2009, 18–19.)

Jos lämpölaitokselle tarkoituksellisesti ajetaan kosteampaa haketta, tulisi tämä ottaa huomioon jo lämpölaitoksen suunnittelussa. Tällöin lämpölaitos tulisi ylimitoittaa tarvittavaan energia määrää kohden. Tällä ei kuitenkaan ole merkitystä polttoainetalouteen, vaan ainoastaan varmistetaan riittävä lämmön tuotto.



KUVIO 6. Polttoaineen kosteuden vaikutus polton tehoon (Biolämpöopas 2009)

Tekesin (Hakkila 2003) tekemä tutkimus osoittaa, miten paljon puupolttoaineen tehollinen lämpöarvo nousee, jos kosteus alenee nykyiseltä keskimääräiseltä tasoltaan kymmenen prosenttiyksikköä (Taulukko 1).

TAULUKKO 1. Esimerkkejä puupolttoaineen lämpöarvon lisäyksestä, kun kosteus alenee tyypilliseltä tasoltaan 10 prosenttiyksikköä (Hakkila 2003, 70)

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

4 HAKKEEN LAADUN VARMISTAMINEN

Hakkeen palakokoon vaikuttavia tekijöitä ovat käytettävissä oleva raaka-aine, sen tuoreus, hakkurityyppi ja sen säädöt. Kosteuspitoisuuteen pystytään parhaiten vaikuttamaan oikealla varastointi tavalla (Kuitto 2000, 14).

4.1 Raaka-aine

Nummen perusenergia käyttää hakkeen raaka-aineena pääsääntöisesti karsittua ja karsimatonta rankaa, sekä hakkuutähdettä (kuvio 7). Hakkuutähde sisältää runkopuunhakkuussa syntyvää oksa ja latva-ainesta, sekä raivauspuuta. Myös hylkypölkyt luetaan hakkuutähteeksi.

Koska hakkuutähde sisältää jo lähtökohtaisesti erikokoisia partikkeleita, näkyy se myös hakkeen palakokojakaumassa. Samasta syystä johtuen esiintyy kokopuu ja karsimattomasta rangasta haketetussa hakkeessa enemmän hajontaa, kuin karsitussa.

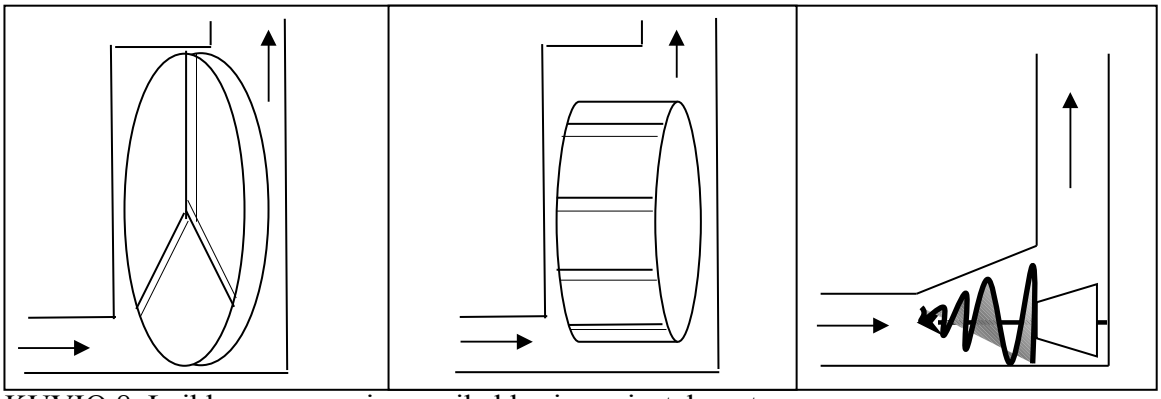
Kokopuuhake Hakkuutähdehake

KUVIO 7. Kokopuusta ja hakkuutähteestä tehtyä haketta.

Raaka-aineen tuoreus vaikuttaa kosteuteen ja neulasten määrään raaka-aineessa. Neulasten ja lehtien sisältämät ravinteet olisi hyvä saada jäämään palstalle, jolloin parannettaisiin palstan maaperän ravinteita ja vähennettäisiin neulasten ja lehtien sisältämistä alkalimetalleista ja kloorista johtuvaa kattiloiden tulipintojen korroosiota. (Hillebrand 2009, 7.) Raaka-aineella on suurin vaikutus siihen, mitä haketus ja varastointi menetelmää käytetään.

4.2 Hakkurityyppi

Hakkurityypin valinnalla voidaan mekaanisesti vaikuttaa palakokoon ja sen hajontaan. Yleisimmät käytössä olevat hakkurityypit ovat laikkahakkuri, rumpuhakkuri ja kartioruuvihakkuri.(Kuvio 8.)

