



ITÄ-SUOMEN
YLIOPISTO

University of Eastern Finland

*Luonnontieteiden ja metsätie-
teiden tiedekunta
Faculty of Science and Forestry*

LUMEN VAIKUTUS PEITETYN JA PEITTÄMÄTTÖMÄN
HAKKUUTÄHDEKASAN KOSTEUTEEN

Ville Maksimainen

METSÄTIETEEN KANDIDAATIN
TUTKIELMA

JOENSUU 2014

Ville Maksimainen. 2014. Lumen vaikutus peitetyn ja peittämättömän hakkuutähdekasvan kosteuteen. Itä-Suomen yliopisto, Luonnontieteiden- ja metsätieteiden tiedekunta, metsätieteiden osasto, metsätieteen kandidaatintutkielma, 21 s.

TIIVISTELMÄ

Hakkuutähteen käytön lisääntymisen myötä oli tarpeellista tutkia sään aiheuttamia vaikutuksia hakkuutähdekasvan kosteuspitoisuuteen. Suurin yksittäinen vaikutus hakkuutähdehakkeen teholliseen lämpöarvoon on kosteuspitoisuus. Tämän tutkielman tavoitteena oli tarkastella talven aikana tapahtuvaa kosteuden muutosta varastoidussa hakkuutähteessä. Tästä aiheesta oli tärkeä tehdä tutkimusta, sillä hakkuutähdettä hyödynnetään ympäri vuoden. Tutkielmassa tarkasteltiin lisäksi kahta erimerkkistä suojapeitettä, joiden vaikutusta hakkuutähteen kosteuspitoisuuteen tutkittiin.

Tutkimusaineisto koostui Itä-Suomen yliopiston Mekrijärven tutkimusasemalla olevista hakkuutähdekehikoista. Kehikoiden hakkuutähde oli pääosin kuusivaltaista. Hakkuutähdekehikoita oli tutkimuksessa mukana 4 kappaletta. Hakkuutähdekehikoista kehikot 1 ja 7 olivat peitetty Walki biomass cover peitteellä, kehikko 6 oli peitetty JL-tuotteen PS-peitteellä ja kehikko 2 oli peittämätön. Tutkielman aineisto kerättiin 26.11.2012–18.4.2013 väliseltä ajanjaksolta. Tarkastelun aloitus ajankohdaksi valittiin pysyvän lumen sataminen maahan. Tarkastelujakson päätöspäiväksi valittiin päivä, jolloin lumi oli sulanut kokonaan kehikoiden päältä. Hakkuutähteen kosteusprosenttia seurattiin kehikoiden painon vaihtelun avulla. Alkukosteuden mittauksen jälkeen kehikoiden painon muutoksilla voitiin seurata kosteuden kehittymistä. Kosteuspitoisuuden tarkastelussa hakkuutähteen painon perusteella, täytyi määrittää myös puuaineessa muodostuvat kuiva-ainetappiot. Lisäksi talven aikana täytyi mitata lumen painoa hakkuutähdekehikossa.

Hakkuutähdekehikoissa ei tapahtunut merkittävää kosteuden muutosta lumen vaikutuksesta, kunnes keväällä lumen sulaessa hakkuutähteen kosteusprosentti alkoi nousta. Tuloksista käy ilmi, ettei lumen määrällä ole merkitystä hakkuutähteen kosteusprosenttiin. Suojapeitteen käytöstä oli tuloksien mukaan hyötyä talven aikana. Lisäksi keväällä lumen sulaessa suojapeite suojasi hakkuutähdettä valuilta sulamisvesiltä. Peittämättömällä hakkuutähdekehikolla kosteuden nousu tarkasteluajanjaksolla oli suurempi kuin peitetyillä kehikoilla.

Avainsanat: Hakkuutähde, kosteusprosentti, lumi, suojapeite, kuiva-ainetappio

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO.....	4
1.1	Hakkuutähte 4	4
1.2	Energiapuun käyttö Suomessa..... 5	5
1.3	Puupolttoaineen ominaisuudet..... 5	5
1.4	Hakkuutähteiden kuivaus ja varastointi..... 7	7
1.5	Tutkimuksen tavoitteet 9	9
2	AINEISTO JA MENETELMÄT..... 9	9
2.1	Tutkimusaineisto..... 9	9
2.1.1	JL-tuotteen PS-Energiapeite..... 10	10
2.1.2	Walki biomass cover..... 11	11
2.2	Tutkimusmenetelmät 11	11
3	TULOKSET 13	13
3.1	Lumen paino kehikoissa 13	13
3.2	Kehikoiden 1 ja 2 kosteuspitoisuudet 14	14
3.3	Kehikoiden 6 ja 7 kosteuspitoisuudet 15	15
3.4	Lumen vaikutus kosteuteen..... 16	16
4	TULOSTEN TARKASTELU 17	17
	KIRJALLISUUS 20	20

1 JOHDANTO

1.1 Hakkuutähde

Hakkuutähde on hakkuukohteille jäänyttä ainespuuksi kelpaamatonta biomassaa. Hakkuutähteet voivat sisältää oksia, latvuksia, hylkypölkkyjä, raivattua pienpuuta ja neulasia. Hakkuutähteiden kertymä hakkuukohteilla vaihtelee huomattavasti (Alakangas, 2000). Parhaan hakkuutähdekertymän saavuttaa rehevillä uudistushakkuukuusikoilla. Kuusileimikoissa on yleensä latvusmassaa 150–200 kg runkopuussa, mutta hyvillä kohteilla jopa 300kg kuivamassaa rungon kuorellista kuutiometriä kohden. Männyllä vastaava latvusmassa ylittää vain 80–160 kg rungon kuutiometriä kohden, mikä on oleellisesti vähemmän kuin kuusella (Hakkila, 1992). Tyypillisesti tämä tarkoittaa noin 100 m³/ha hakkuutähdekertymää kuusikoissa. Näillä kohteilla hakkuutähteet koostuvat lähinnä oksista, neulasista ja hylkypölkystä. Hakkuutähteet voidaan korjata heti hakkuun päätyttyä tai kesäkauden jälkeen. Kesäkauden aikana hakkuutähteet kuivahtavat ja neulaset tippuvat maahan. Näin saadaan jätettyä suurin osa ravinteista hakkuualalle. Suomessa hakkuutähteet korjataan usein tuoreena (Alakangas ym. 1999).

Suomessa yleisin käytössä oleva energiapuun hankintamenetelmä on tienvarsihaketuksen perustuva. Yleensä hakkuutähteet kasataan ainespuunkorjuun yhteydessä, jonka jälkeen lähikuljetus hakkuukuviolta tapahtuu kuormatraktorilla tienvarteen. Tienvarressa hakkuutähteet haketetaan suoraan hakeautoon, joka kuljettaa hakkeen käyttöpaikalle. Haketus voidaan myös suorittaa palstalla, terminaalissa tai käyttöpaikalla (Alakangas, 2000). Hakkuutähdehakkeet menevät pääosin lämpö- ja voimalaitoksille (92 %) ja vain murto-osa pientalojen lämmitykseen (8 %) (Ylitalo, 2013).

