



UNIVERSITY OF  
EASTERN FINLAND

*Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta*  
*Faculty of Science and Forestry*

MIKROBIEN AIHEUTTAMA KUIVA-AINEHÄVIKKI  
HAKKUUTÄHDEKASOISSA

Liisa Kropsu

METSÄTIETEEN  
KANDIDAATINTUTKIELMA

---

JOENSUU 2015

Kropsu, Liisa. 2015. Mikrobin aiheuttama kuiva-ainehävikki hakkuutähdeksasoissa. Itä-Suomen yliopisto, Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta, Metsätieteiden osasto. Metsätieteen kandidaatintutkielma, 20 sivua

## TIIVISTELMÄ

Työssä tutkittiin mikrobin aiheuttamaa kuiva-ainehävikkiä hakkuutähdeksasoissa. Aihe on tärkeä, sillä hakkuutähdeksasoissa tapahtuvan puuaineen kuivumisen lisäksi puuainesta menetetään muun muassa neulasten varisemisen, mikrobitoiminnan ja oksien katkeilun takia. Menetetyn puuaineksen takia hakkuutähteiden energian saantiarvo ja hyöty vähenee.

Työn tavoitteena oli selvittää, tapahtuuko mikrobin aiheuttamaa kuiva-ainehävikkiä jaksottain tietyissä olosuhteissa ja voisiko sitä todistaa hakkuutähdeksasojen sisältä mitatuista lämpötiloista.

Kirjallisuuden avulla tuotiin esille ilmasto-olosuhteet joissa mikrobin aktiivinen kuiva-aineen tuhoaminen tapahtuu. Lisäksi tarkasteltiin kirjallisuudesta saadun tiedon avulla hakkuutähdeksasoista kerättyä lämpötila-ainestoa. Vuonna 2013 LAAVA-hankkeessa kerätystä aineistosta löytyi termoelementeillä hankittu lämpötila-ainesto hakkuutähdeksasojen sisältä ja sitä vertailtiin Ilmatieteenlaitoksen mittaaman ulkolämpötilan kanssa. Kun lämpötila-ainestoista löydettiin optimaaliset ajankohdat mikrobitoiminnalle, tutkittiin hakkuutähdeksasoista mitattua painodataa. Lisäksi hakkuutähdeksasojen kosteusprosentin muutoksia tarkasteltiin optimiajankohdassa ja lopulta tutkittavalle ajanjaksolle tehtiin tilastollinen analyysi.

Tutkimuksen johtopäätöksenä voidaan sanoa, että mikrobin aiheuttamaa kuiva-ainehävikkiä tapahtuu mikrobeille suotuisissa olosuhteissa mutta myös epäsuotuisissa olosuhteissa. Mikrobeille suotuisissa olosuhteissa ei kuitenkaan aina tapahdu mikrobitoimintaa ja niiden aiheuttamaa kuiva-ainehävikkiä.

**Avainsanat:** bioenergia, hakkuutähteiden varastointi, hakkuutähteet, kuiva-ainetapp

## SISÄLTÖ

1. JOHDANTO .....	4
1.1 Hakkuutähteet bioenergiana .....	4
1.2 Kuiva-aine .....	5
1.3 Hakkuutähteiden varastointi ja kuivuminen .....	5
1.4 Hakkuutähteissä tapahtuvat muutokset varastoinnin aikana .....	6
1.5 Tutkimuksen tavoitteet .....	7
2. AINEISTO JA MENETELMÄT .....	8
2.1 Aineisto ja koejärjestelyt .....	8
2.2 Mittaukset ja niiden analysointi .....	11
3 TULOKSET .....	12
3.1 Hakkuutähteissä tapahtuvat muutokset mikrobitoiminnalle suotuisissa olosuhteissa .....	14
3.2 Hakkuutähteissä tapahtuvat muutokset mikrobitoiminnalle epäsuotuisina ajankohtina .....	16
4 TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	18

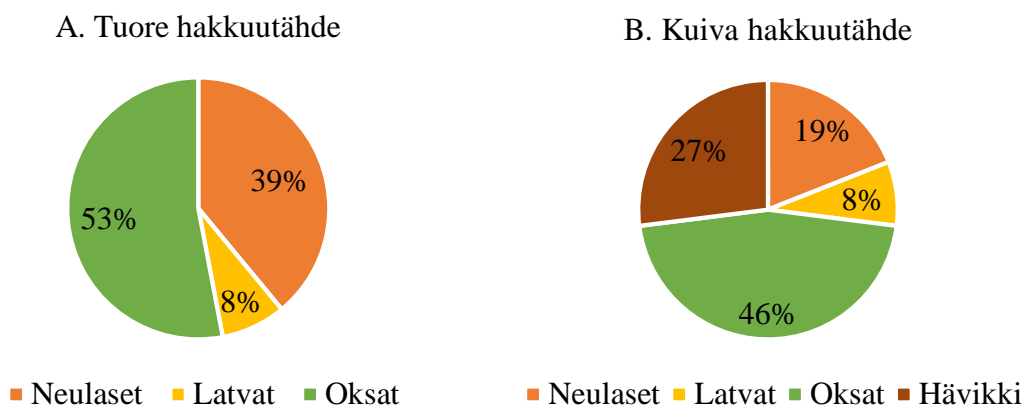
## 1. JOHDANTO

### 1.1 Hakkuutähteet bioenergiana

Hakkuutähteet ovat puupolttoaineiden raaka-ainetta, joka koostuu pääasiassa ainespuun hakkuun ohella kertyvistä latvuksista, oksista ja raivauspuusta. Suomessa hakkuutähteet voidaan kerätä heti hakkuun yhteydessä kun neulaset ovat vielä kiinni hakkuutähteissä, tai niiden voidaan antaa kuivaa hakkuualueella kasoissa, jolloin kuivamisen lisäksi neulaset varisevat pois (Alakangas 2000).

Vesi ja kuiva-aine muodostavat puun yleisen koostumuksen. Kuiva-aine tarkoittaa puun vedetöntä osaa puun koostumuksesta ja se muodostuu haihtuvista aineista, kiinteästä hiilestä sekä tuhkasta. Hakkuutähteitä käytettäessä pyritään materiaalista saamaan mahdollisimman hyvä lämpöarvo. Energiantuotannossa tavoitteena on kuiva puuainees ja suuri kuiva-ainepitoisuus, jotta kaikki biomassan sisältämä energia saadaan hyödynnettyä varsinaiseen tarkoitukseen (Alakangas 2000).