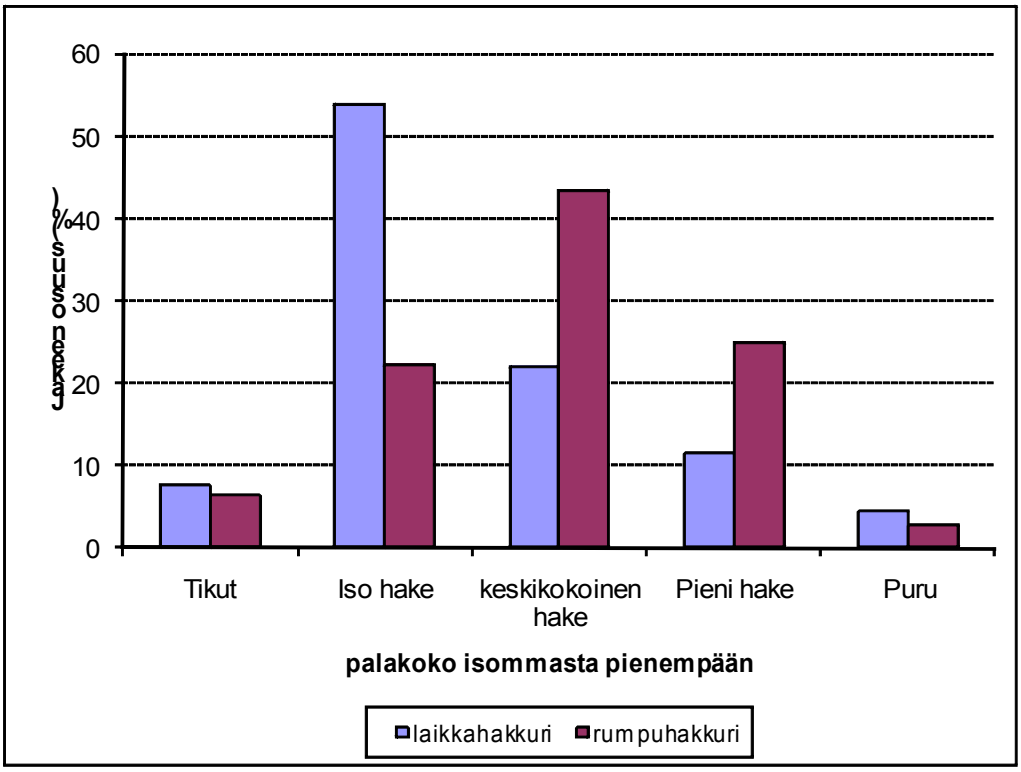


KUVIO 8. Laikka-, rumpu- ja ruuvihakkurin periaatekuvat

Laikkahakkurissa on 2 - 4 terää säteen suuntaisesti teräpyörän sivupinnalle. Rumpuhakkurissa on 2 - 6 terää lieriömäisen terärummun ulkokehällä. Ruuvihakkurissa terä (ruuvi) on kiinnitetty vaaka-asentoon pyörivään akseliin.

Nummen perusenergialla on käytettävissä sekä laikka, että rumpuhakkuri. Laikkahakkuri tekee tasalaatuista haketta, mutta vaatii myös tasalaatuista raaka-ainetta. Näin ollen laikkahakkuri soveltuu paremmin karsitulle rangalle ja kokopuulle, joka raaka-aineena sisältää vähemmän erikokoisia partikkeleita. Laikkahakkurin terärakenne vaurioituu herkemmin kuin rumpuhakkurin terä. Tästä syystä se ei sovellu latvusmassan haketukseen ja on erityisen herkkä varaston epäpuhtauksille (Lepistö 2010, 27).

Rumpuhakkurilla ja oikeakokoisella reikäseulalla saadaan supistettua palakoko hajontaa, laikkahakkuriin verrattuna. Rumpuhakkuri myös kestää rakenteensa takia enemmän epäpuhtauksia. Kuvio 9 esittää tärysihdillä seulotun rumpu- ja laikkahakkurilla tehdyn hakkeen osuudet eri jakeissa. Molemmat hakkeet on tehty karsitusta rangasta. Seulonassa käytettiin SCAN-CM 40:01 -standardin mukaisia laitteita ja menetelmiä.



KUVIO 9. Rumpu- ja laikkahakkurilla tehdyn hakkeen palakoon jakautuminen

Rumpuhakkurilla tehty hake jakautuu keskikokoiseen ja pieneen jakeeseen. Laikkahakkurilla tehdyn hakkeen osuus on taas suurempi muissa jakeissa. Vaikka laikkahakkurilla tehdyllä hakkurilla 54 % on ”isoa haketta”, on sen keskihajonta 4 yksikköä rumpuhakkuri haketta suurempi. Palakoko vaihtelu on siis suurempaa kuin rumpuhakkurilla.

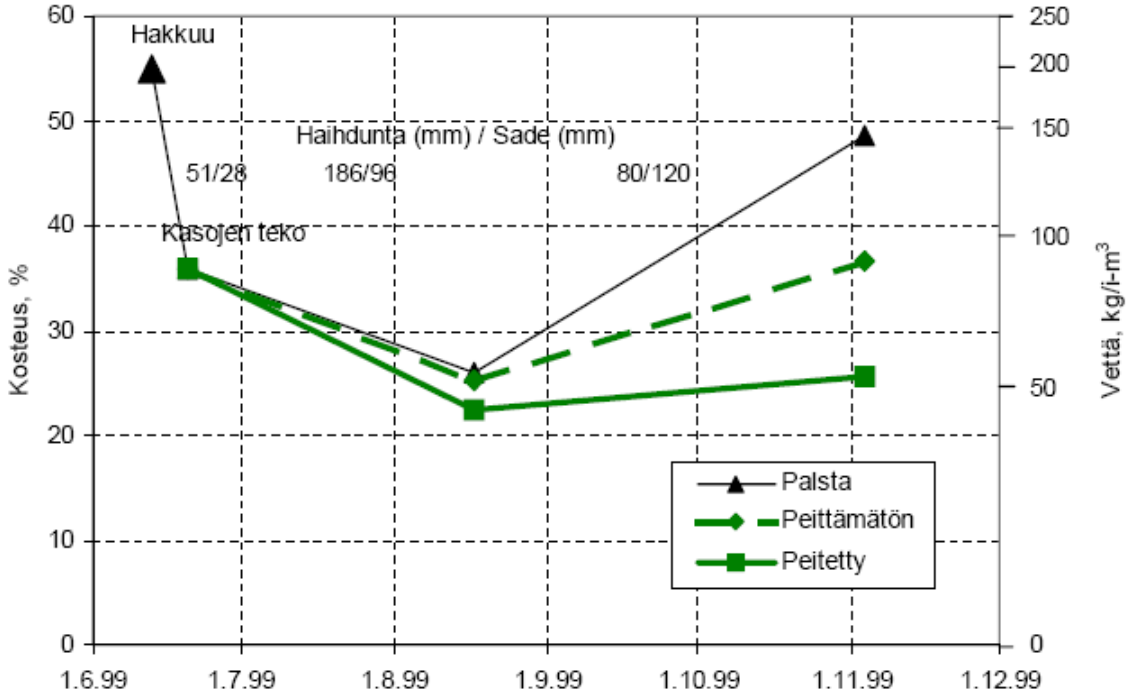
Haketuksen vaikutus hakkeen laatuun tulisi minimoida pitämällä laitteet kunnossa. Tylsillä terillä haketettu hake sisältää paljon pitkiä tikkuja, jotka voivat aiheuttaa käyttöpaikalla kuljettimen tukkeutumista ja sitä kautta polttoaineen syöttöhäiriöitä.

