

Hakkeen muutoksen kuva-analyysi

Ari Frilander

Opinnäytetyö

Kesäkuu 2017

Luonnonvara- ja ympäristöala

Agrologi (ylempi AMK), biotalouden kehittäminen

Tekijä(t) Frilander, Ari	Julkaisun laji Opinnäytetyö, ylempi AMK	Päivämäärä Toukokuu 2017
	Sivumäärä 36	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Hakkeen muutoksen kuva-analyysi		
Tutkinto-ohjelma Agrologi (ylempi AMK), biotalouden kehittäminen		
Työn ohjaaja(t) Honkanen Hannariina, Vesisenaho Tero		
Toimeksiantaja(t) Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Biopooli-hanke		
<p>Tiivistelmä</p> <p>EU:n ilmastopolitiikan mukaan uusiutuvien energialähteiden käyttöä on lisättävä. Suomi on omalta osaltaan sitoutunut noudattamaan EU:n ilmastopolitiikan tavoitteita. Puupohjais-ten energialähteiden käytön lisäämisellä on merkitsevä asema tavoitteiden saavuttami-selle.</p> <p>Opinnäytetyössä tutkitun hakkeen raaka-aineen keräämisellä on myös positiivisia vaikutuk-sia metsien uudistumisessa. Alueilla, joilla hakkuutähteet on kerätty talteen, mm. uusien taimien istutusolosuhteet ovat paremmat.</p> <p>Hakkeen myyntihinta määräytyy siitä saatavan energiasisällön mukaan. Energiasisältöön vaikuttavat useat tekijät, kuten hakkeen palakoko, kosteus, tiheys ja tehollinen lämpöarvo. Edellä mainittuja tekijöitä voidaan mitata laboratorio-olosuhteissa. Tutkimuksen tavoit-teena oli kehittää menetelmä, jolla hakkeen laadun arviointiin saataisiin lisäarvoa laborato-riotutkimusten lisäksi.</p> <p>Tutkimusta varten rakennettiin testiympäristö Saarijärven Tarvaalassa sijaitsevalle Jyväsky-län ammattikorkeakoulun biotalouskampukselle. Testiympäristön tavoitteena oli luoda si-mulaatio hakkeen aumavarastoinnista. Haketta kuvattiin digitaalikameralla 4 kuukauden ajan kesällä 2016. Kuvamateriaalista tutkittiin hakkeelle tapahtuvaa visuaalista muutosta ja muutoksen havaitsemisen luotettavuutta.</p> <p>Kuva-analyysitulosten perusteella voidaan todeta, että muutokset ovat havaittavissa käyte-tyillä laitteilla ja kuvista on saatavissa numeerista tietoa muutoksesta. Seuraava vaihe me-netelmän kehittämisessä tulisi olla saatujen tulosten yhdistäminen laboratoriomittauksiin.</p>		
Avainsanat biotalous, kuvantaminen, kuva-analyysi, hake, auma		
Muut tiedot		

Author(s) Frilander, Ari	Type of publication Master's thesis	Date May 2017 Language of publication: Finnish
	Number of pages 36	Permission for web publication: X
Title of publication Image analysis of changes in wood chips		
Degree programme Master of Natural Resources, Bioeconomy Development		
Supervisor(s) Honkanen Hannariina, Vesisenaho Tero		
Assigned by Jyväskylä University of Applied Sciences, Biopooli-project		
Abstract <p>In accordance with the climate policy of EU, the use of renewable energy sources must be increased. Finland has agreed on following the goals of the EU climate policy. Increasing the use of wood-based energy sources plays a significant role in reaching the target set by EU.</p> <p>Harvesting forest residues used to produce wood chips has a positive impact on forest renewal. In the areas where harvesting has been done, planting has been easier and more successful.</p> <p>The sales price of wood chips is based on its energy content. There are several factors affecting it, e.g. the size of wood chips, moisture, density and effective heat of combustion. These parameters can be measured in laboratory conditions. The aim of the study was to develop a method to get added value to estimate the quality of wood chips beside the laboratory results.</p> <p>For the study, a test environment was built to Jyväskylä University of Applied Sciences campus area in Tarvaala, Saarijärvi. The aim of the test environment was to build a simulation storing wood chips in stacks. The wood chips were photographed four months during the summer 2016. The visual changes in the wood chips and the reliability of the analysis were studied from the material.</p> <p>Based on the image with analysis results, it can be stated that the changes are detectable and quantitative results of the changes are available. The next phase in developing the method should be the combining of the laboratory results with the image analysis results.</p>		
Keywords/tags bioeconomy, imaging, image analysis, wood chips, stack		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Johdanto	4
2	Puuhake osana biotaloutta	5
3	Hake bioenergian lähteenä	6
3.1	Hakkeentuotannon ympäristövaikutukset.....	7
3.2	Hakkeen kosteus, varastointi ja kuivatus	8
3.3	Haketusmenetelmät.....	10
3.4	Hakkeentuotannon tulevaisuus ja kehitystarpeet	11
4	Tutkimusasetelma	12
4.1	Tutkimusongelma ja rajaus	12
4.2	Tutkimusaineiston keruu.....	13
4.3	Hakkeen kuvantaminen.....	15
5	Kuva-analyysin ja kuvantamisen perusteita.....	16
5.1	Kuva-analyysin perusteita	16
5.2	Kuvantaminen digitaalikameralla.....	20
5.2.1	Kamerasensori	20
5.2.2	Resoluutio eli erotuskyky ja harmaasävyjen merkitys	21
6	Tutkimustulokset.....	22
6.1	Kuva-aineiston valinta ja analyysin lähtötilanne.....	22
6.2	Analyysiparametrien määrittäminen	22
6.3	Kuva-analyysi ja tulokset	25
7	Johtopäätökset.....	28
8	Pohdinta.....	28
8.1	Tulokset	28
8.2	Tulosten luotettavuus	28

		2
8.3	Opinnäytetyön aiheenvalinta.....	29
8.4	Kuvantamisen eteneminen	29
9	Jatkotoimenpiteet	30
9.1	Kehittämiskohteet.....	30
9.2	Ideasta tuotteeksi.....	30
9.3	Lopuksi.....	31
	Lähteet	32

Kuviot

Kuvio 1.	Kosteuden muutokset peittämättömän hakkeen varastoinnin aikana ulkona ja varastohallissa.	9
Kuvio 2.	Hakeuma avattuna.	9
Kuvio 3.	Käyttöpaikkahaketus.	10
Kuvio 4.	Digitaalijärjestelmäkamera asennettuna astian päälle.....	14
Kuvio 5.	Kameran ohjausta varten rakennettu työasema Internet-yhteydellä.	14
Kuvio 6.	Kuvakaappaus kameran ohjausohjelmistosta.....	15
Kuvio 7.	Illuusiokuva ilman harmaasävykynnystä.	18
Kuvio 8.	Illuusiokuva kynnystettynä.....	19
Kuvio 9.	Illuusiokuvan käänteinen kynnystys.....	20
Kuvio 10.	Kuvakenno eli sensori.....	21
Kuvio 11.	Analysoitavan kuvan parametrimäärittäminen.	23
Kuvio 12.	Analyysin valitut kohteet on merkitty punaisella värillä.....	24
Kuvio 13.	Ensimmäisen kuvan kuva-analyysi on valmis.....	25
Kuvio 14.	Viimeisen kuvan kuva-analyysi on valmis.	26
Kuvio 15.	Muutokset 4 kk aikana	27
Kuvio 16.	Hakkeen muutos kuvantamisen aikana	27

Sanasto ja lyhenteet

Lyhenteet

TWh terawattitunti

Sanasto

Bittikarttagrafiikka Kuvan esittämistapa digitaalisessa muodossa

Fotoni Vain yhtä aallonpituutta sisältävä valohiukkanen

Harmaasävykuva Harmaan eri tummuusarvoista muodostettu kuva, jossa jokaisella kuvapisteellä on lukuarvo, joka määrittelee kuvapisteen kirkkauden

Kynnystys Digitaalisesta kuvasta tehtävä haluttujen kohteiden valintamenetelmä

Monokromaattinen Valo, joka sisältää vain yhtä aallonpituutta

Pikseli Kuvan pienin yksittäinen osa bittikarttagrafiikassa
Suomenkielessä käytetään myös termejä kuvapiste ja piste

Resoluutio l. erotuskyky Pienin kahden pisteen välillä havaittavissa oleva välimatka

Sensori Matriisi, joka koostuu valoherkistä puolijohteista

1 Johdanto

Suomi on sitoutunut noudattamaan EU:n ilmastopolitiikkaa, jonka mukaan Suomen tulee kasvattaa uusiutuvien energialähteiden osuutta loppukulutuksessa 28,5 %:sta 38 %:iin vuoteen 2020 mennessä. Vuonna 2009 ylitettiin 10 TWh:in käyttö metsähakkeesta tuotetulla energialla ja 25 TWh:in tavoite voidaan saavuttaa vuoteen 2020 mennessä, mikäli kaikissa suurissa voimalahankkeissa metsähake on otettu huomioon. (Metsäalasta biotalouden vastuullinen edelläkävijä 2015, 20.)

Puupohjaisella energialla on merkitsevä osuus kasvun toteutumiseen. Erityisesti metsähakkeen energiakäytön lisääminen on oleellisessa osassa tätä kasvua. Raaka-aineen hankintaa vaikeuttaa sivutuotepuuvirran supistuminen ja nykyinen sivutuotteiden täysimääräinen hyödyntäminen. Metsähakkeen tuotantoa on lisättävä, jotta raaka-ainetta riittäisi kaikkiin metsähakkeen käytön tavoitteisiin vuoteen 2020 mennessä. Tavoitteen saavuttaminen vaatii investointeja, joilla metsähakkeen tuotantokustannukset, toimitusvarmuus ja laatu pysyvät niille asetuissa tavoitteissa. Investoinneista oleellisimpia ovat tuotantoteknologian, liiketoimintamallien ja logistiikan kehittäminen. Investoinnit lisäävät laitehankintoja ja niillä on myös työllisyyttä parantavia vaikutuksia paikallisesti ja valtakunnallisesti. (Mts. 18.)

Hakkeen pitkäaikaisesta varastoinnista aiheutuu haitallisia ympäristövaikutuksia. Mikrobin toiminta aiheuttaa kuiva-ainetappioita, ja lisäksi muodostuu kasvihuonekaasuja ja tulee energiahäviötä. Ympäristövaikutusten ja tappioiden minimoimiseksi tulisi selvittää eri vaihtoehtoja varastoinnille. Lisäksi varastoinnin aikana tapahtuva homeitiöiden lisääntyminen lisää sairastumisriskiä hakkeen käsittelyä tekeville työntekijöille. (Työympäristön mikrobiologisten riskien hallinta massan ja paperin valmistuksessa 2010, 10.)

Hakkeen muutoksista on olemassa runsaasti tutkittua tietoa mm. mikrobin aiheuttamista muutoksista, hakkeen kosteuspitoisuuden muutoksista ja näiden muutoksien vaikutuksista hakkeen laatuun. Hakkeen laatu ja energiasisältö korreloivat suoraan hakkeen myyntihintaan. Suurin osa tutkimuksista perustuu laboratoriomittauksiin, eikä aiemmista tutkimuksista löytynyt opinnäytetyössä käytettyä tapaa tutkia muu-
tosta hakkeen varastoinnin aikana. Henkilökohtaisesti olen työskennellyt kuvantami-

sen ja kuva-analyysin alalla vuodesta 1987, ja opinnäytetyössä toteutettu lähestymistapa ongelmaan mahdollisesti aiemman koulutuksen ja työkokemuksen hyödyntämisen.

Opinnäytetyössä simuloitiin hakkeelle hakeaumassa tapahtuvaa visuaalista muutosta, ja muutosta analysoitiin kuva-analyysin avulla. Opinnäytetyön aihe on hakkeen muutoksen kuva-analyysi. Tutkimusta varten rakennettiin Saarijärven Tarvaalassa sijaitsevalle Jyväskylän ammattikorkeakoulun biotalouskampukselle testiympäristö ulkona olleeseen katokseen. Hake laitettiin katoksessa sijanneeseen astiaan ja aineiston keruuta, eli kuvantamista varten astian päälle sijoitettiin digitaalinen järjestelmäkamera. Kameraa ohjattiin etänä tietokoneen ja ohjelmiston avulla. Kuvamateriaali analysoitiin kuva-analyysiohjelmistolla, ja tulosten perusteella pääteltiin kuinka paljon visuaalisia muutoksia hakkeelle tapahtuu varastoinnin aikana. Tutkimusongelma rajattiin tutkimaan muutoksen havainnoinnin luotettavuutta, sillä ei pyritty selvittämään muutoksen aiheuttajaa, eikä muutoksen vaikutuksia hakkeeseen.

