

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma  
Ylempi ammattikorkeakoulututkinto

Ismo Kyngäs

ENERGIAPUUN KORJUUN VAIKUTUS HAKKUUTÄHTEIDEN MUKANA  
TAPAHTUVAAN RAVINNEHÄVIKKIIN JA SEN KORJAAMINEN  
TUHKALANNOITUKSELLA

Opinnäytetyö  
Maaliskuu 2015



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Maaliskuu 2015**  
**Ympäristöteknologia**  
**Ylempi ammattikorkeakoulututkinto**

Tikkarinne 9  
80220 JOENSUU  
013 260 600

Tekijä(t)  
Ismo Kyngäs

**Nimeke**  
Energiapuun korjuun vaikutus hakkuutähteiden mukana tapahtuvaan ravinhävikkiin ja sen korjaamiseen tuhkalannoituksella

Toimeksiantaja METLA

**Tiivistelmä**

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, miten energiapuun korjuu vaikuttaa hakkuutähteiden poiskuljetuksen mukana tapahtuvaan ravinhävikkiin. Lisäksi tarkastellaan, miten ravinteiden poiskuljetuksen aiheuttamia muutoksia voidaan korjata tuhkalannoituksella. Tutkimus koostuu kolmesta osa-alueesta: hakkuutähteiden kartoituksesta, tuhkanlevityksestä metsätraktorilla ja Evon tuhkalannoituskokeen tulosten arvioinnista.

Hakkuutähteiden kartoituksessa selvitettiin, kuinka paljon hakkuutähteet peittävät päätehakkuualan pinta-alasta. Hakkuutähdekasojen peittämä pinta-ala vaihteli 9-22 % välillä, mittausalan pinta-alasta. Kasojen ulkopuolella oli vain vähän hakkuutähteitä. Tuloksista voidaan todeta hakkuutähteiden ravinteiden sijoittuvan epätasaisesti hakkuualalla.

Traktorilevityksessä selvitettiin, kuinka tasaisesti raetuhka ja itsekovettuva tuhka leviävät metsätraktorin päälle rakennetulla lautaslevittimellä ja millaista tuhka on laadultaan. Tutkimus osoitti, että ongelmia on levityksen tasaisuudessa, levittimessä ja tuhkaerien laadussa.

Evon kivennäismaan tuhkalannoituskokeen puustomittausten avulla arvioitiin pelkän tuhkalannoituksen ja siihen yhdistetyn typpilannoituksen vaikutuksia puustoon. Pelkkä tuhkalannoitus ei lisännyt tutkimuksessa puuston kasvua, mutta koelaloilla, joille tuhkan ohella oli annettu typpeä 200 kg N/ha, puusto kasvoi merkittävästi paremmin kuin lannoittamattomilla koelaloilla.

Kieli  
suomi

Sivuja 67  
Liitteet 3  
Liitesivumäärä 3

Asiasanat  
energiapuu, tuhkalannoitus, hakkuutähde



**THESIS**  
**March 2015**  
**Degree Programme in Environmental  
Technology UAS Master's Degree**  
Tikkarinne 9  
FI 80200 JOENSUU  
FINLAND  
+358 13 260 600

Author(s)  
Ismo Kyngäs

Title  
Effects of Energy Wood Extraction on Nutrient Loss and Its Compensation with  
Ash Fertilization

Commissioned by METLA

Abstract

The purpose of this study was to determine the effects of harvesting wood fuel on the loss of nutrients that occur in residue extraction. In addition, it was studied, how to compensate the changes caused by the extraction by using ash fertilization.

The study consists of three parts: a survey of logging residue, ash distribution by a forestry tractor and the evaluation of the ash fertilization experiments, carried out by Evo.

The survey of logging residues explains to which extent wood residues cover the final felling area. The area covered by logging residue piles ranged from 9-22 % of the measured surface area.

There was only a small amount of logging residue outside the piles. The results showed that nutrients from the residue are located unevenly on the logging area. The tractor spreading was used to find out how, evenly granule ash and self-curing ash spread by a disc fertilizer spreader, built on a forest tractor and what the quality of the ash is like. The study showed that there are problems in the evenness of distribution a spreader, and in the quality of the ash consignments.

Based on the measurements of the ash fertilization test on mineral soil, carried out by Evo the effects of ash fertilization solely and together with nitrogen fertilization on trees were assessed. The study indicated that the ash fertilization on its own did not increase the tree growth, but on the plots, where nitrogen up to 200 kg N/ha had been given along with ash, the trees grew significantly better than on the unfertilized plots.

Language  
Finnish

Pages 67  
Appendices 3  
Pages of Appendices 3

Keywords

energy wood, ash fertilization, harvesting residue

## Sisällys

1	Johdanto.....	6
2	Hakkuutähteiden kartoitus päätehakkuualoilla .....	9
2.1	Energiapuun korjuu valokuvina	9
2.2	Energiapuunkorjuu päätehakkuualoilta	11
2.3	Mittausten tulokset	12
2.4	Johtopäätökset	13
3	Tuhkan palautus metsään traktorilevityksenä .....	15
3.1	Tuhkan levitys	15
4	Aikaisemmat tuhkan leviämisestä tehdyt selvitykset .....	18
4.1	Miten levitys on onnistunut aikaisemmissa tutkimuksissa	19
4.2	<i>Itsekovettuneen tuhkan testikoe Karstulassa</i>	19
5	Levityskoe .....	23
5.1	Tuhkanlevitys	23
6	Mittausmenetelmät ja näytteiden käsittely.....	24
6.1	Keräyslaatikoiden sijoittelu Kauhajoen kohteella	24
6.2	Keräyslaatikot Kauhajoelta levityksen jälkeen	28
7	Tulokset levityskokeesta.....	29
7.1	Tuhkan raakoostumus koealoittain	29
7.2	Tuhkaerien kosteuspitoisuus	32
7.3	Tuhkaerien ravinnemäärät 2013 mittauskerralla.	34
7.4	Levitystasaisuus koealoittain	35
7.5	Rakeiden laatu	44
7.6	Levitystasaisuus	47
7.7	Levitin	49
8	Puusto .....	50
9	Levitysjäljen parantamisehdotukset.....	51
9.1	Rakeistetun tuhkan laatu ja kosteus	51
9.2	Itsekovettuvan tuhkan laatu ja kosteus	52

9.3	Raetuhkan levitystasaisuus	52
9.4	Levitystasaisuus itsekovettuvalla tuhkalla	53
9.5	Ajourat	53
10	Loppupäätelmät tuhkanlevityksestä.....	54
11	Evon tyyppi-tuhka lannoituskoe .....	55
12	Johtopäätökset.....	60
13	Lähdeluettelo.....	64

#### Liitteet

Liite 1	FA Forestin tuoteseloste
Liite 2	Kaskisten tuhkan tuoteseloste
Liite 3	Evon tuhkan ravinneanalyysi

## 1 Johdanto

Bioenergian käyttö lisääntyy Suomessa koko ajan ja uutta polttokapasiteettia syntyy, kun vanhoja laitoksia uusitaan ja uusia rakennetaan. Moni uusi laitos päätyy puubioenergiaan valitessaan polttoainetta. Bioenergia kiinnostaa ympäristöarvojen ja kotimaisuuden vuoksi. Suomen metsät kasvavat tällä hetkellä enemmän kuin puuta korjataan. Teollisuus on vähentänyt raakapuun käyttöä sulkemalla tehtaita ja supistamalla toimintojaan, mutta raakapuun käyttö energiatuotantoon on lisääntynyt vuoden 2005 määrästä 5,6 miljoonaa kuutiometriä vuoden 2013 määrään noin 9,4 miljoonaa kuutiometriä. (Peltola 2014 241 s.). Suomen maapinta-alasta metsien osuus on 86 % eli 26,2 miljoonaa hehtaaria, josta metsätalouskäytössä on 20,3 miljoonaa hehtaaria. Tällä hetkellä Työtehoseuran selvityksen mukaan oli puuta polttavien lämpöyrittäjien vetämiä lämpölaitoksia Suomessa vuonna 2013 533 kappaletta. Tämän lisäksi suuret energia- ja lämpölaitokset tuottivat kaukolämpöä vuonna 2013 kaikkiaan 31 700 GWh, josta puupohjaisten polttoaineiden osuus oli 23 %. Vuonna 2013 puupohjaiset polttoaineet nousivat tärkeimmäksi energialähteeksi Suomessa. Puupolttoaineen kulutus oli 25 % Suomen energialähteiden kokonaiskulutuksesta. Uusiutuvien energialähteiden osuus vuonna 2013 oli 32 %. Suomessa on mahdollisuus lisätä bioenergian käyttöä vielä moninkertaiseksi nykymääristä, koska metsät kasvavat enemmän kuin niitä hakataan. Suomen metsät kasvavat lähes 104 milj. kuutiota vuodessa, mikä on keskimäärin 4,6 m<sup>3</sup>/ ha. Suomessa hakattiin vuonna 2013 73,9 miljoonaa kuutiometriä. Vuosille 2010- 2019 tehdyn Metsäntutkimuslaitoksen (Metla) arvion mukaan voidaan hakata tukki- ja kuitupuuta vuosittain 72,7 miljoonaa kuutiota ja energiapuuta 21,1 miljoonaa kuutiota. Energiapuusta 15 miljoonaa kuutiota tulee muun hakuun sivutuotteina risuista ja kannoista. (Metsätilastollinen vuosikirja 2014 36)

Tällä hetkellä puutuhkaa kertyy vuosittain arviolta 150 000 - 200 000 tonnia ja turpeen ja puun sekatumua noin 350 000 tonnia (Ojala 2010 6 s.). Tulevaisuudessa määrä lisääntyy huomattavasti, mikäli puuhun perustuvan bioenergian käyttö lisääntyy esitettyjen tavoitteiden mukaisesti. Mikäli tuhkalta ei ole tiedossa hyötykäyttöä, tuhka on lämpölaitoksille ongelmajätettä, ja se voi pahimmassa tapauksessa olla jopa este puun poltolle lämpölaitoksissa.

Metsään levitetään tällä hetkellä tuhkaa vuosittain noin 10 000 tuhannelle hehtaarille (uutiskirje 2013-2) ja loput viedään kaatopaikoille tai ne käytetään täyteaineena rakentamisessa. Metsien lannoitukseen voidaan käyttää sellaista tuhkaa, joka on syntynyt puun, turpeen tai peltobiomassojen poltossa. Tuhkan valmistusta, käyttöä ja kuljetusta säädelään lannoitevalmistelaisissa (539/2006) ja sen perusteella annetuissa asetuksissa lannoitevalmisteista (asetukset nro 12/07, 13/07 ja nro 09/08). Metsään vietävässä tuhkassa pitää fosforin (P) ja kaliumin (K) yhteispitoisuuden olla vähintään 1 %, kalsium (Ca) vähintään 8 % ja kloorin (Cl) enintään 2 % kuiva-aineesta. Metsälannoitteena käytettävässä tuhkassa kadmiumpitoisuus saa olla enintään 17,5 mg kilogrammassa kuiva-ainetta. Lisäksi lannoitevalmisteista on säädetty, että metsätaloudessa kadmiumannos ei siis saa ylittää 60 grammaa hehtaarilla 40 vuoden aikana annettuna.