Hakkuutähdepotentiaali Suomessa on paljon suurempi kuin nykyinen käyttö. Hakkuissa jää metsään hakkuutähdettä vuosittain noin 29 miljoonaa kuutiometriä. Tästä määrästä korjuukelpoisilta päätehakkuukohteilta voidaan korjata noin 8,6 miljoonaa kuutiometriä vuosittain Metsäntutkimuslaitoksen arvion mukaan. Jos hakkuutähde korjataan kuivahtaneena ilman neulasia, vuotuinen kertymä laskee 5,6 miljoonaa kuutiometriä. Arviossa on otettu huomioon, että palstalle jätetään noin 30 % hakkuutähteitä ja kohteet ovat hakkuutähdekertymältään riittävän suuria. Myös kiviset, ravinneköyhät ja muutoin herkät

kohteet on jätetty ottamatta huomioon (Alakangas, 2000). Suurin osa näistä hakkuutähteiden korjuuseen soveltuvista kohteista sijoittuu Etelä- ja Itä-Suomen alueelle. Lapissa hakkuutähteidenkorjuuseen soveltuu ainoastaan 5 % avohakkuukohteista (Metsäkustannus, 2007).

1.2 Energiapuun käyttö Suomessa

Euroopan unioni edellyttää (direktiivi 2009/28/EY) Suomen nostamaan uusiutuvan energian osuuden energian loppukäytöstä 38 %:iin vuoteen 2020 mennessä (Pekkarinen, 2010). Vuonna 2012 uusiutuvan energian osuus oli yli 30 % ja näistä 26 prosenttiyksikköä muodostui puupolttoaineista. Suomen uusiutuvan energian tavoitteiden täyttämiseksi puupolttoaineiden käyttö tulee kasvamaan tulevaisuudessa (Metla, 2013). Uusiutuvan energian velvoitepaketin mukaan metsähakkeen käyttömäärä tulisi nostaa noin 20 prosenttiyksikköön uusiutuvien polttoaineiden määrästä. Tämä määrä vastaisi noin 13,5 miljoonan kuutiometrin metsähakkeen käyttömäärää vuodessa (Pekkarinen, 2010).

Suomessa kulutettiin energiaa kokonaisuudessaan 1374 petajoulea vuonna 2012. Puupolttoaineiden osuus kokonaiskulutuksesta oli 332 petajoulea. Metsähaketta kulutettiin 8,3 miljoonaa kuutiometriä, mikä on suurin käytetty määrä tähän mennessä. Metsähakkeen käyttö tapahtui pääasiassa lämpö- ja voimalaitoksissa. 7,6 miljoonaa kuutiometriä metsähaketta poltettiin lämpö- ja voimalaitoksissa ja 0,7 miljoonaa kuutiometriä paloi pientaloissa. Energiapuuharvennuksilta saatiin noin 3,6 miljoonaa kuutiometriä pienpuusta peräisin olevaa metsähaketta. Hakkuutähteitä haketettiin 2,6 miljoonaa ja kantoja 1,1 miljoonaa kuutiometriä. Metsäteollisuuden sivutuotepuuta kulutettiin lämpö- ja voimalaitoksissa 9,3 miljoonaa kuutiometriä. Asuintalojen, maatilojen ja vapaa-ajan asuntojen lämmitykseen kului 6,7 miljoonaa kuutiometriä puuta. Kaikkiaan lämpö- ja voimalaitosten kiinteän polttopuun käyttö määrä oli 17,8 miljoonaa kuutiometriä vuonna 2012 (Ylitalo, 2013).

1.3 Puupolttoaineen ominaisuudet

Puuaineksen koostumuksen tärkeimmät rakenneaineet ovat selluloosa, hemiselluloosat ja ligniini. Suomen yleisimmissä puulajeissa männyssä, kuusessa ja koivussa selluloosaa on noin 40–45 % ja hemiselluloosia 25–40 % kuiva-aineen painosta. Lehtipuilla, kuten koivulla on suurempi hemiselluloosapitoisuus kuin havupuilla. Havupuilla on puolestaan korkeampi

ligniinipitoisuus kuin lehtipuilla. Ligniini sisältää paljon hiiltä ja vetyä, jotka tuottavat lämpöä. Ligniini tuottaa noin 40 % puun lämpöarvosta. Puu sisältää lisäksi uuteaineita kuten pihkaa. Uuteaineiden pitoisuus puussa on kuitenkin vain noin 5 %. Puunkuori saattaa sisältää jopa 30–40% uuteaineita (Alakangas, 2000).

Puupolttoaineen kuivapainon alkuainepitoisuus koostuu pääosin hiilestä (49–51,5 %) hapestasta (42–44,5 %) ja vedystä (6–6,5 %). Puun polton kannalta haitallisia aineita, kuten typpeä on kuivapainosta noin 0,15 % ja rikkiä 0–0,2 %. Puuainees sisältää orgaanisia aineita, jotka poltettaessa muuttuvat kaasuksi ja haihtuvat pois aiheuttaen ainehäviötä. Näitä orgaanisia aineita kutsutaan haihtuviksi aineiksi. Haihtuvien aineiden osuuden ollessa suuri tarvitsee polttoaine suuremman palotilan. Puun haihtuvien aineiden osuudet ovat suuret noin 80–95 % verrattuna kilpaileviin polttoaineisiin, kuten kivihiileen jonka vastaavat osuudet ovat 1–45 %. Haihtuvien aineiden määrä polttoaineessa vaikuttaa myös kuiva-aineen teholliseen lämpöarvoon. Tehollinen lämpöarvo on korkeampi polttoaineella, jonka haihtuvien aineiden osuus on pieni. Puun eri osien välillä on vaihtelua haihtuvien aineiden osuuksissa. Runkopuu sisältää noin 10 prosenttiyksikköä enemmän haihtuvia aineita kuin oksat, kuori ja nuoret puut. Poikkeuksena koivun tuohi, jonka haihtuvien aineiden osuus on yhtä suuri runkopuun kanssa. Tehollista lämpöarvoa käytetään tutkimuksissa mittayksikkönä, mutta metsätalouden sovelluksissa käytetään mieluummin tilavuusyksikkö kohti laskettua lämpöarvoa (GJ/m^3). Puulajien välillä tapahtuva tilavuusyksikköä kohden laskettu lämpöarvon vaihtelu johtuu pääasiassa tiheyseroista. Koivulla on suurin tiheys yleisistä suomalaisista puulajeista. Tämän vuoksi koivulla on suurin kuiva-aineen lämpöarvo tilavuusyksikköä kohden. Tehollinen lämpöarvo muuttuu kuitenkin nopeasti puun kosteusprosentin muuttuessa (Kytö ym. 1983).

Puun tuorekosteus on yleensä 40–60%. Havupuilla oksat ja latva omaavat suuremman kosteuspitoisuuden runkopuuhun verrattuna. Tutkimuksissa on huomattu pienten oksien ja suurten oksien kärkien sisältävän suuremman kosteussuhteen. Puun matalin kosteussuhde löytyy monesti kannosta, koska sen puuaineen tiheys on monilla puulajeilla korkea. Yleisesti ottaen kosteussuhde lisääntyy selvästi juurista siirryttäessä latvaa kohti. Puunkosteuteen vaikuttavat kasvupaikka, puulaji, sekä puun ikä (Kärkkäinen, 2007). Tuoreessa kuusen hakkuutähteessä on puuainetta noin 40 %, kuorta 23 % ja neulasia 37 %. Useimmiten tuoreen hakkuutähteen kosteus vaihtelee 50–55% välillä. Tällöin tehollinen lämpöarvo vaihtelee

välillä 0,82–0,79 MWh/i-m³. Kuivahtaneessa hakkuutähteessä neulasten osuus pienenee ja puuaineen osuus kasvaa, jolloin myös tehollinen lämpöarvo paranee. Kosteuden ollessa 30–35% tehollinen lämpöarvo vaihtelee välillä 0,97–0,95 MWh/i-m³ (Asplund ym. 1999).