Kun hakkuutähde kuivaa, poistuu vesi puuaineesta, jolloin kuiva-aineen pitoisuus kasvaa. Vaikka kuivan puuaineen pitoisuus kasvaa, korjattavissa olevan hakkuutähteen määrä pienenee (kuva 1) pääasiassa neulasten varisemisen, kuoren irtoilun ja oksien katkeilun takia (Alakangas 2000). Neulasten putoaminen ei ole kuitenkaan ainoa syy kuiva-ainetappioihin (Nurmi 1999), sillä sitä aiheuttaa myös puuaineksen lahoaminen, jota saavat aikaan erilaiset mikrobit.



**Kuva 1.** Kuusihakkuutähteiden koostumus tuoreena (A.) ja kuivana (B.) (Alakangas 2000)

## 1.2 Kuiva-aine

Haihtuvat aineet muodostavat suurimman osan kuiva-aineesta: 84–88 %. Haihtuviin aineisiin kuuluvat vety, happi, typpi ja rikki. Puun koostumuksen kolme tärkeintä tekijää ovat ligniini, hemiselluloosa ja selluloosa. Ligniini on soluseinämän rakennusosa ja se aiheuttaa puutuneisuuden soluseinämissä. Hemiselluloosa säätelee soluseinien vesipitoisuutta ja selluloosa on polysakkaridi, jonka tehtävänä on toimia solujen seinien rakennusaineena. Rakenneaineiden osuudet puun kuiva-aineesta vaihtelevat puulajista riippuen. Kuusen selluloosapitoisuuden on arveltu olevan 40–45 % kuiva-aineen painosta, hemiselluloosaa on vastaavasti 25–40 %. Ligniinin osuus kuiva-aineen painosta on 24–33 %. Tuoreessa hakkuutähteessä on tutkimusten mukaan noin 40 % kuiva-ainetta. Prosentuaaliset määrät vaihtelevat tutkimuksista ja lähteistä riippuen, mutta osuuksien jakaantuminen on yleensä aina samassa suhteessa (Alakangas 2000).

## 1.3 Hakkuutähteiden varastointi ja kuivuminen

Hakkuutähteiden kuivuminen on erittäin tärkeää ennen hakettamista, sillä kosteus vaikuttaa suoraan tähteistä saatuun lämpöarvoon. Veden poistuminen puuaineksesta vaatii paljon energiaa polttovaiheessa, joka puolestaan vähentää hakkuutähteistä saatua energiaa. Hakkuutähteiden annetaan kuivua hakkuupalstalla tai muualle kasattuna muutaman viikon jolloin kosteus hakkuutähteissä laskee. Tuoreissa hakkuutähteissä olevan kosteuden osuus vaihtelee puulajin ja puuston iän myötä, kuitenkin se yleensä on 50–60 %. Kuivauksen jälkeen kosteuspitoisuus on 20–30 %, riippuen esimerkiksi ympärillä vallitsevasta ilmastosta (Alakangas 2000).

Puun kosteuspitoisuuden laskemisen lisäksi neulasten putoaminen hakkuutähteistä kuivauksen seurauksena on erittäin tärkeää, sillä silloin hakkuutähteiden tuhkapitoisuus pienenee joka on tärkeää polttoaineen ominaisuuksille. Koska puussa ei ole enää vettä, jota neulaset voisivat käyttää hyväkseen, ne putoavat maahan ja kuolevat (Nurmi et al. 2001). Lisäksi neulasissa olevat ravinteet jäävät metsään, mikä puolestaan vähentää ravinteiden siirtymistä muualle hakkuualueelta (Fillbakk ym. 2011).

#### **1.4 Hakkuutähteissä tapahtuvat muutokset varastoinnin aikana**

Lahoaminen tarkoittaa orgaanisen aineksen hajoamista, joka aiheuttaa veden ja ravinteiden vapautumista (Palviainen 2005). Mikrobiologisen hajoamisen nopeus riippuu lämpötilasta, ympäristön kosteuspitoisuudesta ja puun kemiallisesta koostumuksesta. Tutkimuksissa on havaittu kuiva-ainehävikin tapahtuvan nopeimmillaan 1 % kuukausivauhdilla (Fillbakk ym. 2011). Borealisissa metsissä bakteerien ja sienten on tutkittu aiheuttavan suurimman osan hajoamisesta (Palviainen 2005).

Aiemmassa tutkimuksessa on todettu että suurimmat kuiva-ainetappiot tapahtuvat heti varastoinnin alkuvaiheessa (Noll ym. 2012). Hakkuun jälkeen lahoaminen on vilkkainta neulasissa ja pienissä oksissa, sillä ne sisältävät eniten ravinteita joita voi hajottaa. Lahoamisen on tutkittu alkavan ensin vesiliukoisista aineista, jatkuen siitä hemiselluloosaan, selluloosaan ja viimeisimpänä ligniiniin (Palviainen 2005). Tällä hetkellä hakkuutähteissä tapahtuvasta lahoamisesta ei voida antaa kuin tapauskohtaisia analyysyjä, sillä lahoamisesta ei ole tehty tarpeeksi laajamittaisia tutkimuksia tai otettu riittäviä näytteitä. Hankalaksi tutkimuksista tekee myös se, että lahoamisen eteneminen sisältää erittäin monimutkaisia muuttujia, joihin vaikuttavat useat ulkopuoliset tekijät (Noll ym. 2012).

Biologinen hajoaminen tuottaa lämpöä sekä kosteutta hakkuutähdekasojen sisällä, tämän voisi olettaa näkyvän myös termoelementtien mittaamisissa lämpötiloissa hakkuutähdekasojen sisällä. Aiemmassa tutkimuksessa (Fillbakk ym. 2011) havaittiin että hakkuutähteiden varastoinnin alussa lämpötila hakkuutähdekasojen sisällä oli suurempi kuin kasojen ulkopuolinen lämpötila.

Monenlaisia piirteitä voidaan havaita hakkuutähdekasosissa tapahtuvassa mikrobien toiminnassa, tutkimuksissa on todettu olennaisimpien puulajien lahottajien olevan valko- ja ruskolahottaja sienet. Valkolahosieni lahottaa pääasiassa ligniiniä, mutta myös hieman hemiselluloosaa ja selluloosaa. Ruskolahon tuhoaa selluloosaa ja jättää ligniinin ennalleen. Kuitenkin aiemmissa kuusen hakkuutähteiden tutkimuksissa on havaittu, että lahoamisasteen edetessä, valko- ja ruskolahon osuus lahottajissa vaihtelee todella suuresti (Noll ym. 2012).