Aiheen valinnan yhteydessä ensimmäiseksi kohderyhmäksi tulivat hakkeen valmistajat ja myyjät. Lisäarvoa tulisi hakkeen myynnin oikea-aikaisuudesta, ja sen lisäksi hävikit pienenisivät. Lopullinen kaupallinen tuote olisi sovellus, jolla olisi mahdollisuus kuvata haketta ja saada tuloksena numeerista tietoa hakkeen laadusta. Tämän tiedon avulla myynnin ajoittaminen helpottuisi. Sovelluksen käyttö ei vaatisi suuria investointeja eikä teknisiä erityistaitoja.

2 Puuhake osana biotaloutta

Suomesta kehittyä mallimaa biotaloudessa ja Suomen biotalous ja sen kehittäminen edistävät teollisuuden kasvua. Samalla kasvu vie Suomen kohti uutta taloudellista nousua. Biotalous ei ole ainoastaan uusiutuvien luonnonvarojen kestävää hoitoa ja käyttöä, sekä niistä valmistettujen tuotteiden ja palveluiden tuotantoa. Biotalous on laaja kokonaisuus osana vihreää taloutta, jolla on rooli vähähiilisyyden, ekosysteemi-palveluiden ja luonnonvarojen resurssitehokkuuden kehittämisessä (Seppälä 2012).

Yksi oleellisimmista tekijöistä on kokonaiskestävyys. Biomassojen valmistusta ja käyttöä tulee tarkastella kolmesta ulottuvuudesta ja niiden vaikutuksista; taloudelliset,

sosiaaliset ja ympäristölliset. Biokapasiteettirajoite on tiedostettu, eli biomassan käytön tulee tapahtua sen uudistuskyvyn ja sen tuottamien ekosysteemipalveluiden rajoissa. On oleellista, että koko tuotanto ei ylitä luonnon kantokyvyn rajaa (Seppälä 2012).

Suomessa on Euroopan suurin biokapasiteetti, eli tuottavan maa-alan suuruus henkeä kohti laskettuna. Tämän taustalla on metsävarantomme, joiden käyttöaste palvelee kymmenien miljoonien ulkomaalaisten kuluttajien tarpeita. Jatkossa tulee etsiä uusia yhteistyötapoja ja lisätä tutkimusta, jotta biomassojen ohjautuminen tapahtuisi mahdollisimman kokonaiskestävällä tavalla yhteiskunnan kannalta (Seppälä 2012).

3 Hake bioenergian lähteenä

Tarkasteltaessa hakkeen käyttöä bioenergian lähteenä, nousee esiin EU:n ilmasto- ja energiapolitiikan tavoite hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi, ja sen myötä energia-tuotannossa käytettävien uusiutuvien energiamuotojen osuuden kasvattamiseksi. Yhtenä isona tekijänä on metsähakkeen käytön lisääminen energian lähteenä. (Metsäalasta biotalouden vastuullinen edelläkävijä 2015, 12.)

Vuoteen 2020 mennessä Suomen tulee lisätä uusiutuvan energian osuutta 38 %: iin kokonaiskulutuksesta Tämän tavoitteen saavuttamisessa on puun energiakäytöllä merkittävä rooli. (Opas metsäenergian tuottamiseen 2013, 6.) Tavoitteen saavuttamiseksi täytyy kiinnittää erityistä huomiota metsien hoitoon. Metsien hoidolla ja käytöllä ekologisesta kestävyden näkökulmasta tarkoitetaan metsien, soiden, vesien ja vesistöjen puhtauden ja monimuotoisuuden säilyttämistä. (Mts. 10.)

Hake on koneellisesti hakkurilla hakettua puuta. Haketta saadaan kokopuusta, runkopuusta, kannoista, hakkuusta muodostuneista hakkuujätteistä ja muusta puujätteestä. Hakkeen tuottamisessa täytyy huomioida useiden erityyppisten resurssien tarve. Yleensä korjuu, haketus ja siirto energialaitokselle tapahtuvat koneellisesti. Taloudellisesti on järkevää suunnitella varastoinnin koko ottaen huomioon vuotuinen kulutus ja toisaalta sijoittaa haketuspaikka mahdollisimman lähelle polttoainevarastoa. Näin vältetään turhalta välivarastoinnilta (Hake 2017).

3.1 Hakkeentuotannon ympäristövaikutukset

Hakkeentuotannon ympäristövaikutuksia on tutkittu mm. osana Metsäntutkimuslaitoksen ”Bioenergiaa metsistä - tutkimus- ja kehittämisohjelma (BIO) 2007–2011” ohjelmaa. Siinä todetaan mm. kuinka liiallinen hakkuujätteen kerääminen vähentää puuden kasvua. Yksi merkittävimmistä kasvua rajoittavista tekijöistä on neulasten ja oksien korjuun mukana poistuva tyyppi. Metlan tutkimuksen mukaan noin kolmannes hakkuutähteistä tulisi jättää korjaamatta (Bioenergiaa metsistä 2012). Toisaalta latvusmassojen keruu ja kantojen nosto koneellisesti edistävät uudistamisen kustannustehokkuutta tulevaisuudessa. Jatkuvuuden turvaamiseksi tarvitaan tehokasta taimikoiden hoitamista, jotta energiapuukertymä säilyy ja sen keruu on taloudellisesti kannattavaa (Asikainen, Ilvesniemi, Sievänen, Vapaavuori & Muhonen 2012, 57).

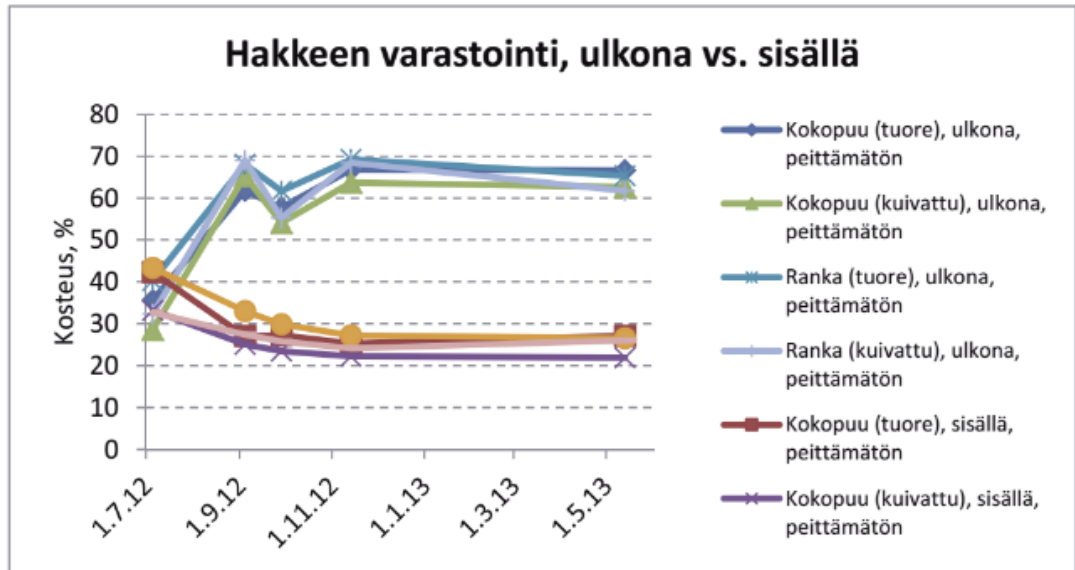
Hakkuutähteen korjuulla on useita vaikutuksia metsätalouteen ja ympäristöön. Sen jälkeen, kun hakkuutähdet on kerätty, on maanmuokkaus helpompaa ja tehokkaampaa. Edellä mainittu tulee esiin taimien istutuksessa (Hynynen & Saksa, 2012). Hakkuutähdekasojen puuttuminen mahdollistaa taimien tasaisen istutuksen ja istutusvirheet vähenevät. Tämän ansiosta uudesta taimikosta tulee parempilaatuinen ja tiheämpi. (Kärkkäinen 2010, 20.) Ympäristövaikutuksista mainittakoon, että puubio-massan korjuu vähentää maaperään jäävän hiilen määrää. Käytettäessä hakkuutähteitä energialähteenä, hiilen palaaminen ilmakehään tapahtuu nopeammin, kuin hiilen sitoutuessa maaperään hakkuujätteen jäädessä metsään. (Hirvonen 2013, 40.)

Metsät ovat oleellisessa osassa veden ja veteen liuenneiden yhdisteiden kierrossa. Suomen vuosittainen sademäärä on suurempi kuin kasvillisuuden ja maanpinnan aiheuttama haihtuminen. Metsät toimivat tehokkaina varastoina sateen mukanaan tuomille yhdisteille, joita kasvit pystyvät hyödyntämään ravinteina. Hakkuiden johdosta valuvat vedet lisääntyvät ja kuljettavat liikkuvia ravinteita pois. Veden huuhtoutumista lisää myös hakatun metsän maanpinnan käsittely ja veden liikkumisen synnyttämät urat ja maaperän rikkoutuminen (Laitila, Leinonen, Flyktman, Virkkunen & Asikainen 2010, 34).

3.2 Hakkeen kosteus, varastointi ja kuivatus

Energiapuun ja siitä saatavan hakkeen laatuun tärkein vaikuttava ominaisuus on kosteus. Tuoreen kaadetun puun kosteusprosentti on n. 50 – 60. Hake on puubiomassaa, joka on haketettu tietyn kokoisiksi palasiksi mekaanisesti leikkaavilla terillä. Kosteaa hakea ei sovellu kaikille energialaitoksille, pienemmissä yksiköissä kosteusprosentin tulisi olla alle 40 (Bioenergiaa metsistä 2012). Kosteaa hakea lisää myös kuljetuskustannuksia ja hakkeen käsittely erityisesti talvella on haastavaa. Kostean hakkeen käyttöön liittyy ongelmia myös sen palamisen suhteen. Kosteaa hakea palaa kuivaa haketta epätäydellisemmin ja sen seurauksena hiukkas-, hiilivety- ja hiilimonoksidipäästöt kasvavat. Myös hakkeen tehollinen lämpöarvo on alempi (Bioenergiaa metsistä 2012).

Metsähakkeen laatuun ja tuotantoon vaikuttavista tekijöistä ovat oleellisia myös metsähakkeen varastointi ja kuivatus. Vuodenajalla on merkittävä vaikutus kuivatukseen. Kesän aikana kuivatetun energiapuun kosteusprosentti voi kasvaa jopa 10 prosenttiyksikköä syksyn ja talven aikana. Näin ollen haketus tulisi suorittaa raaka-aineen ollessa kuivimmillaan, eli heti kesän jälkeen ennen syksyä ja talvea. Hakkeen laatu muuttuu aumavarastoinnissa. Kosteassa aumassa, jonka kosteusprosentti on yli 40, hakkeen lämpötila nousee nopeasti. Lämpötilan nousu voi äärimmillään aiheuttaa auman syttymisen itsestään. Lämpötilan nousun syy löytyy aumassa tapahtuvasta mikrobien toiminnasta ja siitä aiheutuvista kemiallisista reaktioista. Nämä reaktiot kuluttavat puun kuiva-ainesta ja siten hakkeen lämpöarvo laskee (Raitila 2015). Hakkeen varastointitavalla on suuri merkitys hakkeen kosteusprosenttiin (ks. kuvio 1). Kosteusprosentti stabiloituu lähelle hakkeen optimaalista arvoa sisävarastoinnissa. Sen sijaan ulkovarastoinnissa olevasta puusta tehtävää haketta ei voida ilman kuivattua käyttää polttoaineena.



Kuvio 1. Kosteuden muutokset peittämättömän hakkeen varastoinnin aikana ulkona ja varastohallissa (Raitila 2015).