Tuhkan arvo lannoitteena soilla tiedetään, mutta kangasmailla siitä kaivataan lisää tietoa. Tuhkan luonnolliset käyttökohteet ovat runsaasti typpeä sisältävät suometsät, joilla puuston kasvua rajoittaa fosforin ja kaliumin puute. Lannoitukseen kelpaavia soita Suomessa on 25 000 neliökilometriä. Tuhkalla voidaan korjata myös kasvuhäiriöistä kärsivien suometsien ravinnetilaa. Turpeessa on yleensä vähemmän kivennäisravinteita, fosforia, kaliumia, kalsiumia, booria, sinkkiä ja kuparia kuin kangasmaassa. Tuhkalannoituksen aiheuttamat muutokset maaperän happamuudessa ja alkuainepitoisuuksissa ovat hyvin pitkäaikaisia. Muutokset näkyvät turvemilla selvästi vielä 40–60 vuotta tuhkan levityksen jälkeen (Makkonen 2008, 15). Tuhka on hyvin emäksistä, siksi sen kalkitusvaikutus on metsissä hyvin voimakas. Tuhkalannoitetun pintaturpeen ja kangashumuksen pH-luku voi kohota kasvupaikasta, tuhkan laadusta ja tuhka-annoksesta riippuen 1–3 pH-yksikköä.

Kangasmailla muutokset rajoittuvat kuitenkin aivan pintamaahan noin 10 cm:n kerrokseen. (Saarsalmi & Kukkola 2009).

Kangasmailla puiden kasvua rajoittaa ensisijaisesti typen niukkuus. Koska tuhassa ei ole typpeä, tuhkan vaikutus puuston kasvuun on lannoitteena kangasmetsissä jäänyt vähäiseksi. Joissain tapauksissa puiden kasvu on tuhkalannoituksen seurauksena jopa heikentynyt, koska happamuuden vähentyessä kasvualustan luontaiset typpivarat ovat aluksi sitoutuneet hajottajaeliöstöön. Ruotsalaisen tutkimuksen mukaan viljavimmilla kangasmailla tuhkalannoitus on kuitenkin lisännyt puuston kasvua, kun taas kasvu heikkeni karuimmilla kasvupaikoilla heti lannoituksen jälkeen, koska maan pH muuttuu liian paljon ja muut kasvit sitovat alkuvaiheessa ravinteita itseensä (Jacobson 2003). Pitemmällä aikavälillä kasvu todennäköisesti paranee, kun maan käyttökelpoisien ravinteiden määrät nousevat hajotustoiminnan vilkastuessa.

Biomassaa korjataan pääasiassa viljavilta kangasmailta, mutta kiinnostus karumpia maita kohtaan lisääntyy koko ajan. Tuhkan levitys kangasmaille olisi tästä syystä perustellumpaa ja myös teknisesti helpompaa kuin turvemaille. Bioenergian käyttö lisääntyy Suomessa koko ajan, ja moni uusi laitos päätyy ekologisista syistä puubioenergiaan valitessaan polttoainetta laitokselleen. Polttoaineen kiinnostavuutta lisää kotimaisuus, työllistävyystekijät ja polttoaineen saatavuus.

Tämä tutkimus koostuu kolmesta osa-alueesta, hakkuutähteiden, kartoituksesta, jossa selvitetään kuinka paljon hakkuutähteet peittävät päätehakkuualan pinta-alasta, traktorilla levitettävän tuhkan levitystasaisuuden mittauksesta sekä yhden tuhkalannoituskokeen tulosten analysoinnista.



## 2 Hakkuutähteiden kartoitus päätehakkuualoilla

### 2.1 Energiapuun korjuu valokuvina

Seuraavista kuvista: 1-5 nähdään kuinka tarkasti energiapuu korjuu toteutetaan tällä hetkellä päätehakkuukohteilla.



*Kuva 1: Hakkuutähteet kasalla kuusikossa (Kuva: Ismo Kyngäs.)*



*Kuva. 2: Hakkuutähteet kasalla männikössä (Kuva: Ismo Kyngäs.)*



Kuva. 3: Hakkutähteet pois ajettuna (Kuva: Ismo Kyngäs.)



Kuva. 4: Kannonnosto kaivurilla, jossa kannon halkaiseva korjuupää (Kuva: Ismo Kyngäs.)



Kuva. 5: Kannot nostettuna ja kasattuna hakkuuaukolle kuivumaan (Kuva: Ismo Kyngäs.)

## 2.2 Energiapuunkorjuu päätehakkuualoilta

Energiapuun korjuun lisääntyessä tarvitaan tietoa siitä, miten tasaisesti hakkuutähteiden sisältämät ravinteet jakautuvat hakkuualoilla. Nykyisillä korjuumenetelmillä kasojen keskimääräinen koko on kasvanut ja tästä syystä kasoja on myös aikaisempaa harvemmassa. Tämä tarkoittaa ravinteiden sijoittuvan aiempaa pienemmälle osalle hakkuualaa. Kasojen keskittyminen voi aiheuttaa ravinteiden huuhtoutumista, jos kasvillisuus ei ehdi hyödyntämään kaikkia vapautuvia ravinteita ensimmäisinä hakkuuta seuraavina vuosina. Tällä hetkellä Etelä- Suomalaisesta päätehakkuukuusikosta saadaan kerättyä talteen 30 % latvusmassaa ja 27 % kantoja kun kerätyt määrät ilmoitetaan suhteessa hakattuun ainespuumäärään (Kuusinen & Ilvesniemi 2008, 11).

Tässä työssä käytännön hakkuutähteiden korjuutyömailla tehdyillä mittauksilla selvitettiin, paljonko maapohjan pinta-alasta on hakkuutähteiden peitossa energiapuun korjuun yhteydessä, kun hakkuutähteet ovat kasoille puituna. Mittauksia tehtiin 27 päätehakkuualalla kesällä 2013 kohteilla, joista kerätään

hakkuutähteet. Kohteista suurin osa oli eri urakoitsijoiden tekemiä, mistä syystä aineiston avulla voitiin arvioida myös mahdollinen urakoitsijoiden välinen ero hakkuutähteiden peittävydessä. Mittauksilla selvitettiin kuinka paljon kasat peittävät hakkuualueenpinta-alasta. Neulasista suurin osa varisee kasan alle, kun hakkuutähteet kuivataan palstalla. Mikäli hakkuutähteet ajetaan pois vihreinä, niin melkein kaikki neulasten sisältämät ravinteet viedään pois hakkuualalta.

Hakkuutähteiden peittävyden mittaus toteutettiin tekemällä hakkuualoille 50 metriä X 50 metriä kokoinen ruutu, josta mitattiin kaikkien kasojen pohjapinta-ala ja korkeus. Kohteet valittiin satunnaisesti hakkuuaukkojen keskeltä. Mittauksissa mitattiin kaikki pienetkin risukasat, ainoastaan yksittäiset oksat jätettiin mittaamatta.

### 2.3 Mittausten tulokset



*Kuvio 1 Hakkuutähteiden peittämä ala maapohjasta, % maapohjan kokonaisalasta*

Kasojen peittämä pinta-ala vaihteli 9-22 % välillä mittausalaa pinta-alasta ja keskimäärin kasojen peittämä pinta-ala oli 16 % (Kuvio 1). Kasojen ulkopuolella

oli vain vähän hakkuutähteitä. Tuloksista voidaan todeta hakkuutähteiden ravinteiden sijoittuvan epätasaisesti hakkuualalla. Kasat oli tehty mahdollisimman korkeiksi, mikä helpottaa niiden kuivumista. Kasat on myös helpompi ja nopeampi ajaa pois metsästä. Isojen kasojen etu on myös hakekasojen laadun paraneminen, kun vierasesineiden, kuten kivien ja maa-aineksen osuus kasan kokonaispainosta vähenee. Kasojen korjuussa varisee jonkin verran risuja kasojen ulkopuolelle, mutta pääosa energiapuusta on kasoissa. Kohteiden mittaus tehtiin kesäaikana, mikä parantaa korjuutehokkuutta. Kesällä oksat eivät katkeile kaadettaessa ja karsittaessa samalla lailla kuin talvella niiden ollessa jäässä. Kesäaikaan energiapuu saadaan kerättyä paremmin talteen, kun lumi ja pakkanen eivät vaikeuta korjuuta. Silmämääräisesti arvioituna kesällä hakattujen kasojen ulkopuolella oli vain vähän hakkuutähteitä. Urakoitsijoiden työnlaatu ei vaihdellut mittauskohteilla, vaan kohteet muistuttivat työnlaadultaan toisiaan ja energiapuu oli kerätty tarkasti talteen.

## 2.4 Johtopäätökset

Hakkuutähteiden sisältämistä ravinteista osa häviää energiapuunkorjuun yhteydessä. Metlan tutkimusten mukaan puun maanpäällisessä osassa oksiin ja neulasiin on sitoutunut männynsä 60 % ja kuusessa 70 % puun typpivarjoista. (Helmisaari ym. 2008 18-29 s).

Energiapuun tehostuva korjuu metsistä merkitsee sitä, että metsään jää vähemmän lahoavaa puuta. Kokopuunkorjuuta ollaan lisäämässä ja myös kantojen nosto päätehakkuuleimikoilta on yleistynyt. Harvennuskohdeilla tehty kokopuunkorjuun, jossa runkojen lisäksi metsästä viedään ravinteita runsaimmin sisältävät puunosat, on todettu heikentäneen jäljelle jäävän puuston kasvua, männiköissä 7 % ja kuusikoissa 12 %.. Nykyisillä korjuumenetelmillä, metsästä voidaan viedä käytännössä kaikki biomassa, koska menetelmät ovat kehittyneet ja urakoitsijat ovat oppineet käyttämään koneita tehokkaasti.