Puu on hygroskooppinen aine, eli se pystyy sitomaan sitä ympäröivää vesihöyryä. Puu pyrkii kutakin lämpötilaa ja ilmankosteutta vastaavaan puuaineen tasapainokosteuteen, jolloin siihen tulevan ja poistuvan vesihöyryn määrä on yhtä suuri. Adsorptiossa puun kosteus lisääntyy ja desorptiossa puun kosteus alenee. Puuaineen sorptioon, vaikuttaa monta tekijää, kuten lämpötila, puulaji, ilmankosteus ja kappaleeseen kohdistuvat voimat. Tasapainokosteus on ilman suhteellisesta kosteudesta riippumatta sitä alempi, mitä korkeampi on lämpötila. Puulajien tasapainokosteuksien eroja voidaan osittain selittää erilaisten ainesuhdanteiden perusteella. Hemiselluloosa kykenee sitomaan enemmän vesihöyryä kuin selluloosa ja tämä taas kykenee sitomaan enemmän vesihöyryä kuin ligniini. Näin ollen eri puulajien erilaiset ainesuhteet vaikuttavat tasapainokosteuteen. Puulajin kemiallinen koostumus voi vaihdella, joten saman puulajin tasapainokosteus voi vaihdella mm. tiheyden mukaan. Puuaineen lisäksi myös kuori on hygroskooppista. Männyn ja kuusen sisäkuori ovat erittäin hygroskooppisia, kun taas koivun sisäkuori on vähemmän hygroskooppista. Havupuiden pieniläpimittaiset oksat ovat kostealla säällä hyvin kosteita suuresta kuoripitoisuudesta johtuen ja vaativat kuivuakseen pitkän poutajakson (Kärkkäinen, 2007).

1.4 Hakkuutähteiden kuivaus ja varastointi

Hakkuutähde kuivaa vähä sateisena kesänä ulkoilmassa melko nopeasti. Parin kesäkuukauden aikana kosteus laskee 50–60 % tuorekosteudesta jopa 20–30 %:iin (Alakangas, 2000). Optimaalinen aika kuivattaa hakkuutähdettä palstalla on sääoloista riippuen 1-3 viikkoa, jonka jälkeen hakkuutähteet siirretään tienvarsivarastoon (Hillebrand & Nurmi, 2001). Kuivumisessa neulaset varisevat, kuori irtoilee ja oksat voivat katkeilla. Kuivaminen nostaa myös puuaineen osuutta hakkuutähteessä, neulasten ja kuoren määrän laskiessa. Tämä aiheuttaa korjattavissa olevan hakkuutähteen määrän vähenemisen jopa 30 %. Kuivahtaneen hakkuutähteen saanto on vain noin 45 % (Alakangas, 2000).

Energian määrään hakkuutähteessä vaikuttavat kosteuden lisäksi myös kuiva-ainetappiot. Kuiva-ainetappioita syntyy sekä puun osien irtoamisen, että puuaineessa tapahtuvien

hajoamisprosessien takia. Hakkuutähdekasassa kosteusprosentti vaihtelee kasan keskustan ja pinnan välillä. Keskustassa on yleensä merkittävästi pienempi kosteusprosentti, kuin pinnassa (Filbakk ym. 2011). Kosteuden siirtyminen kasan pintaosiin aiheutuu mikrobien toiminnan seurauksena. Mikrobien toiminta nostaa lämpötilaa, joka saa aikaan kaasujen kiertoa (Nurmi, 1990). Mikrobitoiminta on tehokkainta kosteissa ja lämpimissä olosuhteissa aina 25 % kosteusprosenttiin asti, jolloin prosessit hidastuvat (Hakkila, 2004). Ruskolahottajat ovat suurimpia kuiva-ainetappion aiheuttajia hakkuutähteillä. Ruskolahottajien toiminta on yleensä aktiivista puunkosteuden ollessa 30–80 % ja lämpötilan ollessa 0–45 °C. Näin ollen hakkuutähdekasas ominaisuudet ovat ruskolahottajille otolliset (Ritschkoff, 1996). Norjassa tehdyn tutkimuksen mukaan kuusivaltaisista hakkuutähteistä tehtyjen paalien kuiva-ainetappiot olivat jopa 30 % alkuperäisestä kuivapainosta 10 kuukauden mittaisella jaksolla. Samalla koejaksolla mäntyvaltaisilla paaleilla kuiva-ainetappiot olivat 15 %, eli vain puolet kuusella tapahtuvasta hajoamisesta. Paalien välissä ilma pääsee kulkemaan ja kuivaamaan paremmin kuin hakkuutähde kasassa, joten kuiva-ainetappiot voivat olla hakkuutähdekasassa vieläkin suuremmat (Filbakk, ym. 2011). Mikrobit ja sienet aiheuttavat kuiva-ainetappioiden lisäksi myös muita epäedullisia ominaisuuksia, kuten lahonneen puu-aineksen, joka vettyy helposti (Hakkila, 1964).

Varastokasoja voidaan säilyttää peittämättömänä, sekä peitettynä tervapaperilla tai vastaavalla tuotteella. Paperin tehtävänä on suojella kasaa kastumiselta huonon sään aikaan. Paperi voidaan haketta hakkuutähteen mukana, jolloin se ei jää varastopaikalle. Paperi kuroutuu helposti, minkä seurauksena suoja syysateilta ja lumelta ei yleensä ole riittävä (Hillebrand ym. 2001). Valtion teknillisen tutkimuslaitoksen energian tutkimuksissa on selvitetty, että peitetyissä kasoissa hakkuutähteen kosteus oli 7–11 prosenttiyksikköä alhaisempi kuin peittämättömissä, jos kasat tehdään kesällä ja haketetaan ennen lumien tuloa. Elokuussa tehdyillä kasoilla oli talvella hakettaessa vain 5 prosenttiyksikköä eroa kosteudessa verrattuna peitettyä ja peittämätöntä kasaa, sekä syksyllä hakattujen hakkuutähteiden vastaava ero noin 10 %. Hakkuun ajankohdalla on merkittävä ero hakkuutähteen kosteuspitoisuuden käyttäytymiseen eri vuodenaikoina (Hillebrand & Nurmi, 2000). Hakkuutähdekasas peittämisen hyötyyn vaikuttaa paperin leveys, kestävyys ja hakettavuus, sekä kasan muoto. Tutkimuksen mukaan kuivuminen oli tehokkainta parin ensimmäisen kuukauden aikana, jolloin hakkuutähteet kuivuivat 14–20 prosenttiyksikköä (Hillebrand & Nurmi, 2000). Metlan

tutkimuksen mukaan talvella haketetun energiapuun kosteus kasvoi hieman varastokasan päällä olleen lumen vesiarvon suhteen haketushetkellä. Talvella hakettaessa kasan päällä olevaa lunta ja jäätä joutuu hakkeen sekaan (Jahkonen ym. 2012). Kevättalvella aurinko alkaa lämmittää hakkuutähdekasaa, jonka seurauksena auringonsäteilyn sulattama lumi jäätyy oksien ja neulasten ympärille, jolloin kosteus voi nousta reilusta jopa 60 prosenttiin. Oksien ja neulasten ympärille muodostunut jää ei useinkaan irtoa, vaan se muodostuu hakkuutähdekasaan pysyväksi kosteudenlisäksi (Nurmi, 1999).