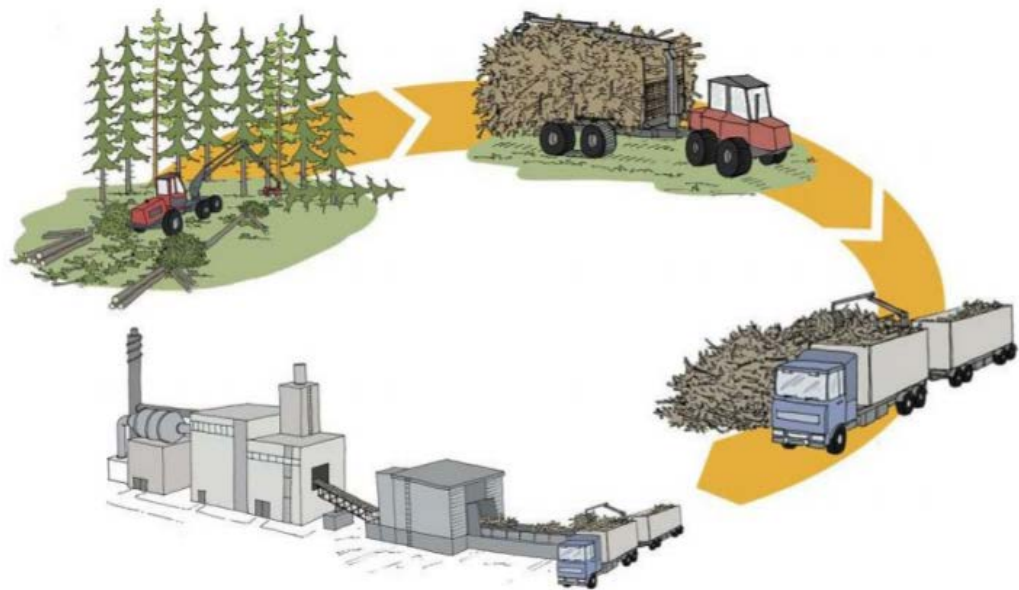
Kuviossa 2 on tyypillinen esimerkki hakeaumasta. Kuvassa oleva auma on avattu kosteuden toteamiseksi. Kuvassa on lisäksi mitta, jonka avulla voidaan arvioida kuivamisen eteneminen. Kosteuden muodostuminen erottuu kuvassa tummana alueena auman yläosassa.



Kuvio 2. Hakeauma avattuna (Lopez 2009).

3.3 Haketusmenetelmät

Haketusmenetelmät vaikuttavat metsähakkeen korjuumenetelmiin. Käytössä on keskitetty tai hajautettu haketusmenetelmä. Kummassakin menetelmässä on hyvät ja huonot puolensa. Mikäli haketus keskitetään käyttöpaikalle tai terminaaliin, saavutetaan korkeat käyttöasteet koneille ja haketus kustannukset alenevat. Toisaalta käsittelemättömän raaka-aineen kuljetuskustannukset ovat hakettua materiaalia suuremmat, koska kuormakoko jää hakettua kuormaa pienemmäksi. Erityisesti etäisyyksien kasvaessa kuljetuskustannuksien merkitys korostuu. (Laitila ym. 2010, 37.) Kuviossa 3 on esimerkki käyttöpaikkahaketuksesta, missä pyritään mahdollisimman lyhyihin kuljetusetäisyyksiin metsästä käyttöpaikalle.



Kuvio 3. Käyttöpaikkahaketus (Piiros Juha Varhi).

Biopolttoaineiden tuotannossa syntyy paljon lämpöenergiaa. Syntyvää energiaa voidaan hyödyntää biojalostamoon integroituneen teollisuuden prosesseissa ja siten biopolttoaineiden tuotannon hyötysuhde paranee.

3.4 Hakkeentuotannon tulevaisuus ja kehitystarpeet

Metsähakkeen hankintaan liittyvät tärkeimmät kehitystarpeet kohdistuvat harvennuksella korjuukustannusten alentamiseen, kuljettajien ammattitaidon edistämiseen, ammattitaitoisen työvoiman saatavuuden turvaamiseen ja korjuun integrointiin. Myös kantojen keruun osalta riittää kehitettävää. Niiden tärkeimmät kehitystarpeet liittyvät kantomurskeen laadun ja käytettävyyden parantamiseen ja kaukokuljetustehokkuuden lisäämiseen. Tehokkuutta voidaan lisätä kasvattamalla kuormakokoja ja tehostamalla kuormankäsittelyä. Lisäksi latvusmassaan hankintaa voidaan kehittää parantamalla materiaalin varastoitavuutta ja lisäämällä kuljetustehokkuutta. (Laitila ym. 2010, 135.)

Tarkastellessa kaikkia metsähakelajeja nousee korostetusti esiin metsänomistajien aktivoiminen energiapuukauppaan, energiapuunkorjuussa kestävyiden ja seurannaisvaikutusten huomioiminen. Myös kuljetusmatkoihin tulee kiinnittää huomiota. Erityisesti pitkien ja yhdistettyjen kuljetusmatkojen kuljetusmuotoja tulee kehittää ja lisäksi toimitusvarmuuteen ja laatuun liittyviä ongelmia pyrittävä korjaamaan ja kehittämään ratkaisuja ongelmien välttämiseksi. (Metsäalasta biotalouden vastuullinen edelläkävijä 2015, 23.)

Vuoden 2020 käyttötavoitteen mukaan metsähakkeen käyttömäärä tulee kasvamaan lähes miljoonalla kiintokuutiometrillä vuodessa. Tämä tarkoittaa sitä, että korjuuseen ja kuljetukseen tarvitaan joka vuosi lisää ammattitaitoista työvoimaa ja kalustoa. Myös metsänomistajien aktivoiminen on tärkeää, sillä energiapuukauppojen määrä ja hakkeen hankintamäärät lisääntyvät yhtä aikaa. Ongelmina metsäomistajan kanalta ovat sekava hinnoittelu ja mittauskäytäntöihin liittyvät epäselvyydet. Lämpö- ja voimalaitosten osalta 2020 käyttötavoitteen saavuttaminen edellyttää, että haketta käyttäviä lämpö- ja voimalaitoksia muutetaan vastaamaan kasvavaan hakkeen käyttöön. Tämä edellyttää huomattavia investointeja.

4 Tutkimusasetelma

4.1 Tutkimusongelma ja rajaus

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, saadaanko digitaalisen kuvantamisen avulla hakkeessa tapahtuvia muutoksia esiin luotettavasti. Lähtökohtana oli tuottaa kuvamateriaalia testivarastoinnista, josta olisi havaittavissa selkeää muutosta varastoinnin aikana. Alkuperäisenä tutkimussuunnitelmana oli yhdistää hakkeenlaadun eri mittausmenetelmiä ja näiden avulla etsiä korrelaatio visuaalisen havainnoinnin ja laboratoriomittausten välillä. Lopputuotteena olisi mobiilisovellus, jonka avulla hakkeen laatua voisi arvioida kuvantamisen avulla siellä missä hakevarastot sijaitsisivat. Arviointi tapahtuisi kuvaamalla haketta, jonka jälkeen ohjelma suorittaisi kuva-analyysin. Lopputuloksena olisi suuntaa antava arvio hakkeen laadusta. Hakeyrittäjälle hakkeen myynnin oikea-aikaisuus merkitsisi myyntituoton lisääntymistä hakkeen paremman laadun vuoksi ja hävikin vähenemisen myötä.

Opiskelujen luonteen, opiskelupaikkakunnan sijainnin ja laboratorion rajallisen käytömahdollisuuden vuoksi opinnäytetyö rajattiin kuvantamiseen ja kuvien analyysiin. Laboratoriotutkimukset vaatisivat useita kokeita luotettavuuden saavuttamiseksi ja monimuotoisessa opiskelumallissa aikataululliset rajoitteet muodostuivat liian suuriksi.

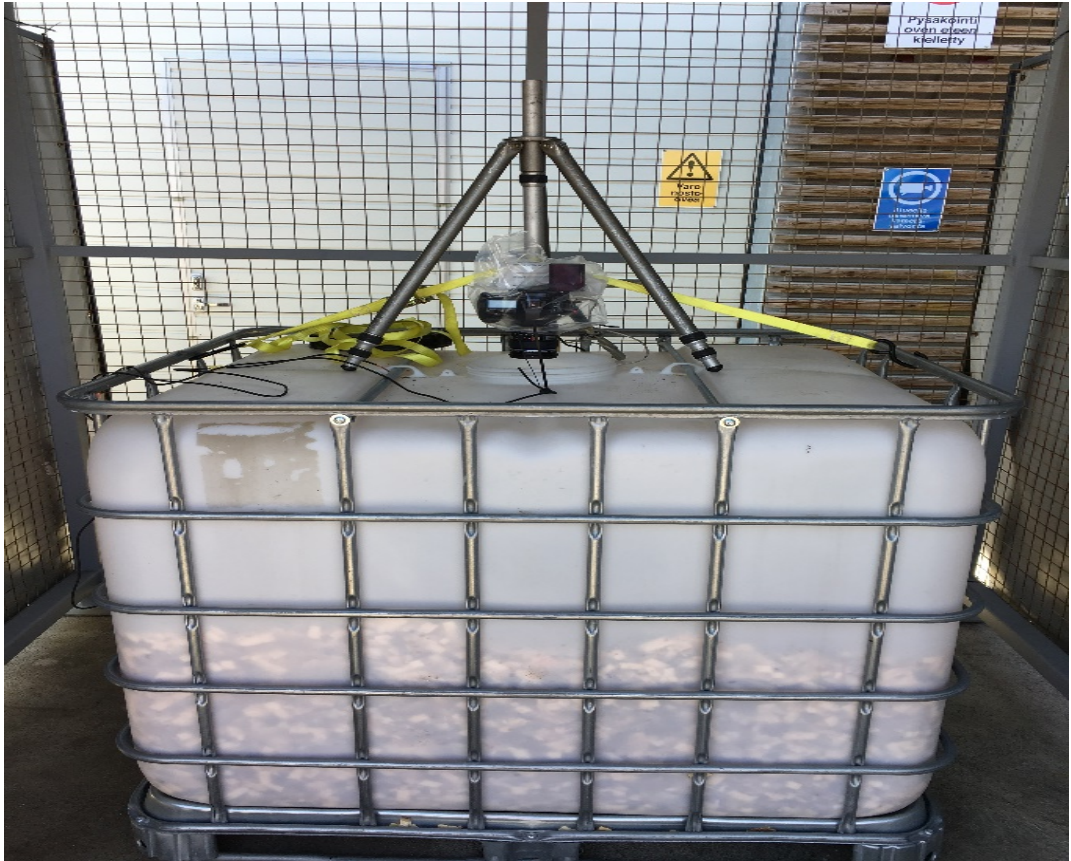
Kuva-analyysin tarkoitus oli tuottaa analyysitietoa hakkeesta otetuista kuvista. Analyysitieto rajattiin hakkeessa tapahtuvaan visuaaliseen muutokseen, jossa kuvassa näkyvästä kentästä analysoitiin eri harmaasävyjen perusteella pinta-aloja. Kuva-analyysillä ei selvitetty mistä hakkeelle tapahtuvat muutokset johtuvat. Rajauksella voitiin sulkea pois myös valaistukseen liittyvät muutokset, koska analyysit olivat kuva-kohtaisia. Tavoitteena oli tutkia kuvaamisen luotettavuutta ja muutoksien havaittavuutta.

4.2 Tutkimusaineiston keruu

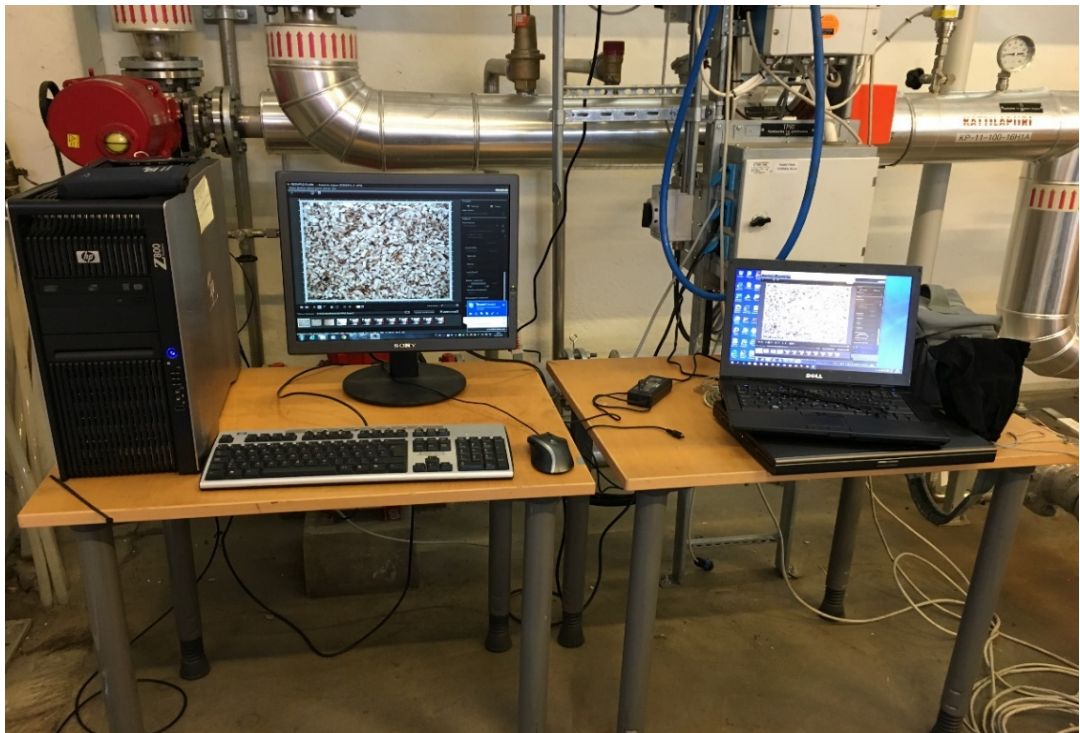
Tutkimusaineiston keruuta varten rakennettiin Saarijärven Tarvaalassa sijaitsevalle Jyväskylän ammattikorkeakoulun biotalouskampukselle testiympäristö. Tuore metsähake laitettiin katoksessa sijaitsevaan astiaan. Astian päälle asennettiin digitaalinen järjestelmäkamera (ks. kuvio 4). Kameran ohjausta varten rakennettiin työasema, joka oli varustettu kameran ohjauksella ja Internet-yhteydellä (ks. kuvio 5). Kamera kytkettiin USB-liitännällä työasemaan. Työasemassa oli kameran ohjaukseen tarkoitettu ohjelmisto. Lisäksi työasemaan saatiin etäyhteys internetin välityksellä. Etäyhteyden avulla kannettavalla tietokoneella oli mahdollista suorittaa samat kameran ohjaukseen liittyvät tehtävät kuin Tarvaalassa sijainneella työasemalla.

