



Metsätuhkan rakeistus ja levitys

Petri Mäkinen

Opinnäytetyö
Kesäkuu 2012
Metsätalouden koulutusohjelma
Tampereen ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Metsätalouden koulutusohjelma

MÄKINEN, PETRI: Metsätuhkan rakeistus ja levitys

Opinnäytetyö 25 s.
Kesäkuu 2012

Tämä opinnäytetyö selvittää bioenergiatuhkan rakeistuskokonaisuuden Agrolentopalvelun näkökulmasta ja samalla perehdyttää itseäni tulevaan työhöni Agrolentopalvelussa. Työssä on kerätty tietoa bioenergialaitoksista aina tuhkanlannoitukseen asti. Tavoitteena oli selkeyttää kokonaisuuden ymmärtämistä.

Energiavoimalaitoksen tuhkan määrän ja laadun tarkastelu keskittyy Oulun Energian tuhkaan, koska yhteistyöyrityksen rakeistuslaitos tulee käyttämään tämän laitoksen tuhkaa. Työssä selviää perusasiat tuhkan ominaisuuksista metsälannoitteena, sekä tuhkan soveltuvuus metsätuhkarakeiden valmistuksessa.

Tärkeä osa opinnäytetyötä on kokonaislogistiikka ja tärkeimmät ohjeet varastopaikkojen suunnittelussa helikopterilevityksen osalta. Työssä on tarkasteltu eri helikopterityyppejä, joita Agrolentopalvelu käyttää metsätuhkalannoituksessa sekä otettu selvää maahenkilöstön ja helikopterilentäjien haasteista, joita he kohtaavat maa- ja metsätalouslentojen yhteydessä. Näistä tiedoista syntyy kokonaisuus, jota tarvitsen työssäni metsälannoitteiden kokonaispalvelumyyjänä Agrolentopalvelussa.

Asiasanat: Bioenergia, puutuhka, tuhkanrakeistus, tuhkanlevitys

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Science
Degree Programme in Forestry

MÄKINEN, PETRI: Forest ash granulation and spreading

Thesis 25 pages
Juni 2012

This Thesis clarify the granulating process of bio energy ash used by Agro Flight Service. By studying this in my thesis, I am also familiarizing myself with my future work position in Agro Flight Service. I have collected information from bio energy plants all the way to the spreading of the ash fertilizer. The goal is to understand the big picture and to clarify the process as a whole.

The examination of volume and quality of the power plant ash is focusing on Oulun Energia's ash, because the co-operating enterprise of Agro Flight Service will be using ash from this plant. In this thesis will also clarify the basics of ash as forest fertilizer, and the suitability of ash qualities in producing forest ash granules.

An important part of the thesis is the logistics as whole, and the most important directions for planning areas for storing the ash granules for helicopter spreading. In this thesis have been examined different helicopter types that Agro Flight Service uses in forest fertilizing and described some of the challenges of land crew and helicopter pilots among forestry flights. This information forms a comprehensive picture of the knowledge I will need at my position as a full-service salesman of forestry fertilizers at Agro Flight Service.

Keywords: Bio energy, wood ash, ash granulation, ash spreading, fertilization

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	5
2 BIOENERGIA	6
3 LÄHTÖKOHDAT TUHKALANNOITUKSEEN.....	8
3.1 Metsien ravinnetalous	8
3.2 Turvemaat	9
3.3 Kivennäismaat.....	9
4 TUTKIMUSTULOKSIA TUHKANLANNONITUKSEN VAIKUTUKSISTA.....	10
5 TUHKANLANNONITUKSEN NYKYTILANNE.....	11
6 EVOLET OY:N TUHKANRAKEISTUSPROSESSI	11
6.1 Oulun Energia	12
6.2 Toppilan tuhka	12
6.3 Evolet Oy:n rakeistamo.....	13
6.4 Rakeistusprosessi	15
6.5 Rakeistuksen laadun tarkkailu.....	20
6.6 Tulevaisuus	20
7 LOGISTIikka JA VARASTOINTI.....	21
7.1 Kuljetuslogistiikka ja varastointi.....	21
7.2 Varastopaikkojen suunnittelu.....	21
7.3 Karttamateriaalit ja paikkatietojärjestelmät	22
8 AGROLENTOPALVELU JA TUHKALANNOITUS.....	22
8.1 Metsänlannoituksessa käytettävä kalusto.....	23
8.2 Helikopterilevitys	24
8.3 Tuhkalannoituksen seuranta.....	25
9 POHDINTA	25
LÄHTEET.....	26

1 JOHDANTO

Suomessa lannoitetaan metsiä vuodessa n. 46 000 ha, josta tuhkalannoituksen osuus on vain muutama tuhat hehtaaria. Kansallinen metsäohjelma (KMO) on asettanut vuoteen 2015 mennessä metsienlannoitustavoitteeksi 80 000ha, joten varmasti tuhkanlannoitusmäärienkin tulisi nousta. Ongelma on ollut yrittäjien puute ja tuhkan rakeistuksen kustannukset. Metsätuhka pitää saada valmistettua kilpailukykyiseen hintaan vertailtaessa kaupalliseen PK-lannoitteeseen. Myös energiapuun hankinnasta aiheutuvat ravinnemuutokset maaperässä selviävät vasta tulevaisuudessa. Olisi varmasti järkevää palauttaa energiapuunkorjuualueille ne ravinteet, jotka on sieltä pois viety vaikka metsätuhkara-keidenmuodossa. Tämä ei kuitenkaan korvaa energiakäyttöön vietyä orgaanista ainesta, metsien monimuotoisuuden näkökulmasta.

Tämän opinnäytetyön tärkeimpänä tavoitteena on selvittää millaista tuhkaa energialaitoksilta syntyy ja miten sitä voidaan jatkojalostaa. Jatkojalostuksen osalta opinnäytetyöni kohdistuu Evolet oy:n tulevan rakeistuslaitoksen rakentamisen ja laitoksen rakeistusprosessin ymmärtämiseen. Myös Evolet oy:lle tuhkaa toimittava Oulun Energia on tärkeässä osassa tarkasteltaessa valmista metsätuhkaraetta. Metsätuhkan ravinneominaisuudet ovat tärkeässä asemassa, kun suunnitellaan myyntiä ja tuhkalannoituskohdetta. Metsätuhkan ravinne ja rautapitoisuuksiin vaikuttaa biopolttolaitoksen polttoainekoostumus sekä kattilan palamisominaisuudet. Myös lentotuhkan ja pohjatuhkan määrät vaikuttavat tuhkan laatuun.

Tuhkanlannoituskohteet ovat erityisesti paksuturpeisia turvemaita ja niistä vielä paksuturpeisia pitkälle maatuneita turvemaita. Tähän metsätyypiluokkaan kuuluvat paksuturpeiset II-tyyppin puolukka- ja mustikkaturvekankaat. Tällaisissa kohteissa on korkea typpipitoisuus turpeessa, joka saadaan tuhkalannoituksella tehokkaammin puiden käyttöön.