1.5 Tutkimuksen tavoitteet

Hakkuutähteen käytön lisääntymisen myötä on tarpeellista tutkia sään aiheuttamia vaikutuksia hakkuutähdekasan kosteusprosenttiin. Tämän tutkielman tavoitteena on tarkastella talven aikana tapahtuvaa kosteuden muutosta. Tämä on tarpeellinen tieto, koska hakkuutähdettä hyödynnetään ympäri vuoden. Tutkimuksessa tarkastellaan lisäksi kahta erimerkkistä suojapeitettä, joiden vaikutusta hakkuutähteen kosteusprosenttiin tutkitaan. Tämän tutkimuksen perusteella olisi tarkoitus pystyä laatimaan myös energiapuun laadunhallintaan ja muutoksiin liittyviä laskentamalleja.

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 Tutkimusaineisto

Tutkimusaineisto koostui Itä-Suomen yliopiston Mekrijärven tutkimusasemalla olevista hakkuutähdekehikoista. Hakkuutähde oli pääosin kuusivaltaista sisältäen hieman lehtipuuta. Aineistona käytettiin yhtä peittämätöntä hakkuutähdekehikkoa, sekä kolmea suojapeitteellä peitettyä hakkuutähdekehikkoa. Hakkuutähdekehikot olivat pinta-alaltaan noin 10 m² ja niiden sivut oli peitetty suojapaperilla. Sivujen suojaaminen oli tärkeää, ettei hakkuutähde päässyt kuivumaan sivuilta liian nopeasti. Kehikoihin sopivat kasat olivat käytännön metsätaloudessa käytettäviin varastokasoihin verrattuna huomattavasti pienempiä, joten ne kuivuvat nopeammin ilman sivupeitettä. Kehikkoa kuusi jouduttiin tukemaan kehikon ympäri vedetyillä liinoilla, jottei kasa päässyt sortumaan. Kuvassa 1. näkyvät koekehikot alkutalvesta

2012. Kuvassa näkyy myös rankakasoja, jotka eivät kuuluneet tämän tutkimuksen aineistoon. Hakkuutähdekehikot oli sijoitettu avonaiselle paikalle tienvarteen. Hakkuutähdekehikoiden perustamispäivien ajankohdat ja peitemateriaalit löytyvät taulukosta 1.

Tutkielmassa verrataan keskenään kehikon 1 ja 2 hakkuutähdeiden kosteuspitoisuuksien muutoksia. Kehikko 6 ja 7 muodostavat toisen vertailuparin. Kehikon 1 hakkuutähde oli lähes vuoden ajan peittämättömänä, minkä jälkeen se suojattiin Walkin biomass cover peitteellä. Lisäksi kehikon 1 pohjalle oli asetettu paperin lisäksi levy, joka simuloi luonnollista maapohjaa. Muiden kehikoiden pohjalle oli asetettu vain paperi. Paperiin oli tehty reikiä, jottei vesi jää seisomaan kehikoiden pohjalle. Walki-peitteiden kohdalla oli ongelmia peitteiden paikallaan pysymisen kanssa ja niitä jouduttiin kokeen aikana asettelemaan uudelleen. Tutkimusaineisto oli ajalta 26.11.2012–18.4.2013. Pysyvä lumi Mekrijärvelle satoi 26.11.2012, joka määritettiin tarkastelun alkamisajaksi. Kaikki koekehikot todettiin lumettomiksi 18.4.2013, joka oli tarkastelun lopetuspäivä. Talvi oli hyvin luminen, eikä tarkastelu ajanjakson aikana lumi päässyt sulamaan ennen kevättä. Kaikki hakkuutähdekehikot on purettu ja haketettu 6.6.2013.

Taulukko 1. Tutkimus kehikoiden taustatietoja.

Kehikko	Perustettu	Materiaali	Peitto
Kehikko 1	14.10.2011	Kuusen hakkuutähde	Walki (11.9.2012)
Kehikko 2	13.4.2012	Kuusen hakkuutähde	Ei peittoa JL-tuotteet PS
Kehikko 6	28.9.2012	Kuusen hakkuutähde	(28.9.2012)
Kehikko 7	28.9.2012	Kuusen hakkuutähde	Walki (28.9.2012)

2.1.1 JL-tuotteen PS-Energiapeite

PS-Energiapeite on energiapuun peittämiseen suunniteltu peite. PS-Energiapeite on hyötyleveydeltään 5,8 metriä, joka muodostuu kahdesta 3,2 metriä leveästä rullasta. Rullan pituus on 200 metriä ja se on käsiteltävissä miesvoimin. Peite kestää 150 mm vesipatsaan ja on hengittävää materiaalia (läpäisy 3,5 kg/m²/vrk). Peite voidaan hakettaa ja polttaa energiapuun seassa (JL-tuotteet, 2012).

2.1.2 Walki biomass cover

Walki-peite on paperipohjainen laminaatti, joka on valmistettu pääosin uusiutuvista kuitumateriaaleista. Se koostuu kahdesta paperista, joiden välissä on verkko ja PE-muovia. Kokeessa käytettävän peitteen leveys oli neljä metriä. Peite on vedenkestävä, mutta se päästää myös lävitseen vesihöyryä. Tämä peite voidaan hakettaa ja polttaa energiapuun joukossa (Walki.com 2014).



Kuva 1. Mekrijärven tutkimusaseman koekehikot talvella 2012.

2.2 Tutkimusmenetelmät

Hakkuutähdekanan kosteusprosentin muutoksia seurattiin hakkuutähdekanan painonmuutoksia. Puun kosteusprosentti lasketaan alla olevan kaavan mukaisesti.

(puun märkäpaino – kuiva- ainetappio)/märkäpaino × 100 = puun kosteusprosentti

Alkuperäinen kosteus määritettiin puutarhasilppurilla tehdystä silpusta otettujen näytteiden perusteella uunikuivaus-menetelmällä. Painon mittaus toteutettiin hakkuutähdekanan kehikoiden alla jokaisella nurkalla olevien painon mittausantureiden avulla, jotka lähettävät reaaliaikaista tietoa painonmuutoksista. Talven aikana hakkuutähdekanan kosteuden määrittämiseen tarvitaan myös tieto lumen painosta.