Kuvaaminen toteutettiin 2.6.2016 - 11.10.2016 välisenä aikana. Kuvia otettiin yhteensä 2902 kappaletta, kuvia otettiin 1 kappale tunnissa. Kuvien ottaminen keskeytyi muutaman kerran sähkökatkojen ja mittausympäristön läheisyydessä tapahtuneiden muiden töiden vuoksi. Katkot olivat lyhyitä, eikä niillä ollut vaikutusta analyysitulosten kannalta. Lisäksi myöhemmin työasema varmistettiin UPS-laitteistolla uusien sähkökatkojen varalta.

Kuvantaminen suoritettiin Olympus E-3 digitaalijärjestelmäkameralla ja zoom-objektiivilla. Kameraa ohjattiin Olympus Studio 2-ohjelmistolla, joka oli asennettuna hallissa sijainneessa työasemassa (ks. kuvio 5). Työasemaan oli asennettu TeamViewer etähallintaohjelmisto, jonka avulla kameraa ja kuvien tallentamista pystyi kontrolloimaan etänä kannettavalta tietokoneelta. Kuvien analyysi suoritettiin Zeiss Axiovision kuva-analyysiohjelmistolla.



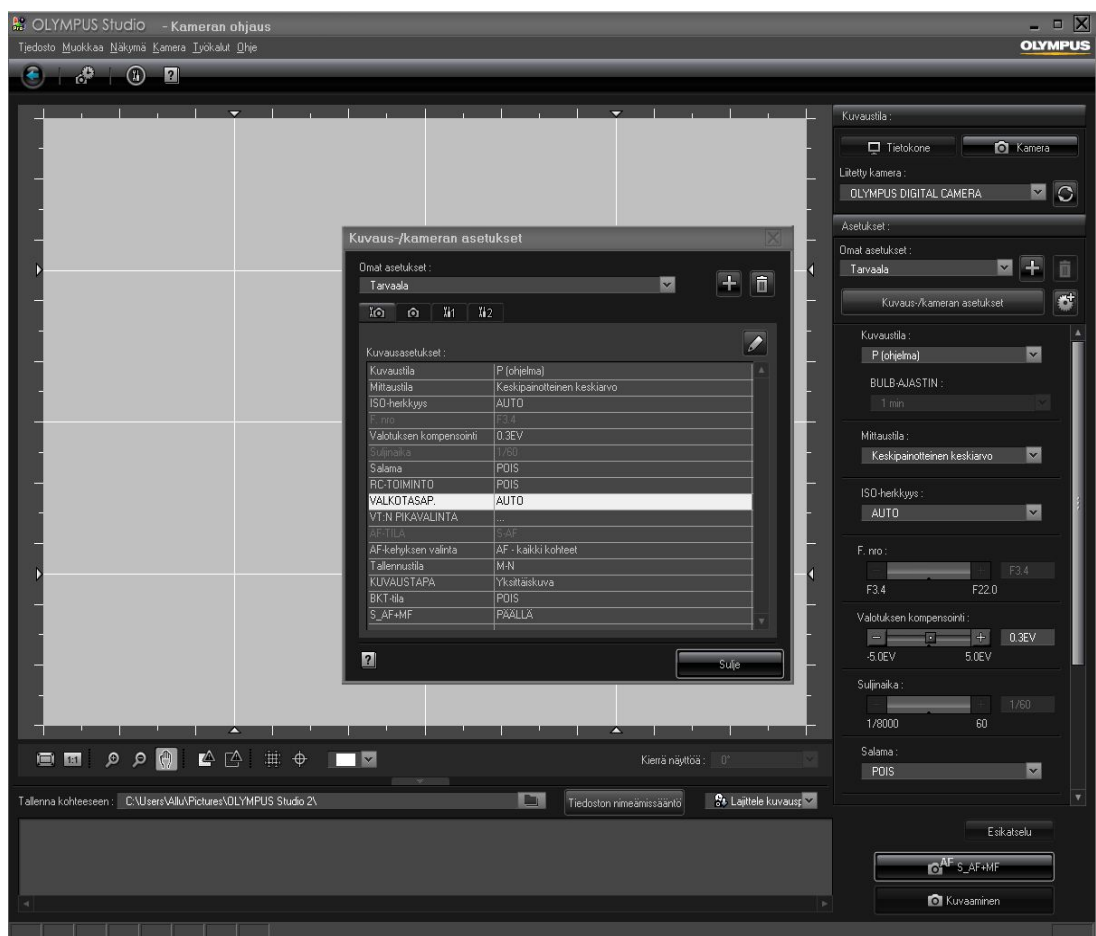
Kuvio 4. Digitaalijärjestelmäkamera asennettuna astian päälle.



Kuvio 5. Kameran ohjausta varten rakennettu työasema Internet-yhteydellä.

4.3 Hakkeen kuvantaminen

Kuvausprosessi käynnistyi ohjelmistojen asennuksella ja testauksella. Testausprosessin simuloitiin tuleva kuvantamisprosessi mahdollisimman yksityiskohtaisesti mukaan lukien kaikki kuvantamiseen käytetyt laitteistot ja ohjelmistot. Samalla testattiin kameran optiikan suorituskykyä yksittäisistä kuvista tehdyillä analyyseillä. Kamera tarvitsi ohjausta varten erillisen jännitteensyötön, ja tämä toteutettiin USB-liitännän avulla. Lisäksi USB-liitettä hyväksikäyttäen kuvat siirtyivät heti kuvaustapahtuman jälkeen työasemalle ja työasemalta Internet-yhteyttä käyttäen pilvipalveluun. Näin varmistettiin jo otettujen kuvien käytettävyys mahdollisen laitevian, tai kuvauspai- kalla tapahtuvien sähkökatkojen varalta. Kameran ohjaukseen ja kuvantamiseen ajoitukseen käytettiin kameralle suunniteltua ohjelmistoa (ks. kuvio 6).



Kuvio 6. Kuvakaappaus kameran ohjausohjelmistosta.

Kuvantamisolosuhteiden objektiivisuus pyrittiin saavuttamaan asettamalla oleellisimmat kameran asetukset automaattiasetuksiin. Yhden kuvantamistapahtuman maksimipituus oli 240 kuvaa, joten ajastin täytyi käynnistää 10 vuorokauden välein kuvantamisen jatkuvuuden varmistamiseksi. Myös tämän vuoksi etäyhteys oli välttämätön.

5 Kuva-analyysin ja kuvantamisen perusteita

5.1 Kuva-analyysin perusteita

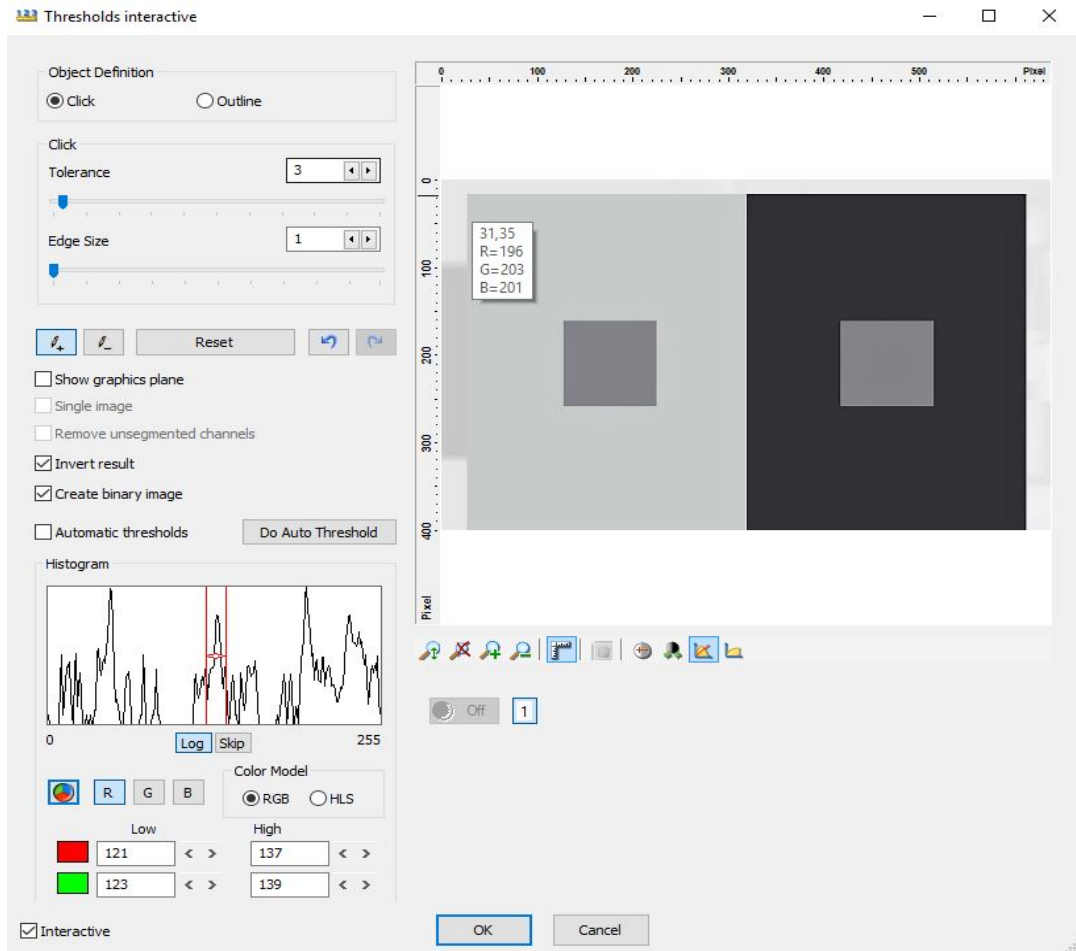
Digitaalisen kuva-analyysin perusongelmat ovat vastaavia kuin perinteisimmissäkin tutkimusmenetelmissä. Vaikka tietokoneella onkin mahdollista suorittaa erittäin vaativia laskuoperaatioita, ei tietokoneella suoritettava analyysi poista näytteenotosta ja näytteiden käsittelystä aiheutuvia virheitä. Yksi keskeisimmistä digitaalisen kuva-analyysin ongelmakohdista on riittävän laadukkaan kuvamateriaalin tuottaminen. Objektivisen ja vertailukelpoisen analyysin vuoksi kuvamateriaalin tulee olla laadukasta. Laadukas materiaali mahdollistaa kuvantamisen ja analyysin osittaisen automatisoinnin, ja käyttäjävirheet vähenevät ja analyysitulokset ovat luotettavampia. (Russ 2016, 3.)

Kuvan pienintä yksittäistä osaa bittikarttagrafiikassa kutsutaan pikseliksi. Suomalaisessa kielessä pikselistä käytetään myös termejä kuvapiste ja piste. Kuvan laatuun vaikuttaa pikselin koko ja se on kuva-analyysin kannalta merkitsevin tekijä. Pikselien määrällä säädellään kuvan fyysistä kokoa ja se helpottaa analysoitavan kuvan visuaalista käsittelyä ja analyysiin tulevien kohteiden valintaa. (Francus 1998, 295.)