Jotta metsätuhka saadaan metsään, täytyy olla kuljetuskalustoa ja koneita, joilla tuhkanlannoitus onnistuu. Suurin osa levityksestä tapahtuu helikopterilla, myös maalevitystä traktorilla tehdään. Tarkastelen helikopterilevitystä tässä opinnäytetyössä tarkemmin helikopterilevitystä, koska Agrolentopalvelu suorittaa pääasiassa helikopterilannoituksia. Tietoa helikopterilla tehdystä metsänlannoituksesta yrityksessä on noin 20 vuoden

ajalta. Tavoitteenani on yhdistää yrityksessä oleva tieto oman osaamisen tueksi. Näillä tiedoilla kehitetään Agrolentopalvelua tarjoamaan metsänomistajille ja metsätoimihenkilöille kokonaisvaltaista metsänlannoituspalvelua.

2 BIOENERGIA

Bioenergia on käyttöenergiaa, joka tuotetaan biopolttoaineilla. Biopolttoaineet valmistetaan puhtaista metsä- ja peltobiomassoista. Lisäksi käytetään orgaanisia jätteitä sekä jätteen sivutuotteita. Biopolttoaineita ovat kasviöljy, biokaasu, halot, pilkkeet, puupelletti, puubriketti ja metsähake. Biopolttoaineilla tuotetaan pääasiassa sähköä ja lämpöä, myös ajoneuvojen mekaaninen liike voidaan tuottaa biopolttoaineella (Bioenrgiatieto 2010). Oma mielenkiintoni kohdistuu puupolttoaineisiin, koska metsätuhkarakeen pääraaka-aine syntyy metsähakkeesta. Metsähaketta vuonna 2011 käytettiin lämpö- ja voimalaitoksissa 6,8 miljoonaa kiintokuutiometriä. Puupolttoaineita käytettiin kaikkiaan 16,8 miljoonaa kiintokuutiometriä (Ylitalo 2012, 1).

Kioton ilmastopimuksen mukaisten kasvihuonekaasupäästöjen vähennysvelvoitteiden ja päästökaupan seurauksena on kiinnostus lisääntynyt päästövapaata puupolttoainetta kohtaan. Kansallisessa metsäohjelmassa (KMO) 2010 metsähakkeen käytölle oli asetettu vuotuiseksi käyttö tavoitteeksi 5 miljoonaa kiintokuutiometriä, joka saavutettiin vuonna 2010. Uudeksi tavoitteeksi kansallisessa metsäohjelmassa on vuoteen 2020 mennessä metsähakkeen vuotuinen lämpö- ja voimalaitoskäyttö nostettu 12 - 13 miljoonaa kiintokuutiometriin. (Ylitalo 2012, 1)

Suomessa on paljon puuperäistä bioenergiaa tarjolla. Tämänhetkisen tiedon mukaan Suomessa puuvaranto on VMI 10 mukaan 2176 miljoonaa kiintokuutiometriä kuorellista runkokuuta (Kuusiniemi 2008, 6). Vuotuinen puuston kasvu on 97 miljoonaa kiintokuutiometriä. Puuston vuotuinen poistuma on 65,4 miljoonaa kiintokuutiometriä vuodessa. Ainespuuta hakataan vuodessa 51 miljoonaa kiintokuutiometriä sekä kotitarvekäyttöön 6 miljoonaa kiintokuutiometriä. Hakkuiden hukkarunkopuun ja luonnonpoistuman arvioiduksi määräksi on saatu 8,4 miljoonaa kiintokuutiometriä (Kuusiniemi 2008, 6). Kasvun ja poistumien erotus on 31,6 miljoonaa kiintokuutiometriä, joka jää kartuttamaan Suomen metsien puuvarantoa.

Tämänhetkisen tiedon mukaan on arvioitu tuhkaa syntyvän n. 600 000 tonnia vuodessa. Kaikkiaan kiinteitä polttoaineita poltettiin 2010 vuonna 22,7 milj. m³. Puhdasta puutuhkaa syntyi noin 200 000 tonnia ja turpeen/puun sekatuhkaa syntyy vuodessa noin 350 000 tonnia. Syntyvä tuhkan määrä on kasvussa ja tämä luo paineita tuhkan jatkojalostamiselle. Energialaitosten osalta tuhkan hävitys tuo lisäkustannuksia, koska tuhka luokitellaan jätteeksi. Jättemaksuja pienentääkseen energiayhtiöt suuntaavat katseensa tuhkan lajittelun kautta mahdolliseen jatkojalostukseen. Vähäravinteista tuhkaa pyritään jaottelemaan maanrakennus ja betonteollisuuteen. Puhdas puutuhka voidaan käyttää tuhkanlannoitteena itsekovetuksen tai rakeistuksen jälkeen. Tällä hetkellä 600 000 tonnin tuhkamäärästä vain 10 % päätyy metsien lannoitteeksi (Maa- ja metsätalousministeriö 2011, 30). Uusien valmisteilla olevien rakeistuslaitosten myötä toivotaan tilanteen paranevan tuhkanlannoituksen osalta.

Biopolttoaineista metsähake on tärkein tuhkalannoituksen kannalta. Metsähaketta tehdään pieniläpimittaisesta puusta nuorten metsien hoidossa sekä uudistusaloilta kerättävistä oksa- ja latvusmassasta. Uudistushakkuiden kannoista ja ainespuusta, joka ei kelpaa laatunsa vuoksi puunjalostusteollisuuden raaka-aineeksi, tehdään myös metsähaketta (Bioenergiatieto 2010). Metsähakkeesta syntyvä tuhkan koostumus vaihtelee puulajien ja puun eri osien mukaan. Runkopuu sisältää vähemmän ravinteita, kuin puunoksat ja kuori. Puun ottamat ravinteet kertyvät kuoreen ja lehtiin. Metsähakkeesta syntyvän tuhkan pääravinteita puulajista riippumatta ovat kalsium, kalium ja magnesium. Metsähaketuhka sisältää runsaasti myös fosforia ja piitä (Pesonen 2012, 24).

Turvetta käytetään paljon sekapoltossa metsähakkeen kanssa. Turvetta ei luokitella kuitenkaan uusiutuvaksi biopolttoaineeksi kuten metsähaketta. Turpeen poltosta syntyvä tuhka sisältää vähemmän ravinteita kuin metsähakkeesta syntyvä tuhka. Turvetuhka sisältää pääosin piin, alumiinin, raudan ja kalsiumin yhdisteitä. Fosforia turvetuhka sisältää yhtä paljon kuin metsähaketuhka, mutta kaliumpitoisuus on selvästi pienempi. Turvetuhkan raskasmetallipitoisuudet ovat yleensä arseenipitoisuutta lukuun ottamatta metsähaketuhkaa pienempiä. Yleensä energialaitokset polttavat puuta ja turvetta sekaisin. Seostuhkan ravinnekoostumus on useimmiten hyvä tuhkalannoituksen kannalta (Pesonen 2012, 24 - 25).