4.3 Varastointi

Varastointi tapahtuu yleensä joko palstalla tai välivarastossa. Tuoreen puun kosteus on n. 50 - 60 %. Polttolaitoksella kosteuden tulisi olla kuitenkin alle 40 %. Oikeaoppisella varastoinnilla pystytään laskemaan raaka-aineen kosteus alle 40 %.(Hillebrand 2009, 4 - 5).

4.3.1 Palstavarastointi

Pienkokopuun varastoinnilla palstalla ei ole merkittävää vaikutusta kosteuden alenemiseen verrattuna tienvarsivarastointiin. Logistiikkaan kannalta olisi edullisempaa kuljettaa puut suoraan välivarastoon. Hakkuutähteiden osalta 1 - 3 viikon palstakuivatus kesäaikana ennen välivaraston tekoa on tehokkain tapa alentaa kosteutta, sääolojen mukaan (kuvio 10). Tällöin tähteiden kosteus saadaan alenemaan nopeasti alle 40 %:n. Samalla osa neulasista varisee metsämaahan ja hakkuutähteiden klooripitoisuus pienenee puoleen. (Hillebrand 2009, 20-21).



KUVIO 10. Ajan vaikutus kosteuteen (Hillebrand 2009, 13)

Alkukuivatuksen jälkeen hakkuutähde on syytä siirtää välivarastoon. Siten hakkuutähde saadaan helpommin haketettua ja varastokasan suojaaminen on mahdollista.

4.3.2 Välivarasto

Varastointi koostuu yleensä seuraavista osatekijöistä: Sijainti, kasaus, suojaus ja aika.

Sijainti

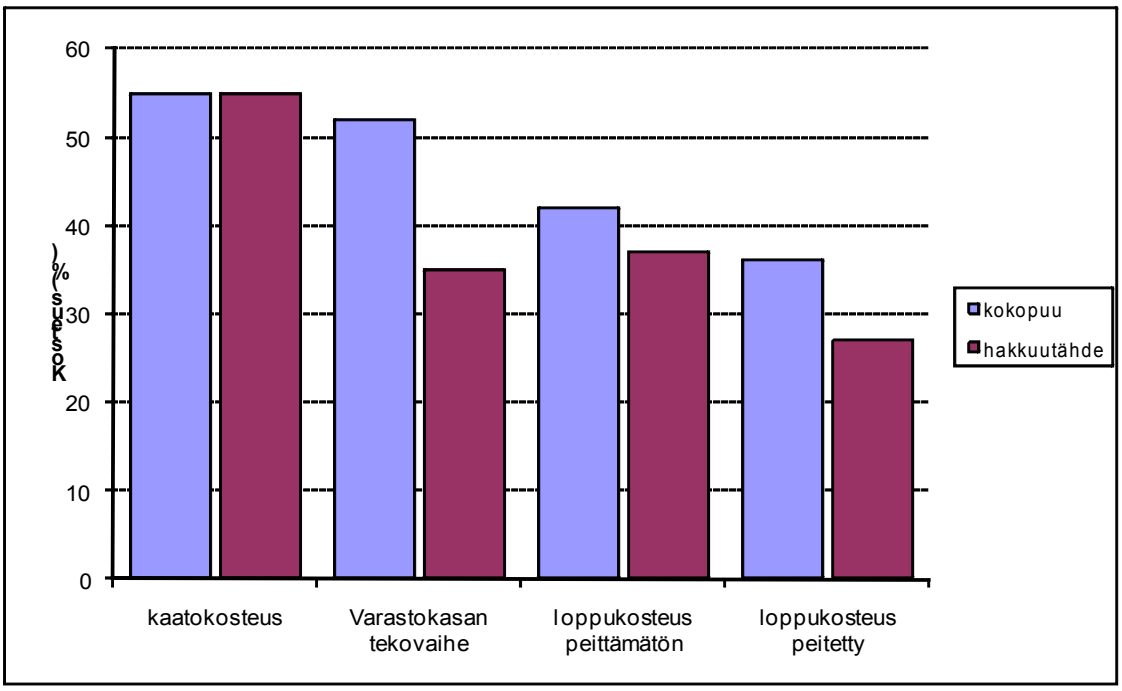
Varastopaikan tulee olla kuivapohjainen, aukea, tuulinen, eteläaurinkoon päin ja muuta ympäristöä korkeammalla. Varaston sijainti aurinkoisella paikalla tuottaa 7 – 17 % kuivempaa haketta kuin varjoisella paikalla varastoituna. (Hillebrand 2009, 6).