Analysoitaessa pinta-alaprosenttia suuri pikselien määrä ei vaikuta analyysituloksiin, koska kuva-analyysi suoritetaan yhdestä kuvasta, tai useasta kuvasta muodostetusta kuvakartasta kerrallaan. Lisäksi suuri pikselien määrä kasvattaa tietokoneen muisti-, tallennus- ja prosessointikapasiteetin tarvetta. Kuva-analyysiohjelmistot muuttavat analogisen tiedon digitaaliseksi, tai kuvantamisessa käytetään digitaalitallenninta, kuten esimerkiksi digitaalikameraa. Kuva-analyysiohjelma muuttaa digitaalisen informaation binääriseksi, jolloin jokainen kuvayksikkö l pikseli saa arvon 1 tai 0 ja näiden arvojen perusteella lasketaan lopulliset analyysitulokset. (Mts. 298.)

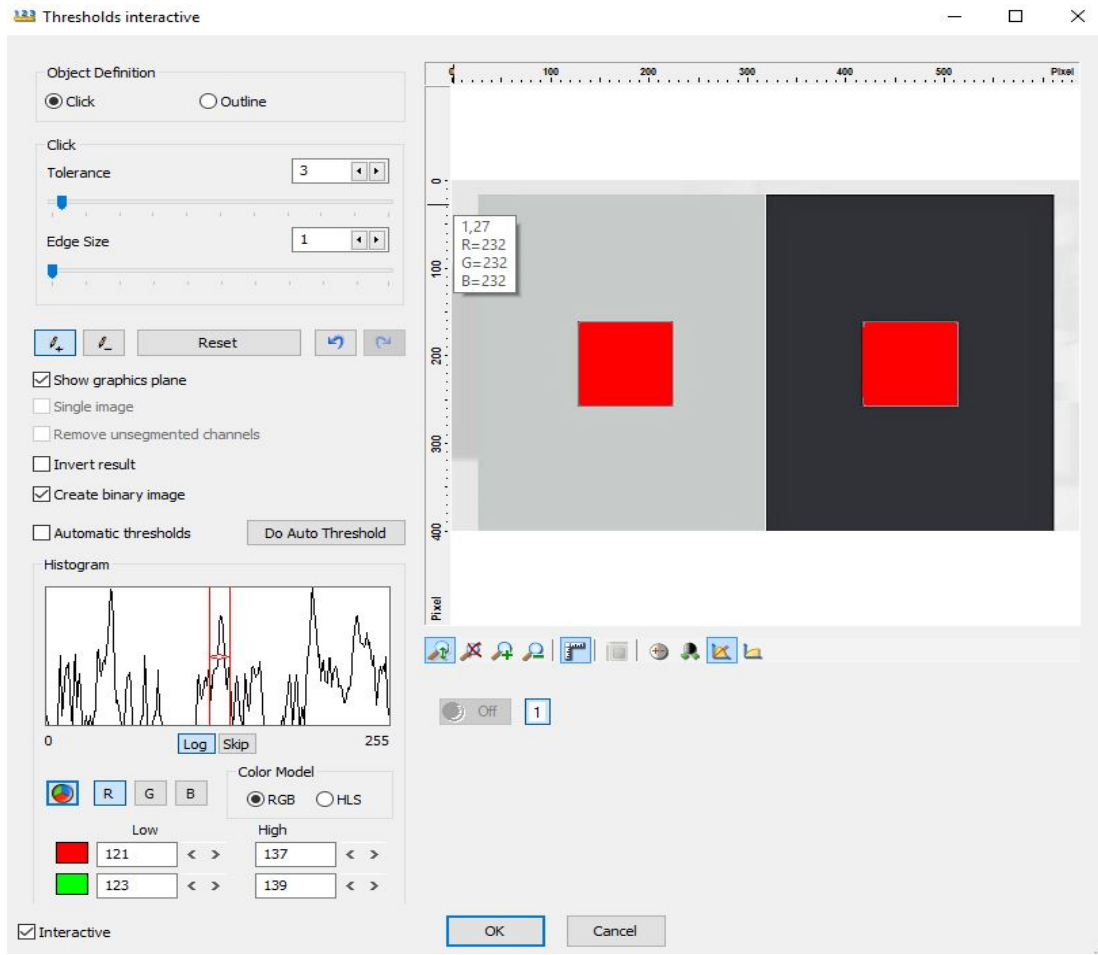
Ihmissilmällä voidaan erottaa n. 30 harmaasävyä ja se ei riitä luotettavaan kvantitatiiviseen mittaamiseen digitaalikameralla tuotettujen kuvien kuva-analyysiin verrattuna. Kuva-analyysissä käytetään vähintään 256 harmaasävyä ja kuvantamisteknologian kehittyessä on harmaasävyjen määrä kuvissa lisääntynyt. Ihmisellä on kyky muodostaa kolmiulotteinen kuva, mutta värien ja harmaasävyjen tulkinta ilman referenssiä on heikkoa. Toisiaan lähellä olevat harmaasävyt sekoittuvat helposti. Visuaalinen tarkastelu on herkkä virheille ja mikäli analysoitavien kohteiden valinta tapahtuu pelkästään kyseisen tarkastelun perusteella, tulosten objektiivisuus vähenee ja virheet analyysituloksissa lisääntyvät. Lisäksi näköaisti on yksilöllinen jo pelkästään biologisista syistä ja sen vuoksi visuaalisessa määrittelyssä on eroja yksilöiden välillä. (Russ 2016, 3.)

Kuviossa 7 on illuusiokuva, missä oikealla oleva pienempi neliö näyttää vaaleammalta kuin vasemmalla oleva vastaava neliö. Silmän erotuskyky häiriintyy kohteen ympärillä olevasta alueen harmaasävystä ja muuttaa kohteen harmaasävyä taustasta poikkeavaan suuntaan; vaalea tausta muuttaa kohteen tummemmaksi ja tumma vaaleammaksi.



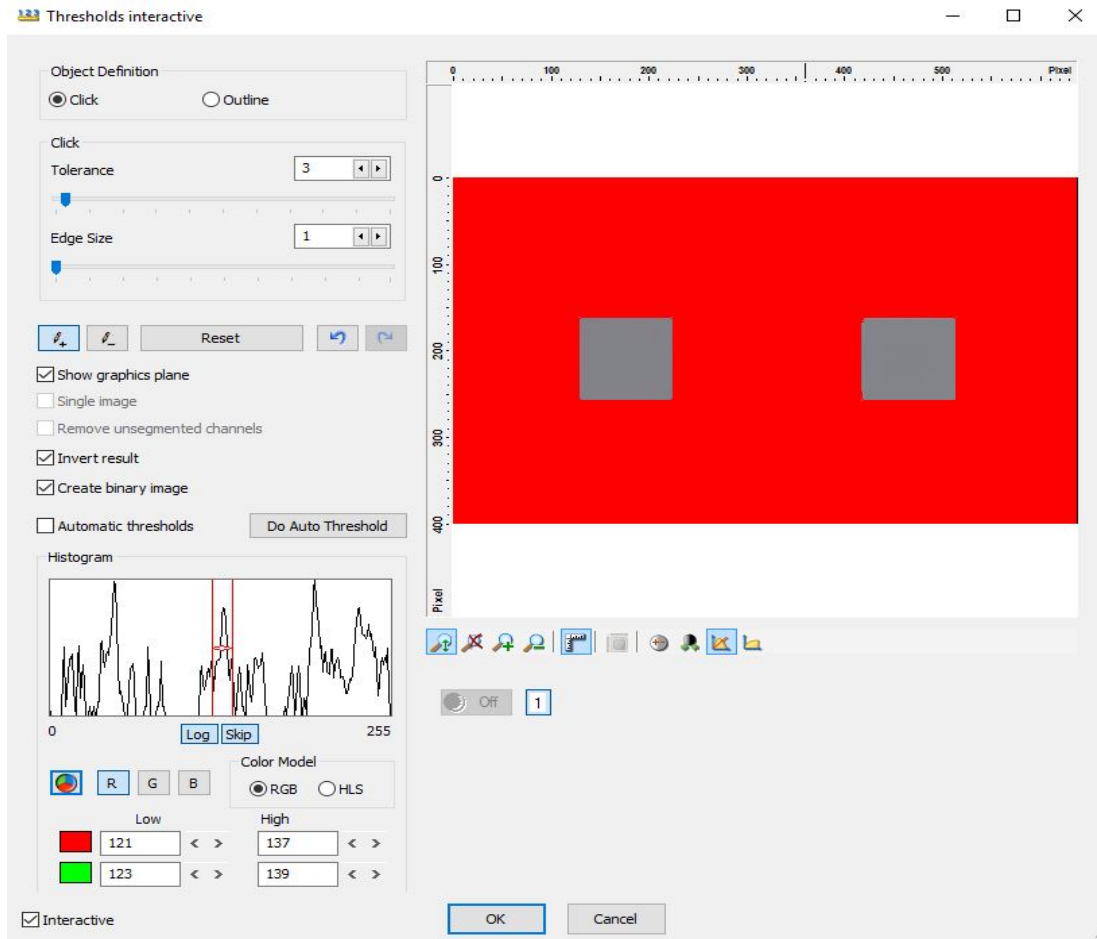
Kuvio 7. Illuusiokuva ilman harmaasävykynnystä.

Todellisuudessa kohteet ovat samaa harmaasävyä, kuten kuviossa 8 olevasta kynnys-tyskuvasta käy ilmi. Punainen väri ilmaisee samaa harmaasävyä olevat kohteet. Ohjelmistolle kohteiden todellisten harmaasävyjen tunnistaminen ei tuota ongelmaa, sen sijaan ihmissilmällä tehty havainto johtaisi kohteen väärään valintaan.



Kuvio 8. Illuusiokuva kynnystettynä.

Kuviossa 9 on tehty käänteinen kynnystys. Kuvan tarkoituksena on havainnollistaa kuinka silmä reagoi, kun harmaasävyjen erottamista häiritsevä tausta muutetaan yhdenväriseksi. Nyt silmän erotuskyky riittää ja kohteiden harmaasävytaso näyttää samalta.

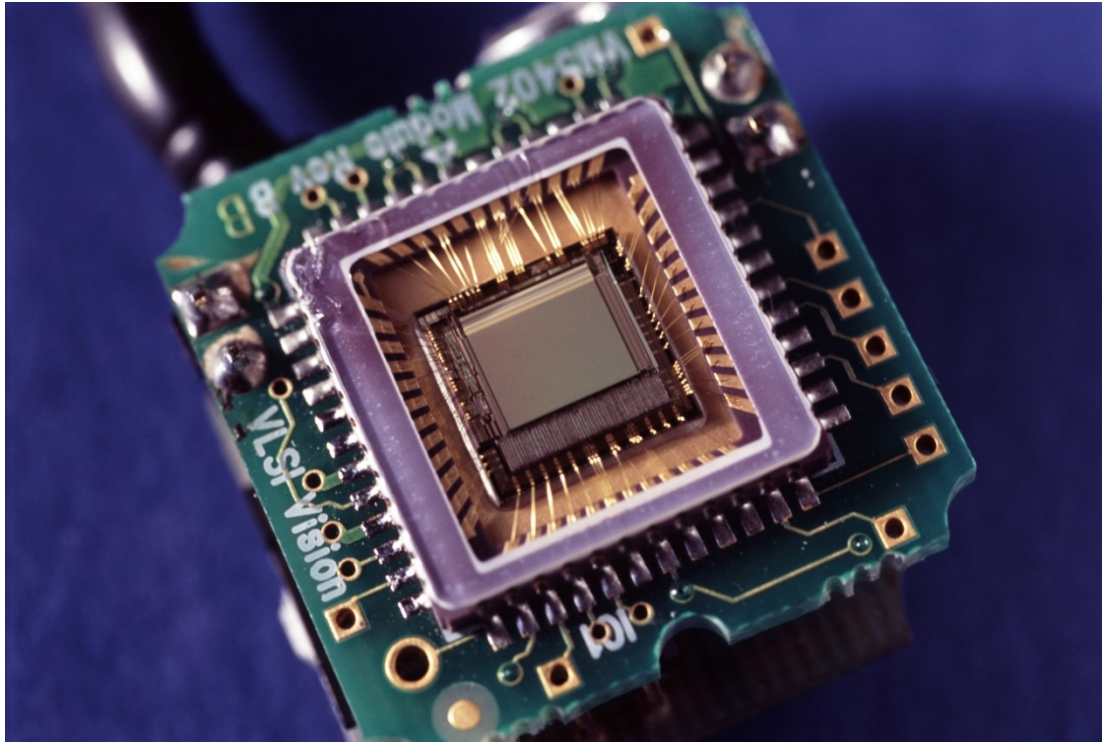


Kuvio 9. Illuusiokuvan käänteinen kynnystys.