3 LÄHTÖKOHDAT TUHKALANNOITUKSEEN

Rakeistettua tuhkaa levitetään metsiin, jotta suometsistä saadaan enemmän ainespuuta. Suometsiin on sijoitettu rahaa ojittamalla alueita puunkasvatukseen. Rahalliselle panostukselle saadaan mahdollisimman suuri hyöty, kun ojitetut alueet saavat mikrobitoiminnan ja ravinteiden lisäyksen alueelle. Tutkimusten mukaan vuotuinen kasvu lisääntyy tällaisilla alueilla keskimäärin 2-4m³/vuodessa. Nuorella puustolla kasvu voi lisääntyä yhdellä lannoituskerralla 100-200m³/ha (Metsätalouden kehittämiskeskus 2008, 14).

Metsätuhkarakeilla tavoitellaan tuhkalannoituksessa fosforin määräksi 40kg/ha ja kaliumin 70kg/ha. Raskasmetallipitoisuus kadmiumin osalta ei saa ylittää 60 grammaa hehtaarille 40 vuoden aikana. Muille raskasmetalleille on metsänlannoituksessa määriteltäviä enimmäispitoisuudet kuiva-aineessa, arseeni (As) 30 mg/kg, elohopea (Hg) 1,0 mg/kg, kromi (Cr) 300 mg/kg, kupari (Cu) 700 mg/kg, lyijy (Pb) 150 mg/kg, nikkeli (Ni) 150 mg/kg, sinkki (Zn) 4500 mg/ha. Tuhkan tuotantoa, tuoteselosteita ja laatuvaatimuksia valvoo Evira Elintarviketurvallisuusvirasto (Metsätalouden kehittämiskeskus 2008, 6).

3.1 Metsien ravinnetalous

Kangasmetsät ja suometsät poikkeavat puiden kasvualustana toisistaan melkoisesti. Kangasmaalla puiden kasvualustana on kivennäismaa. Kivennäismaalla ravinteet ovat heti ohuen humuskerroksen alla, helposti puidenjuurien saatavilla. Kivennäismaa sisältää kivennäisravinteita kuten fosforia (P), kalsiumia (Ca), kaliumia (K) ja magnesiumia (Mg). Ravinteet sitoutuvat parhaiten hienojakoiseen maa-ainekseen. Kivennäismaan peittävässä humuskerroksessa on sitoutuneena typpeä. Kivennäismaa ei sisällä typpeä, koska kallioperässämme ei sitä juurikaan ole. Turve- ja kivennäismaat saavat suurimman osan typestään ilmakehästä. Mikrobit sitovat itseensä typpeä, jota kasvillisuus käyttää kasvaakseen. Maahan typpi tulee kasvien karikkeiden mukana. Suometsissä kasvualustana on turve. Turve muodostuu typpipitoisesta suokasvien osittain maatuneista osista. Kariketta kertyy enemmän, kuin hajottajamikrobit kerkiävät hajottamaan pitkän ajan kuluessa. Tämä epätasapaino johtuu osittain siitä, että suolla vetisyys ja siitä johtuva hapen niukkuus maassa haittaa hajottajien tehokasta toimintaa (Ahtikoski ym 2007, 13 - 15).

3.2 Turvemaat

Tuhkalannoitusta tehdään pääasiassa turvemailla. Syynä tähän on turvemaiden ravinneolosuhteet. Turvemaassa on yleisesti riittävä määrä typpeä puiden kasvua varten mutta hivenravinteista on pulaa. Turvemaiden puiden kasvua rajoittavien ravinteiden puutos kohdistuu fosforin (P), kaliumin (K), boorin (B), kalsiumin (Ca), sinkin (Zn) ja kuparin (Cu) niukkuuteen. Näitä kivennäisravinteita voidaan lisätä turvemaille metsätuhkan sisältämällä ravinteilla. Turvemailla parhaat tuhkalanhoituskohteet ovat ojitetut, ravinteikkuudeltaan keskitasoa olevat suometsät. Ohutturpeiset turvemaat eivät ole ensisijaisia tuhkalanhoituskohteita, koska puut pystyvät käyttämään kivennäismaan ravinnevaroja kasvuun hyväksi. Tuhkalannoituksella pystytään kyllä parantamaan kasvuolosuhteita myös ohutturpeisillä aloilla pH-arvoa nostamalla. Korkeammissa pH-yksiköissä turvemaan pinnan mikrobitoiminta on vilkkaampaa. Tästä johtuen karike maatuu nopeammin ja ravinteet ovat tehokkaammin puiden käytössä. Metsätuhkan tuoman ravinnelisäyksen ja turvemaassa olevan typen paremman vapautumisen johdosta puuston kasvu voi parantua 2-4 m³/ha/v (Metsätalouden kehittämiskeskus 2008).

3.3 Kivennäismaat

Tuhkalannoitus kivennäismailla on vielä varsin vähäisiä. Tämä johtuu siitä, että kivennäismailla puut tarvitsevat yleensä typpeä lisätäkseen kasvua eikä puutuhka sisällä typpeä. Tutkimuksissa on todettu kangasmaiden pH-yksiköiden nousseen 1-3 yksikköä metsätuhkan kalkkivaikutuksen ansiosta. Kangasmaassa pH-yksikön nousu kuitenkin epätasapainotti ravinneoloja puuston kannalta. Tästä syystä kangasmaiden tuhkalanhoitusta tulisikin pitää enemmän maanparannuksena ja maaperän biologisen aktiivisuuden parantajana kuin ravinteiden lisäyksenä (Ohtonen & Tuohenmaa 1999, 5-6). Kangasmaalla on tutkittu myös CT-männikön typpituhkalannoitusta. Tutkimuksen tuloksena selvisi, että yhdistetty typpituhkalannoitus paransi puuston kasvua. Pelkällä typpellä lannoitettu koeala lisäsi puuston kasvua 10 vuotta, kun taas yhdistetty typpi-tuhkalannoitus lisäsi kasvua vielä toiset 10 vuotta (Kukkola & Saarsalmi 2009, 67).