Suosittelun käytäntö metsäbioenergiankorjuussa avo- ja harvennushakkuukohteilla on, että hakkuutähteitä pidetään metsässä niin kauan,

että neulaset karisevat maahan, mutta käytännössä monissa tapauksissa energiapuu ajetaan kohteelta tuoreena tienvarsikasaan heti hakkuun jälkeen. Näin tapahtuu varsinkin pienillä hakkuukuvioilla korjuukustannusten minimoimiseksi, koska koneiden siirto maksaa paljon. Hakkuualueilta mistä kannot nostetaan, jätetään ohjeiden mukaisesti toimittaessa nostamatta halkaisijaltaan viimeisessä hakkuussa syntyneitä yli 15 cm olevia havupuunkantoja 25 kappaletta/ha sekä kaikki lehtipuunkannot. Äijälä, Kuusinen & Koistinen (2010, 21). Kannonosto on tällä hetkellä vähäistä johtuen mm. siitä, että lämpölaitoksia, jotka polttavat kantoja on vähän ja muuta energiapuuta on tarjolla enemmän kuin energiapuulla on kysyntää. Kantojen ongelmana on, että ne sisältävät kivennäismaata. Nykyisistä energiapuukattiloista kaikki kattilat eivät kestä kantojen polttamista. Takuu ei korvaa kattiloiden rikkoutumista, mikäli ne hajoavat kun kantoja poltetaan. Kantojen kysyntä lisääntyy, kun laitokset saavat sellaisia kattiloita, joissa voi turvallisesti polttaa kantoja.

Kantojen korjuukustannus on myös liian korkea nykyisillä markkinahinnoilla sellaisille toimijoille energiapuukaupassa, jotka välittävät energiapuuta lämpölaitoksille ja eivät itse omista lämpölaitoksia. Yritykset, jotka omistavat itse lämpölaitoksia, nostavat kantoja varsinkin lämpölaitosten läheltä sijaitsevilta päätehakkuukohteilta. On luultavaa, että bioenergian käytön lisääntyessä ja polttotekniikkojen kehittyessä kantojen käyttö tulevaisuudessa lisääntyy. Nykyään metsien uudistamisessa käytetään maanmuokkausmenetelmänä lähinnä mätästystä. Mätästystä käytetään, kun halutaan taimille paremmat kasvuedellytykset varsinkin herkästi heinittyvillä alueilla. Mätätyksessä pitää pyrkiä tekemään työ niin, että mätästyksellä ei lisätä mättään ravinnekuormitusta.

Jos energiapuunkorjuussa tyydytään vain rankamaiseen puun osaan, voidaan korjuu toteuttaa niin, että ravinnepoistuma on pieni. Ravinnerikkaiden neulasten poiskuljetusta voidaan vähentää varastoimalla hakkuutähdekasvoja hakkuualalla niin pitkään, että neulaset varisevat ennen pois kuljetusta. Korjuutekniikkaa on vaikea muuttaa, niin että energiapuu saataisiin korjattua talteen

mahdollisimman hyvin ja samalla ravinteet leviäisivät mahdollisimman tasaisesti päätehakkuualoille.

### **3 Tuhkan palautus metsään traktorilevityksenä**

#### **3.1 Tuhkan levitys**

Tuhkaa levitetään metsään pääasiassa lentolevityksenä mutta maalevitys lisääntyy koko ajan johtuen kustannussyistä. Maalevitys on huomattavasti halvempaa kuin lentolevitys, mutta levitystasaisuudesta tarvitaan selvityksiä. Tuhkan maalevitys maksaa FA Forestin hinnoilla noin 350 €/ ha ja lentolevitys noin 500 €/ ha. Levityskustannuksiin vaikuttaa oleellisesti levitysalan koko, tuhkan myyjä ja siirtomatkat.

Tässä kappaleessa paneudutaan tuhkan levitystasaisuuden ja metsään toimitetun tuhkan laadun ja ravinnepitoisuuden selvittämiseen. Tuhkan levitystasaisuus ja laatu vaikuttavat oleellisesti siihen, miten hyvä tuottokasvu puustolle saadaan tulevaisuudessa. Levitystasaisuus on tärkeä siksi, että metsikön kaikki puut saavat lähes samat kasvuedellytykset ravinteiden suhteen. Traktorilevitys lisääntyy koko ajan ja siitä tarvitaan lisää tutkittua tietoa. Tässä työssä käytettiin FA Forest Oy:n Viitasaaren laitoksen raetuhkaa, jota levitettiin metsään keväällä 2010 ja 2013 veljekset Knuutilan tuhkan levittämiseen suunnitteleamalla lautaslevittimellä; vuonna 2010 Rantsilassa, Kauhajoella ja Teuvalla sijaitsevilla kohteilla sekä 2013 Oulaisissa ja Sievissä sijaitsevilla kohteilla. Keväällä 2013 Vimpelissä tehdyissä kokeissa käytettiin Otso Metsäpalvelun välittämää Kaskisten itsekovettua tuhkkaa. Levitin (kuva 12) on malliltaan yleisin, mikä Suomessa tällä hetkellä on käytössä tuhkan kaupallisessa levityksessä. Tuhkan syöttö tapahtuu levityslautasille hihnasyöttönä. Käytännön levitystöissä käytettävät kaikki laitteet eivät ole saman valmistajan tekemiä, joten levittimien toiminnassa on todennäköisesti jonkinlaisia eroja.

Työssä selvitetään miten rae- ja itsekovettuva tuhka leviää ja millaiset tuhkamäärät koealoille tulee. Työssä arvioidaan miten levitys traktorilla

onnistuu rae- ja itsekovettuvan tuhkan levityksessä. Selvitysten perusteella voidaan antaa tarkempaa tietoa nykyisillä laitteilla metsään vietävien tuhkan levitystasaisuudesta sekä tuhkamääristä.

Metlan lannoituskokeiden tulokset on saatu koealoilta, joissa on tasainen levitystulos, koska levitys kohteilla on toteutettu käsityönä. Koneellisesti tasaiseen levitystulokseen on vaikeampi päästä. Epätasainen levitystulos voi vaikuttaa puuston kasvuun ja puusto voi kasvaa tulevaisuudessa epätasaisesti.

Kosteusprosentti vaikuttaa oleellisesti metsään levitettävään tuhkamäärään, ellei sitä ole huomioitu levitysmääriä suunniteltaessa. Kosteusprosentin noustessa metsään pitää viedä kilomäärällisesti enemmän tuhkaa, jotta saavutetaan riittävät ravinnemäärät. Aikaisemmissa tutkimuksissa tuhkan punnitus metsässä, jolloin tuhkan kosteusprosentin huomioiminen on ollut vaikeampaa, kun ei ole ollut tiedossa todellista kosteusprosenttia. Tällöin on jouduttu luottamaan myyjän ilmoittamaan kosteusprosenttiin.

Tuhkan ravinnepitoisuudet vaikuttavat oleellisesti myös levitysmääriin: mitä korkeammat tuhkan ravinnepitoisuudet ovat, sitä vähemmän tuhkaa tarvitaan (kg/ha). Kaupallisessa toiminnassa suurin ongelma on pystyä ylläpitämään tasainen laatu tuhkan ravinnemäärissä, kun tuhkaerien laatu vaihtelee. Tuhkassa on monesti puuntuhkaa ja turpeentuhkaa samoissa erissä, koska lämpölaitoksissa niitä poltetaan yhtä aikaa. Turpeentuhkassa on vähemmän ravinteita kuin puuntuhkassa. Tuhkaerien laadunvalvonta on tärkeää, jotta pystytään pitämään laatu hyvänä. Myyjien pitäisi toimittaa tuhkaa ravinnemäärien mukaan, eikä pelkästään tonnia/ha.

Fa Forestin mainoksessa luvataan seuraavasti: ”Hyvin onnistuneella kohdevalinnalla lähes tuottamaton kitukasvuinen suo voidaan muuttaa täyspuustoiseksi, tuottavaksi osaksi metsäomaisuutta. Havupuuvaltaisissa mustikka- ja puolukkaturvekankaiden harvennuskasvuissa tuhkalannoitus lisää vuotuista kasvua yleensä keskimäärin 2-4 m<sup>3</sup>/ha. Ankarista ravinnepuutoksista kärsivillä tyyppirikkailla kohteilla on todettu jopa 15 m<sup>3</sup> vuotuisia kasvulisäyksiä hehtaaria kohden”.



Tuhkan traktorilevityksen tutkiminen on tarpeellista, koska siitä ei ole riittävästi tutkittua tietoa ja levitys lisääntyy metsissä koko ajan. Levittimien kehitys on jäänyt heikoksi kun levityksessä ei ole huomioitu riittävästi levitystasaisuuden merkitystä. Kun tuhkaa levitetään traktorilla, katsotaan tällä hetkellä pääasiassa sitä kuinka paljon levitys maksaa. Levitysjäljen tasaisuudelle ei laiteta suurta painoa. Nykyisillä laitteilla voidaan levittää paljon ja nopeasti, mutta levitystasaisuudessa on parantamisen varaa. Laitteiden säätäminen oikeille tuhkamäärille on hankalaa ja tätä ei helpota tuhkaerien vaihteleva laatu.

Kohteet missä tutkimusta suoritettiin, olivat raetuhkan osalta FA Forestin laitoksilta toimittaman raetuhkan kohteita Teuvalla, Kauhajoella, Oulaisissa, Sievissä ja Rantsilassa kahdella kohteella sekä Otson toimittamat erät itsekovettuvaatuhkaa, kahdella kohteella Vimpelissä. Tuhkat levitettiin keväällä 2010 ja 2013. Kohteista millä levitystasaisuutta tutkittiin, oli 7 harvennuskohteita ja yksi oli taimikko. Kohteet valittiin harvennusmetsistä koska pääosa tuhkan levityksestä tehdään soilla harvennusmetsissä heti harvennuksen jälkeen, kun metsässä on valmiit ajourat ja ne ovat kovettuneita korjuun jälkeen. Harvennushakkuilla ajourien välien leveys vaikuttaa siihen, miten levitys onnistuu. Avohakkuilla levitystasaisuuteen liittyviä vastaavia levityksellisiä ongelmia ei ilmene, koska puusto ei haittaa levitystä.

Tuhkan on todettu Metlan tutkimuksissa lisäävän puuston kasvua turvemaidilla. Moilasan & Issakaisen (2000) mukaan tuhka lisäsi puuston kasvua parhaimmilla kohteilla jopa  $6\text{m}^3/\text{ha}$ , mutta todellisuudessa lisäys on keskimäärin noin  $2\text{-}4\text{ m}^3/\text{ha}$  edellyttäen tasaista lannoitusta. Samaisen raportin mukaan kivennäismailla tuhkalannoituksen avulla ei ole saavutettu kasvun lisäystä. Tällä hetkellä tutkitaan kivennäismailla typen lisäämistä tuhkaan, ja tarkastellaan miten se vaikuttaa puuston kasvuun. Uusimpien tutkimusten mukaan tuhka lisää rehevillä kasvupaikoilla typen vaikutusaikaa metsissä (Saarsalmi ym. 2012 ja 2014). Metlan tutkimuksissa tuhka on levitetty tasaisesti koealoille joten kaikki puut saavat periaatteessa yhtä paljon ravinteita. Kokeissa varsinkin turvemaidilla on käytetty yleensä myös isompia tuhkamääriä hehtaaria kohti, kuin nykyisin levitetään metsään. Koneellisessa levityksessä levitystulos on epätasainen,

levitystulokseen vaikuttavat mm. tuhkan laatu, levityslaitteet, ajouraväli ja puusto.