Pinoaminen

Varastokasan aluspuilla voidaan estää maakosteuden nousu alimpiin hakkuutähteisiin ja niiden jäätyminen maahan kiinni, mikä helpottaa talvihaketusta. Varastokasan tulee olla korkea, ilmava ja se säilyttää kuivumista edistävän muodon koko varastoinnin ajan (Lepistö 2010, 20). Korkeassa varastossa sateelle altistuvien pintapuiden osuus koko varaston tilavuudesta on pienempi, ja näin korkeasta varastosta tehtävän hake-erän keskimääräinen kosteus on alhaisempi. Myös peittokustannukset saadaan pienemmiksi, kun peitettävä ala pienenee.

Suojaus

Varaston peittäminen vähentää veden pääsyä kasan sisään. Pienkokopuulla peittämisen vaikutus hakkeen kosteuteen on ollut noin 6 prosenttiyksikköä, kun hakkuutähdekasoilla sen vaikutus on ollut 10 - 15 prosenttiyksikköä. Pienkokopuukasojen peittäminen on tarpeellista vain, kun halutaan estää lumien sulamisen aiheuttama kosteuden kasvu. (Hillebrand 2009, 5). VTT:n tekemässä tutkimuksessa on vertailtu peittämisen vaikutusta loppukosteuteen (kuvio11).



KUVIO 11. Peittämisen vaikutus loppukosteuteen (Hillebrand 2009, 5, 13)

Hakkuutähdettä on kuivatettu palstalla noin 3 viikkoa ennen varastokasan tekemistä. Tällöin ero on huomattava varastokasan tekovaiheessa kokopuuhun verrattuna. VTT:n tekemän tutkimuksen mukaan peittämisellä tulisi voida alentaa kosteutta 6 - 8 prosenttiyksikköä, jotta peittäminen olisi taloudellisesti kannattavaa (Hillebrand 2009, 6).

Talvella suojasään ja pakkasen vuorotellessa peittämätön kasa voi jäätyä niin, että haketus ei onnistu. Siistit, karsitusta rangasta kootut varastokasat sopivat myös kokopuukasoja paremmin peitettäviksi.

Varaston puolittainen peittäminen alentaa aina varaston laatua täyspeittoon verrattuna (Kuva 1). Pelkkä latva osan peittäminen jättää suurimman osan puu massasta kastumiselle alttiiksi. Jos taas peite jättää paljaaksi puiden latvaosan, se aiheuttaa niiden jäätymisen toisiinsa. Riittävä määrä peittopaperia olisi kaksi riviä, kun peitetään 5 - 7 metristen puiden pinoa. (Lepistö 2010, 23.)

KUVA 1. Varaston puolittainen peittäminen alentaa aina varaston laatua täyspeittoon verrattuna

Aika

Varastoidun puun tulisi antaa kuivua vähintään yhden kesän yli. Jos varastokasa on ilmava ja tuulisella paikalla, voi kosteus tuoreena varastoidussa puussa alentua kesän aikana alle 40 prosenttiin (Lepistö 2010, 23). Tällöin kesän alkuun mennessä korjattu ja varastoitu puu voidaan hakettaa jo seuraavana talvena. Jo kuivunut, varastoitu pienpuu ei kastu talven aikana hakkuutähteen tavoin. Kokopuiden ja joukkokäsitellyiden puiden on todettu kuivuvan yhtä tehokkaasti (Lepistö 2010, 23). Kokopuun tuore lehti- tai havumassa edistää kuivumista ja kuoren rikkoutuminen karsinnassa edistää puolestaan veden haihtumista rungosta.

Aina ei ole mahdollista saavuttaa täydellistä varastoa. Lähikuljetuskustannusten takia voidaan joutua tyytymään varastopaikkaan, jonka valinnassa on tehty kompromisseja. Jos jostakin hyvän varaston ominaisuudesta joudutaan luopumaan, ensimmäisenä niistä on varaston sijainnin ilmansuunta. (Lepistö 2010, 23.)

Paikan tuulisuudesta, varastopaikan kuivuudesta, hyvistä aluspuista eikä peitteestä tule koskaan tinkiä. Palstakuivatuksen puuttuessa tulee oikeaoppiseen varaston tekemiseen kiinnittää erityistä huomiota.

5 HAKETUS JA LOGISTIIKKA

Haketus voi tapahtua palstalla, varastopaikalla, terminaalissa tai käyttöpaikassa tapahtuvana haketuksena. Haketusmenetelmän valintaan vaikuttavat lähinnä raaka-aineen varastointimenetelmä ja varaston sijainti sekä olemassa oleva kalusto.

5.1 Palstahaketus

Palstahaketusjärjestelmässä hakkuutähteet korjataan hakkuutähdekasoista, jotka ovat muodostuneet hakkuualalle kasoille hakkuun yhteydessä. Palstahaketusjärjestelmän suurin etu on se, että siinä pystytään osittain vapautumaan kuumasta ketjusta hakkurin ja kaukokuljetuskaluston välillä. Hyvänä puolena palstahaketusjärjestelmässä on se, että palstahaketusta on mahdollista suorittaa pienemmillä korjuukohteilla, koska sama yksikkö hoitaa sekä haketuksen että hakkeen kuljetuksen tien varteen. Pienempien työmaiden hyödyntäminen mahdollistaa pienentyneet siirtokustannukset perinteiseen välivarastohaketukseen verrattuna.(Hakkuutähdehake 2011).

Huonoina puolina palstahaketusjärjestelmässä on erityisesti hakkureiden heikompi häiriökestävyys verrattuna tienvarsihakkureihin. Palstahakkurit eivät myöskään sovellu heikosti kantaville tai kalteville maille. Ongelmina ovat olleet lähinnä kestävyys sekä suhteellisen korkeat konekustannukset verrattuna saatuihin hyötyihin (Hakkuutähdehake 2011).