4 TUTKIMUSTULOKSIA TUHKANLANNOITUKSEN VAIKUTUKSISTA

Ensimmäiset järjestelmälliset tuhkalannoituskokeet on tehty Ruotsissa vuonna 1910. Koealueet sijaitsivat Norra ja Södra Hällmyrenin avosoilla lähellä Uumajaa (Ahonen 2011, 7). Suomessa Metsäntutkimuslaitos on tutkinut tuhkanlannoitusta jo 80 vuotta yli sadalla koealueella. Ensimmäiset tuhkakokeet on tehty 1937 Mänttä-Vilppulassa Jaakkoinen-koivuilla, seuraava tutkimus on Muhoksella sijaisevien Leppiniemen ja Itkusuon alueiden vuosina 1946 - 1998. Aineistoa on kerätty kolmeltakymmeneltä tuhkalannoituskoealalta, joista suurin osa oli ojitettuja alueita. Kokeita otettiin myös viideltä kangasmaa-alueelta ja viideltä metsitetyltä suopellolta (Issakainen & Moilanen 2003, 9). Vertailututkimuksissa selvisi, kuinka tuhka lisäsi puiden kasvua. Tuloksia on saatu esimerkiksi Muhoksen Leppiniemen koealueelta, joka suoritettiin vuonna 1947. Koealue oli entinen nevasuon ojitusalue, jossa puustona oli tuolloin pientä taimikkoa. Koealue, jolle tuhkaa ei levitetty, puuston määrä oli 2007 vuonna $50\text{m}^3/\text{ha}$. Koealue, jolle tuhkaa oli levitetty $8000\text{kg}/\text{ha}$, puuston määrä oli $450\text{m}^3/\text{ha}$. Kolmanteen koealaan oli levitetty tuhkaa $16\,000\text{kg}/\text{ha}$, tällä koealalla puuston määrä oli $600\text{m}^3/\text{ha}$. Tulos oli kaksitoista kertaa suurempi, kuin tuhkalla lannoittamattomalla alueella (Moilanen 2011, 12).

Hyvät tulokset turvemaidella johtuivat alkuaineiden määrien moninkertaistumisesta sekä maan mikrobitoiminnan vilkastumisesta. Mikrobitoiminta parani pääasiallisesti maan pH-arvon nousun ansiosta. Tutkimuksista on kulunut useita kymmeniä vuosia ja voidaan todeta tuhkalannoituksen positiivisen vaikutuksen kestävänsä vuosikymmeniä. Tuhkalannoituksen vaikutukset näkyivät parhaiten turvemaidella, mutta myös kangasmailla vaikutukset olivat pitkäkestoisia. Puustossa tapahtuva ravinnetilan muutokset näkyvät tuhkalannoitusvuotena parhaiten neulasmassan kasvuna sekä boorin (B) ja kaliumin (K) pitoisuuksien nousuna. Tuhkan sisältämän fosforin (P) vaikutus puustoon tapahtui tutkimusten mukaan 2-3 vuoden kuluessa tuhkanlannoituksesta (Issakainen & Moilanen 2003, 76). Metsäntutkimuslaitoksen koealoilla selvitettiin myös tuhkalannoituksen vaikutusta marjoihin ja sieniin. Levitetty tuhka oli pääsääntöisesti pölyävää irtotuhkaa, neljällä kokeella oli käytössä rakeistettua tuhkaa. Puolukan ja mustikan ravinnepitoisuudet nousivat tuhkalannoituksen jälkeen, metallipitoisuudet vastaavasti alenivat alumiinin (Al), kuparin (Cu), mangaanin (Mn) ja nikkelin (Ni) osalta. Kadmiumin (Cd) arvo jäi useimmissa tapauksissa alle määritysrajan (Issakainen & Moilanen 2003, 77). Sieniä tutkittiin kangasrouskun ja kangastattien osalta, näiden sienien metallipitoisuudet olivat korkeammat kuin puolukan ja mustikan. Tuhkalevityskoealoilla ei kuitenkaan tapahtu-

nut selvää metallien rikastumista sienissä. Kadmiumin (Cd) pitoisuus kohosi pitkäaikaisesti ainoastaan pajujen, hieskoivujen ja vaivaiskoivujen lehdistä. Tutkimuksen raskasmetallipitoisuudet eivät olennaisesti poikenneet vaihtelurajoista, joita Suomessa on alueellisesti aiemmin mitattu. Tutkimuksessa todettiin, että metsämarjojen ja -sienten riski saastua tuhkalannoituksesta on erittäin pieni (Issakainen & Moilanen 2003, 77-80).

5 TUHKANLANNOITUKSEN NYKYTILANNE

Metsänlannoitukset yleistyivät Suomessa 1960-luvulla. Tavoitteena oli tuottaa puuta nopeasti metsätalouden käyttöön. Huippu saavutettiin 1970-luvun puolivälissä, jolloin soiden ja kangasmaiden yhteenlaskettu lannoituspinta-ala oli lähes 250 000 hehtaaria vuodessa. Tämän jälkeen lannoitusmäärät laskivat ja vuosina 1992-1994 lannoitettiin vain 5000 ha vuodessa (Kukkola & Nöjd 2000, 604). Metsätilastollisesta vuosikirjasta 2011 selviää metsänlannoitusmäärä vuodelle 2010, joka oli kaikkiaan 45 000ha. Yksityismetsissä lannoitettiin 19 000ha josta kymmenesosa oli tuhkalannoitusta(1900ha). Metsäteollisuuden ja valtion metsiä lannoitettiin 26 000ha ja tästä määrästä viidesosa (5200ha) oli tuhkalannoitusta. Suomessa tuhkalannoitusta tehtiin vuonna 2010 yhteensä 7100ha (Metsätilastollinen vuosikirja 2011). Metsätuhkan levityksessä hehtaariohtainen suositus on 4000kg. Vuodessa metsätuhkaa levitetään suosituksen mukaan 28 400 tonnia. Suurin osa tästä määrästä levitetään helikopterilla. Helikopteri levitys vaatii tuhkan rakeistamisen. Rakeistuksella saadaan tuhka vähemmän pölyäväksi, sekä tuhka myös leviää tasaisemmin ja laajemmalle alueelle helikopterin levittimestä. Metsätuhkan esikäsittelymenetelmiä ovat itsekovetus, rumpurakeistus, valssaus, lautasrakeistus ja pelleointi eli matriisipuristus (Korpilahti 2003, 5). Suomessa valmistettavista tuhkalannoitteista johtavin valmistaja on Fa Forest Oy.

6 EVOLET OY:N TUHKANRAKEISTUSPROSESSI

Metsätuhkarakeen valmistaminen vaatii yhteistyötä eri yritysten välillä. Evolet Oy:lle raaka-aine metsätuhkarakeeseen saadaan Oulun Energialta, Toppilan voimalaitoksesta. Metsätuhkarakeita valmistetaan Evolet Oy:n ja yhteistyöyritysten valmistamalla rakeistamalla. Rakeistulaitoksella valmistetut metsätuhkarakeet myydään Agrolentopalvelun kautta, joka myös pääsääntöisesti vastaa metsätuhkan helikopterilevityksestä.