Hajottajien kirjo on kokonaisuudessaan erittäin laaja ja sienten lisäksi myös bakteerit lahottavat puuta. Bakteerien aiheuttama lahottaminen tapahtuu kuitenkin erittäin hitaasti ja se vaatii yleensä kostean ja hapettoman ympäristön tapahtuakseen. Tutkimuksissa on pystytty erittelemään kaksi erilaista bakteerien aiheuttamaan lahottamistapaa ja molemmat ovat

hajottaneet pääasiassa selluloosaa (Noll ym. 2012). Kuitenkin bakteerien osuutta varastoinnin aikana tapahtuvassa lahoamisessa ja kuiva-aineen menetyksessä ei ole olennaista ottaa suuresti huomioon tässä työssä, sillä sienten aiheuttamat vahingot hakkuutähteisiin ovat nopeampia ja tehokkaampia (Noll ym. 2012).

Melkein jokainen puulaji on lisäksi isäntä endofyyttisille sienille, jotka eivät puun eläessä aiheuta sille vahinkoa. Kuitenkin isäntäpuun kaaduttua, endofyyttinen sieni kasvaa ja alkaa käyttää puun biomassaa ravintonaan. Tutkimuksissa onkin havaittu, että puun kaatamisen jälkeen endofyyttiset sienet ovat vallitsevassa asemassa, ennen kuin muut mikro-organismit pääsevät levittäytymään (Noll ym. 2012).

Hakkuutähteiden hajoamista rajoittavat monet tekijät, kuten ympäröivä ilmasto, hajotettavien aineksen kemiallinen koostumus ja lahottajien yhteisö. Fennoskandian havupuumetsissä suurimmat lahoamiseen vaikuttavat tekijät on tutkittu olevat lämpötila ja kosteus (Palviainen 2005). Kuivuusasteen vaihtelu, tuuliolosuhteet, maanpinnan vaihtelevat lämpötilat ja maan kosteuspitoisuuden vaihtelu, sekä vallitseva ympäröivä lämpötila voivat hidastaa hajoamisnopeutta, sillä lahottajat tarvitsevat vakaan elinympäristön toimiakseen (Palviainen 2005).

Pitkään jatkuvat korkeat lämpötilat voivat kiihdyttää kosteuden haihtumista, joka puolestaan aiheuttaa kosteusongelmia mikrobeille. Kuivuudella on tutkittu olevan suuri vaikutus mikrobien leviämiseen erityisesti varastoinnin alussa: jos kuivuus on pitkäaikaista, ei mikrobeilla ole tarpeeksi kosteutta lahottaakseen hakkuutähteitä (Palviainen ym. 2004). Optimaalisia lämpötiloja mikrobitoiminnalle on mahdotonta osoittaa varmasti, sillä parhaimmat lämpötilat lahottajille ovat eräiden tutkimusten mukaan 20–30 celsiustastetta (Schwarze 1999), mutta toisaalta lahottajien kerrotaan sopeutuvan erityisen hyvin ympäröivään ilmastoon, jolloin ne pystyvät toimimaan kylmemmissäkin olosuhteissa (Stokland ym 2012).

## **1.5 Tutkimuksen tavoitteet**

Työn tavoitteena oli selvittää, tapahtuuko mikrobien aiheuttamaa kuiva-ainehävikkiä jaksottain tietyissä olosuhteissa ja voisiko sitä todistaa hakkuutähdekasojen sisältä mitatuista lämpötiloista. Oletuksena oli, että mikrobien aiheuttamaa kuiva-ainetappiota tapahtuu jaksottain mikrobeille suotuisissa olosuhteissa hakkuutähteiden varastoinnin aikana ja mikrobien aktiivisuus olisi mahdollista osoittaa hakkuutähdekasojen lämpötiloja tutkimalla.

## 2. AINEISTO JA MENETELMÄT

### 2.1 Aineisto ja koejärjestelyt

Itä-Suomen yliopiston Mekrijärven tutkimusasemalla kerätty lämpötila-aineisto on osa LAAVA-hanketta. Hankkeen kuivumiskokeen tavoitteena oli selvittää energiapuun kuivumisen ja säätekijöiden vuorovaikutussuhteita palsta- ja tienvarsikasoiissa. Kuivauskehikkojen koejärjestelyissä kerättiin laaja aineisto erilaista dataa, josta tässä tutkimuksessa hyödynnetään termoelementtien keräämää tietoa lämpötilojen vaihteluista hakkuutähdekasoissa ja painoantureitten muodostamaa dataa painon muutoksista hakkuutähdekasoissa. Koe alkoi 26.6.2013 ja päättyi 24.2.2014. Vaikka koe alkoi 26.6.2013, tässä työssä tarkastellaan aineiston keräämää dataa vasta 1.7.2013 alkaen, sillä kokeen alkupäivinä kehikkoihin tehtiin hieman muutoksia, kuten kehikoiden peittämistä ja siistimistä.

Kuivauskehikot muodostuivat kehikoista (kuva 2), joista osoitti ylöspäin neljä sakaraa, jotka varmistivat että sisälle laitettu materiaali pysyi kasassa ja paikoillaan. Kehikoitten alle laitettiin painoanturit mittaamaan painonmuutoksia. Tässä tutkimuksessa hakkuutähdekasat ovat tienvarsikasoja, joiden numerot koejärjestelyissä olivat 6,7 ja 8.



**Kuva 2.** Kaikki vuoden 2013 koejärjestelyn kuivauskehikot. Kuva: Marja Kolström



Kokeessa käytetyt kuusen hakkuutähteet ovat peräisin Kiteen luoteisosasta avohakkuukohteelta. Korjuu loppui 21.6.2013 ja hakkuutähteet kuljetettiin tutkimusasemalle 26.6.2013, joten hakkuun päättymisestä ja kokeen alkamisesta oli viisi päivää väliä. Tienvarsikehikot 6 ja 8 täytettiin tällä materiaalilla. Kolmas tienvarsikehikko tässä tutkimuksessa täytettiin hakkuutähdemateriaalilla, joka oli ollut palstakasoissa kuivumassa 15.5.2013 alkaen. Tämä tulee huomioida tuloksia tarkasteltaessa, sillä kyseisen kehikon paino ja kosteus olivat alhaisempi kokeen alussa kuin tuoreella hakkuutähteellä täytetyt 6 ja 8 kasat.