5.2 Välivarastohaketus

Välivarastohaketus on yleisimmin käytetty tapa toteuttaa raaka-aineen haketus ennen kaukokuljetusta käyttöpaikalle. Menetelmää käytetään yleisesti pienläpimittaisen puun ja hakkuutähteen hakettamisessa. Menetelmän hyvä puoli on se, että se soveltuu monen kokoluokan haketoimituksiin, maatilahaketuksesta aina suurimittaiseen voimalaitoksen raaka-aineen toimitukseen.(Hakkuutähdehake 2011).

Suurin menetelmän heikkous on se, että hakkuri ja hakkeen kuljetuksessa käytettävä kalusto ovat kiinteästi yhteydessä toisiinsa, jolloin puhutaan ”kuumasta ketjusta”. Siksi syntyy helposti tilanne, missä hakkuri joutuu odottamaan esimerkiksi hakeautoa tyhjennysten välillä, mikä ei ole kustannustehokasta (Kiema, Pasanen & Parviainen 2005, 24). Toimitusketjun tehokkuuden parantaminen edellyttää kokemusta ja yhteydenpitoa sekä hakettajan ja kuljettajan/kuljettajien kanssa.

5.3 Terminaalihaketus

Suurimpana erona välivarastohaketusjärjestelmään verrattuna terminaalihaketuksessa on se, että raaka-aine kuljetetaan kaukokuljetuksena tien varresta haketuspaikalle irtorisuina tai hakkuutähdepaaleina.

Terminaalihaketuksessa käytetään tehokkaita hakkureita ja vielä useammin murskaimia varsinkin käyttöpaikkahaketuksessa.
Terminaalissa raaka-ainetta voidaan varastoida joko sellaisenaan tai se voidaan hakettaa tai murskata aumoihin, joista sitä käytetään käyttötarpeiden mukaan (Hakkuutähdehake 2011).

Tehokkaiden hakkureiden ja murskainten kapasiteetti on suuri ja käyttökustannukset suhteellisen alhaiset. Niiden hankintakulut ovat kuitenkin suuria. Tehokkaaseen autoalustaiseen hakkuriin tai murskaimeen, puhumattakaan kiinteästä käyttöpaikkamurskaimesta, ei ole taloudellisesti järkevää sijoittaa, ellei laitteiston vuotuinen käyttömäärä ole suuri.(Hakkuutähdehake 2011.)

Nummen perusenergian laajan toimintakentän takia haketusta ei ole mahdollista toteuttaa terminaali haketuksena. Siirtokustannukset terminaalista lämpölaitoksille ei olisi kustannustehokasta.

5.4 Käyttöpaikkahaketus

Myös käyttöpaikkahaketuksessa raaka-aine kuljetetaan kaukokuljetuksena tien varresta haketuspaikalle irtorisuina tai hakkuutähdepaaleina.

Käyttöpaikkahaketuksella saadaan poistettua hakettimen ja kuljetuskaluston riippuvaisuus. Kiinteä haketin vähentää haketuskustannuksia, mutta vaatii suuria investointeja.

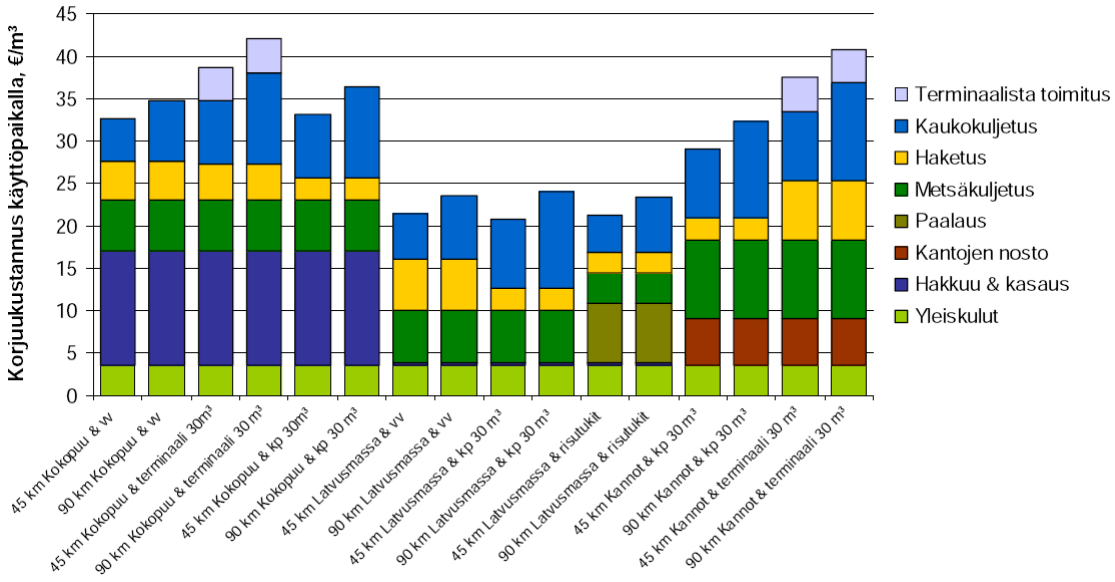
Jos käytettävissä on paalituskone, saadaan hakkuutähdepaalit kuljetettua taloudellisesti ja samalla kalustolla kuin ainespuu. Hakkuutähteen paalaus on kallista ja aiheuttaa ylimääräisen työvaiheen. Lisäksi paalin sidontanarut voivat aiheuttaa ongelmia kuljettimilla.

Nummen perusenergialla on sopimus useamman lämpölaitoksen kanssa, jotka sijaitsevat etäällä toisistaan. Tämän takia käyttöpaikkahaketusta ei ole mahdollista toteuttaa.