Puunpolton lisääntyessä syntyvät tuhkamäärät kasvavat. Tästä syystä tuhkaa pitäisi voida levittää ympäri vuoden, jotta tuhka saataisiin palautettua luontoon. Nykymuodossa kun tuhkaa levitetään pääasiassa turvemaille, levitystä voidaan tehdä vain talvikaan, koska suot eivät kesäaikaan kannata raskaita levityskoneita. Talvella levitystä haittaa lumi, ellei levitystä päästä tekemään heti hakkuun jälkeen valmiille kovettuneille ajourille.

Nykyään on olemassa tuhkaa vastaanottavia laitoksia, jotka rakeistavat tuhkan, jotta sitä olisi helpompi levittää metsään. Laitokset sijaitsevat Keski- ja Pohjois-Suomessa. Etelä-Suomen polttolaitoksille pitkät kuljetusmatkat aiheuttavat lisäkustannuksia ja monesti ei ole taloudellista kuljettaa tuhkaa käsiteltäväksi, vaan tuhka viedään kaatopaikoille. Itsekovettuvan tuhkan käyttö metsälannoitteena lisääntyy myös koko ajan johtuen rakeistettua tuhkaa halvemmista levityskustannuksista. Tuhka on halvempaa metsään toimitettuna ja levitys on samanhintaista kuin raetuhkalla.

Tässä työssä toteutetun levityskokeen tarkoituksena on selvittää, kuinka tasaisesti rakeistettu ja itse kovettuva tuhka koneellisesti levitettynä leviää metsään sekä mitä mahdollisia ongelmia levityksessä ilmenee. Tällä tutkimuksella pyritään selvittämään raetuhkan ja itse kovettuvan tuhkan käyttäytymistä, kun eri tuhkalaatuja levitetään samalla metsätraktorin päälle rakennetulla levittimellä. Levitin mitä tutkimuksessa käytettiin, on malliltaan yleisin käytössä oleva levitinmalli eli lautaslevitin, joka levittää tuhkan koneen molemmille puolille.

Tasainen levitystulos on metsänomistajan kannalta tärkeää, koska silloin puusto kasvaa tasaisemmin. Traktorilevitys maksaa raetuhkalla noin 350 €/ ha ja itse kovettuvalla tuhkalla noin 250 €/ ha. Hintaero on suuri, mikäli levitystasaisuus ei ole huomattavasti parempi raetuhkalla kuin itse kovettuvalla tuhkalla.

#### **4 Aikaisemmat tuhkan leviämisestä tehdyt selvitykset**

#### 4.1 Miten levitys on onnistunut aikaisemmissa tutkimuksissa

Hakkilan & Kalajan (1983) tutkimuksessa selvitettiin pölytuhkan (kuorituhkan) leviämistä sen aikaisilla levityslaitteilla. Tuhkasta pääosa levisi levityksessä ajouran läheisyyteen. Tuhkan keveys oli suurin ongelma tässä levitystavassa, koska kevyt tuhka ei lennä millään levittimellä kovin kauaksi. Pölytuhkaa ei nykyään saa levittää terveydellisistä syistä. Tuhkan kosteus oli 33 %, mikä vastaa raetuhkan kosteusprosenttia tässä tutkimuksessa. Levityksessä käytettiin Unimogin alustaan rakennettua levitintä, jossa sama ajoneuvo hoitaa sekä maantiekuljetuksen että tuhkanlevityksen. Toisessa selvityksessä Harri Ahonen (2011) selvitti FA Forestin raetuhkan leviämistä traktorilevityksenä. Tutkimuksessa saatiin samansuuntaisia tuloksia kuin edellisissäkin tutkimuksissa, joissa tuhkasta suurin osa levisi ajouralle tai sen läheisyyteen

#### 4.2 *Itsekovettuneen tuhkan testikoe Karstulassa*

Tuhka oli ajettu ennen levitystä pellolle, jossa se kovettui itsestään kasassa. Levityshetkellä kevättalvella 2009 tuhkakasat olivat sulia, eikä tuhka jäänyt levittimeen. Lämpötila levityshetkellä oli nollan asteen tuntumassa eli ihanteellinen sää runsaasti vettä sisältävän tuhkan levitykselle. Kasoista ei tehty kosteusanalyysejä eikä määriä punnittu. Tutkimuksen tarkoitus oli silmämääräisesti tarkastella, miten tuhka levityksessä levisi. Levityksessä käytettiin samalla periaatteella toimivaa levitintä, kuin millä levitystutkimuksessa levitys suoritettiin (kuva 11). Tuhka levitettiin tasaiselle pellolle, jotta saataisiin mahdollisimman oikea kuva levitystasaisuudesta, ja metsään, jotta saataisiin selville, miten levitys onnistuu metsässä. Ajourien väli kokeessa oli 20 metriä ajouran keskeltä mitattuna. Tuhkasta pääosa levisi ajouralle ja uran läheisyyteen, noin 5 metriä ajouran molemmille puolille. Metsässä kostea tuhka tarttui kiinni puihin, jotka olivat ajouran lähellä.

Seuraavassa kuvasarjassa (Kuvat 6-10) nähdään, miten itsekovettuva tuhka leviää Karstulassa aukealla pellolla ja metsässä.



*Kuva.6 Itsekovetetun tuhkan peltolevitys Karstulassa (Kuva: Ismo Kyngäs.)*



*Kuva 7 Levitysjälki ajouran kummallakin puolella (Kuva: Ismo Kyngäs.)*



*Kuva. 8 Näkymä itsekovetetun tuhkan peltolevityksenä tehdylle saralle (Kuva: Ismo Kyngäs.)*



*Kuva.9 Peltolevityksessä suuri osa tuhkasta on pudonnut ajouralle ja sen välittömään läheisyyteen (Kuva: Ismo Kyngäs.).*



*Kuva.10 Metsälevityksessä puusto vaikuttaa jonkin verran levitystasaisuuteen (Kuva: Ismo Kyngäs.)*

Kuvassa: 11 ja 12 nähdään kaksi eri valmistajan tuhkanlevitykseen suunnittelemaa tuhkanlevitintä. Levittimet ovat toimintaperiaatteeltaan samanlaisia lautaslevittämiä, joissa tuhka tulee lautasille hihnakuljettimella.



*Kuva.11 Levitin 1, jossa levittimen siivet ovat suoria rautalevyjä. (Kuva: Ismo Kyngäs.)*



*Kuva. 12 Levitin 2 (Kuva: Ismo Kyngäs.) Tämä on levitinmalli, jota käytettiin tässä levitystutkimuksessa.*

## 5 Levityskoe

### 5.1 Tuhkanlevitys

Tuhkan levitys suoritettiin kohteilla veljekset Knuutilan metsätraktorilla, joka on suunniteltu tuhkan levitykseen. Laitteella voi enimmillään levittää vuorokaudessa noin 50 ha eli noin 200 000 kg tuhkaa. Laitteeseen mahtuu kerralla enimmillään 10 tonnia tuhkaa. Kaikissa kohteissa oli ajourat valmiiksi metsässä harvennusten jäljiltä. Kohteet olivat tyypillisiä hoidettuja suometsiä, 7 harvennuskohdetta ja 1 taimikko. Harvennuskohteissa aluskasvillisuutta oli vähän, joten se ei vaikuttanut levitystasaisuuteen. Kohteet olivat pääasiassa puustoltaan männiköitä lukuun ottamatta taimikkoa joka oli kuusikko. Harvennuskohteilta mitattiin puusto ja pohjapinta-ala, sekä taimikolta taimien määrä. Levitysten aikana tuuli oli heikkoa tai työntä, joten tuulella ei ollut

todettavaa vaikutusta levitystasaisuuteen. Ainoastaan Vimpelin 1 kokeella oli hankikeli, mikä vaikutti levitystulokseen parantavasti.

## **6 Mittausmenetelmät ja näytteiden käsittely**

### **6.1 Keräyslaatikoiden sijoittelu Kauhajoen kohteella**

Tutkimus suoritettiin asentamalla keräyslaatikot maastoon ennen levitystä (Kuvat 13 ja 14). Keräysrasiat laitettiin seuraavanlaisesti: ensimmäinen keskelle ajouraa, seuraava 3 metrin päähän ja siitä seuraavat 2 metrin välein kohtisuoraan metsään päin. Ensimmäinen keräysrasia ajouralta jouduttiin laittamaan 3 metrin päähän koska 2 metrin kohdalla se olisi jäänyt levityskoneen renkaan alle. Keräyslaatikot jokaiselle kohteelle sijoitettiin yli 190 kappaletta. Laatikot sijoitettiin 0- 19 metrin päähän ajourasta. Jokaiselta kohteelta tulee 20 osanäytettä kyseiseltä etäisyydeltä.

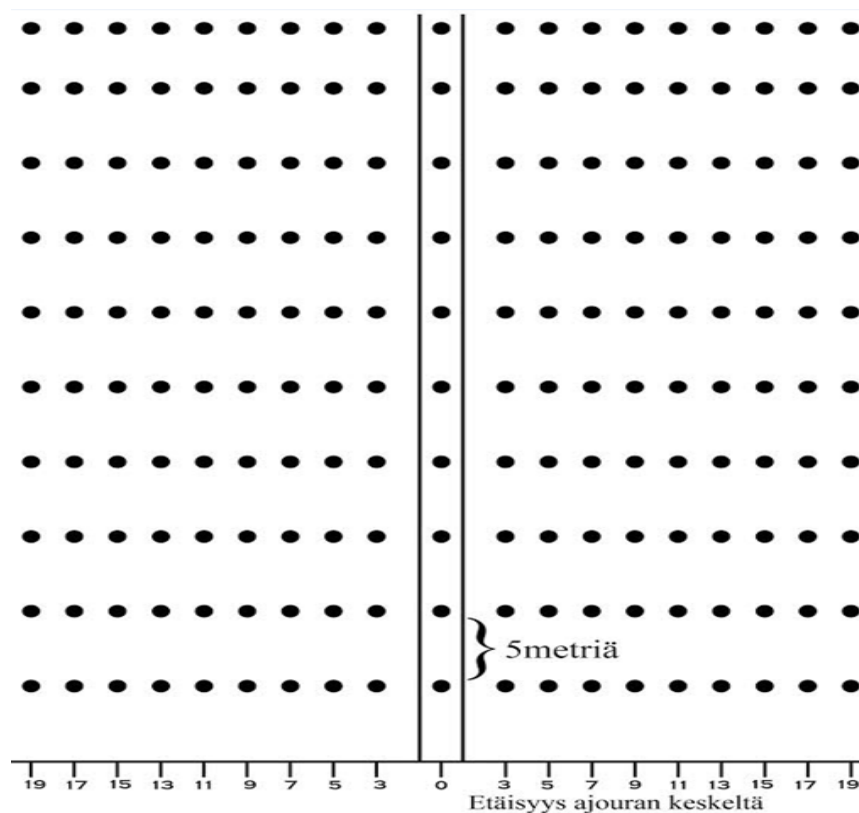
Tutkimuksessa näytteet kerättiin keräysrasioihin (kuva 17), jotka olivat kooltaan  $619,5 \text{ cm}^2$ , joissa oli pussi sisällä. Tällä varmistettiin, että keräyslaatikoihin tullut tuhka saatiin kerättyä mahdollisimman tarkasti talteen. Pussit toimivat myös vaimentimena, kun rakeet osuivat keräysrasioihin. Laatikoissa olevat pussit merkattiin ennen keräystä, jotta ne voitiin laboratoriossa tunnistaa. Tutkimuksessa haluttiin saada mahdollisimman monta osanäytettä mittausalalta, jotta levitystulos saataisiin selvitettyä mahdollisimman tarkasti.