Lumen määrä tutkittiin Ilmatieteenlaitoksen säätietojen avulla, sekä kasojen päältä tehdyillä koemittauksilla. Ilmatieteenlaitoksen säätiedot olivat päiväkohtaisia ja kasojen päältä tehdyt mittaukset suoritettiin 3.1.2013 alkaen noin kahden viikon välein. Kehikon päältä mittaukset tehtiin metallisella mittakepillä. Lumen painon määrittämiseksi lumihangesta otettiin koeotoksia. Otoksien perusteella pystyttiin määrittämään sen hetkinen lumen paino mittayksikköä kohden. Lumen painon mittauksiin saatiin avuksi myös Suomen ympäristökeskuksen lumenpainon mittausten tulokset. Heiltä saadun aineiston perusteella pystyttiin laskemaan päiväkohtainen lumenmäärä. Suomen ympäristökeskus laski lumen painon kg/m^2 hyödyntäen apunaan lumensyvyyttä maassa ja lumipunnituksia. Tätä aineistoa voitiin hyödyntää kehikon lumen painon laskennassa apuna. Kehikon pinta-ala mitattiin 3.1.2013, jolloin pystyttiin määrittämään kuinka isolle pinta-alalle lunta kertyi. Hakkuutähde ei muodosta tasamuotoista kasaa, jolloin kasan pituus- ja leveysmittoja jouduttiin hieman arvioimaan. Suomen ympäristökeskuksen ja Mekrijärven tutkimuskeskuksen tuottamat lumen mittausravot olivat hyvin samanlaiset. Tutkimuksessa otettiin myös huomioon hakkuutähteessä tapahtuva kuiva-ainetappio. Hakkuutähdekasojen purkamisen jälkeen hakkeesta mitattu kosteus osoitti, että hakkuutähteelle tapahtui merkittävää kuiva-ainetappiota. Tutkielmassa käytettiin oletuksena, että kuiva-ainetappiot (kg/vrk) jakautuivat tasaisesti jokaiselle vuodenvälikaudelle.

Koejärjestelyjen purkamisen jälkeen kosteusprosentti mitattiin hakenäytteistä kasan pinnasta, keskeltä ja pohjalta. Laskuissa käytettiin eri kerroksista mitattujen kosteuksien aritmeettista keskiarvoa. Tätä kosteusprosenttia vertaamalla kehikon painoon voitiin laskea kuiva-aineen osuus hakkuutähteessä.

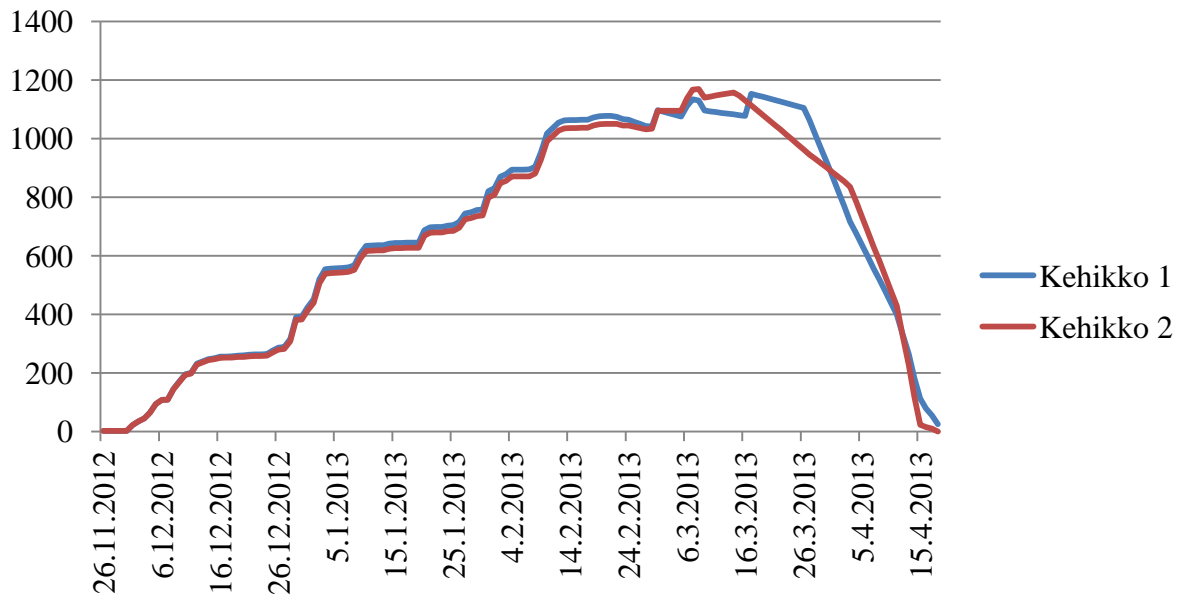
$$\textit{kuiva} - \textit{ainetappio} = -100 \times (\textit{kosteusprosentti} \times \textit{märkápaino}) + \textit{märkápaino}$$

Lumen painon vaikutusta puun kosteusprosenttiin tutkittiin korrelaatiokertoimella. Korrelaatiokertoimella saadaan selville onko lumen painon muutoksilla vaikutusta puun kosteusprosenttiin. Laskenta suoritettiin käyttäen hyväksi Excel-taulukkolaskentaohjelmaa.

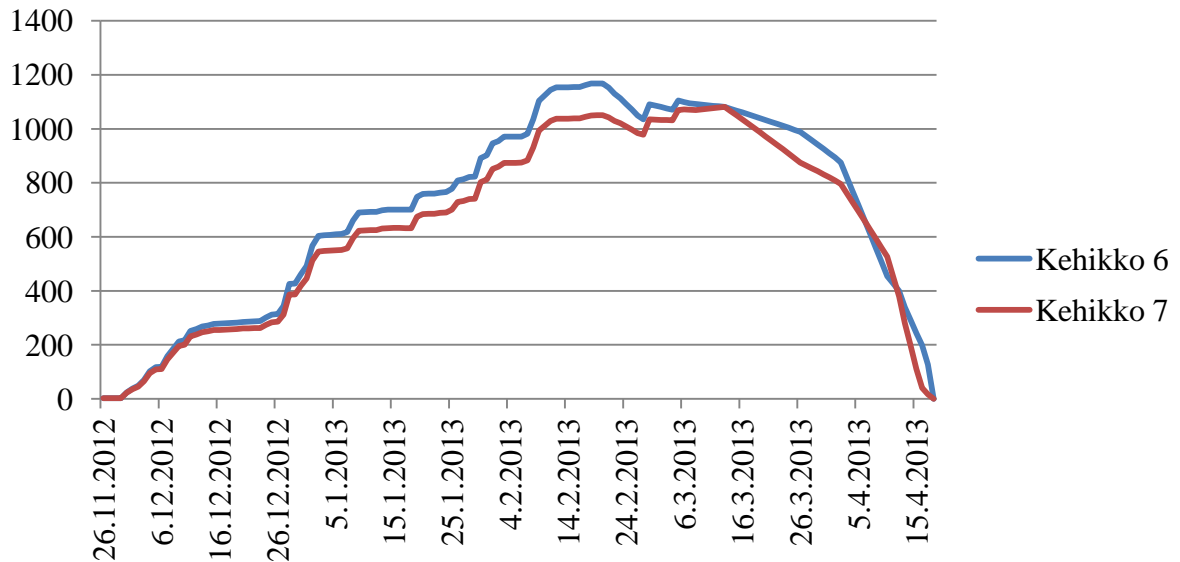
3 TULOKSET

3.1 Lumen paino kehikoissa

Lumen paino kehikoissa nousee tasaisesti helmikuun loppupuolelle asti, jolloin kasojen lumipeite oli suurimmillaan. Kehikoilla 6 ja 7 lumen painon huippu oli hieman aikaisemmin verrattuna kehikoihin 1 ja 2. Kehikon 6 suurin lumen paino oli mittauksien mukaan 1168 kg ja kehikolla 7 lumen paino oli 1078 kg. Vastaavasti kehikolla 1 suurin lumen paino oli 1153 kg ja kehikolla 2 lumen paino oli 1157 kg. Kokonaisuudessaan hakkuutähdekehikoiden painojen muutokset kulkevat melko samanlaisella käyrällä. Maaliskuun loppupuolella keskipäivän lämpötila käy plussan puolella, mikä alkaa heti näkyä kasojen lumen painoissa (Kuva 2, Kuva 3). Huhtikuun aikana päivien lämmitessä lumen paino hupenee nopeasti.