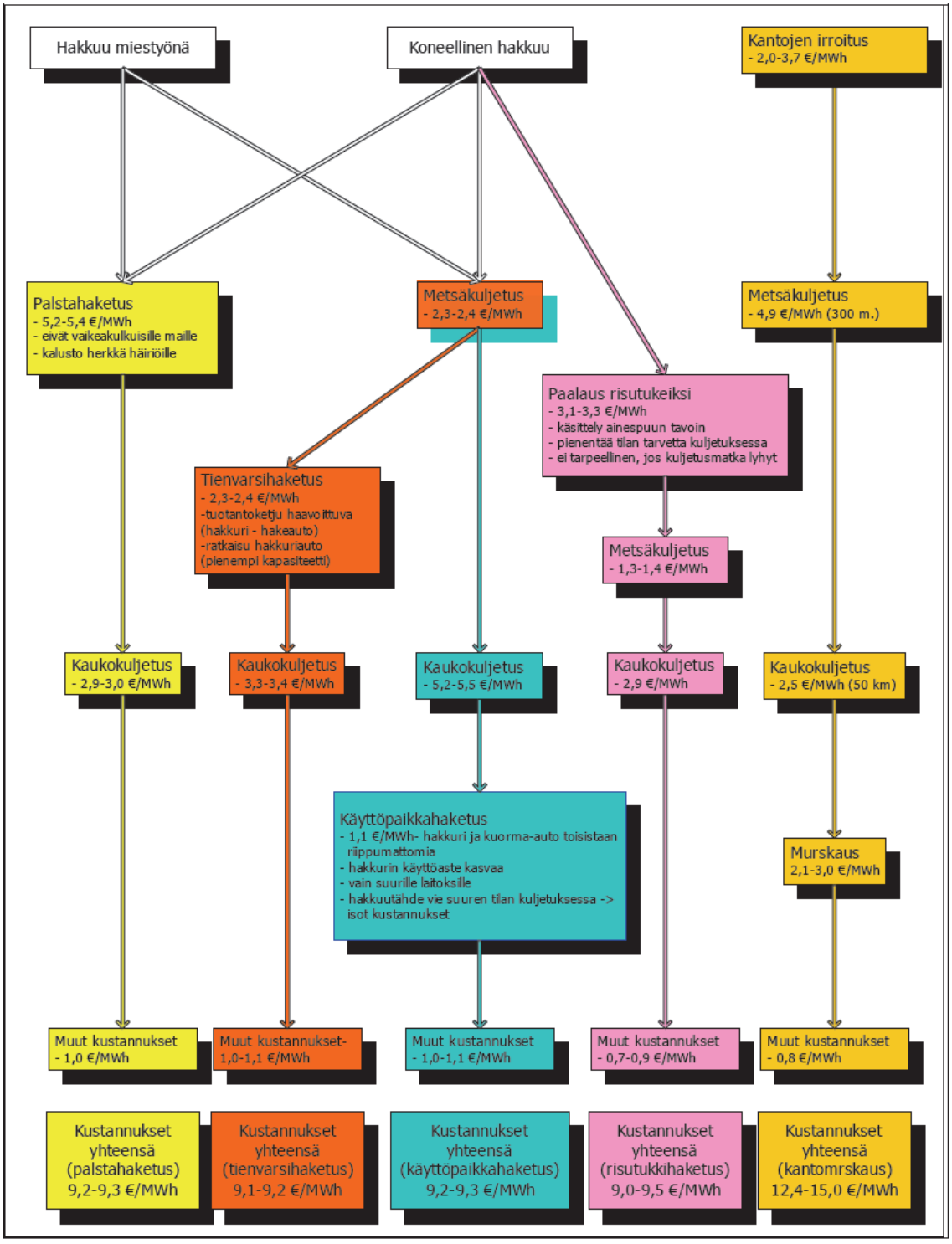
6 TUOTANTOKUSTANNUKSET

Eri tuotantoketjujen välillä esiintyy merkittäviäkin eroja tuotantokustannuksissa. Lähinnä haketuksessa ja kuljetuksessa. Perinteisestä haketusketjusta merkittävin kustannus linkittyy itse haketukseen, kun taas käyttöpaikkahaketuksessa kuljetus ja risutukkihaketuksessa paalaus muodostavat merkittävimmän kustannusosan.

Eri tuotantoketjujen kilpailukyky vaihtelee myös eri puolella Suomea, alueellisista eroista, metsien lukumäärän ja hankinta-alueen koon mukaan. Tämän takia käytettävä tuotantoketju onkin hyvä määrittää voimalaitoskohtaisesti siten, että otetaan huomioon paikalliset olosuhteet. Kuvio 13 esittää korjuumenetelmillä ja metsähakelajeilla. Kustannuksissa on käytetty VTT:n tiedotteeseen (Laitila, Leinonen, Flyktman, Virkkunen & Asikainen 2010, 9-68) keräämiä hintatietoja. Eri tuotantojärjestelmien kustannukset ovat eritelty kuviossa 14.