Keräysrasiat asennettiin niin, että keräyslaatikon reuna oli lumenpinnan tasalla. Näin astiaan tulisi se tuhka, mikä kyseiseen paikkaan olisi levityksessä pudonnut. Tutkimus tehtiin talviaikaan, jolloin keräysrasiat saatiin asennettua mahdollisimman oikein lumenpinnan mukaan (kuva 15). Levityksen jälkeen laatikossa oleva pussi solmittiin ja pussit toimitettiin laboratorioon. Laboratoriossa pussit avattiin ja laitettiin lämpökaappiin 45 asteeseen. Tuhkapussien annettiin olla kaapissa niin kauan, että niiden paino ei enää pudonnut, minkä jälkeen pussit nostettiin huoneenlämpöön tasaantumaan.



Punnitus tehtiin, kun tuhka oli huoneenlämpöistä eli ilmakeivää. Punnituksessa punnittiin tuhka pusseissa ja arvosta vähennettiin pussin paino, joka laskettiin kun punnittiin kolmen uuden tyhjän pussin paino ja laskettiin niiden keskiarvo. Tuhkasta poistettiin ennen punnitusta epäpuhtaudet, kuten neulaset ja risut, joita näyteastian oli lentänyt levityksen yhteydessä.

Tuhkasta otettiin metsässä kosteus- ja rakeisuusnäytteet noin 0,5 metrin syvyydeltä kasasta. Näytteistä määritettiin laboratoriossa kosteusprosentti ja raekoostumus. Kosteusnäytteet kuivattiin v. 2010 45 asteessa ja v. 2013 sekä 45 että 115 asteessa. Raekoostumus selvitettiin seulomalla tuhkaerät kuivaamattomista eristä molemmilla mittauskerroilla. Oulaisten, Sievin ja Vimpelin näytteistä otettiin myös näytteet ravinneanalyysejä varten. Näytteet analysoitiin Metlan laboratoriossa. Saatuja ravinnepitoisuuksia verrattiin tutkimuksessa myyjän ilmoittamiin arvoihin (Liite 1 ja 2.).



Kuva 13 Keräyslaatikoiden sijoittelu kokeessa

Kuvissa (14- 18) on esitetty miten näytteidenkeräys suoritettiin tutkimuskohteilla.



*Kuva. 14 Keräyslaatikot asennettuna metsään (Kuva: Jukka Lehtimäki.)*



*Kuva. 15 Keräyslaatikot levityksen jälkeen (Kuva: Ismo Kyngäs.)*



*Kuva.16 Tuhka keräyslaatikossa (Kuva: Ismo Kyngäs.)*



*Kuva.17 Näytteiden pussitus (Kuva: Ismo Kyngäs.)*



*Kuva. 18: Näytteet pussitettuna (Kuva: Ismo Kyngäs.)*

## 6.2 Keräyslaatikot Kauhajoelta levityksen jälkeen

Kuvasta: 19 nähdään miten tuhka levisi levityksessä. Keskellä vasemmalla ajoura, ylhäältä vasemmalta etäisyys ajouran keskeltä 3, 5, 7, 9 ja alhaalta vasemmalta 11, 13, 15, 17 metriä. Kuvasta näkee kuinka tuhkamäärät vähenivät ajouralta poispäin mentäessä.



*Kuva. 19: Näytteet eri etäisyyksillä ajouran keskiviivasta olleissa keräyslaatikoissa (Kuva: Ismo Kyngäs.)*

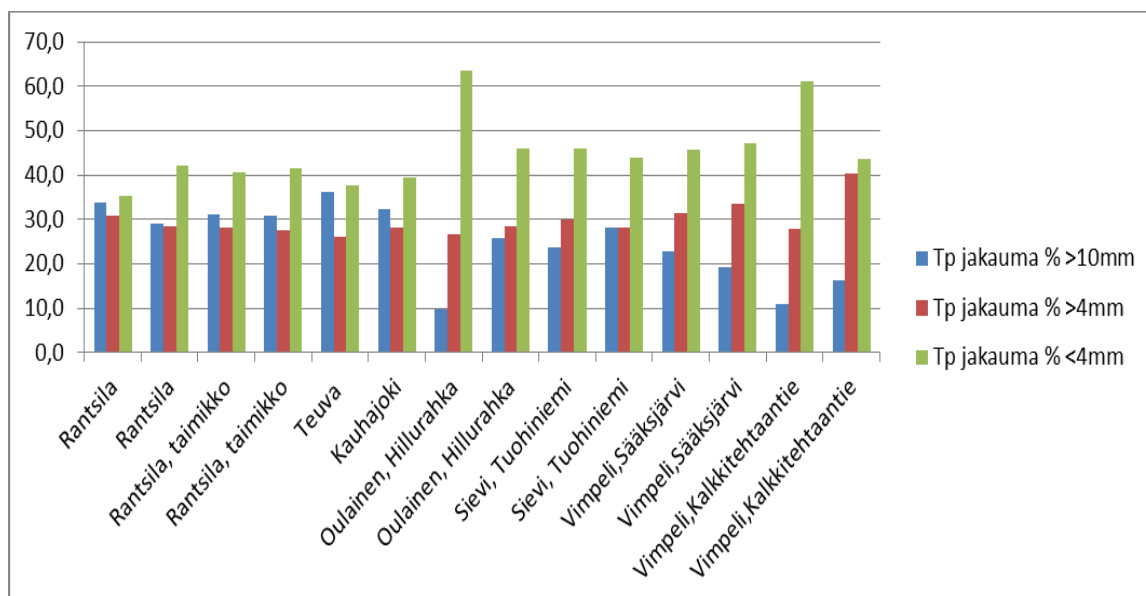
Keräyslaatikot sijoitettiin kuvien 14 ja 15 mukaisesti lumen pinnan tasoon, jotta keräyslaatikot pysyisivät hyvin paikoillaan levityksessä. Tarkoituksena oli selvittää mahdollisimman tarkasti tuhkamäärät, mitkä levityksessä tulee kyseiselle alueelle.

Näytteet kerättiin pusseihin, jotka oli numeroitu ja asennettu keräyslaatikoihin ennen levitystä (kuva 16). Metsästä näytteet vietiin laboratorioon punnittaviksi ja kuivattaviksi. Pussit suljettiin metsässä (kuva 18), jotta kosteus ja tuhka pysyivät pussissa.

## **7 Tulokset levityskokeesta**

### **7.1 Tuhkan raekoostumus koelaittain**

- 1 Rantsila näyte1(raetuhka)
- 2 Rantsila näyte 2(raetuhka)
- 3 Rantsila, taimikko näyte 1(raetuhka)
- 4 Rantsila, taimikko näyte 2(raetuhka)
- 5 Teuva 5.2ha (raetuhka)
- 6 Kauhajoki (raetuhka)
- 7 Oulainen näyte 1(raetuhka)
- 8 Oulainen näyte 2(raetuhka)
- 9 Sievi näyte 1(raetuhka)
- 10 Sievi näyte 2(raetuhka)
- 11 Vimpeli Sääksjärvi näyte 1(itsekovettuva tuhka)
- 12 Vimpeli Sääksjärvi näyte 2(itsekovettuva tuhka)
- 13 Vimpeli Kalkkitehtaantie näyte 1 (itsekovettuva tuhka)
- 14 Vimpeli Kalkkitehtaantie näyte 2 (itsekovettuva tuhka)



*Kuvio 2 Levitetyn tuhkan raekoostumus esitettynä kolmessa kokoluokassa, yli ja alle 4 mm sekä yli 10 mm. Tuhkaerät seulottiin tuoreena. Tp = tuorepaino.*

Fa-Forestin (kuva 20 ja 21) sekä Otso Metsäpalvelun (kuva 22) metsiin toimittaman tuhkan raekoostumus selvitettiin seulomalla tuhkat 10 mm ja 4 mm seulalla. Näytteet seulottiin ennen kuivausta, jotta saataisiin ennen levitystä oleva todellinen lähtötilanne tuhkan laadusta. Näytteet otettiin kasasta noin 0,5 metrin syvyydeltä, jotta näyte edustaisi metsään levitettävää tuhkaa, ja kosteus olisi se, millaisena tuhka metsään toimitetaan.

Seulonnan perusteella yli 4 mm rakeiden osuus raetuhkalla oli noin 60 % ja itsekovettuvalla tuhkalla hieman yli 50 %.



*Kuva 20* Teuvan raetuhkakasa talvella 2010 (Kuva: Ismo Kyngäs.)