5.2 Kuvantaminen digitaalikameralla

5.2.1 Kerasensori

Digitaalikameran sensori on valoherkistä puolijohteista koottu matriisi. Yhtä matriisin elementtiä kutsutaan pikseliksi. Pikselin tehtävänä on kerätä fotoneja eli valohiukkasia ja muuttaa ne sähkövaraukseksi. Fotonit ovat monokromaattisia, eli ne sisältävät vain yhtä aallonpituutta. Monokromaattinen valo muunnetaan värilliseksi pikselin eteen asennettavan suotimen avulla. Valo läpäisee suotimen aallonpituuden mukaan ja visuaalisesti se näkyy kuvassa väreinä. (Käthner & Zölffel 2015, 60.) Kuviossa 10 keskellä on digitaalikameran sensori.



Kuvio 10. Kuvakenno eli sensori.

5.2.2 Resoluutio eli erotuskyky ja harmaasävyjen merkitys

Erotuskyvyllä on kaksi oleellista merkitystä digitaalisessa kuvantamisessa. Mitä suurempi erotuskyky on, sitä tarkempi kuva on. Toisaalta, suuri erotuskyky kasvattaa kuvan tiedostokokoa. Suurien kuvatiedostojen käsittely ja analyysit vaativat tietokoneilta parempia teknisiä ominaisuuksia, kuten nopeampia prosessoreita ja suurempaa käyttö- ja tallennusmuistikapasiteettia. Pelkkä pikselien määrä ei kuvaa erotuskykyä. (Käthner & Zöllfel 2015, 63.)

Kuvan harmaasävyjen määrä on kuva-analyysin kannalta erittäin merkittävää. Harmaasävyt lasketaan kahden potenssina, ja digitaalikameroiden yhteydessä puhutaan bittisyydestä. Esimerkiksi, 8-bitin kamerassa on käytettävissä 256 harmaasävyä, koska $2^8 = 256$. Teknologian kehittyessä markkinoille on tullut kameroita, joissa bittisyys on kasvanut huomattavasti. Opinnäytetyössä käytössä ollut kamera oli 14-bittinen, eli harmaasävyjä oli $2^{14} = 16384$. Kyseinen harmaasävyjen määrä helpottaa ja nopeuttaa varsinaisen kuva-analyysin tekoa, koska analyysissä suoritettu kynnystys perustuu harmaasävyjen erottumiseen.

6 Tutkimustulokset

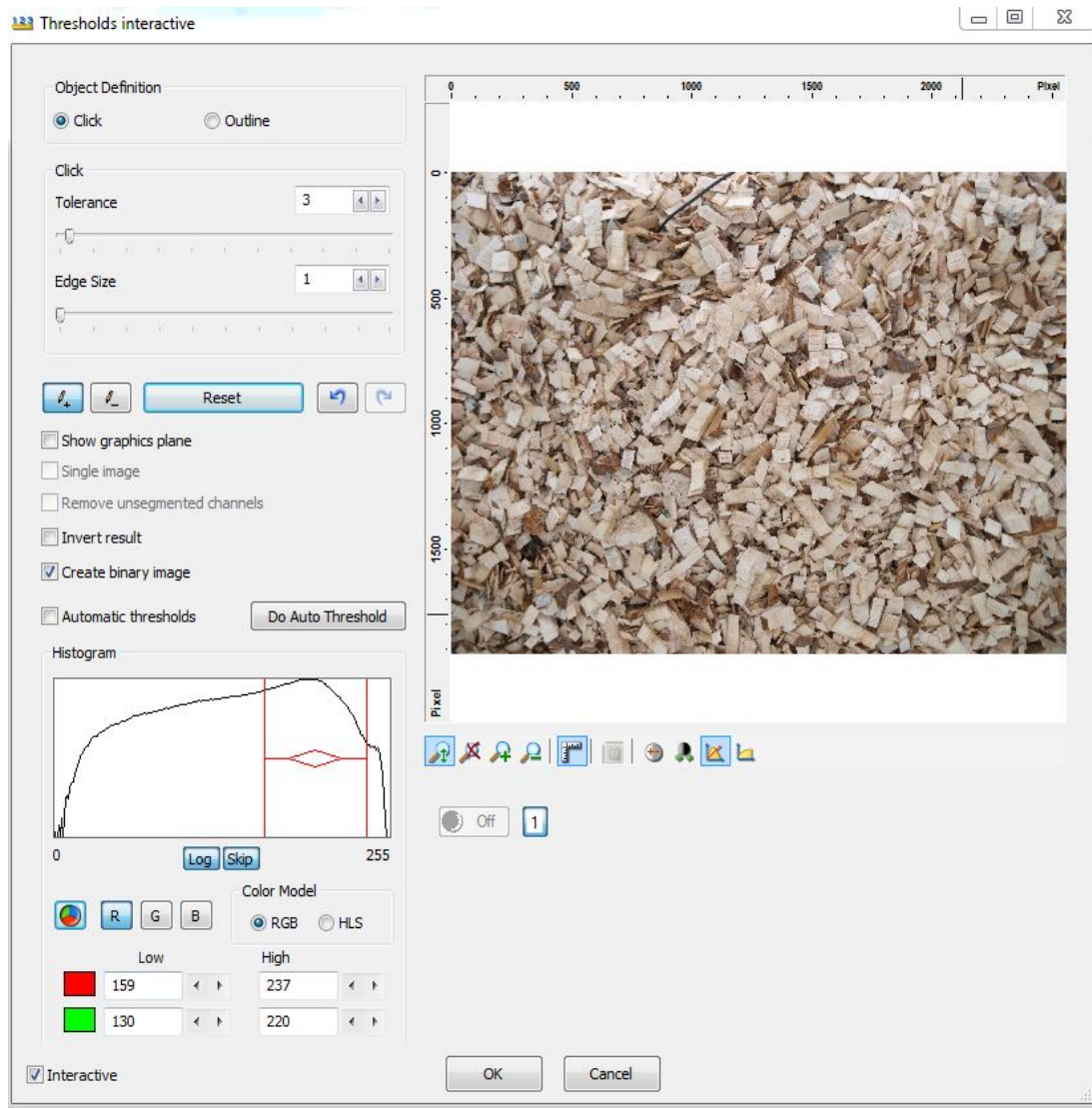
6.1 Kuva-aineiston valinta ja analyysin lähtötilanne

Kuvausparametreja määritettäessä oli tiedossa, ettei kaikkea kerättyä tietoa tarvita luotettavan analyysituloksen tuottamiseksi. Hakkeessa tapahtuvat muutokset ovat melko hitaita, joten analyysiin valittiin 1 kuva/vuorokausi. Kamerassa käytettiin automaattiasetuksia valotuksessa ja valkotasapainon säädössä.

Jokainen valittu kuva analysoitiin erikseen. Analyysiä varten kirjoitettiin makro, jonka avulla kaikki kuvat analysoitiin samoilla parametreilla. Lähtötilanteessa kynnystys asetettiin kattamaan harmaasävyt interaktiivisella asetuksella. Tällä pyrittiin saavuttamaan mahdollisimman optimaalinen olosuhde. Ajan kuluessa alkoi hakkeessa tapahtuva muutos näkyä harmaasävyjen muutoksena, ja tätä muutosta analysoitiin mittaamalla muutoksen pinta-alaprosenttia.

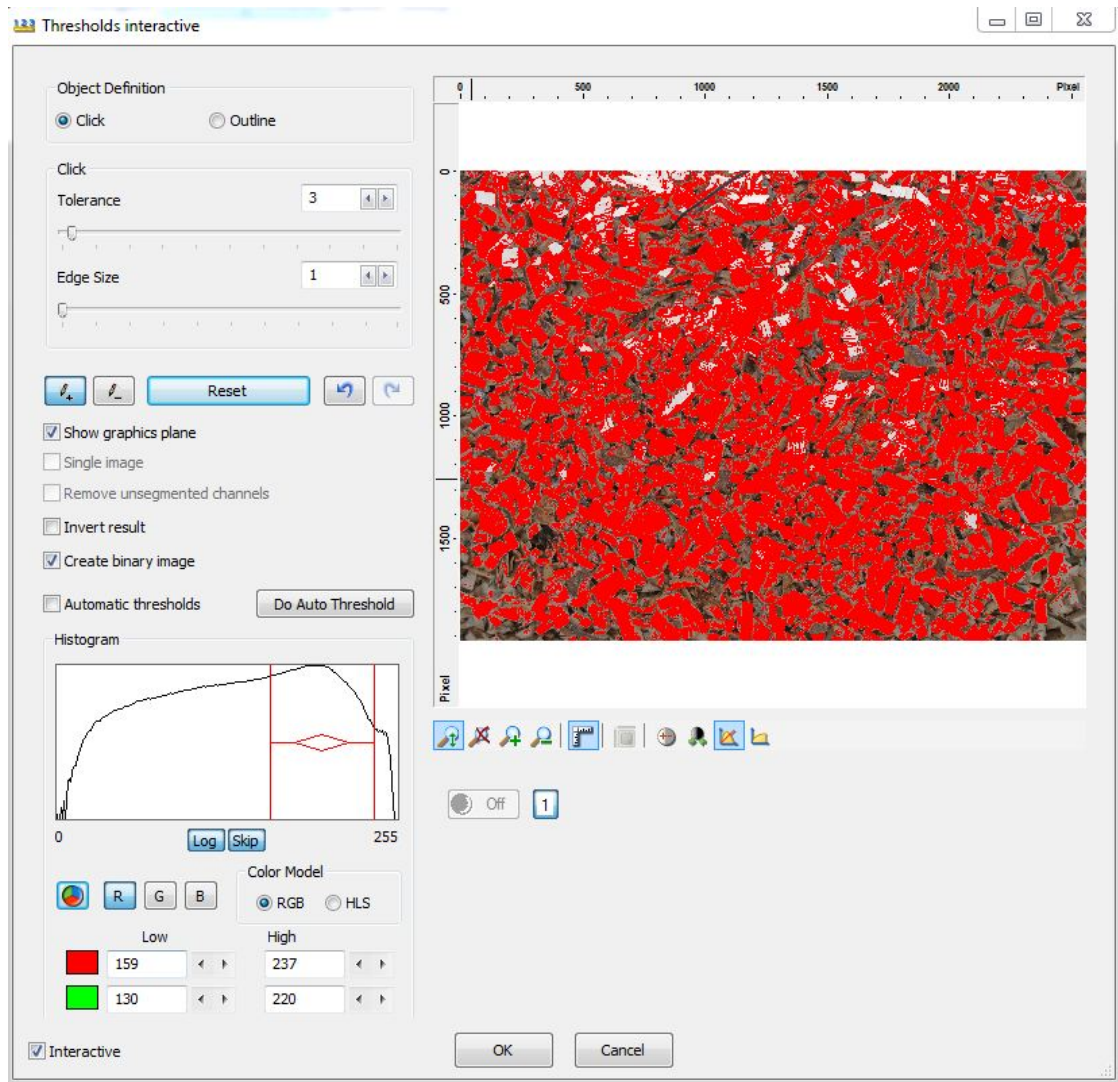
6.2 Analyysiparametrien määrittäminen

Kuva-analyysi aloitettiin määrittelemällä analyysiparametrit. Parametrien määrittäminen aloitetaan avaamalla tallennettu kuva (ks. kuvio 11.)



Kuvio 11. Analysoitavan kuvan parametrimääritys.

Analysoitavien kohteiden valintaan käytetään kynnystystä ja se voidaan tehdä automaattisesti tai interaktiivisesti. Interaktiivisessa valinnassa kuvasta voidaan värin tai harmaasävyn perusteella valita analysoitava alue. Valinta tehdään hiirellä valitsemalla kuvasta kohde, joka halutaan analysoida. Valinta toistetaan useaan kertaan eri väri- tai harmaasävyä oleviin kohteisiin ja näin saadaan laajennettua analyysiin tulevaa aluetta. Interaktiivisen valinnan etu on valinnan oikeellisuudessa. Kynnestyksen voi tehdä myös käänteisesti, jolloin valitaan alueet, joita ei haluta analyysituloksiin mukaan. Edellä mainitussa tapauksessa vähentämällä kokonaispinta-ala saadusta tuloksesta saadaan haluttu pinta-ala numeerisena. Kuviossa 12 on suoritettu kynnystys.