Kuvio 13. Metsähakkeen kustannusten jakautuminen eri korjuumenetelmillä ja metsähakelajeilla (Laitila ym 2010, 66)



KUVIO 14. Eri tuotantojärjestelmien kustannukset (alv 0 %) haketuksessa alle 100 km:n kaukokuljetuksissa (Kiema ym. 2005, 26)

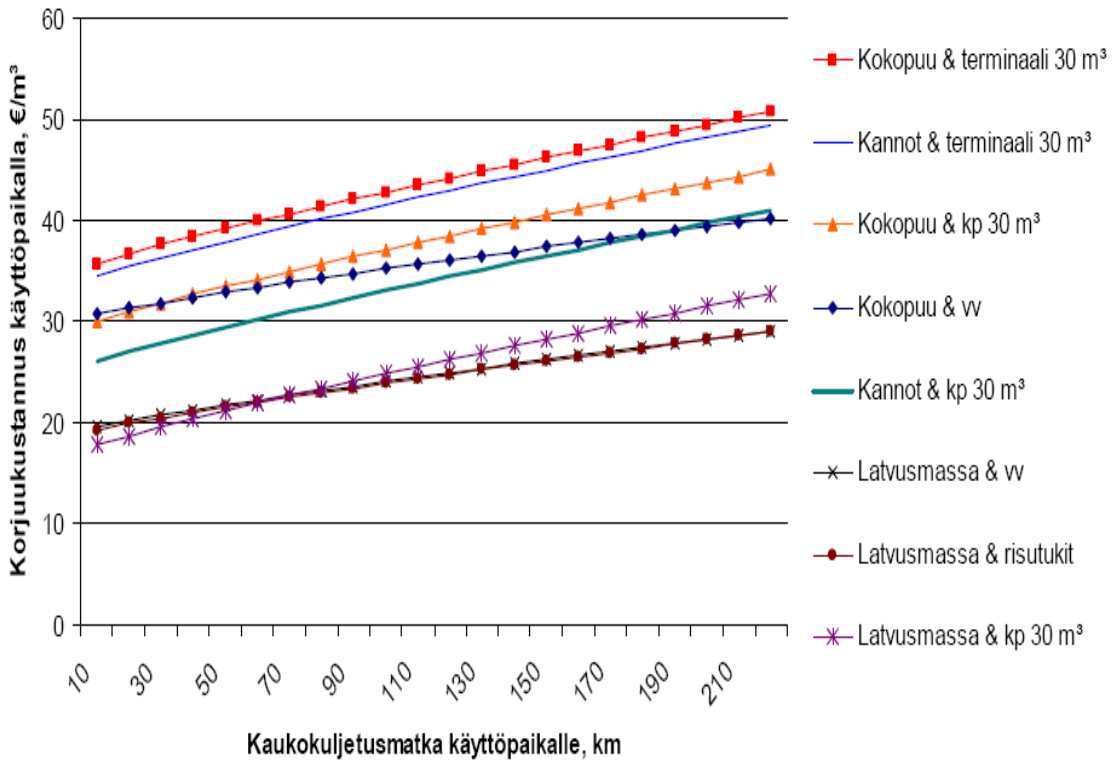
Tuotantokustannukset ovat sitä edullisemmat, mitä enemmän leimikosta syntyy haketettavaa biomassaa. Työkoneiden siirtely, vajaat kuormat jne. lisäävät kustannuksia merkittävästi. Mitä enemmän hehtaaria kohden saadaan haketettavaa, sitä alhaisemmat ovat kustannukset. Pinta-alakohtaiset kertymät vaihtelevat myös puulajeittain. Kustannustehokkaimpia kohteita ovat ne, joissa puun koko on mahdollisimman iso. Suurin osa metsähakkeen tuotantokustannuksista syntyy kustannuksista metsässä ja maantiellä. Luonnollisesti kustannukset kasvavat matkan kasvaessa. (Kiema ym. 2005 27.)

Palstahaketuksen kustannukset koostuvat hakkuutähteen korjuuoikeuden hankinnasta, ainespuun korjuun mahdollisesta hidastumisesta, hakkuutähteiden palstahaketuksesta, hakkuutähdehakkeen kaukokuljetuksesta sekä toimitusten organisoinnista. Hakkuutähdehakkeen osalta palstahaketuksen kustannukset nousevat suuremmiksi kuin tienvarsihaketuksen.

Tienvarsihaketuksessa hakkurin ja hakeauton toiminnot kytkeytyvät toisiinsa, jonka takia saattaa auton työmaa-ajasta kulua suuri osa odotteluun. Tienvarsihaketuksen kustannukset syntyvät hakkuutähteen korjuuoikeuden hankinnasta, ainespuun korjuun mahdollisesta hidastumisesta, hakkuutähteiden metsäkuljetuksesta, haketuksesta sekä kaukokuljetuksesta. Hakkuutähteen korjuuoikeuden hankinnan kustannukset ovat luokkaa 0,17–0,34 €/i-m3.

Hakkuutähteiden metsäkuljetuksen kustannukset riippuvat korjuuolosuhteista ja -kalustosta, metsäkuljetusmatkasta sekä kuorman koosta. Haketuskustannuksiin taas vaikuttavat hakkurin ominaisuudet ja haketuksen hintataso. Kaukokuljetuskustannuksiin vaikuttavat kuljetusmatka sekä hakeauton odotusajat. Kalleimmat osiot hakkuutähteen korjuussa ovat haketus ja kaukokuljetus.

Kuljetettaessa valmista haketta tai risutukkeja kuljetuskustannukset kasvavat kuvion 14 mukaisesti jokaista 10 kilometriä kohden keskimäärin 0,15–0,16 €/MWh (Kiema ym. 2005, 29).