Ennen hakkuutähdemateriaalien laittamista kehikkoihin, niiden pohjalle ja sivuille laitettiin Walki-paperia. Tällä tavoin pyrittiin mahdollisimman aitoon hakkuutähdekasen kuivumiseen, jotteivat kasat kuivuneet liian nopeasti. Kun hakkuutähteet oli lisätty kuivauskehikkoihin, asennettiin termoelementit mittaamaan lämpötiloja hakkuutähdekasojen sisäpuolelta. Termoelementit ovat langanomaisia antureita ja ne asennettiin hakkuutähdekasojen sisälle (kuva 3). Kehikkoon 6 laitettiin kaksi termoelementtiä: kasan yläosaan ja alaosaan. Kehikkoihin 7 ja 8 termoelementit laitettiin keskelle kasaa.



**Kuva 3.** Matti Lemettinen asentaa termoelementtiä. Kuva: Marja Kolström

Kokeen alussa Kehikko 6 peitettiin JL-tuotteet Oy:n peitteillä (taulukko 2), jossa kaksi peitettä laitettiin lomittain kehikon päälle, kehikko 7 peitettiin Walkin Biomass covery-peitteellä. Kehikkoon 8 ei laitettu peitettä. Peitettyjen kehikoiden päälle laitettiin latvusmassaa peittojen painoiksi, jotta ne pysyivät paikoillaan. Peitetyissä kehikoissa pyrittiin peitot asettamaan kaarimaiseen muotoon, jotta sateella vesi valuisi kasan päältä pois. Kasat myös pyrittiin kokoamaan siten, että päällyys olisi ollut kupera.

**Taulukko 2.** Tienvarsikehikoiden tiedot kokeen alussa (26.6.2013)

Kasa	Materiaali	Peitto	Termoelementti	Paino kg	Valmispaino (lisätty peitot ja painot) 28.6.2013.	Alkukosteus- prosentti 26.6.2013.
6	Tuore latvusmassa	JL-tuotteet Oy	Kasan yläosa Kasan alaosa	2977	3210	48
7	Kuivunut latvusmassa	Walkin Bio-mass covery	Kasan keskiosa	1427	1640	20,1
8	Tuore latvusmassa	Ei peittoa	Kasan keskiosa	2993	3016	53,4

Painoaineisto on kerätty kuivauskehikoiden alle asennetuista painoantureista. Hakkuutähdekasojen lämpötila-aineiston lisäksi tutkimuksessa käytettiin Ilmatieteenlaitokselta saatua ulkolämpötiladataa. Sisältä ja ulkoa saatuja lämpötiloja tarkasteltiin kun tutkittiin ajanjaksoja, milloin hakkuutähteissä voisi mahdollisesti tapahtua mikrobien aiheuttamaa kuiva-ainehävikkiä. Hakkuutähdekasojen kosteusprosentti määritettiin kokeen alussa ja sitä johdettiin alustavasti koko koejaksolle kosteusprosentti, olettaen että kuiva-aineen paino ei muuttunut.

Vuonna 2013 kesä oli koko maassa erittäin lämmin. Kesä- ja elokuu olivat lämpimämpiä kuin aiempien vuosien keskiarvot, mutta heinäkuun lämpötilan keskiarvot olivat pitkäaikaisen lämpötilakeskiarvon tasoa. Sademäärä kohosi Itä- ja Keski-Suomessa erittäin korkeaksi, paikoitellen jopa yli 250 millimetriä (Ilmatieteenlaitos 2013). Heinä- ja elokuussa lämpötiloja hetkellisesti alensivat pitkään jatkuneet sateet.

## 2.2 Mittaukset ja niiden analysointi

Työssä osoitettiin kirjallisuuden avulla ympäristön luomat ihanteelliset ajankohdat mikrobien toiminnalle sekä etsittiin kyseiset optimitilanteet LAAVA-hankkeessa kerätystä lämpötila-aineistosta. Hakkuutähdekasojen sisälämpötilan lisäksi ulkolämpötilaa, kasojen painoa ja kosteusprosenttia analysoitiin.

Aiempien tutkimusten perusteella voitiin määrittää, millaisessa ilmastossa mikrobien aiheuttamaa kuiva-ainetappiota tapahtuu. Lämpötilan tulisi pysyä 15–30 celsiusasteessa tasaisesti ilman suuria vaihteluita. Pitkään jatkunut lämmin ajanjakso edistää hakkuutähteiden kuivumista, joka onkin varastoinnin tarkoitus, mutta samalla se estää lahoamisen etenemistä sillä mikrobit tarvitsevat kosteutta toimiakseen.

Tutkimuksen tarkasteltava ajanjakso alkoi 1.7.2013 ja päättyi 30.8.2013. Aineistoa oli käytettävissä vielä elokuusta eteenpäin, mutta jo elokuun lopussa lämpötilat laskivat todella alas, jolloin mikrobitoiminnalle suotuisia ajanjaksoja olisi ollut vaikea määrittää.

Aluksi aineistosta etsittiin ajanjaksot, jolloin lämpötilaolosuhteet pysyivät tasaisesti yli 15 celsiusasteen yläpuolella. Tässä tutkimuksessa optimaaliseksi lämpötila-alueeksi valikoitui +15–30 astetta celsiusta, sillä kesän 2013 keskilämpötila oli Joensuun korkeudella 16–17 celsiusastetta (Ilmatieteenlaitos 2013) mutta myös hellejaksoja sisältyi tutkittaviin kesäkuukausiin. Seuraavaksi optimaalisista lämpötila-ajanjaksoista tutkittiin yö- ja päivälämpötilojen eroja, sillä mikrobien aktiivisuudesta syntyvä lämpö sekä hakkuutähdekasojen kyky varastoida lämpöä, näkyisivät termoelementtien mittaamassa lämpötila-aineistossa. Näinollen ulko- ja sisälämpötilojen erot kehikoissa olisivat oletettavasti suuret, sillä kehikoitten sisälämpötilan olisi voitu olettaa pysyvän korkeammalla kuin ulkolämpötilan.

Kehikoiden hakkuutähdekasojen mitattua painodataa tutkittiin valituilla ajanjaksoilla ja tarkkailtiin mahdollisia muutoksia painossa. Painoon vaikuttivat sateet, joten valituilla ajanjaksoilla mitattuja painonmuutoksia verrattiin vielä silloiseen vesisadetilanteeseen, jonka aineisto saatiin Ilmatieteenlaitokselta. Painon muutosten lisäksi tarkasteltiin myös hakkuutähdekasojen kosteusprosenttia, painon laskiessa myös kosteusprosentin oletettiin laskevan ja painon noustessa sen oletettiin kasvavan. Koska kosteusprosentti oli johdettu muista mittaustuloksista, ei sitä voitu pitää ainoana luotettavana indikaattorina. Lopuksi tutkittavalle

ajanjaksolle tehtiin tilastollinen analyysi, jossa tutkittiin t-testin avulla keskiarvojen erojen merkitsevyyttä.