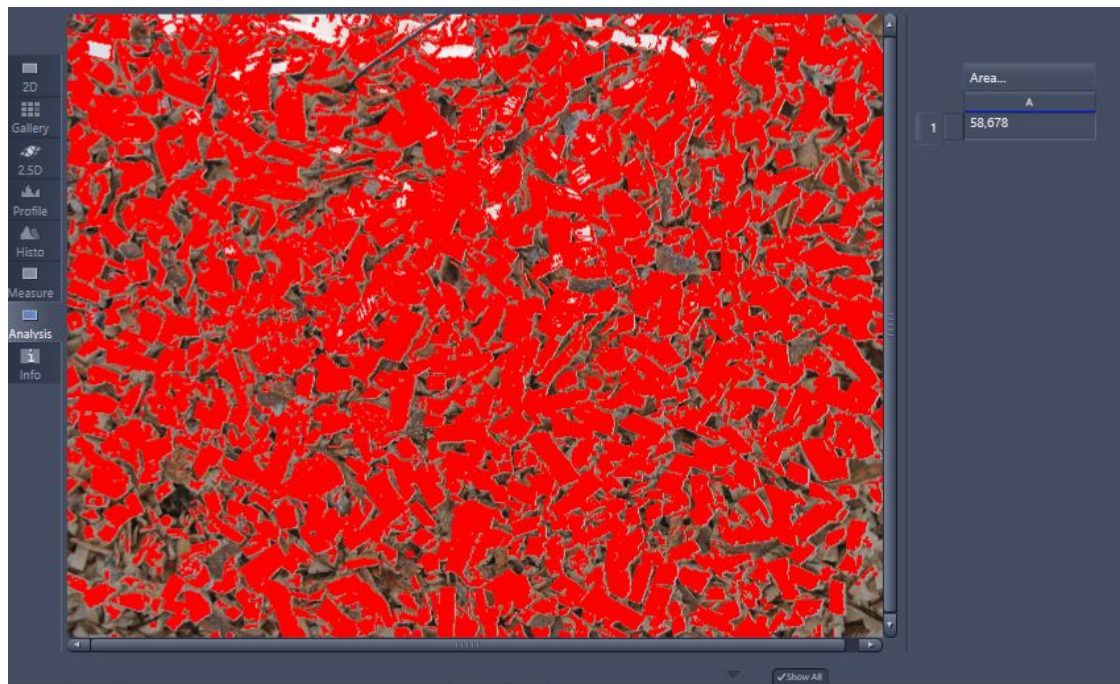


Kuvio 12. Analyysin valitut kohteet on merkitty punaisella värillä.

Kynnystyskuvassa on kolme muuttujaa. Punaisena näkyvä alue on analyysiin tuleva hake. Tummana näkyy haketuksesta jäänyttä puunkuorta ja roskia. Valkoiset alueet ovat pääasiassa heijastumia, joita ei haluta tuloksiin mukaan. Tämä jälkeen analysoitavaksi parametriksi nimetään pinta-ala prosentti, minkä avulla voidaan määrittellä, kuinka suuri analysoitu alue on koko kuva-alueesta prosentuaalisesti. Parametrien määrittäminen on valmis ja analyysi voidaan suorittaa. Parametrit siirretään makroon, joka suorittaa analyysin kaikille valituille kuville. Kuvat voidaan analysoida heti kuvattaessa, tai myöhemmin kuvantamisen jälkeen. Makroon voidaan määrittellä haluttu menetelmä. Mikäli analyysi halutaan suorittaa heti, täytyy kameran ohjainohjelmisto synkronoida makron kanssa.

6.3 Kuva-analyysi ja tulokset

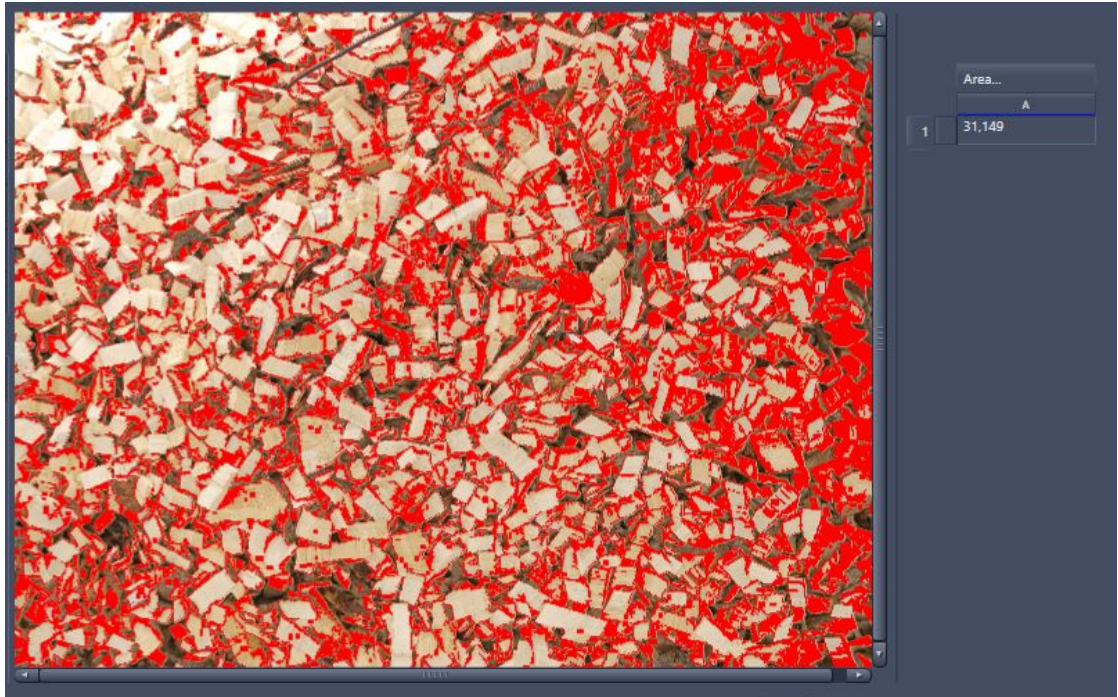
Kuva-analyysi etenee yksittäisen analyysin kohdalla laskentavaiheeseen ja tuloksena on numeerinen tieto analyysialueesta. Kuviossa 13 makro on suorittanut ensimmäisestä kuvasta analyysin ja numeerinen arvo näkyy kuvassa oikealla.



Kuvio 13. Ensimmäisen kuvan kuva-analyysi on valmis.

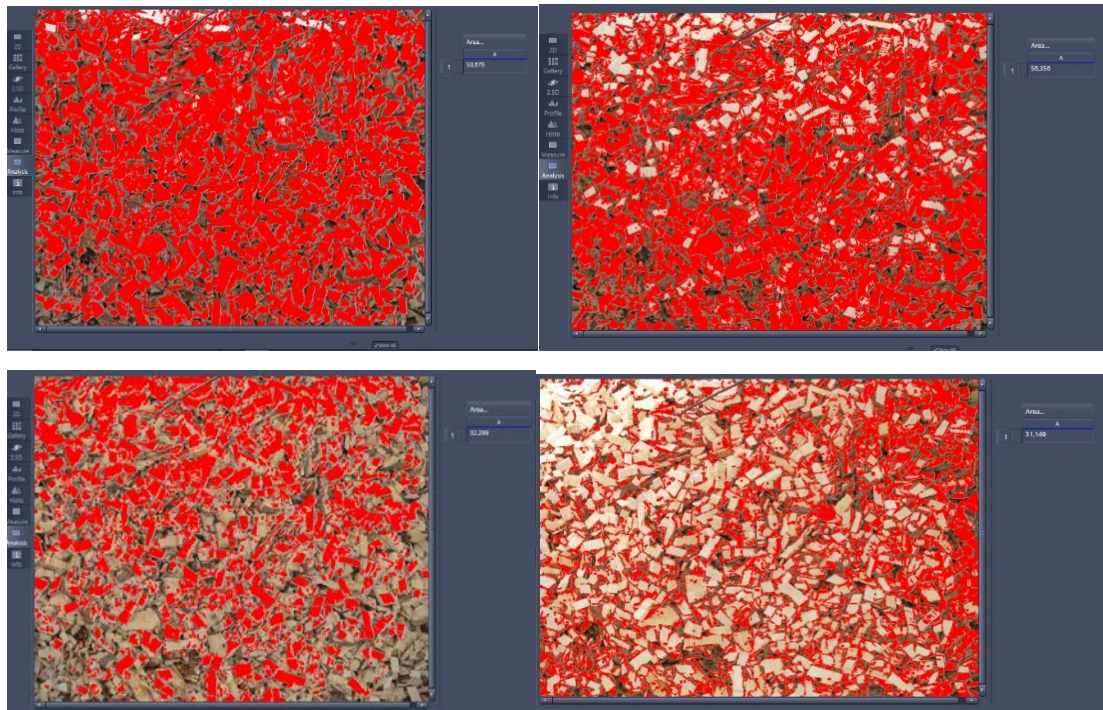
Seuraavassa vaiheessa makroon määritetään oletusarvoiksi ensimmäisen kuvan analyysissä käytetyt parametrit. Analyysia varten valitaan kuvat ja makro suorittaa kuville analyysin automaattisesti. Käyttäjä voi halutessaan määrittellä makron suoritukseen taukoja, mikäli kesken analyysisarjan halutaan tarkistaa kynnistyksen oikeellisuutta. Haluttaessa voidaan kerätä kumulatiivinen tietokanta saaduista pinta-alaprocenteista ja esittää tulokset esimerkiksi kuluneen ajan suhteen.

Kuviossa on 14 analyysitulosta viimeisestä otetusta kuvasta. Ensimmäiseen kuvaan verrattuna muutosta on n. 50 prosenttiyksikköä.



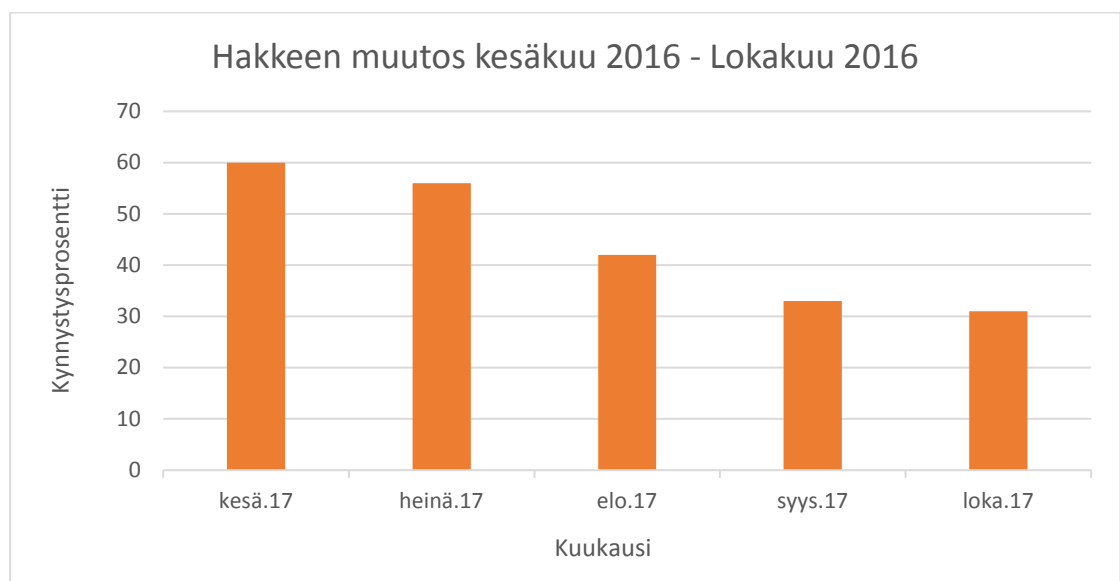
Kuvio 14. Viimeisen kuvan kuva-analyysi on valmis.

Kuviossa 15 on analysoitu kuva kunkin kuukauden ensimmäisenä päivänä. Mukana ovat kesäkuu, heinäkuu, elokuu ja syyskuu. Muutoksen eteneminen on selkeästi havaittavissa punaisen alueen vähenemisenä.



Kuvio 15. Muutokset 4 kk aikana

Kuviossa 16 on esitetty muutos pylväsdigrammina koko kuvausajalta. Pylväiden korkeus kuvaa kynnyksen määrää koko pinta-alasta. Pylvään pieneneminen tarkoittaa muutoksen kasvua lähtötilanteeseen verrattuna. Kuvion 16 perusteella voidaan todeta, että muutos on ensimmäisen kuukauden aikana maltillista. Otoksen keskivaiheella muutos etenee nopeammin, kunnes se hidastuu ja tasoittuu.