KUVIO 14. Metsähakkeen korjuukustannus käyttöpaikalla kaukokuljetusmatkan mukaan eri korjuumenetelmillä ja metsähakelajeilla.(Laitila ym. 2010, 67)

Vaikkakin luvut puhuvat risutukkien puolesta, ei niiden tuottaminen ole mahdollista ilman koneinvestointeja. Tämän lisäksi haketuksen täytyisi tapahtua joko terminaalissa tai käyttöpaikalla, mikä taas lisäisi laiteinvestointeja. Risutukkien käyttö onkin parhaimmillaan isoilla polttolaitoksilla.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Hakkeen laatu muodostuu yleisesti kahdesta tekijästä: hakkeen kosteudesta ja palakokojakaumasta. Hakkeen kosteudella on suurin merkitys teholliseen lämpöarvoon ja siten hyötysuhteeseen. Palakoon tasaisuudella vaikutetaan eniten käytettävyyteen.
Veden haihduttaminen vie poltossa lämpöenergiaa 0,7 kWh/kg. Jos kosteutta saadaan alennettua pienen polttolaitoksen 40 % vaatimusrajasta 10 prosenttiyksikköä, saadaan polttoaineen lämpöarvoa parannettua 3,5 %

Tehokkain tapa vaikuttaa hakkuutähteestä tehdyn hakkeen kosteuteen on hakkuutähteen alku varastoiminen palstalla ja välivarastokasojen peittäminen. Näillä toimenpiteillä kosteutta voidaan saada alennettua kaatokosteudesta jopa 25 %. Pienkokopuun osalla kosteuden alennus on vain 6 - 8 %, jolloin saatu hyöty ei riitä kattamaan peittokustannuksia. Varastokasan sijainnilla ja kasauksella on suurempi merkitys raaka-aineen kosteuden alenemiseen. Myös pienkokopuun kuivatuksella palstalla ei ole merkittävää hyötyä, joten logistiikan kannalta siirto suoraan välivarastoon on kannattavampaa.

Osuuskunta Nummen perusenergian laajan toiminta-alueen takia välivarastohaketus on ainoa toimiva vaihtoehto. Muiden haketusmenetelmien käyttö lisäisi kohtuuttomia kustannuksia laiteinvestointien myötä. Paras tapa alentaa logistiikkakustannuksia on reittien huolellinen suunnitteleminen. Varastokasat tulisi sijoittaa teiden varsille lähelle polttolaitoksia.

Tällä hetkellä polttolaitoksen hyötysuhteeseen pystyy suoranaisesti vaikuttamaan vain polttoaineen laadulla. Polttoprosessi on pitkälle automatisoitu ja oikeiden asetusarvojen avulla saadaan varmistettua riittävä energian tuotto. Tämä kuitenkin usein tapahtuu polttoainetalouden kustannuksella.

Nummen perusenergia toiminta-alue eivät mahdollista logistiikan kannalta muita vaihtoehtoja kuin nykyisen välivarastohaketuksen. Laaja toiminta-alue ja hakkuiden etäiset sijainnit ei mahdollista kiinteää kalustoa.

Opinnäytetyön jokaisessa osa-alueessa olisi riittänyt työtä omaksi opinnäytetyöksi. Tähän työhön etsin ja yhdistin oleellisemmat tiedot, useista tutkimuksista ja raporteista.

Jatkotoimenpiteet

Laadukkaan polttoaineen tuottamisen kannalta tulisi kiinnittää tarkkuutta erityisestihake raaka-aineen varastointiin. Hakkuutähdekasat tulisi pyrkiä saamaan isoiksi, jotta peittäminen olisi kannattavaa. Myös kasojen täydellinen peittäminen olisi ensisijaista, jotta peittämisestä olisi hyötyä. Tutkimuksen mukaan rumpuhakkurilla saadaan tasalaatuisempaa haketta, joten sen käyttöä tulisi suosia mahdollisuuksien mukaan.

Hakkeen kosteuden on-line-mittauksesta saisi hyödynnettävää tietoa, vaikkei sitä vielä voi käyttää suoranaisesti polton säätämiseen. Mittausdataa voitaisiin käyttää selvittämään, kuinka kauan kestää, että raaka-aineen kosteuden muutos vaikuttaa kattilan toimintaa ja tämän avulla rakentaa toimivat säätöreseptit.

LÄHTEET

Arimatic 1000 käyttöohje. Ariterm. Oy. Tulostettu 6.5.2011.

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

Biolämpöopas. 2009. Saarijärvi: Ariterm Oy

Hakkila, P. 2004. Puuenergian teknologiaohjelma 1998-2003. Metsähakkeen tuotanto-teknologia. Helsinki: Tekes

Hakkuutähdehake. 2011. Hakkuutähteen haketus ja kaukokuljetus. http://www.ncp.fi/bioenergia/hakkuutahdehake/2/2.4.4.html

Hillebrand, K. 2009. Energiapuun kuivaus ja varastointi. Yhteenveto aikaisemmin tehdyistä tutkimuksista. Jyväskylä: VTT

Iso-Markku, M. 2011. Osuuskunta Nummen perusenergia. Esittely. Tulostettu 6.5.2011

Järvinen, T. Siikanen, S. Tiitta, M. & Tomppo, L. 2008. Yhdistelmämittaus hakkeen kosteuden on-line-määritykseen. Tutkimusraportti. Jyväskylä: VTT.

Kiema, M., Pasanen, K. & Parviainen, J. 2005. Bioenergian logistiikka. Loppuraportti. Kuopio: Kuopion yliopisto

Kuitto, P. 2000. Polttohakkeen tuotanto metsänuudistamisaloilta. Osa 2: Hankintatekniset suositukset. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio.

Laitila, J. Leinonen, A. Flyktman, M. Virkkunen, M. & Asikainen, A. 2010. Metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan haasteet ja kehittämistarpeet. VTT tiedotteita.Espoo: VTT

Lepistö, T. 2010. Laatuhakkeen tuotanto-opas. Metsäkeskus.

Metsänhoitoyhdistys. 2011. Metsänhoitoyhdistys/ Länsi-Uusimaa. Mhy:n esittely. Luettu 7.6.2011. http://www.mhy.fi/lansiuusimaa/esittely/fi_FI/index/

Puun polttotekniikka. 2008. Metsänhoitoyhdistys/ Eteläinen metsäreviiri. Bioenergia-projekti. Luettu 6.5.2011. http://www.mhy.fi/revir/energia/fi_FI/tekniikk/