Jotta pystyttiin vertailemaan luotettavasti lukujen keskiarvoja, käytettiin tilastollista analyysia (t-testi) määrittämään, oliko esimerkiksi ulko- ja sisälämpötilojen keskiarvoilla merkittävää eroa (taulukko 1).

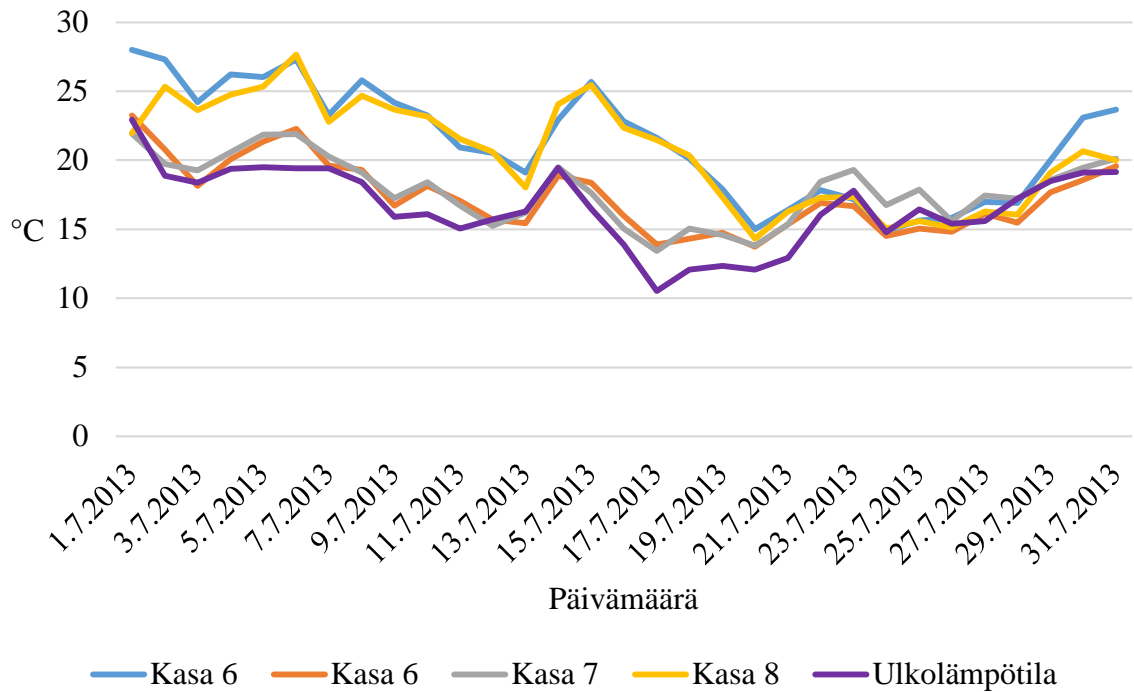
**Taulukko 1.** Tilastollisen analyysin t-testin merkitsevyystaso. (Ilkka Mellin 2006)

P-arvo	Merkitsevyystaso
0,05	Melkein merkitsevä
0,01	Merkitsevä
0,001	Tilastollisesti erittäin merkitsevä

Nollahypoteesina tutkimuksissa käytettiin oletusta, että keskiarvot eivät eroa kahden vertailtavan keskiarvojoukon välillä. Mitä pienempi p arvo vertailun tuloksena saatiin, sitä enemmän saatiin tukea sille että keskiarvojen ero on merkitsevä.

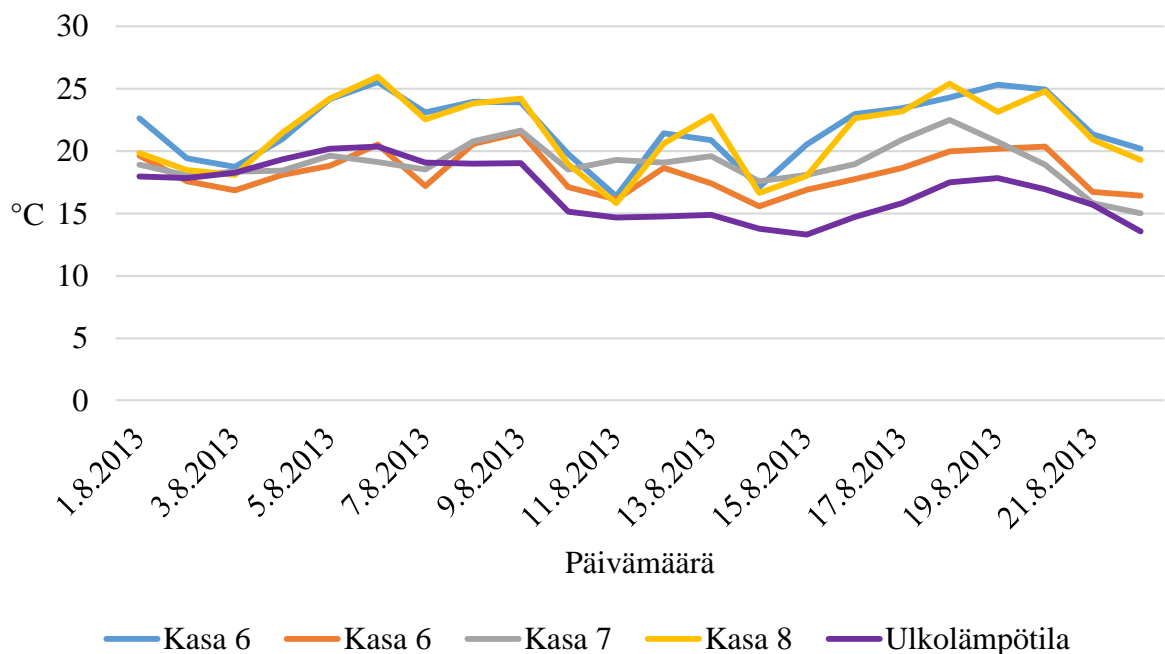
### 3 TULOKSET

Heinäkuussa satoi paljon 17.–22.7, jolloin jokaisena päivänä satoi. Pisin aika jatkuvaa sadetta oli 20.–21.7, jolloin satoi yhtäjaksoisesti 25 tuntia. Ulkolämpötilan minimiarvo oli heinäkuussa 6,69 °C, maksimiarvo 25,42 °C ja keskiarvo 16,49 °C, joten lämpötilojen vaihtelevuus oli runsasta (kuva 4).