6.1 Oulun Energia

Evolet Oy:n rakeistamo hankkii tuhkansa Oulun Energian Toppilan voimalaitoksesta. Toppilassa on kaksi laitosta, Toppila 1 ja 2. Toppila 1 on valmistunut vuonna 1977. Polttotekniikka on nykyaikainen leijukerros poltto, joka tuottaa 267 megawattia energiaa. Toppila 2 on väliottolauhdutusvoimalaitos, joka tuottaa sähköä ja kaukolämpöä. Laitoksen polttoaineteho on 315 megawattia. Sähkön tuottamisesta syntyvä lämpö otetaan talteen ja sitä käytetään kaukolämpöverkostossa veden lämmittämiseen. Tällaista energiantuotantoa kutsutaan hyötysähköksi. Toppilassa poltetaan puuta ja turvetta kesäaikaan noin 70 rekkakuormaa päivässä, talvella määrä voi nousta 140 rekkakuormaan. Polttoaineen käyttö vuonna 2002 oli noin 1 210 000 t turvetta ja puun osuus oli 187 000 t, tällä hetkellä polttoaineesta 25 % on metsähaketta (Oulun Energia 2012). Jokaisesta kuormasta otetaan näyte laboratoriota varten. Laboratoriossa varmistetaan polttoaineen laatu, koostumus ja kosteus. Saaduilla tiedoilla ohjataan polttoprosessia kattiloissa. Tuhkaa Toppilan voimalaitoksesta syntyy vuodessa noin 50 000 tonnia. Laboratoriosta saaduilla tuloksilla pystytään myös ennakoimaan syntyvän tuhkan rauta- ja ravinnepitoisuuksia. Tuhkasta tehdään myös omat mittaukset ennen jatkojalostusta Toppilan voimalan omavalvontajärjestelmällä (Heikkinen 2012).

6.2 Toppilan tuhka

Toppilan tuhka on suurimmaksi osaksi lentotuhkaa, joka syntyy noin 1000 °C:ssa. Tässä kuumuudessa pii ja alumiinioksidi sulavat muodostaen lasia jäähtyessään nopeasti. Raskasmetallit ja muut epäorgaaniset aineet jäävät pääosin sulaan lasiin (Österbacka 2001). Tästä syystä raskasmetallien liukeneminen metsään on hidasta, eivätkä ne kuormita maaperää. Toppilan voimalaitoksen tuhka on huonosti itsekovettuvaa, koska vapaata kalkkia on vähän kattilan korkean palamislämpötilan ansiosta. Toppilan turpeen tuhkan arseenipitoisuus on alle 30 mg/kg kuiva-aineessa. Tämä johtuu Pohjois-Pohjanmaan turpeen laadusta. Pohjois-Pohjanmaan turvesoiden tutkimuksessa on todettu arseenin olevan maa- ja kallioperän mineraalien rapautumisesta peräisin. Tällä alueella kallioperän kivilajit eivät sisällä arseenia, eikä lähistöllä ole malmisulattoja tai kivihiilenpolttolaitoksia, joista tulisi ilmaperäistä laskeumaa turpeeseen (Virtanen 2004, 58). Toppilassa syntyy tuhkaa 50 000 tonnia vuodessa, josta pohjatuhkan osuus on 8000 tonnia. Pohjatuhka on kattilan pohjalle jäänyttä painavaa, suurirakeista ja soramaista tuhkaa. Lentotuhka on savukaasujen mukana kulkeutuvaa kevyttä ja helposti höyrystyvää mineraalainesta. Toppilan voimalaitoksessa lentotuhka erotetaan savukaasuista sähkösuodatti-

mella. Sähkösuodattimella tuhka tarttuu keräyslevyihin, joista se ravistellaan tuhkasuppiloihin. Tuhkasuppiloista tuhka valuu tuhkasiiloihin tai tuhkalavalle. Toppilan tuhkasta on tutkittu raskasmetallipitoisuuksia ja todettu pitoisuuksien nousevan pienissä tuhkapartikkeleissa (Pesonen 2012, 23-26). Sähkösuodatin kerää suurimmat tuhkapartikkelit ensimmäisessä kentässä. Tästä kentästä tuleva tuhka pitäisi tulevaisuudessa pystyä keräämään erikseen talteen.

Toppilan voimalaitoksen tuhkasta kerättiin tuhkanäytteitä keväällä ja syksyllä. Näytteistä selviää tuhkan sisältämät alkuainemäärät (Taulukko 1). Toppilan voimalaitoksen näytteen haitallisten aineiden pitoisuudet alittivat lannoitevalmisteasetuksen raja-arvot metsätalouskäytön osalta (Pesonen 2011, 99).

Taulukko 1: Toppilan voimalaitoksen tuhkan alkuainepitoisuudet (Pesonen 2011, 81)

Alkuaine	mg/kg
Alumiini (Al)	49800
Kalsium (Ca)	84500
Rauta (Fe)	150000
Kalium (K)	6080
Magnesium (Mg)	15500
Fosfori (P)	12000
Rikki (S)	6720
Pii (Si)	206000

6.3 Evolet Oy:n rakeistamo

Evolet Oy:n rakeistamo sijaitsee Haukiputaalla lähellä Oulua. Evolet Oy on uusi yritys, joka on perustettu tuhkarakeistamo varten. Evolet Oy ohjaa yritystoimintaa rakeistamon yhteydessä. Tuhkarakeistuslaitos on valmistettu Evolet Oy:n ja yhteistyöyritysten kanssa. Yhteistyöyrityksistä Agrolentopalvelu oli mukana vuonna 1995 - 1997 kehittämässä Enocellin tuhkarakeistamo Uimaharjuun (Kolosalmi 2012). Päävastuu Enocellin rakennusprojektissa oli Joensuulaisella Tecwill yrityksellä, joka valmistaa pääasiassa betoniasemia. Evolet Oy:n rakeistamossa rakennusvastuussa oli jälleen Tecwill. Olin mukana tuhkarakeistamon pystyttämässä Haukiputaalla. Opinnäytetyön selventämiseksi otin muutamia valokuvia valmisteilla olevasta tuotantolaitoksesta. (kuva 1).



KUVA 1. Rakeistamon alaosa ja rakeistuslautanen nostettu paikalleen (Kuva: Pekka Kolosalmi 04/2012)

Rakeistamokomponentit olivat oikeilla paikoillaan noin kolmen viikon kuluttua siitä, kun ensimmäinen kuorma saapui Tecwilleltä. Osa sähkötoista sekä yksikkökohtaiset koeajot ovat vielä tekemättä 12.4.2012 (kuva 2).



Kuva 2. Rakeistamon kaikki osat paikoillaan (Kuva: Petri Mäkinen 04/2012)

6.4 Rakeistusprosessi

Tuhka ajetaan Toppilan voimalaitoksesta Evoletin välivarastoon, joka sijaitsee rakeistamon vieressä. Välivarastossa on lattialämmitys ja katos, jossa tuhkan kuivattaminen alkaa. Tuhka tulee ympäristöluvan mukaisesti kostutettuna, koska pölyävää tuhkaa ei saa viedä voimalaitoksen ulkopuolelle. Rakeistusprosessin onnistumiseksi on tuhka kuivatettava oikeaan kosteusprosenttiin. Prosessin seuraavassa vaiheessa tuhka kuljetetaan pitkän kuljettimen alapäässä olevaan lastaustaskuun. (kuva 3).



KUVA 3. Tuhkan vastaanottotasku (Kuva: Petri Mäkinen 04/2012)

Lastaustaskusta tuhka siirtyy kuljettimella rakeistuslaitoksen ylimpään kerrokseen, jossa rakeistusprosessi alkaa tasosekoittimen avulla. (kuva 4).