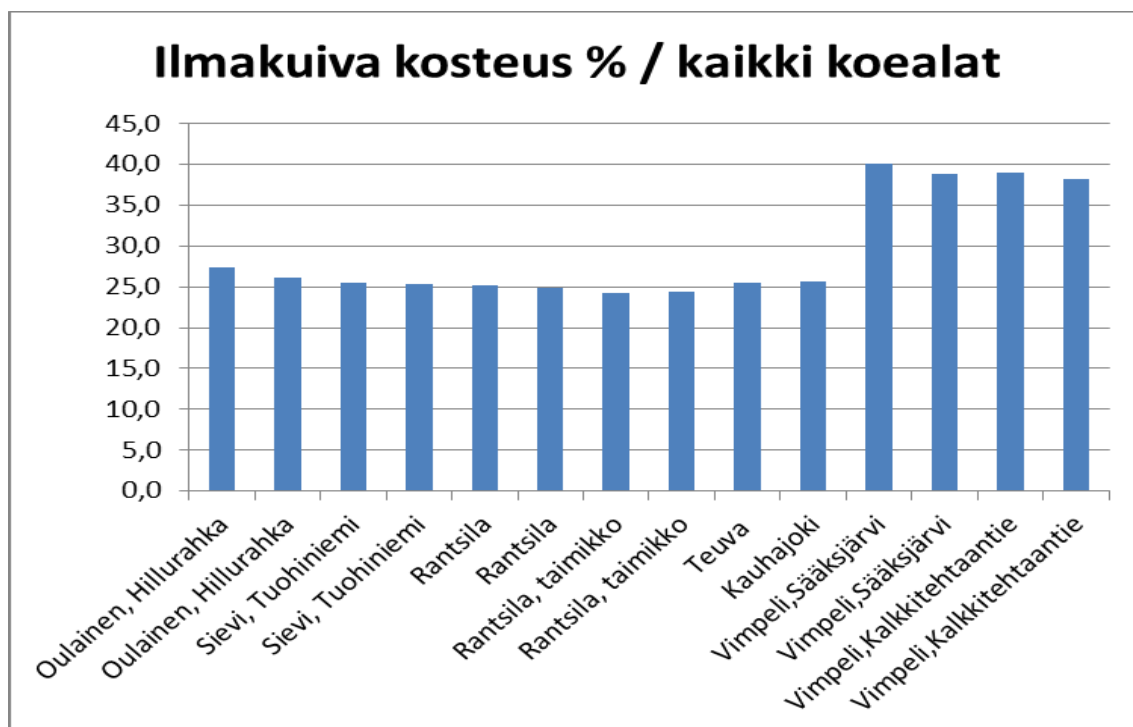
*Kuva 21* Oulaisten raetuhkakasa talvella 2013 (Kuva: Ismo Kyngäs.)



Kuva 22 Vimpeli itsekovettuva tuhka talvella 2013 (Kuva: Ismo Kyngäs.)

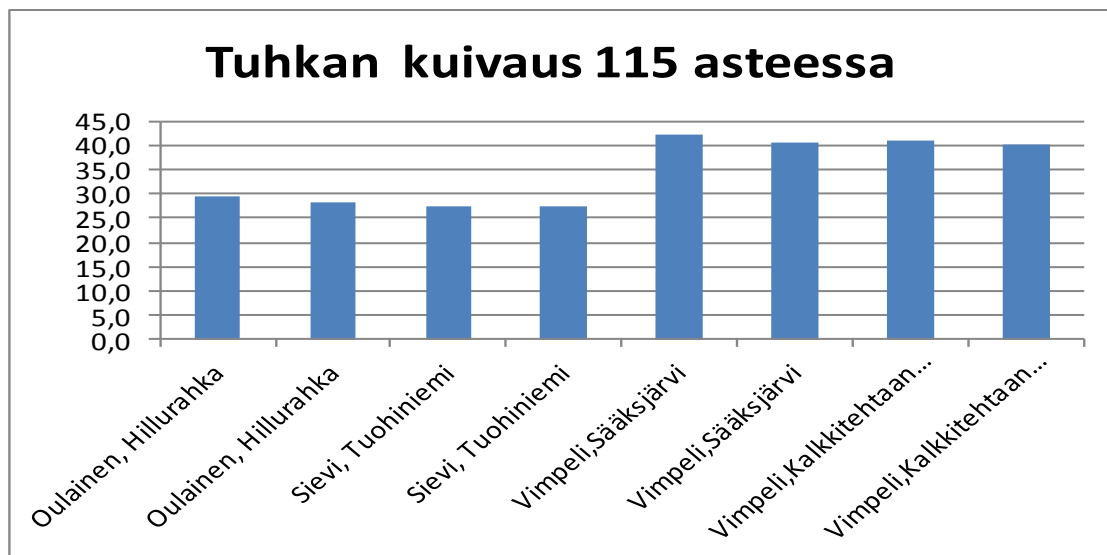
## 7.2 Tuhkaerien kosteuspitoisuus

Tuhkaerät kuivattiin 45 asteessa ja annettiin lämmön tasoittua huoneen lämmössä ennen punnitusta. Tuhka kuivattiin myös 115 lämpötilassa.



Kuvio 3 45 asteen lämpötilassa kuivattujen tuhkaerien kosteus % lähtöpainosta.





*Kuvio 4 Kuivatuslämpötilan nostaminen 105 °C lämpötilaan (=100 % kuivaus) antoi miltei samat kosteusprosentit kuin alhaisemmassa lämpötilassa tehdyt määritykset.*

Raetuhkan kosteus oli ilmakeivana mittausten mukaan noin 25 % molemmilla mittauseroilla vuosina 2010 ja 2013 otetuista näyte eristä ja Kaskisten-tuhkasta 2013 otetuista näyte eristä noin 38 %. Kun tuhkaerät kuivattiin täysin kuiviksi 115 asteessa vuonna 2013 otetuista näytteistä, raetuhkan kosteusprosentti oli noin 27 ja Kaskisten-tuhkan noin 40 prosenttia. FA Forest ilmoittaa tuhkan kosteusprosentiksi noin 10 % ja Otso Metsäpalvelun välittämän Kaskisten-tuhkan kosteusprosentiksi 37,5 %. Kaskisten tuhka on kosteudeltaan lähes sama mitä myyjä ilmoittaa, mutta FA Forestin tuhka on paljon ilmoitettua kosteampaa. Molempia tuhkia oli myyty käyttösuosituksella 4000 kg/ hehtaari. Näillä kosteusprosentteilla laskettuna, mikäli tarkastellaan vain kuivia tuhkamääriä, tulee tuhkamääräksi todellisuudessa FA Forestin tuhkalla 2900 kg/ha ja Otson tuhkalla 2400kg/ha.

### 7.3 Tuhkaerien ravinnemäärät 2013 mittauskerralla.

Näytteenotto- paikkakunta	(Kuningasvesi- uutto)		Al	B	Ca	K	Mg	Na	P
			g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
Oulainen 1a	rakeistettu	FA Forest	30,6	0,661	163	18	11,6	5,75	7,52
Oulainen 1b	rakeistettu	FA Forest	31,6	0,739	162	18,7	12	5,87	7,7
Oulainen 1c	rakeistettu	FA Forest	31,4	0,779	158	18,8	12	5,91	7,81
Oulainen 2a	rakeistettu	FA Forest	31,3	0,171	147	21	12,5	6,6	8,28
Oulainen 2b	rakeistettu	FA Forest	31,1	0,155	162	20,4	12,3	6,5	8,38
Oulainen 2c	rakeistettu	FA Forest	31,1	0,157	155	20,4	12,2	6,47	8,33
Vimpeli 3a	itsekovetettu	Kaskinen	14,5	0,263	162	30,4	19,5	15	13,5
Vimpeli 3b	itsekovetettu	Kaskinen	14	0,266	164	30,3	19,5	14,7	13,7
Vimpeli 3c	itsekovetettu	Kaskinen	14,1	0,264	163	29,9	19,7	14,8	13,8
Vimpeli 4a	itsekovetettu	Kaskinen	13,9	0,237	160	32,6	18,4	15,6	12,8
Vimpeli 4b	itsekovetettu	Kaskinen	13,4	0,238	154	31,5	18,2	15,1	12,8
Vimpeli 4c	itsekovetettu	Kaskinen	13,5	0,243	160	30,5	18,5	15,3	13

*Taulukko 1 Tuhkaerien sisältämät ravinnemäärät*

Turvemaille suositellaan levittämään nykyisillä Metlan ohjeilla fosforia 50 kg/ha, kaliumia 150 kg/ha ja booria 1,5 kg/ha (Issakainen & Huotari 2007).

Taulukossa 1 esitetään tässä työssä käytettyjen tuhkien Metlassa tehdyt ravinneanalyytit keväällä 2013 ennen levitystä otetuista ravinnenäytteistä, joista FA Forest on raetuhkaa ja Kaskisen itsekovettuvaa tuhkua. Ravintoarvoiltaan Kaskisen tuhka oli selvästi parempaa kuin FA Forestin tuhka mitatuissa erissä. Rakeistetun ja itsekovettuvan tuhkan alumiini, boori, kalium, magnesium ja fosforimäärissä oli selkeitä eroja. Rakeistetussa tuhkassa oli enemmän alumiinia ja booria, itsekovettuvassa tuhkassa muita alkuaineita. Tuhkan toimittajien antamat tuoteselosteet on esitetty liitteessä 1 ja 2.

Mikäli levityksessä halutaan päästä Metlan suositusarvoihin fosforin osalta mittauksissa saaduilla arvoilla, pitää tuhkaa levittää kuivana seuraavat määrät. Raetuhkaa pitäisi levittää 6000 kg/ hehtaari ja itsekovettuvaa tuhkua 4000 kg/ hehtaari. Kaliumin osalta raetuhkaa pitäisi levittää 7500 kg/ hehtaari ja itsekovettuvaa tuhkua 5000 kg/ hehtaari. Boorin osalta raetuhkaa pitäisi levittää 9000 kg/ hehtaari ja itsekovettuvaatuhkaa 6000 kg/ hehtaari.

#### 7.4 Levitystasaisuus koealoittain

Tässä kappaleessa esitetään kuuden raetuhkalla lannoitetun kohteen ja kahden itsekovettuvalla tuhkalla lannoitetun kohteen tulokset koealoittain. Tuhkamäärät ovat ilma-kuivia määriä ja tuhkamääriin pitää lisätä raetuhkalla noin 25 % ja itsekovettuvalla tuhkalla noin 38 %, jotta saadaan ne kilomäärät mitä metsään todellisuudessa levitettiin. Metsiin myydään tuhkaa tonneina joissa vesi on mukana.

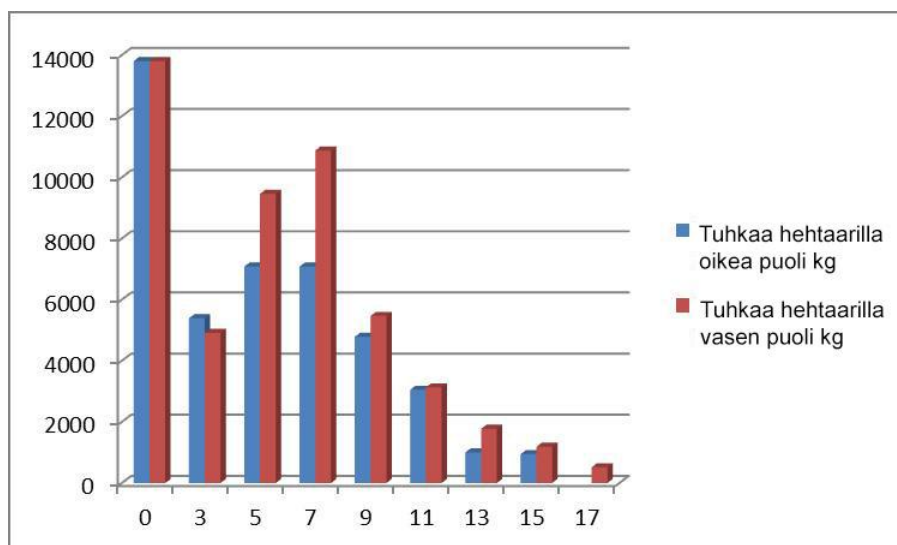
Kohteet olivat harvennettuja männiköitä lukuun ottamatta Rantsila 2, joka oli kuusen taimikko. Raetuhkaa levitettiin, Kauhajoella, Teuvalla, Oulaisissa sekä Rantsilassa kahdella eri kohteella. Itsekovettuvaa tuhkaa levitettiin Vimpelissä kahdella kohteella.