**Kuva 4.** Heinäkuussa mitattujen lämpötilojen päivittäiset keskiarvot

Elokuussa 2013 (kuva 5) satoi paljon välillä 8.–15.8. Pisin jakso jatkuvaa sadetta oli 14.–15.8, jolloin satoi 27 tuntia yhtäjaksoisesti. Kuukauden keskilämpötila oli 16,9 °C, alhaisemmillaan lämpötilan ollessa 10,3 °C ja korkeimmillaan 26,2 °C. Elokuussa aineistoa oli saatu vain 22.8. päivään saakka, sillä ilmeisesti virtakatkoksen takia laitteet eivät olleet toimineet, joten kuukausi jäi hieman vajaaksi.



**Kuva 5.** Elokuussa mitattujen lämpötilojen päivittäiset keskiarvot

### 3.1 Hakkuutähteissä tapahtuvat muutokset mikrobitoiminnalle suotuisissa olosuhteissa

**Taulukko 2.** Heinäkuussa mikrobitoiminnalle suotuiset ajankohdat

Kasa	Ajankohta	Ulko- ja sisälämpötilojen keskiarvojen ero	Painon muutos kg	Kosteusprosentin muutos
6	27.7. (09.00-23.00)	p=0,07(ylä termoelementti) p=0,02(ala termoelementti)	33,8 (p<0,001)	p<0,001
7	3.–4.7. (13.00-03.00)	p=0,3	12,1 (p<0,001)	p<0,001
8	23.–24.7. (23.00-13.00)	p>0,05	27,8 (p<0,001)	p<0,001

Hakkuutähdekasassa 6 sisä- ja ulkolämpötilojen ero oli 27.7. melkein merkitsevä kasan alaosan lämpötilan ja ulkolämpötilan välillä (taulukko 2). Kasan yläosan lämpötilan ja ulkolämpötilan väliset keskiarvot eivät merkitsevästi eronneet toisistaan, mutta kasan alaosan lämpötilan ja ulkolämpötilan keskiarvojen erot olivat melkein merkitsevät. Edellinen vesisade oli ollut 22.7., jolloin vettä satoi viisi tuntia, joten sateen vaikutus ei enää kyseisenä päivänä ollut mahdollinen. Tarkasteluajalla painon muutos oli erittäin merkitsevä, kun sitä verrattiin kahden päivän keskiarvoon, mutta kuitenkin välillä 2566 kg ja 2555 kg. Myös kosteusprosentti muuttui tarkasteluajana erittäin merkitsevästi kahden päivän keskiarvoon verrattuna. Hakkuutähdekasasta eri kohdista mitatut lämpötilojen vaihtelut selittyvät osittain sillä, että hakkuutähteet kuivuvat nopeasti ylempänä kasassa, kuin suuremman painon alla oleva hakkuutähdeaines.

Hakkuutähdekasassa 7 sisältä mitattujen lämpötilojen minimiarvo elokuussa oli 12,92 °C, maksimiarvo 32,01 °C ja keskiarvo 20,51 °C. Kasan ollessa peitettynä, ei sade päässyt vaikuttamaan paljon sisälämpötilan muutoksiin. Mikrobitoiminnalle aktiivisella ajanjaksolla 3.–4.7. sisä- ja ulkolämpötilojen keskiarvojen väliset erot eivät olleet merkitseviä (taulukko 2). Painon ja kosteusprosentin muutokset olivat erittäin merkitseviä. Kyseisen kehikon hakkuutähdeaines oli varastoinnin alussa jo hieman kuivahtanutta, joten se voi vaikuttaa aineistoon siten, että muutokset eivät olleet kilogrammoissa määrällisesti suuria vaikka muutokset olivatkin erittäin merkitseviä.

Peittämättömässä kasassa 8 ajalla 24.–25.7. kello 9.00–15.00 olosuhteiden arvioitiin olevan ihanteellisia mikrobitoiminnalle (taulukko 2). Kuitenkaan kyseiselle ajanjaksolle ei tuolloin ollut kerättyä sadeaineistoa, joten tuloksia ei voida pitää luotettavana. Sadetta voisi olettaa ajanjaksolla kuitenkin esiintyvän, sillä ulko- ja sisälämpötilojen erot olivat erittäin pieniä eikä merkittäviä. Painon ja kosteusprosentin erot olivat erittäin merkittäviä, mutta mahdollinen sateen ajankohta voi selittää eroavaisuudet.

**Taulukko 3.** Elokuussa mikrobitoiminnalle suotuiset ajankohdat

Kasa	Ajankohta	Ulko- ja sisälämpötilojen keskiarvojen muutos	Painon muutos kg	Kosteusprosentin muutos
6	19.8. (09.00–23.00)	p<0,001(ylä termoelementti) p=0,03(ala termoelementti)	31,5 (p<0,001)	p<0,001
7	17.8. (03.00–18.00)	p=0,0002	24,3 (p<0,001)	p<0,001
8	5.8. (08.00–22.00)	p=0,023	28,7 (p<0,001)	p=0,006

Hakkuutähdekasasta 6 (taulukko 3) mikrobien aktiiviselle toiminnalle suotuisa ajankohta löytyi 19.8. Edeltävän päivän sade loi mahdollisesti mikrobeille hyvän kosteuspitoisuuden hakkuutähdekasassa. Lämpötilojen keskiarvojen muutokset olivat erittäin merkitsevät kasan yläosassa ja kasan alaosassa melkein merkitsevät, verrattuna ulkolämpötilaan. Painon muutos oli merkitsevä verrattuna kahden päivän keskiarvoon, kuten myös kosteusprosentin muutos.

Hakkuutähdekasassa 7 17.8. (taulukko 3) sisä- ja ulkolämpötilojen vaihtelevuus oli erittäin merkitsevä, kun ajankohta oli suotuisa mikrobitoiminnalle. Painon kokonaispudotus tarkasteluajalla oli 24,3 kg, joka oli erittäin merkitsevä lahden päivän keskiarvoon verrattuna. Samalla kosteusprosentin vaihtelu oli ajanjaksolla erittäin merkitsevä.