KUVA 4. Tasosekoitin (Kuva: Mäkinen 04/2012)

Tasosekoittimessa olevaan tuhkaan voidaan lisätä poltettua kalkkia ravinteikkuuden ja rakeistumisen parantamiseksi. Lisäys tapahtuu puntarin kautta yläkerran siilosta. (kuva 5).



KUVA 5. Yläkerran siilo, sisältää poltettua kalkkia (Kuva: Mäkinen 04/2012)

Sekoitin valmistaa kerta-annoksen, joka tipahtaa seuraavaksi lautassyöttimelle. (kuva 6). Lautassyöttimeltä rakeistusprosessi etenee jatkuvana prosessina.



Kuva 6. Lautassyötin (Kuva: Mäkinen 04/2012)

Lautassyötin syöttää tuhkamassaa rakeistuslautaselle, joka on 50 asteen kulmassa. Rakeistuslautanen pyörittää tuhkamassaa, johon lisätään lopullinen vesimäärä ja mahdolliset kuorruteaineet tuhkarakeelle. Rakeistuslautasen kulmaa kääntämällä voidaan vierintävastusta muuttaa ja säädellä tuhkarakeiden muodostumista. (kuva 7).



Kuva 7. Rakeistuslautanen (Kuva: Mäkinen 04/2012)

Rakeistuslautaselta rakeet menevät kuljettimelle, joka siirtää valmiin tuhkarakeen roottoripöydälle (kuva 8). Roottoripöydällä pystytään ohjaamaan tuhkarakeet säkitykseen, vaihtolavalle tai muihin kuljetusvaihtoehtoihin. Ongelmatilanteessa voidaan ohjata huonolaatuinen tuhkarake uudelleen tuotannon käsiteltäväksi.



Kuva 8. Roottoripöytä (Kuva: Mäkinen 04/2012)

Tuhkarakeen säkitys tapahtuu linjastolla, jossa on komponentteja eri yhteistyöyrityksistä. Säkityskoneen on valmistanut Jauhetekniikka Oy Kotkasta (kuva 9). Säkityskoneessa on puntari, millä varmistetaan metsätuhkarakeiden oikea määrä suursäkissä.



Kuva 9. Säkityskone (Kuva: Mäkinen 04/2012)

6.5 Rakeistuksen laadun tarkkailu

Rakeistus on tietokoneohjattu prosessi ja laatua tarkkaillaan rakeistamossa jatkuvasti. Omavalvontajärjestelmällä varmistetaan metsätuhkarakeen ominaisuudet. Jokaisesta uudesta tuhkaerästä otetaan näyte, josta mitataan ravinteikkuus ja rautapitoisuudet. Mikäli tuhkan laadussa havaitaan huomauttamista, asiaan puututaan heti ja tehdään laatu-poikkeamaraportti. Tähän raporttiin selvitetään poikkeaman syy ja tästä aiheutuneet korjaustoimenpiteet.

6.6 Tulevaisuus

Evolet Oy:n tavoitteena on tehdä laadukasta metsätuhkaraetta. Tulevaisuudessa Haukiputaan laitoksessa on mahdollista sekoittaa räätälöityjä tuhkarakeita. Prosessin kehittyessä voidaan tehdä neulasanalyysin mukaan paras mahdollinen tuhkalannoite kyseiselle metsäalueelle. Tulevaisuudessa on tarkoitus suunnitella metsätuhka, joka parantaa metsän vuotuista kasvua myös kangasmailla.

7 LOGISTIIKKA JA VARASTOINTI

7.1 Kuljetuslogistiikka ja varastointi

Evolet Oy:n varastosta Haukiputaalta metsätuhkarakeet siirretään yrityksen omalla täysperävaunurekalla levityskohteisiin. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää muita kuljetusyrityksiä. Suuret määrät rakeistettua metsätuhkaa voidaan siirtää esimerkiksi Poriin laivalla Oulusta. Junakuljetukset on poissuljettu kuljetusmuoto kiinteänä pysyvän korkean hinnan takia.

Varastoilla rakeistettu tuhka olisi hyvä peittää erillisellä pressulla, silloin kun varastointiaika maastossa on pitkä. Rakeistetun tuhkan levityskelpoisuutta lisää myös säkkien nosto esimerkiksi kuormalavojen päälle. Evolet Oy:n rakeistettu tuhka on pakattu suursäkkeihin, joissa on erilliset sisäsäkit. Sisäsäkit parantavat huomattavasti rakeistetun tuhkan levityskelpoisuutta.

Varastopaikalla suursäkkejä käsittelee maahenkilöstö, joka lastaa levittimeen rakeistetun tuhkan. Logistisesti maahenkilöstön kuorma-auto pystyy nostamaan noin 10 metrin päästä suursäkkejä. Olisikin tärkeää saada kasattua rakeistettu tuhka mahdollisimman pienelle alueelle, jotta yhdestä kohdasta saadaan käsiteltyä mahdollisimman monta säkkiä. Myös ojat varastopaikalla on huomioitava säkkejä sijoittelussa. Kuorma-auton ja säkkien väliin jäävä oja vaikeuttaa maahenkilöstön toimintaa ja vie nosturilta ulottuvuutta.

7.2 Varastopaikkojen suunnittelu

Varastopaikat on suunniteltava levitystavan mukaisesti. Helikopterilevityksessä varastopaikka tulee suunnitella tarkasti. On otettava huomioon, että levitettävät säkit vievät tilaa varastopaikalla. Rekan kuljettajan on tiedettävä purkupaikka tarkasti, jotta säkit eivät tule esteeksi levitykselle. Vaikka kysymyksessä on helikopteri, lento-ohjauksella ei tapahdu suoraan ylöspäin. Painavan kuorman kanssa nouseminen vaatii tilaa nousu- ja laskusuuntaan vähintään 50m. Maahenkilöstö tarvitsee lastaamiseen ja helikopterin tankkaukseen 25m × 25m tilan. Tähän tilaan pitää sopia kuorma-auto jossa on nosturi perässä, myös helikopteri levittimen kanssa laskeutuu samalle alueelle tankkauksen ajaksi. Metsätuhkan levityksessä käytetään myös pientä pyöräkuormaajaa, jolloin tilaa vaaditaan hieman enemmän. Yhdellä varastopaikalla pitää olla vähintään 10 säkkiä, jot-

ta on kannattavaa tuoda helikopteri levittämään. Kannattavuuden kannalta on tärkeää, että levityskuviot ovat lähellä varastopaikkaa. Levitettävälle kuviolle ei saa olla matkaa yli 2 km. Varastopaikan tulisi olla mahdollisimman tasainen, jotta helikopterin laskeutuminen ja maahenkilöstön työskentely olisi mahdollisimman turvallista. Varastopaikalla ei myöskään saa olla irtotavaroita tai roskia. Helikopteri kärsii, jos laskeutumisalusta on pölisevä. Pölisevän maanpinnan hienojakoiset hiukkaset pääsevät kuluttamaan helikopterin moottoria, sekä nopeasti liikkuvia lapoja.