Urakoitsijalle annettiin levitysohjeeksi levittää tuhkaa samoilla levitysmäärillä kuin levitys tehdään käytännön levityksessä. Koealat olivat samantyyppisiä harvennettuja männiköitä, joissa latvus oli noin 1/3 puun pituudesta. Kohteilla oli ajourat, joita pitkin levitys tehtiin, valmiina. Lumi ja tuuli eivät vaikuttaneet levitystuloksiin. Kaikilla kohteilla ajourien väli oli vähintään 30 metriä ja monilla kohteilla ajouraväli oli vielä tätäkin leveämpi. Ajourat kulkivat keskellä sarkaa ja mittauskohteille ei tehty kunnostusojitusta lannoituksen jälkeen. Kohteet olivat hyviä lannoituskohteita tuhkalle. Puusto oli hyväkuntoista ja elinvoimaista.

## koeala 1 Harvennusmetsä Rantsila 1



Kuva 23 Rantsila 1 (Kuva: Ismo Kyngäs.)



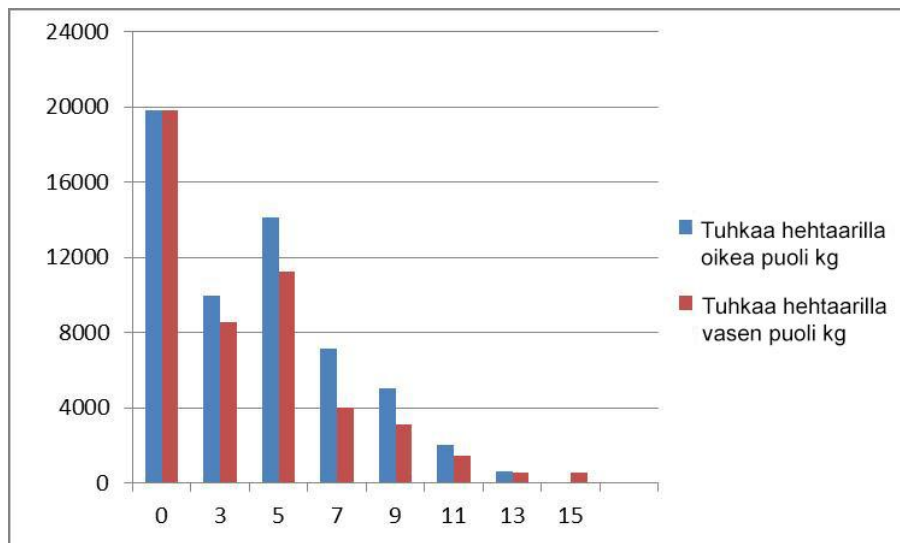
Kuvio 5 Rantsila 1

Koeala oli harvennettu männikkö keskipituudeltaan 13 metriä ja läpimitaltaan noin 14 cm:ä. Levityshetkellä sää oli tyntä ja pakkasen heikkoa. Kohteella oli ajourat valmiina harvennuksen jälkeen, ja lumi ei haitannut levitystä. Tuhka levisi 15 metriin puolelleen. Levitysalueelle tuli tuhkaa 5544 kg eli reilusti enemmän kuin alueelle oli hehtaarikohtaisesti myyty.

## koeala 2 taimikko Rantsila 2



Kuva 24 Rantsila 2 (Kuva: Ismo Kyngäs.)



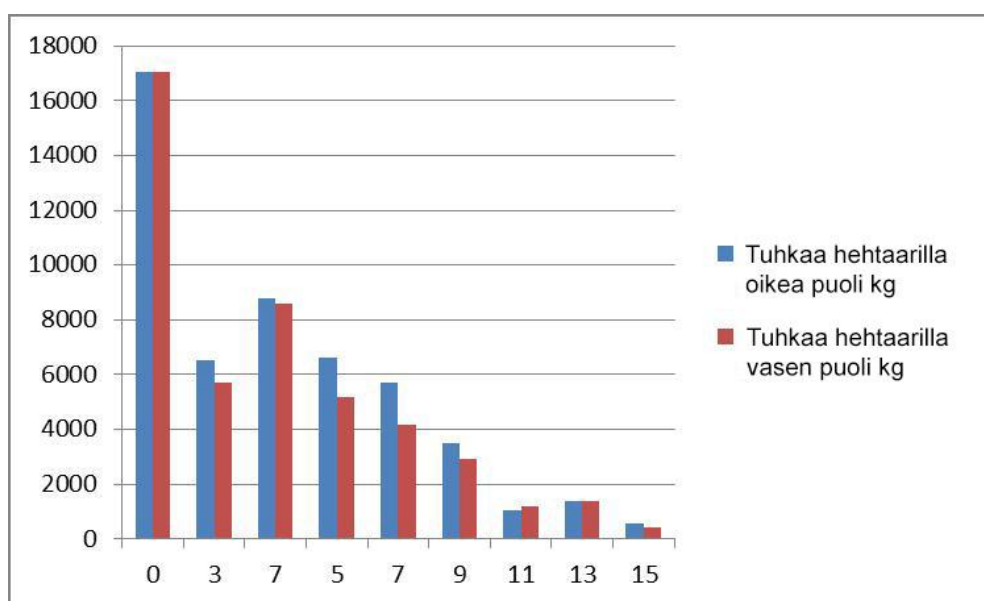
Kuvio 6 Rantsila 2

Koeala oli neljämetrinen kuusen taimikko jossa oksat olivat maahan asti. Puusto ja ajouran puuttuminen haittasivat tuhkan leviämistä jonkin verran mutta suuria eroja tuloksissa ei ollut muihin koealoihin. Levityshetkellä oli tyntä ja pakkanen oli heikkoa. Tuhka levisi 13 metriin puolelleen. Levitysalueelle tuli tuhkaa 7209 kg eli lähes kaksinkertainen tuhkamäärä mitä alueelle oli hehtaarikohtaisesti myyty.

## Koeala 3 Harvennusmetsä Kauhajoki



Kuva 25. Kauhajoki (Kuva: Ismo Kyngäs.)



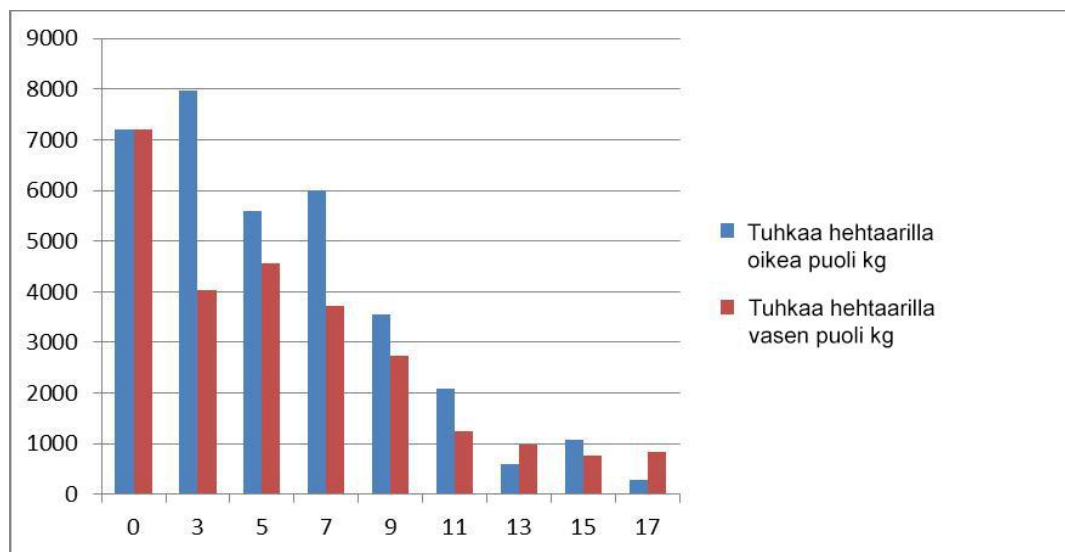
Kuvio 7 Kauhajoki

Koeala oli harvennettu männikkö keskipituudeltaan 14 metriä ja läpimitaltaan noin 16 cm:ä. Levityshetkellä sää oli työntä, ja pakkanen oli heikkoa. Tuhka levisi 9 metriin puolelleen. Levitysalueelle tuli tuhkaa 5436 kg eli reilusti enemmän kuin alueelle oli hehtaarikohtaisesti myyty.

## Koeala 4 Teuva Harvennusmetsä



Kuva 26 Teuva (Kuva: Ismo Kyngäs.)



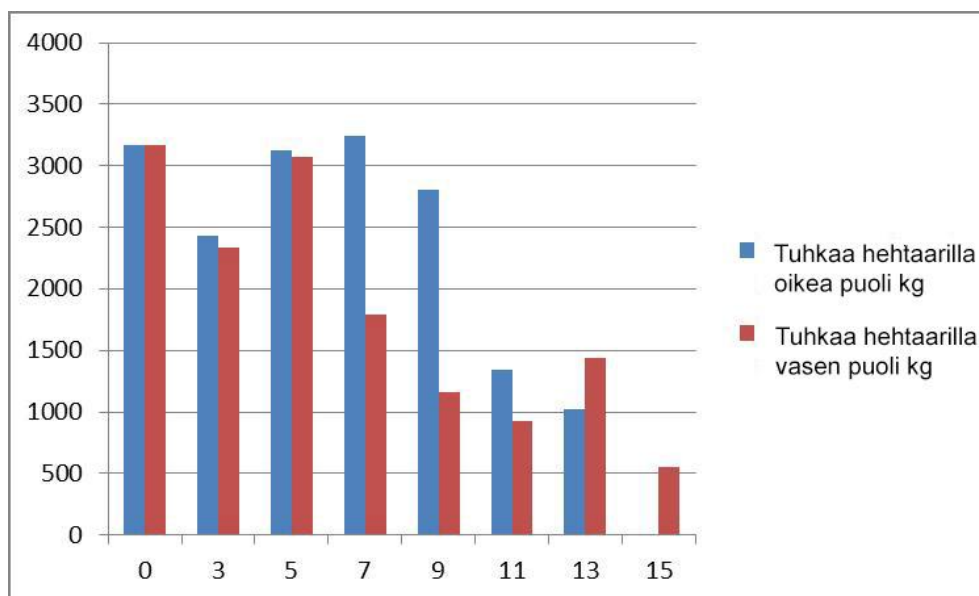
Kuvio 8 Teuva

Koeala oli harvennettu männikkö keskipituudeltaan 15 metriä ja läpimitaltaan noin 18 cm:ä. Levityshetkellä oli tyntä ja pakkasen heikkoa. Lumi ei haitannut levitystä. Tuhka levisi 17 metriin puolelleen. Levitysalueelle tuli tuhkaa 3357 kg eli vähemmän kuin sinne oli myyty.