Mikrobitoiminnalle suotuisat olosuhteet hakkuutähdekasassa 8 oli olosuhteiden perusteella 5.8. (taulukko 3), jolloin sadetta oli viimeksi ollut 22.7. Lämpötiloja tarkasteltaessa huomattiin, että sisälämpötilan ja ulkolämpötilan keskiarvojen erot olivat melkein merkitseviä. Painon muutos oli erittäin merkitsevä sekä kosteusprosentin muutos erittäin merkitsevä.

### 3.2 Hakkuutähteissä tapahtuvat muutokset mikrobitoiminnalle epäsuotuisina ajankohtina

Jotta voitiin tutkia kuiva-ainehävikin muodostumista, tuli tarkastella myös niitä ajanjaksoja, jotka olivat mikrobitoiminnalle epäsuotuisia. Kriteereinä olivat matalat, pitkään jatkuneet alle 15 celsiusasteen lämpötilat sekä yli 15 celsiusasteen lämpötilat, joissa oli huomattavaa lämpötilojen vaihtelevuutta. Heinäkuussa ulkolämpötilan keskiarvon ollessa vain 16,49 °C, löytyi hakkuutähdekasojen lämpötiladatasta erityisesti kylmempien ajanjaksojen tuloksia..

**Taulukko 4.** Heinäkuussa mikrobitoiminnalle epäsuotuisat ajankohdat

Kasa	Ajankohta	Ulko- ja sisälämpötilojen keskiarvojen muutos	Painon muutos kg	Kosteusprosentin muutos
6	25.7 (03.00-18.00)	p=0,07 (ylä termoelementti) p=0,01 (ala termoelementti)	51,1 (p<0,001)	p<0,001
7	16.7. (00.00-15.00)	p=0,07	21,4 (p<0,001)	p<0,001

Hakkuutähdekasassa 6 mikrobeille epäsuotuisa ajanjakso oli 25.7. (taulukko 4), jolloin lämpötilat kehikon sisällä ja ulkopuolella olivat matalat. Lämpötilan keskiarvo oli ylemmässä termoelementissä 15,1 celsiusastetta, alemmassa termoelementissä 14,3 celsiusastetta ja ulkona 17,2 celsiusastetta. Kyseisenä aikana ei satanut. Sisälämpötiloissa oli eroja, sillä ylemmän termoelementin ja ulkolämpötilan välillä ei ollut merkitsevää eroa, mutta alemman termoelementin ja ulkolämpötilan välillä oli melkein merkitsevä ero lämpötiloissa. Painon muutos ajanjaksolla oli kosteusprosentin tavoin erittäin merkitsevä.

16.7. (taulukko 4) hakkuutähdekasassa 7 oli mikrobitoiminnalle epäsuotuisa ajanjakso, jolloin ulko- ja sisälämpötilojen keskiarvojen muutokset eivät olleet merkittävät ja niiden keskiarvot olivat matalat (sisälämpötilan keskiarvo 15,3 °C ja ulkolämpötilan keskiarvo 14,4 °C). Kuitenkin painon ja kosteusprosentin muutokset olivat erittäin merkittäviä.

Elokuun alun ollessa todella lämmin kuukausi vuonna 2013, hakkuutähdekasoja tarkasteltiin epäsuotuisien ajankohtien osalta erityisesti lämpimien ajanjaksojen aikana tapahtuvien runsaiden ja nopeiden lämpötilavaihteluiden avulla. Kuun lopussa ulkolämpötilan lasku yöllä alkoi vaikuttaa enemmän hakkuutähdekasojen sisältä mitattuihin lämpötiloihin.



**Taulukko 5.** Elokuussa mikrobitoiminnalle epäsuotuiset ajankohdat

Kasa	Ajankohta	Ulko- ja sisälämpötilojen keskiarvojen muutos	Painon muutos kg	Kosteusprosentin muutos
6	6.-7.8. (18.00-08.00)	p<0,001(ylä termoelementti) p=0,19 (ala termoelementti)	19,4 (p<0,001)	p<0,001
7	3.-4.8. (16.00-06.00)	p=0,15	5,8 (p<0,001)	p<0,001
8	6.-7.8. (10.00-24.00)	p<0,001	30,3 (p<0,001)	p<0,001

Tarkasteltaessa elokuussa mikrobitoiminnalle epäsuotuisia ajankohtia, hakkuutähdekasassa 6 (taulukko 5) huomio kiinnittyi todella suuriin ja nopeisiin lämpötilamuutoksiin, joiden voisi olettaa olevan epäsuotuisat mikrobitoiminnalle suuren vaihtelevuuden, yli 10 °C takia. Kyseisellä ajanjaksolla ylemmän sisälämpötilan ja ulkolämpötilan ero oli erittäin merkitsevä, kun alemman ja ulkolämpötilan ei ollut merkitsevää eroa. Suuren lämpötilavaihtelun lisäksi painon ja kosteusprosentin muutokset olivat tarkasteluajankohtana erityisen merkittävät.

Hakkuutähdekasassa 7 tarkasteluajankohtana (taulukko 5) lämpötilan vaihtelu kasan sisällä oli suurta, ja välillä lämpötilat näyttivät että sisälämpötila oli painunut alempiin lukemiin kuin ulkolämpötila. Kuitenkaan kasan sisä- ja ulkolämpötilan keskiarvon ero ei ollut ajanjaksolla merkittävä. Painon ja kosteusprosentin muutokset olivat merkittäviä kahden vuorokauden keskiarvoon verrattuna.

Kehikon 8 sisälämpötila oli pitkään todella korkeissa lämpötiloissa tarkasteluajankohtana (taulukko 5), joten sen oletettiin olevan epäsuotuisa ajankohta mikrobitoiminnalle. Ulko- ja sisälämpötilojen keskiarvojen muutokset olivat erittäin merkitsevät, sisälämpötilan ollessa korkeimmillaan 31,2 °C ja alimmillaan 23,4 °C. Ulkolämpötila kävi alimmillaan 14,5 °C ja korkeimmillaan 25,5 °C. Samalla ajanjaksolla painon ja kosteusprosentin muutokset olivat merkittäviä kahden vuorokauden keskiarvoon verrattuna.

#### 4 TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tavoitteena oli tutkia, tapahtuuko hakkuutähdekasoissa mikrobien aiheuttamaa kuiva-ainehävikkiä jaksoittain tietyissä olosuhteissa, ja pystyikö mikrobitoimintaa mahdollisesti havaitsemaan hakkuutähdekasoista kerätyistä lämpötila-aineistoista. Vaikka mikrobitoiminnalle suotuisat ja ei-suotuisat olosuhteet olivat tutkimuksessa helppo osoittaa, ulkolämpötilan, kosteusprosentin ja painon muutosten lisääminen tutkittavien ajanjaksojen kriteereihin rajasi paljon aineistosta pois. Kaikilta tutkittavilta kuukausilta ei pystytty osoittamaan tarkasteluajankohtaa, jolloin vaaditut kriteerit olisivat täyttyneet.