7.3 Karttamateriaalit ja paikkatietojärjestelmät

Helikopterilla tapahtuvan levityksen onnistuminen vaatii tarkat karttaohjeet. Pelkästään suursäkkien ajaminen varastopaikoille vaatii hyvät indeksikartat, joilla säkit löytävät oikeisiin varastoihin. Agrolentopalveluun tuleva kokonaistilaus alkaa varastopaikkojen selvittämisellä. Asiakkaalta saaduista koordinaateista tehdään indeksikartta Mapinfolla paperimuotoon 1:100 000 ja tarvittaessa 1:10 000. Nämä kartat lähetetään rekankuljettajalle, joka ajaa säkit varastolle. Maahenkilöstö saa samanlaiset kartat, jotta se löytää varastolle. Helikopterilentäjä saa muistitikulla samat kartat, jotka voi tulostaa itselleen. Muistitikulla on asiakkaalta saadut kuviokohtaiset levityskartat, jotka on muokattu GIS-karttaohjelmalle sopivaan tiedostomuotoon. Paikkatiedoilla ja GPS:llä helikopteri lentäjä navigoi levityskohteeseen. Tärkeää on myös helikopterin GPS-signaalin piirtyminen karttalehdelle. Piirtyvällä GPS-signaalilla pystytään seuraamaan levitetyt alueet tarkasti.

8 AGROLENTOPALVELU JA TUHKALANNOITUS

Agrolentopalvelu on perustettu tuottamaan laadukkaita metsänlannoitteiden lentolevityspalveluita sekä muita erikoistyölenotoja helikopterilla. Yrityksen henkilöstöllä on tuhansien tuntien työkokemus levityslennoista. Agrolentopalvelulla on hyvät kansainväliset sopimukset. Kansainvälisten sopimusten avulla Agrolentopalvelu voi työskennellä ulkomailla ja toteuttaa suuriakin hankekokonaisuuksia yhteistyössä ulkomaalaisten yritysten kanssa. Vuonna 2011 Agrolentopalvelussa juhlittiin kahdenkymmenen vuoden mittaista taivalta ilmailun parissa. Yritys on perustettu 1991. Agrolentopalvelussa työt keskittyvät metsänlannoitteiden levitykseen ja sähkölinjojen raivaukseen helikopterilla (Agrolentopalvelu 2012).

8.1 Metsänlannoituksessa käytettävä kalusto

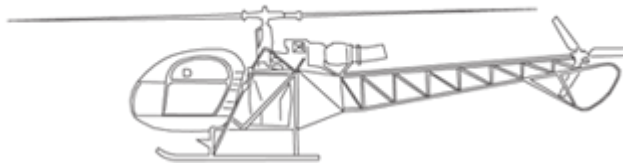
Agrolentopalvelussa maahenkilöstö käyttää metsänlannoituksessa kuorma-autoa, jossa on taakse sijoitettu kuormanosturi. Lisäksi maahenkilöstö tarvitsee täyttösuppilon, jolla täytetään levitintä tai pyöräkuormaajaa, johon suursäkit puretaan. Tuhkalannoituksessa yleensä käytetään Agrolentopalvelun 6,5-tonnista JCB-pyöräkuormaajaa levittimen täytössä. Maahenkilöstön kuorma-auto pystyy tuomaan noin kolmen levityspäivän kerosiinit mukanaan. Jotta työ ei keskeydy, voidaan käyttää yrityksen toista kuorma-autoa, joka huolehtii kerosiinien kuljetuksesta.

Metsänlannoituksilla käytettävissä olevista helikoptereista nostokyvyltään paras on Bell B205 / UH-1 ”Huey”, ulkopuolinen työkuorma on 1500 – 1800 kg. (Kuva 10).



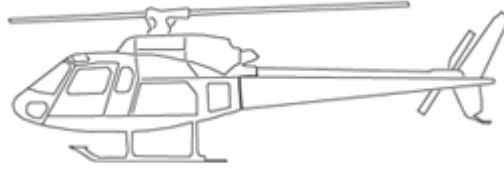
Kuva 10. Bell B205 / UH-1 (Kuva: Agrolentopalvelu)

Metsänlannoituksessa käytetään myös Eurocopter SA315B tyyppinimi ”Lama”, ulkopuolinen työkuorma on 900 – 1100kg. (Kuva 11).



Kuva 11. Lama. (Kuva: Agrolentopalvelu)

Kolmantena koneena nostokyvyltään samassa luokassa Laman kanssa oleva Eurocopter AS350B2 ”Ecureuil”. (kuva 12).



Kuva 12. Ecureuil (Kuva: Agrolentopalvelu)

Vähäisessä määrin metsänlannoituksessa käytetään myös MD Helicopters MD500D tyyppin konetta, jonka ulkopuolinen työkuorma on 400 – 500 kg. (Kuva 13). Tämä konetyyppi on kettrrä ja sopii parhaiten sähkölinjojen raivaukseen.



Kuva 13. MD 500 (Kuva: Agrolentopalvelu)

8.2 Helikopterilevitys

Helikopterilla tapahtuva metsätuhkarakeen levitys on ympärivuotista toimintaa. Rajoitavia tekijöitä ovat kova sade, tuuli ja pakkanen. Tuhkalannoitusta ei voi myöskään toteuttaa kovassa sumussa huonon näkyvyyden takia. Tuhkalannoitus tapahtuu yleensä pehmeillä maapohjilla, helikopteri ei aiheuta pintavauriota maastoon. Myös levityskaisat voi ilmassa valita vapaasti, esimerkiksi ojat huomioon ottaen. Helikopterilla saadaan tasainen peitto koko levitysalueelle. Bell B205 / UH 1 "Huey" pystyy levittämään päivän aikana yli 200 000kg. Huey:n levityskohteet ovatkin yleensä metsähallituksen ja suuryhtiöiden mailla. Metsähallituksen ja suuryhtiöiden levitysalueet ja kuviot ovat keskimääräisesti suurempia. Myös yhdelle varastopaikalle pystytään sijoittamaan enemmän tuhkalannoitesäkkejä. Eurocopter SA315B "Lama" ja Eurocopter AS350B2 "Ecureuil" työskentelevät metsänhoitoyhdistysten ja metsätalallisten levityskohteilla. Metsäkuviot ovat pirstaleisempia ja varastojen kilomäärät ovat pienempiä. Näillä kohteilla levityskannattavuutta lisää Laman ja Ecureuiln ketteryys. Laman ja Ecureuilin eroavuus tulee ilmi matkavauhdissa. Ecureuil on nopeampi ja sitä kannattaa käyttää, jos levitettävät kuviot ovat etäällä varastopaikasta. Helikoptereiden tukikohta on Orivedellä, joten siirtokustannuksia mietittäessä pitää ottaa huomioon levityshankeen koko ja

etäisyys. Hitaammin liikkuvat helikopterit kannattaa työllistää mahdollisimman lähellä tukikohtaa (Kolosalmi 2012).