Kuvio 16. Hakkeen muutos kuvantamisen aikana

Muutokseen merkitsevimpiä vaikuttavia tekijöitä ovat lämpötila, ilman kosteus ja mikrobitoiminta. Jatkoa ajatellen näiden tekijöiden analysointi synkronissa kuvantamisen kanssa antaisi laajemman kuvan hakkeelle tapahtuvasta muutosprosessista.

7 Johtopäätökset

Asetettuihin tutkimuskysymyksiin saatiin ennakko-odotusten mukaiset vastaukset. Kuvista muutosten havaitseminen on mahdollista ja muutosten edetessä havaitseminen helpottuu. Analyysituloksina saadut pinta-alamuutokset vahvistavat oletuksen. Muutokset tulevat näkyviin myös visuaalisesti, kun käytetään riittävän suurta erotuskykyä kuvattaessa. Kuvaaminen onnistuu riittävän laadukkailla kuluttajille tarkoitetuilla digitaalikameroilla, eikä kameran suorituskyky muodostu kynnyskysymykseksi. Analyysiohjelmisto on muunnettavissa myös mobiililaitteisiin sopivaksi, jolloin voidaan yhdistää mobiililaitteen kamera ja analyysiohjelmisto ja yksittäisten kuvien analyysitulokset ovat heti käytettävissä.

8 Pohdinta

8.1 Tulokset

Kuten johtopäätöksissä on todettu, tutkimuksen tavoitteen mukainen muutoksen havainnointi onnistui oletuksen mukaisesti. Myös kuvien analysointi onnistui, vaikka ennakko-odotusten vastaisesti hakkeelle tapahtunut muutos olikin visuaalisesti jotain muuta kuin kirjallisuudessa ja aiheenvalinnan yhteydessä nähdyissä kuvissa. Tutkimuksen alkuvaiheessa muutos tuntui hitaalta. Lisäksi omakohtaisen kokemuksen puuttuminen aiheesta lisäsi huolestuneisuutta testin onnistumisen ja sen myötä koko opinnäytetyön suhteen. Kvantamisen edetessä huoli muuttui motivaatioksi, kun muutokset alkoivat näkyä yhä selkeämmin.

8.2 Tulosten luotettavuus

Opinnäytetyössä käytetyn kuva-analyysin luotettavuuden tärkeimmät tekijät ovat laadukas kuvamateriaali ja oikein suoritettu kynnystys. Tietokone laskee tulokset käyttäjän valinnan mukaan, ja sen vuoksi alkuparametrien määrittäminen on erittäin

merkitsevässä asemassa. Kun analyysiolosuhteet voidaan vakiodia, automaattiasetuksia voidaan käyttää ja virheiden mahdollisuus pienenee. Tuloksia voidaan pitää luotettavina, varsinkin kun pohditaan muutoksen havaitsemista.

On selvää, että testiympäristö poikkeaa normaalista aumavarastoinnista. Hake sijoitettiin testiastiaan, missä se oli suojassa suoralta auringonpaisteelta ja sateelta. Olosuhteet ovat todennäköisesti vaikuttaneet muutosnopeuteen, mutta koska muutosnopeus oli jätetty rajauksen ulkopuolelle, ei se ole merkitsevässä asemassa opinnäytetyötä ajatellen.

8.3 Opinnäytetyön aiheenvalinta

Opinnäytetyön aiheenvalinta lähti liikkeelle Tarvaalan biotalouskampuksella järjestetystä infotilaisuudesta, jonka aikana tutustuin ensimmäistä kertaa lähemmin puuhakkeeseen. Esityksessä esitetyissä kuvissa oli selkeästi havaittavissa hakkeessa tapahtunut muutos. Tämä herätti mielenkiintoni ja koska kuvista ei ollut aiemmin tehty analyysyjä, tarjouduin vapaaehtoiseksi niitä tekemään. Kyseisten kuvien analyysi oli helppoa, koska kohteet erottuivat toisistaan selkeästi. Keskustelut johtivat siihen, että Tarvaalaan rakennettiin katokseen testiauma ja opinnäytetyön aiheeksi tuli hakkeen muutoksen kuva-analyysi.

8.4 Kuvantamisen eteneminen

Kuvantaminen aloitettiin kesäkuun 2016 alussa ja sitä jatkettiin 4 kuukautta, kunnes ongelmaksi tuli lähestyvä talvi ja yöpakkaset. Vaikka kuvantamispiste oli sateelta suojassa, kameraa ei ollut suojattu pakkasta vastaan, joten luonto järjesti aikataulun kuvantamisen lopettamiselle.

Yhtenä isona onnistumisena kuvantamisessa pidän myös testausympäristön toimivuutta. Testausympäristö pitää sisällään kaikki kuvantamiseen vaikuttaneet tekijät, tärkeimpinä kameran toimivuus ja soveltuvuus riittävän laadukkaan kuvamateriaalin tuottamiseen. Edellä mainittu ympäristö vaati lisäksi usean eri ohjelmiston yhteensovittamisen, katkeamattoman sähkösyötön järjestämisen, etäyhteyden luomisen ja

varsinkin alussa maantieteellisen etäisyyden vuoksi apua Tarvaalassa olevalta henkilökunnalta, iso kiitos heille siitä. Suurin osa kuvantamisesta sujui suunnittelemien mukaisesti pienten alkusäätöjen jälkeen.

9 Jatkoimenpiteet

9.1 Kehittämiskohteet

Yksi tärkeimmistä kehittämiskohteista on muiden analyysimenetelmien yhdistäminen kuva-analyysiin. Tarvitaan lisätutkimuksia, joista selviää hakkeen muutokseen vaikuttavat tekijät tapauskohtaisesti. Pelkällä kuva-analyysillä ei voi selvittää muutoksen aiheuttajaa, ainoastaan sen määrää. Kuvantamisen yhteyteen voisi lisätä mittauksia, kuten esimerkiksi kosteus- ja lämpötilamittauksen. Myös eri hakelaatujen analyysit olisi hyvä tehdä omina erillisinä tutkimuksina.

Kuvantamista voisi kehittää käyttämällä erilaisia kameroita ja yksi laajennuskohteista voisi olla kopteri- eli dronikuvaus. Kuva-analyysin kannalta kuvälähteellä ei ole merkitystä. Analyysiohjelmisto pystyy lukemaan lähes kaikkia tunnettuja kuvamuotoja.

9.2 Ideasta tuotteeksi

Viimeaikaisten uutisten mukaan puukaupasta on tulossa verkkopohjaista. Puumarkkinat.fi-sivustolla on nähtävissä myynnissä olevat kohteet eri maakunnittain (Koponen 2017). On erittäin todennäköistä, että hakkeen markkinoinnissa tilanne on tulevaisuudessa vastaava.

Mikäli eri hakkeen analyysimenetelmien yhdistäminen toteutuisi, olisi mobiililaitteeseen integroidulle tuotteelle markkinoita. Tuotteen tulisi olla helppokäyttöinen ja selkeä, eivätkä sen hankita kustannukset saisivat nousta liian korkeiksi. Tuotteen avulla Internet-kauppapaikalle voitaisiin liittää tieto kuvineen hakkeen laadusta ja sijainnista. Käyttämällä vaihtoehtoisia kuvantamismenetelmiä, olisi mahdollista analysoida koko auman sisältämä hakkeen määrä. Näillä tiedoilla olisi helppoa arvioida käytettävissä olevan hakkeen tuotto. Tuoton lisäksi hakkeen muutoksen seurauksena tulevat terveyttä uhkaavat vaikutukset olisivat havaittavissa. Tuloksista voitaisiin ennakoida

tarvittavien suojarusteiden käyttöä ja välttää hakkeen kanssa työskentelevien henkilöiden altistumista esimerkiksi homeitiöille.

9.3 Lopuksi

Opinnäytetyössäni olen pyrkinyt yhdistämään vuosien varrella kertyneitä kokemuksia ja koulutuksia agrologikoulutukseen. Ajatuksena oli tuoda erilainen näkökulma olemassa olevien teknologioiden rinnalle. On ollut mielenkiintoista havaita oma kiinnostuksen kasvu uutta tieteenalaa kohtaan, ja saada henkilökohtaisesta näkökulmasta vanha ja uusi tieto kohtaamaan.

Opiskelujen aikana minua on ilahduttanut myös opiskelijakollegoiden kiinnostus opinnäytetyötäni kohtaan. Aihetta on ollut mahdollista esitellä opinnäytetyön eri vaiheissa, ja sen myötä on herännyt useita kysymyksiä ja ideoita, mihin muuhun kuvantamista ja kuva-analyysia voitaisiin soveltaa. Toivottavasti opinnäytetyöstäni heräisi edes pieni mielenkiinto sen jatkojalostukselle uusien tutkimusten osana.

Lähteet

- Asikainen, A., Ilvesniemi, H., Sievänen, R., Vapaavuori, E. & Muhonen, T. 2012. Bioenergia, ilmastonmuutos ja Suomen metsät. Viitattu 13.04.2017. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp240.htm>.
- Bioenergiaa metsistä. N.d. Metlan uutissivu. Viitattu 6.4.2017. <http://www.metla.fi/uutiskirje/bio/2012-02/uutissivu-3.html>.
- Codina, M. & Lopez, I. 2009. Drying of wood-forest chips. Viitattu 8.5.2017. http://www.biomassstradecentre2.eu/scripts/download.php?file=/data/pdf_vsebine/Technical_backgrounds/XI.Technical_backgrounds.pdf
- Francus, P. 1998. An image-analysis technique to measure grain-size variation in thin sections of soft clastic sediments. *Sedimentary Geology* 121, 289–298.
- Hake. N.d. Bioenergieneuvoja www-sivu. Viitattu 10.04.2017. <http://www.bioenergi-aneuvoja.fi/biopolttoaineet/hake/>.
- Hirvonen, K. 2013. Biomassojen energiakäytön ympäristövaikutukset varsinais-suomen alueella. Pure Biomass –hankkeelle tehty raportti. Turun ammattikorkeakoulu. Viitattu 10.04.2017. <http://spotidoc.com/doc/3553011/biomassojen-k%C3%A4yt%C3%B6n-ymp%C3%A4rist%C3%B6vaikutukset-varsinais>.
- Hynynen, J. & Saksa, T. 2012. Muuttaako energiapuun korjuu metsähoitoa? Viitattu 6.4.2017. http://www.metla.fi/tapahtumat/2012/bio-loppuseminaari/pdf/BIO_19-4-2012_06-Hynynen.pdf.
- Koponen, J. 2017. Helpotus metsänomistajille: lähes kaikkien puunostajien tarjoukset samasta nettipalvelusta. Yle uutiset 2.5.2017. Viitattu 8.5.2017. <http://yle.fi/uutiset/3-9587059>.
- Kärkkäinen, E.-T. 2010. Hakkuutähteiden korjuun ympäristövaikutukset sekä hakkuutähteiden korjuun vaikutus metsä uudistamisen kokonaiskustannuksiin. Pro gradu –tutkielma. Jyväskylän yliopisto, bio- ja ympäristötieteen laitos, ympäristötiede ja –teknologia.
- Käthner, R. & Zölffel, M. 2015. Die Bibliothek der Technik. Lichtmikroskopie. Süddeutscher Verlag onpact GmbH.
- Laitila, J., Leinonen, A., Flyktman, M., Virkkunen, M & Asikainen, A. 2010. Metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan haasteet ja kehittämistarpeet: Espoo 2010. VTT Tiedotteita – Research. Notes 2564. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2564.pdf>.
- Metsäalasta biotalouden vastuullinen edelläkävijä. 2015. Kansallinen metsäohjelma 2015. Valtioneuvoston periaatepäätös 16.12.2010. Viitattu 6.4.2017. <https://www.metsateollisuus.fi/mediabank/202.pdf>.
- Opas metsäenergian tuottamiseen. BalBic www-sivu. Viitattu 10.4.2016. http://www.balbic.eu/fi/tyopaketti/fi_FI/raaka-ainelahteet/_files/90951772465333604/default/OpasMetsaenergianTuottamiseen26092013.pdf.

Raitila, J. 2015. Metsähakkeen varastointi. *Bioenergia* 2, 8-10.

Russ, J.C. 2011. *The Image Processing Handbook*, Sixth Edition. CRC Press.

Seppälä, J. 2012. Biotalous tarvitsee uutta suuntaa kestävyiden haasteista. Viitattu 09.04.2017. <https://www.sitra.fi/artikkelit/jyri-seppala-biotalous-tarvitsee-uutta-suuntaa-kestavyiden-haasteista/>.

Työympäristön mikrobiologisten riskien hallinta massan ja paperin valmistuksessa. 2010. *Metsäteollisuus* 2010. Viitattu 30.5.2017. <https://www.metsateollisuus.fi/mediabank/480.pdf>.