Mikrobien aktiivisuuden oli aiemmassa tutkimuksessa todettu olevan aktiivisimmillaan 20–30 celsiusasteessa (Schwarze 1999), tässä tutkimuksessa optimilämpötila-alueeksi määriteltiin 15–30 celsiusastetta. Kasassa 6 heinäkuussa mikrobitoiminnalle suotuisella ja epäsuotuisalla ajanjaksolla, oli havaittavissa melkein merkitsevää ja merkitsevää lämpötilojen keskiarvojen eroa. Näinollen havaittavissa oli mahdollisesti myös mikrobien aktiivista toimintaa, kun lämpötila kasan sisällä pysyi alle 20 celsiusasteessa. Tämä havainto tukee aiemmassa tutkimuksessa saatua tulosta (Stokland ym. 2012), jossa mikrobien todettiin sopeutuvan vallitsevaan ilmastoon. Mikrobeille suotuisaksi lämpötila-alueeksi tutkimuksen alussa määritetty 15–30 celsiusastetta olisi tämän havainnon myötä myös perusteltua.

Aiemmassa tutkimuksessa (Fillbakk ym. 2011), jossa tutkittiin kosteuspitoisuutta ja kuiva-ainehävikin muodostumista hakkuutähdekasoissa varastoinnin aikana, saatiin tietoa myös lämpötiloista hakkuutähdekasojen sisältä. Kun lämpötilaerot kasojen sisällä ja ulkona olivat pienet, kuivuivat hakkuutähdekasat nopeammin ja mikrobitoiminta oli vähäistä. Kyseisen tutkimuksen perusteella voidaan olettaa, että tässä tutkimuksessa painon ja kosteusprosentin erittäin merkitsevät muutokset silloin kun lämpötilaerot eivät olleet merkitseviä, johtuivat mahdollisesti hakkuutähteiden kuivumisesta. Näinollen lämpötilojen erojen ollessa erittäin merkitseviä, voidaan olettaa että mikrobitoimintaa tapahtuu hakkuutähteissä.

Tässä tutkimuksessa pystyttiin alustavasti osoittamaan kolme ajankohtaa (osittain kasa 6 heinäkuu, osittain kasa 6 elokuu ja kasa 7 elokuu) jolloin mikrobien aktiivisuutta voisi olettaa tapahtuvan suotuisissa olosuhteissa lämpötilamuutosten perusteella. Toisaalta myös

mikrobitoiminnalle epäsuotuisilta ajanjaksoilta havaittiin mahdollista mikrobitoimintaa (osittain kasa 6 elokuussa ja kasa 8 elokuussa). Mikrobeille optimaaliselta ajankohdalta löydettiin myös tilanteita, jolloin sisä- ja ulkolämpötilan erot eivät olleet merkittäviä (osittain kasa 6, 7 ja 8 heinäkuussa, sekä kasa 8 elokuussa). Tällöin voidaan alustavasti ajatella että olosuhteiden ollessa suotuisat, ei mikrobitoimintaa välttämättä tapahdu lainkaan. Heinäkuussa kasassa 8 mikrobitoiminnalle suotuisessa ajankohdassa tulee ottaa huomioon sadeaineiston puuttuminen, joka voi vääristää tulosta.

Koska sisä- ja ulkolämpötilojen ero oli erittäin merkitsevä myös mikrobeille epäsuotuisella ajanjaksolla, ja mikrobitoiminnalle suotuisalla ajanjaksolla ero ei ollut aina merkittävä, ei tutkimuksesta voida antaa selkeää johtopäätöstä sille, että mikrobitoimintaa tapahtuu vain mikrobeille suotuisilla ajanjaksoilla. Tämän tutkimuksen perusteella mikrobitoimintaa ja niiden aiheuttamaa kuiva-ainehävikkiä voidaan olettaa tapahtuvan mikrobeille suotuisissa olosuhteissa, mutta myös epäsuotuisissa olosuhteissa.

## LÄHTEET

Alakangas, E. 2000 Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 158 s.

Engels, J. & Mattheck, C. 1999. Fungal strategies of wood decay in trees. F.W.M.R. Schwarze. Published by Rombach Verlag. 185 s.

Filbakk, T & Høibø, O. A. & Dibdiakova, J & Nurmi, J. 2011. Modelling moisture content and dry matter loss during storage of logging residues for energy. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 26: 267277.

Hyvönen, R. & Olsson, B. A. & Lundkvist, H. & Staaf, H. 2000. Decomposition and nutrient release from *Picea abies* and *Pinus sylvestris* L. logging residues. *Forest Ecology and Management*. 126(2):97–112.

Jirjis, R. Storage and drying of wood fuel. 1995. *Biomass and Bioenergy* 9(1/5):181–190.

Nurmi, J. 1999. The storage of logging residue for fuel. *Biomass and Bioenergy* 17(1):41–47.

Noll, M. & Jirjis, R. 2012. Microbial communities in large-scale wood piles and their effects on wood quality and the environment. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 95(3):551–563.

Nurmi, J. & Hillebrand, K. 2001. Storage alternatives affect fuelwood properties of Norway spruce logging residues. *New Zealand Journal of Forestry Science*. 31(3):289–297.

Palviainen, M. & Finer, L. & Kurka, A. M. & Mannerkoski, H. & Piirainen, S. & Starr, M. 2004. Decomposition and nutrient release from logging residues after clear-cutting of mixed boreal forest. *Plant and Soil*. 263(1/2):53–67.

Palviainen, M. 2005. Logging residues and ground vegetation in nutrient dynamics of a clear-cut boreal forest. Academic dissertation. Joensuun Yliopistopaino. 38 s.

Stokland, J. N. & Siitonen, J. & Jonsson, B. G. 2012 Biodiversity in dead wood. Published in the United States Of America by Cambridge University Press, NY. 524 s.

*Elektroniset lähteet:*

Kesän 2013 sää. 2013. [Verkkodokumentti] Ilmatieteenlaitos. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/kesa-2013>. [Viitattu 7.4.2015]

Tilastolliset menetelmät: tilastolliset testit. 2006. [Verkkodokumentti]. Mellin I. Saatavissa <http://math.aalto.fi/opetus/sovtoda/oppikirja/Testit.pdf>. [Viitattu 20.4.2015]