Kuva 2. Kehikon 1 ja 2 päivittäin laskettu lumen paino (kg/vrk).



Kuva 3. Kehikon 6 ja 7 päivittäin laskettu lumen paino (kg/vrk).

3.2 Kehikoiden 1 ja 2 kosteuspitoisuudet

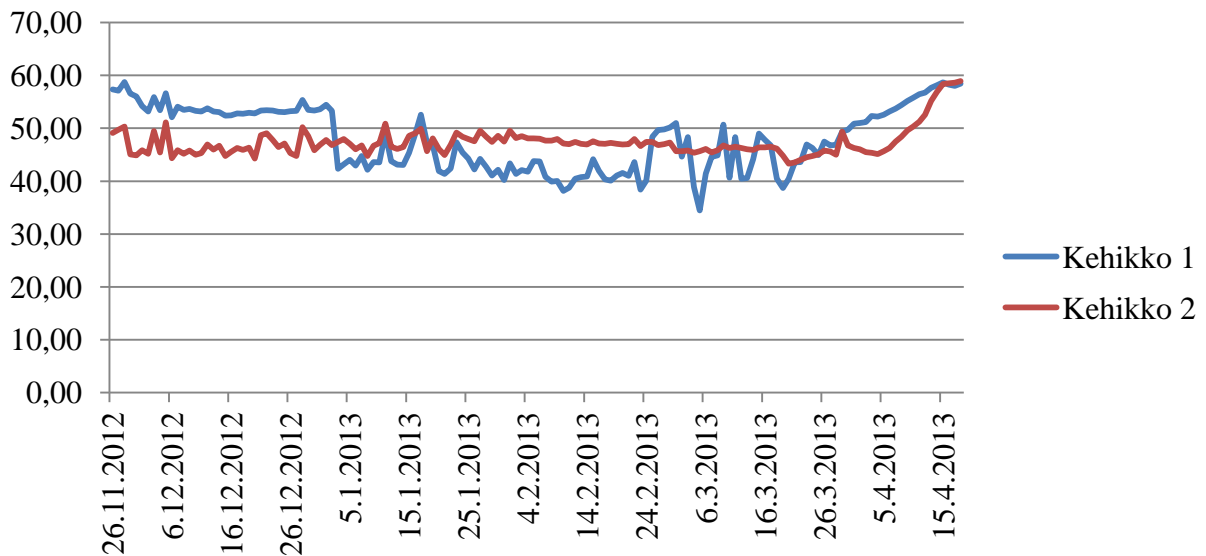
Kehikon 1 hakkuutähteen alkukosteus 26.11.2012 oli painonmuutoksiin perustuen 57,4 % (Taulukko 2). Hakkuutähtede oli kerännyt kosteutta koko syksyn, vaikka kehikko oli suojattu Walki biomass cover peitteellä. Peitteen kanssa oli kuitenkin ongelmia syysmyrskyjen aikaan. Keväällä huomattiin peitteen suojaavan vain heikosti hakkuutähdekasaa. Lumien sulamisen jälkeen kosteusprosentti oli hieman noussut, syksyllä ennen lumen satamista mitatusta arvosta. Kehikko 1 käyttäytyi hieman eritavalla muihin kehikoihin verrattuna talven aikana. Mittausten mukaan kehikon kosteusprosentti laski talven kuluessa ja nousi taas keväällä sulamisvesien valuessa hakkuutähteen sekaan (Kuva 2). Kehikon 1 hakkuutähteen kosteuspitoisuus nousi talven aikana 1,9 % (Taulukko 2).

Kehikon 2 hakkuutähteen alkukosteus ennen lumen satamista oli 49,1 %, joka oli huomattavasti matalampi kuin kehikon 1 hakkuutähteen kosteus 57,4 %. Talven aikana kuitenkin kehikon 2 hakkuutähteen kosteusprosentti pysyi melko tasaisena, verrattuna kehikon 1 vaihteluun (Kuva 2). Myös kehikolla 2 hakkuutähteen kosteusprosentti nousi kevätauringon sulattaessa lunta hakkuutähdekasaa päältä. Kosteusprosentin nousu oli talven aikana lähes 10 prosenttiyksikköä (Taulukko 2). Kehikolla 2 ei ollut suojapeitettä talven aikana, jolloin kevään sulamisvedet valuiivat suoraan hakkuutähteen sekaan. Kehikon 2

hakkuutähteen kosteus nousi talven aikana 20 %, mikä on kehikon 1 hakkuutähteen kosteuden nousuun verrattuna merkittävän suuri.

Taulukko 2. Kehikoiden 1 ja 2 kosteusprosentit tarkastelun alussa ja lopussa, sekä kosteuden muutos tutkimuksen aikana prosentteina.

Kehikko	Kosteusprosentti 26.11.2012	Kosteusprosentti 18.4.2013	kosteuden muutos %
Kehikko 1	57,4	58,4	1,9
Kehikko 2	49,1	59,0	20,0



Kuva 4. Kehikoiden 1 ja 2 kosteusprosentit päivittäin tarkastelujakson aikana.

3.3 Kehikoiden 6 ja 7 kosteuspitoisuudet

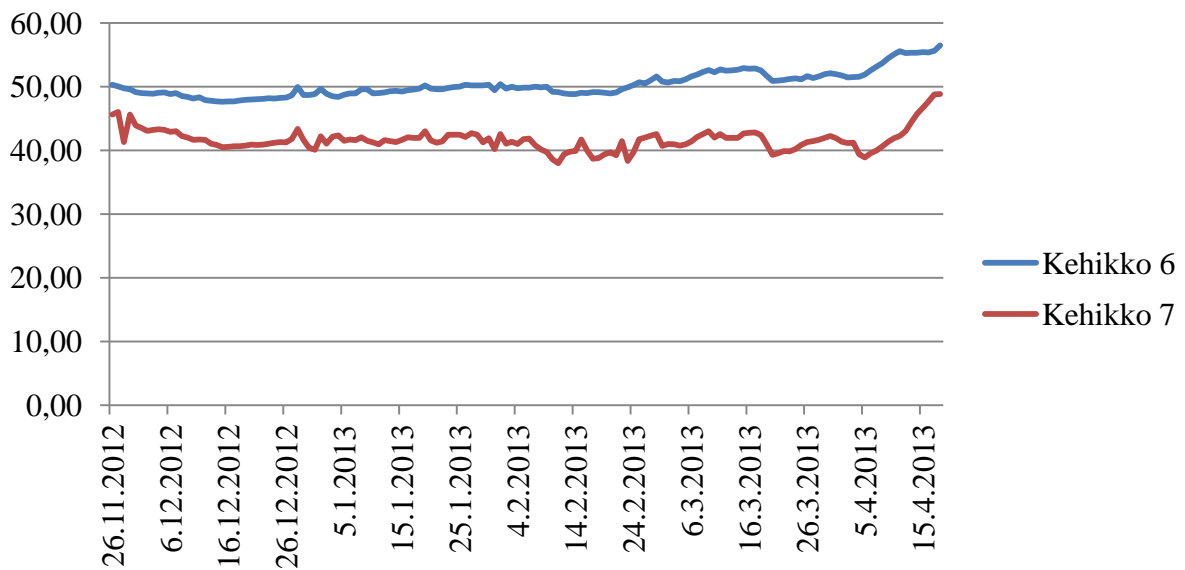
Kehikon 6 hakkuutähteen kosteus syksyllä ennen lumien tuloa oli painomittausten perusteella 50,3 %. Kehikon 6 hakkuutähteen kosteusprosentti pysyi melko tasaisena koko pakkasjakson, kunnes kevätauringon sulattaessa lunta kosteus nousi hieman. Loppukosteus lumien sulamisen jälkeen oli 56,5 %, joka oli 6,2 prosenttiyksikkö korkeampi kuin syksyn kosteus. Hakkuutähdekasan kosteus siis nousi 12,2 % talven aikana.