8.3 Tuhkalannoituksen seuranta

Tuhkalannoituksen tarkkuus lähtee kalibroinnista. Levittimet kalibroidaan helikopterin levitysnopeuteen sopivaksi. Kalibrointi tehdään levitystasaisuuden mittaussuppiloiden avulla, ennen levittimien työkäyttöön ottamista. Levityskuvioilla seuranta tehdään päivittäin omavalvontana. Asiakkaat tarkastavat myös itse levitysjälkeä, omilla seuranta-menettimillään. Agrolentopalvelussa käytetään levitystarkkuuden seurannassa kymmenen levitystasaisuuden mittaussuppilon sarjaa. Suppilot asetetaan poikittain levityssuuntaan nähden. Näytesuppilo on halkaisijaltaan 50 cm ja suppilon suuaukon pinta-ala on $0,196 \text{ m}^2$. Suppilon tullen tuhkagramma vastaa 51,02 kiloa hehtaarille. Mittauksia helpottaakseen Agrolentopalvelulla on käytössä puntari, joka ilmoittaa suppilokohtaisesti tuloksen kg/ha. Levitystarkkuudesta käytetään poikkeamatarkkuutena 20 %. Käytännössä kymmenen suppilon sarjasta heittoa saa olla kahdessa suppilossa. Metsätuhkaraetta ei saa mennä vesistöön, tätä seurataan suppiloilla, jotka asetetaan levitysalueella oleviin ojiin. Levitystarkkuuden seuranta tehdään myös GPS-paikantimen jäljen perusteella. Helikopterissa oleva GPS piirtää karttapohjalle jälkeä, kun levittimen luukku on auki. Asiakkaalle annetaan aina piirtojälgestä paikkatiedot seuranta varten. Näillä toimenpiteillä varmistetaan helikopterilevityksen onnistumisesta.

9 POHDINTA

Tämä kirjallinen tuotos on käytännönkokemusten, kirjallisten tietojen ja tiedonsirujen tiivistelmä metsätuhkalannoituksesta. Itselläni tähän opinnäytetyöhön kiteytyy yli viidentoista vuoden takaiset ensikokemukset metsälannoituksesta. Olin tuolloin maahenkilöstössä metsälannoituksella ja sen jälkeen olen ollut kiinnostunut helikopterilla tehdystä metsälannoituksesta. Ajan kuluessa olen hakenut sekä kuullut tietoja jotka liittyvät metsälannoitus- ja tuhkalannoitustoimintaan. Opinnäytetyötä tehdessä olen lukenut paljon lehtiartikkeleja ja kirjallisuutta aiheeseen liittyen. Opinnäytetyötä varten tekeväni haastattelujen, sekä käymieni keskusteluiden tarkoitus oli saada käytännön ammattilaisten näkemys omien tietojeni tueksi. Tähän työhön liittyvät haastattelut ovat lähdeluettelossa ja loput omien korvien välissä. Tämän työn tulosta voidaan arvioida vasta kun nähdään miten suoriudun työssäni.

LÄHTEET

Agrolentopalvelu.fi 2012. WWW-dokumentti.

<http://www.agrolentopalvelu.fi/>

Ahonen, H 2011. Rakeistetun tuhkalannoitteen leviäminen maakonelevityksessä. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu.

Ahtikoski, A. Hökkä, H. Joensuu, S. Kojola, S. Kuusela, M. Moilanen, M. Penttilä, T. Ruotsalainen, M ja Saarinen, M. 2007. Turvemaiden metsien käsittely- ja hoito. Tapio.

Bioenergiatieto.fi. 2010. WWW-dokumentti

http://www.bioenergiatieto.fi/default/www/etusivu/tietoa_bioenergiasta/

Hakkila, P. 2004. Puuenergian teknologiaohjelma 1993 - 2003.

Heikkinen, H. Ympäristöassistentti, Oulun Energia. Haastattelu 18.4.2012. Haastattelija Mäkinen, P.

Issakainen, J. Moilanen, M. 2003. Puu- ja turvetuhkien vaikutus maaperään, metsäkasvillisuuden alkuainepitoisuuksiin ja puuston kasvuun. Metsätehon raportti 162.

Kolosalmi, J. Helikopterilentäjä, Agrolentopalvelu. Haastattelu 14.5.2012. Haastattelija Mäkinen, P.

Korhonen, K. Ihalainen, A. Heikkinen, J. Henttonen, H. ja Pitkänen, J. 2007. Suomen metsävarat metsäkeskuksittain 2004 - 2006 ja metsäverojen kehitys 1996 - 2006. Metsätieteen aikakauskirja.

Korpilahti, A. 2003. Tuhkan esikäsittely metsäkäyttöä varten. Metsätehon raportti 143.

Kukkola, M. Nöjd, P. 2000. Kangasmetsien lannoitusten tuottama kasvunlisäys Suomessa 1950 – 1998. Metsätieteen aikakauskirja 4/2000.

Kukkola, M. Saarsalmi, A 2009. Tuhkanlannoituksen vaikutus maaperään ja puuston kasvuun. Metsätieteen aikakauskirja 1/2009.

Kuusiniemi, M. Ilvesniemi, H 2008. Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset, tutkimusraportti. Tapion ja Metlan julkaisuja. Saatavissa <http://www.metsavastaa.net/raportti>

Maa- ja metsätalousministeriö, 2011. Suomesta ravinteiden kierrätyksen mallimaa. Työryhmämuistio mmm 2011.

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, 2008. Tuhkanlannoitus. Metsäkustannus Oy.

Metsätilastollinen vuosikirja. 2011.

Moilanen, M. 2011. Tuhkanlannoitus nykytiedon valossa. METLA. Suometsätalous – kutsuseminaari. Vantaa 12.04.2011.

Ohtonen, R. Tuohenmaa, H. 1999. Tuhkanlannoituksen vaikutus männyn ektomykorritsasymbioosiin kangasmailla. Metsätehon raportti.

Oulun Energia. 2012. WWW-dokumentti

http://www.ouluenergia.fi/energiatuotanto/toppilan_voimalaitokset

Pesonen, J. 2012. Oulun biotuhkien fraktiointi, kemialliset ominaisuudet ja hyötykäyttöpotentialiaali. Pro gradu –tutkielma. Oulun yliopisto.

Virtanen, K. 2004. Arseeni Suomen luonnossa, Ympäristövaikutukset ja riskit. Geologian tutkimuskeskus.

Ylitalo, E. 2012. Puun energiakäyttö. metsäntutkimuslaitos, metsätilastollinen tietopalvelu. Metsätilastotiedote 16/2012.

Österbacka, J. 2001. Esikäsittelyn vaikutuksesta puu- ja turvetuhkien ominaisuuksiin ja ravinteiden liukenemiseen. Metsätehon raportti.