Kehikon 7 hakkuutähteen kosteuden muutos talvena aikana oli melko vähäistä (Kuva 5). Kehikon 7 hakkuutähteen ennen lumen tuloa painomittaukseen perustuva kosteusprosentti

45,6 % oli vain 3,3 prosenttiyksikköä pienempi, kuin kevään kosteusprosentti lumien sulamisen jälkeen. Tämän hakkuutähdekasvan kosteuden nousu oli 7 % talven aikana, mikä oli selvästi pienempi muutos kosteudessa, kuin kehikolla 6 (Taulukko 3). Kun vertaillaan kehikon 6 ja 7 kosteuspitoisuuksia, näyttäisi Walki biomass cover suojaavan paremmin hakkuutähdekasaa kosteuden muutoksilta talvena aikana, kuin kehikon 6 päällä ollut JI-tuotteen PS-peite.

Taulukko 3. Kehikoiden 6 ja 7 kosteusprosentit ennen ja jälkeen lumentulon, sekä kosteuden muutos tutkimuksen aikana prosentteina.

Kehikko	Kosteusprosentti 26.11.2012	Kosteusprosentti 18.4.2013	Kosteuden muutos %
Kehikko 6	50,3	56,5	12,2
Kehikko 7	45,6	48,9	7,0



Kuva 5. Kehikoiden 6 ja 7 kosteusprosentit päivittäin tarkastelujakson aikana.

3.4 Lumen vaikutus kosteuteen

Tutkielman mukaan lumen määrällä ei voida selittää kosteusprosenttia. Kosteusprosentti oli suurimmillaan keväällä kun lunta oli vähän ja pienimmillään ensi lumen satamisen jälkeisinä viikkoina. Korrelaation laskennassa on tutkittu jokaiselle päivälle lasketun kosteusprosentin ja lumen painon välistä suhdetta. Kehikossa 1 on havaittavissa huomattavaa korrelaatioita

lumen määrän ja kosteusprosentin suhteen (Taulukko 4). Lumen määrän kasvaessa hakkuutähteen kosteusprosentti pienenee. Muilla kehikoilla ei ole merkittävää korrelaatiota kosteusprosentin ja lumen määrän suhteen. Eli kosteusprosentti ei muutu lumen määrän kasvaessa.

Taulukko 4. Hakkuutähdekehikkojen kosteusprosentin selittäminen lumen määrällä.

Kehikko	Korrelaatiokerroin
Kehikko 1	0,63
Kehikko 2	0,12
Kehikko 6	0,04
Kehikko 7	0,25

4 TULOSTEN TARKASTELU

Lumen painon muutos oli käyttäytynyt samankaltaisesti kaikissa kehikoissa. Lumen kokonaismassan vaihtelut kehikoiden välillä johtuivat todennäköisesti kehikoiden hieman erilaisista hakkuutähdekasojen muodoista ja pinta-aloista. Lisäksi lumen painoon kehikon päällä vaikuttivat käytetty suojapeite, sekä kuinka tuuli oli muokannut lumen pintaa kehikon päällä. Kehikon 1 suurille yksittäisille painon muutoksille ei ole löydetty mitään yksittäistä selittäjää.

Tuloksissa käy ilmi, että suojapeitteen käytöllä oli merkitystä talven aikana. Kehikon 2 peittämättömällä hakkuutähteellä tapahtui suurin kosteuden nousu tarkasteluajanjaksolla. Tästä voidaan päätellä suojapeitteistä olevan hyötyä talven aikana. Suojapeitteiden välisessä vertailussa Walki biomass cover antoi paremman suojan hakkuutähteelle, kuin JL-tuotteen PS-peite. Suojapeitteiden tarkastelussa kevään aikana huomattiin veden kertyneen peitteen poimuihin. JL-tuotteen PS-peite päästi veden valumaan peitteen läpi hakkuutähteen sekaan. Tämä voi olla yksi vaikuttavista tekijöistä, miksi Walki biomass cover pystyi säilyttämään hakkuutähteen kosteuden nousun maltillisempaan syksyn lähtökosteuteen verrattuna.

Tuloksiin todennäköisesti vaikuttava tekijä oli myös peitteen oikea asettelu. Peitteen tulee kestää paikoillaan kovat tuulenpuuskat, jotka ovat syksyisin hyvin yleisiä. Kehikoiden peittäminen suojapeitteellä vaikuttaisi olevan hyödyllistä syksyn sateiden suojaamiselta. Lisäksi peite suojaa lumen sulamisvesien valumisen hakkuutähdekasaan keväällä. Tässä tutkielmassa saadut tulokset viittaavat siihen, että hakkuutähteen kosteus oli noussut syksyllä sateiden seurauksena. Pakkasten ja lumen satamisen jälkeen kosteus pysyy samankaltaisena koko talven ennen lumen sulamisen alkua. Tutkielman mukaan lumi ja jää eivät niinkään vaikuta hakkuutähdekasen kosteuteen. Nurmi (1990) on todennut saman omassa tutkimuksessaan hakkuutähteen kosteudesta välivarastossa. Tässä tutkielmassa havaittiin myös, ettei lumen massalla voida määrittää kosteusprosentin muutoksia. Tähän on vahvistuksena myös Nurmen (1990) tutkimus, jossa hän toteaa kosteuden muutoksen aiheutuvan veden vaikutuksesta, eikä lumen.

Hakkuutähteen käytön kasvaessa Suomessa, on hakkuutähteitä pystyttävä hakettamaan ympäri vuoden tienvarsivarastoista. Talvella energian kulutuksen nousun seurauksena tarvitaan suuremmat määrät polttoainetta voimalaitoksille. Tämän tutkielman perusteella talvella hakkuutähteessä ei ole huomattavia eroja kosteusprosentissa talvikuukausien välillä. Tutkielman perusteella voidaan kuitenkin todeta huhtikuun olevan huonointa aikaa hakkuutähteen haketukselle, jolloin kosteusprosentti hakkuutähteessä on korkeimmillaan. Toki talvihaketuksessa on muitakin vaikuttavia tekijöitä talvihaketuksen kannattavuuden kannalta, joita ei tässä tutkielmassa tarkastella.

Kehikon 1 hakkuutähteen kosteusprosentti oli ennen lumien tuloa muita kasoja huomattavasti suurempi. Tämä voi johtua huonosti paikoillaan pysyneestä suojapeitteestä, sekä sen suuresta lahopuun määrästä. Kehikko 1 oli ollut muita kehikoita pidempään tutkimuskohteena, jolloin hakkuutähde oli päässyt lahoamaan. Hakkila (1964) on tutkimuksissaan havainnut, että lahonnut puu vettyy helposti. Pitkään varastokasassa olleen hakkuutähteen ominaisuudet näyttävät vaihtelevan runsaammin, verrattuna vähemmän aikaa varastossa olleisiin hakkuutähdekasoihin. Puun lahotessa syntyviä kuiva-ainetappioita jouduttiin määrittämään hakkuutähde kasoista. Kuiva-ainetappioita ei varmaankaan tule muodostumaan tasaisella nopeudella vuosien ajan. Oletettavaa on, että kuiva-ainetappioita syntyy runsaimmin ensimmäisen vuoden aikana. Tämän seurauksena pitkään varastossa olleen kehikon 1

hakkuutähteen kuiva-ainetappioita on vaikeampi ennustaa. Hakkuutähteen painuminen voi olla myös yksi vaikuttava tekijä vaihteleviin tuloksiin.

Kuiva-ainetappiota muodostui varastoinnissa melko paljon ja sen vuoksi sillä oli suuri merkitys puu-aineen kosteuden määrittämisessä. Kuiva-ainetappiot oletettiin tutkimuksessa jakautuvan tasaisesti koko varastointiajalle. Aikaisemmissa tutkimuksissa oli havaittu hakkeen varastoinnissa syntyvän kuiva-ainetappion muodostumisessa ristiriitaista tietoa. Thörnqvistin (1983) tutkimuksen mukaan suurimmat kuiva-ainetappiot tapahtuivat ensimmäisten kuukausien aikana (Nurmi, 1990). Toisaalta Nurmen (1990) tutkimuksessa sitä ei ollut havaittavissa. Tutkielman hakkuutähdekehikoille syntyi 1–3 % kuiva-ainetappiota kuukaudessa. Vastaavia tuloksia on havaittu myös muissa tutkimuksissa (Filbakk ym. 2011, Nurmi 1990). Tuloksista voidaan päätellä, että hakkuutähteen pitkäaikainen varastointi aiheuttaa merkittävät tappiot hakkeen energiakäytössä. Kuiva-ainetappiota aiheuttavat sienet ja mikrobit voivat pysyä aktiivisina jopa lämpötilan laskiessa nolnaan. Hakkuutähdekehikon päälle satava lumikerros toimii hyvänä eristeenä, joten hakkuutähdekasan sisällä pakkanen ei ole yhtä kova. Lisäksi mikrobitoiminta nostaa hakkuutähdekasan lämpötilaa (Nurmi, 1990). Kuiva-ainetappioita syntyy myös lumen massan murskatessa oksia, sekä mahdollisesti hakkuutähteen mukana tulleita neulasia varisee maahan ajan myötä.

Tässä tutkielmassa saatujen tulosten perusteella voidaan päätellä kosteuden vaihtelun tapahtuvan ennen lumen tuloa, sekä keväällä kun lumien sulamisvesi pääsee vaikuttamaan hakkuutähdekasaan. Lumella ei ole juurikaan vaikutusta hakkuutähteen kosteuteen. Hakkuutähdekasan peittämisestä näyttäisi olevan talven aikana hyötyä. Peitteet suojaavat hakkuutähdekasan kastumisen syyssateilta ja keväällä lumen sulamisvesiltä. Peitteen asettelulla näyttäisi olevan merkitystä hakkuutähteen suojaamisessa. Suojapeitteen tulee kestää syysmyrskyt paikallaan. Lisäksi peitteen asettelussa tulee välttää vettä keräävien poimujen muodostuminen.

KIRJALLISUUS

Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT. 159 s.

Alakangas, E, Sauranen, T. & Vesisenaho, T. 1999. Hakkuutähteestä polttihakkeeksi. Jyväskylä, VTT. 82 s.

Asplund, D. Nikku, P. & Savolainen, M. 1999 Bioenergian tutkimusohjelman loppuraportti 1993–1998. Jyväskylän Teknologiakeskus Oy. 244 s.

Filbakk, T. Høibø, O. Dibdiakova, J. & Nurmi, J. 2011. Modelling moisture content and dry matter loss during storage of logging residues for energy. Scandinavian Journal of Forest Research. s. 267–277.

Hakkila, P. 1964. Koivujen kuivuminen rasissa ja niistä tehtyjen pinotavarapölkkyjen vettyminen uitossa. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 57. 32 s.

Hakkila, P. 1992. Metsäenergia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 422, Helsinki. 51 s.

Hakkila, P. 2004. Puuenergian teknologiaohjelma 1999 – 2003. Metsähakkeen tuotantoteknologia. Loppuraportti. Helsinki. 135 s.

Hillebrand, K. & Nurmi, J. 2000. Puupolttoaineiden laadunhallinta. Alakangas, E. Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2000. VTT, Espoo. 209-212 s.

Hillebrand, K. & Nurmi, J. 2001. Puupolttoaineiden laadunhallinta. Alakangas, E. Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2001. VTT, Espoo. 289-297 s.

Jahkonen, M. Lindblad, J. Sirkiä, S. & Laurén, A. 2012. Energiapuun kosteuden ennustaminen. Metlan työraportteja 241, Metla. 34 s.

JL-tuotteet, 2014. Energiapuun peittäminen ja uusi energiapuupeite. Tuote-esittely. [Verkkodokumentti] JL-tuotteet, Saatavissa: <http://www.jl-tuotteet.fi/> [viitattu 15.4.2014]

Kytö, M. Panula, E. & Äijälä, M. 1983 Metsäenergian käyttö ja jalostus. Osa 8. Puun ominaisuudet ja energiakäyttö, kirjallisuustutkimus. VTT. 146 s.

Kärkkäinen, M. 2007. Puu rakenne ja ominaisuudet. Metsäkustannus. 468 s.

Metsäkustannus Oy, 2007. Tapion taskukirja, 490 s.

Nurmi, J. 1990. Polttihakkeen varastointi suurissa aumoissa. Folia Forestalia, 767. Metsäntutkimuslaitos. Helsinki. 18 s.

Nurmi, J. 1999. Hakkuutähteen ominaisuuksia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 722. 32 s.

Pekkarinen, M. 2010. Kohti vähäpäästöistä Suomea. Uusiutuvan energian velvoitepaketti. [Verkkodokumentti] Työ- ja elinkeinoministeriö, Saatavissa: www.tem.fi/files/26643/UE_lo_velvoitepaketti_Kesaranta_200410.pdf [Viitattu 4.4.2014.]

Ritssckoff, A. 1996. Decay mechanisms of brown-rot fungi. VTT publications 268, Espoo. 52 s.

Walki biomass cover, 2014. Maximize the energy value of forest residues. [Verkkodokumentti] Walki Oy, Saatavissa: [http://www.walki.com/web/images/Walki-BiomassCover_gb.pdf/\\$FILE/Walki-BiomassCover_gb.pdf](http://www.walki.com/web/images/Walki-BiomassCover_gb.pdf/$FILE/Walki-BiomassCover_gb.pdf) [Viitattu 15.4.2014]

Ylitalo, E. 2013. Metsätilastollinen vuosikirja 2013, Metla. s. 273–274.