## Koeala 5 Oulainen Harvennusmetsä



Kuva. 27 Oulainen (Kuva: Ismo Kyngäs.)



Kuvio 9 Oulainen

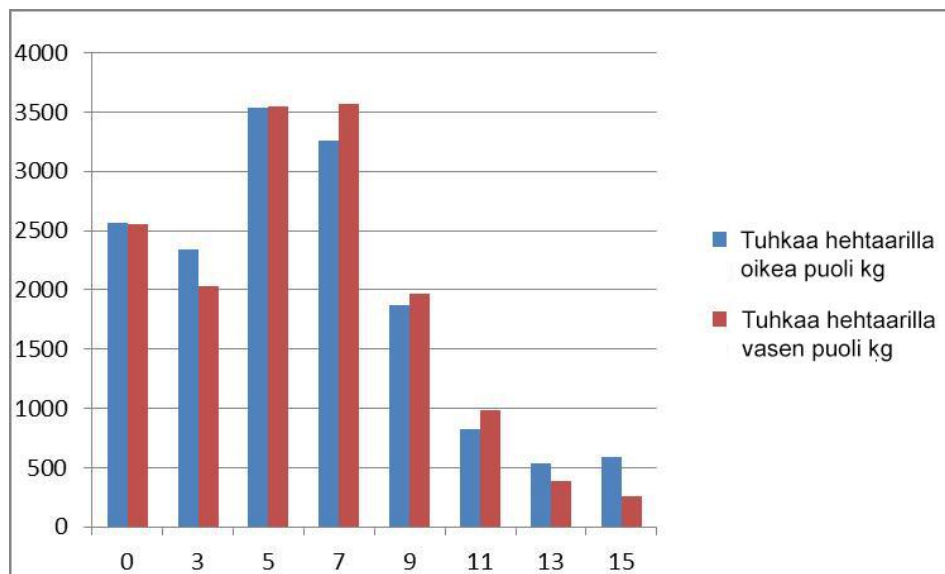
Koeala oli harvennettu männikkö keskipituudeltaan 16 metriä ja läpimitaltaan noin 17 cm:ä. Levityshetkellä oli tyntä ja pakkaneen heikkoa. Tuhka levisi 13 metriin puolelleen. Levitysalueelle tuli tuhkaa 1998 kg eli puolet vähemmän kuin alueelle oli hehtaarikohtaisesti myyty.



## Koeala 6 Harvennusmetsä Sievi



Kuva. 28 Sievi (Kuva: Ismo Kyngäs.)



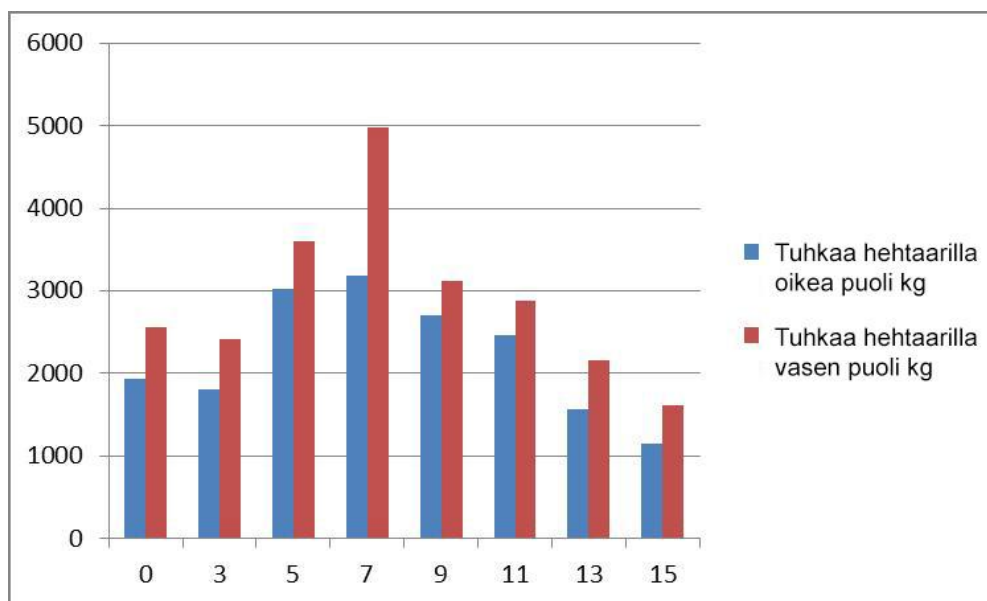
Kuvio 10 Sievi

Koeala oli harvennettu männikkö keskipituudeltaan 12 metriä ja läpimitaltaan noin 16 cm:ä. Levitys hetkellä oli työntä ja pakkaneen heikkoa. Tuhka levisi 15 metriin puolelleen. Levitysalueelle tuli tuhkaa 1926 kg eli puolet vähemmän kuin alueelle oli hehtaarikohtaisesti myyty.

## Koeala 7 Harvennusmetsä Vimpeli 1



Kuva. 29 Vimpeli 1 (Kuva: Ismo Kyngäs.)



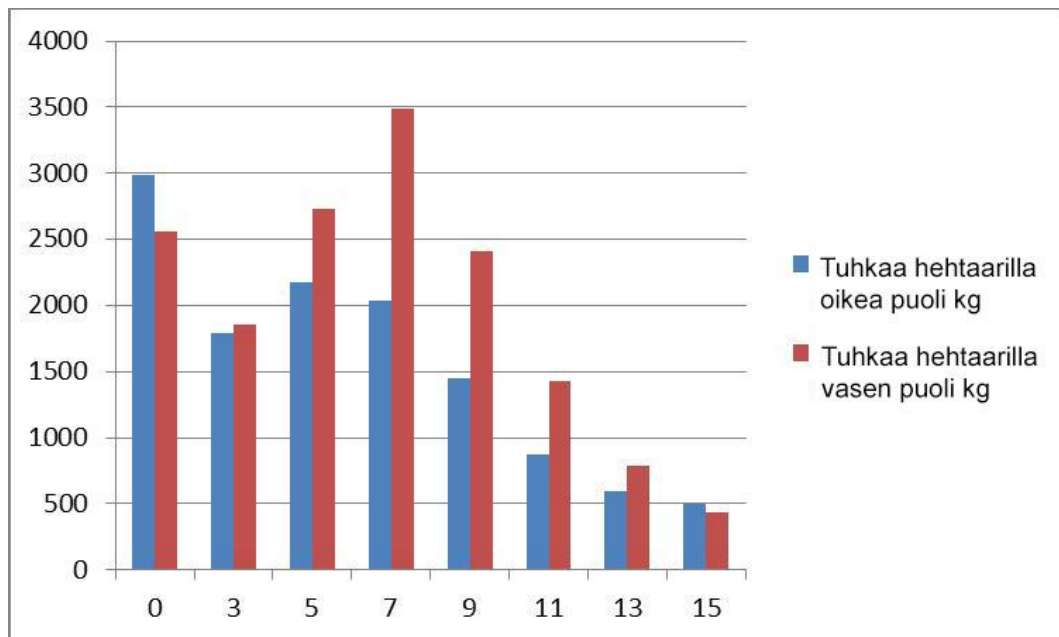
Kuvio 11 Vimpeli 1

Koeala oli harvennettu männikkö keskipituudeltaan 14 metriä ja läpimitaltaan noin 18 cm:ä. Levitys hetkellä oli tyntä ja pakkanen heikkoa. Tulosten arviointia kohteella vaikeutti hankikeli. Tuhka kokkareet pyörivät hankea pitkin, mikä vuoksi tulokset eivät ole verrattavissa muihin levityskohteisiin. Tuhka levisi 15 metriin puolelleen. Levitysalueelle tuli tuhkaa 2570 kg eli lähes puolet vähemmän kuin alueelle oli hehtaarikohtaisesti myyty.

## Koeala 8 Harvennusmetsä Vimpeli 2



Kuva. 30 Vimpeli 2 (Kuva: Ismo Kyngäs.)



Kuvio 12 Vimpeli 2

Koeala oli harvennettu männikkö keskipituudeltaan 16 metriä ja läpimitaltaan noin 17 cm:ä. Levityshetkellä sää oli tyntä ja satoi heikosti tihkua. Tuhka levisi 15 metriin puolelleen. Levitysalueelle tuli tuhkaa 1757 kg eli yli puolet vähemmän kuin alueelle oli hehtaarikohtaisesti myyty.

## 7.5 Rakeiden laatu

Kuvista 31–34 käy ilmi, miten raetuhka leviää metsätraktorilla levitettyinä.



Kuva. 31 Raetuhkan levitystä (Kuva: Jukka Lehtimäki)



Kuva. 32 Raetuhkan levitys käynnissä (Kuva: Jukka Lehtimäki)



*Kuva. 33* Raetuhkan levitystä (Kuva: Jukka Lehtimäki)



*Kuva. 34* Raetuhkan levitystä (Kuva: Jukka Lehtimäki)

Rakeiden lujuuslaadusta ei tehty lujuusominaisuusmittauksia, vaan tarkasteltiin tuhkan käyttäytymistä levityskoneessa. Silmämääräisesti arvioituna parhaiten rakeistettu erä oli Teuvalla, mutta se hajosi levityksen yhteydessä kokonaan.

Teuvan erä hajosi osittain jo kasassa, joten rakeistuksessa on luultavasti ongelmia jo valmistusvaiheessa. Mikäli rakeet hajoavat kuljetuksessa ja kasassa ennen levitystä, ne ovat rakenteeltaan liian heikkoja kestääkseen levitystä.



*Kuva 35 Juupajoen tuhkakasa (Kuva: Ismo Kyngäs.)*



*Kuva 36 Levitysjälkeä Juupajoella (Kuva: Ismo Kyngäs.)*

Juupajoella levitystasaisuutta ei voinut mitata, koska tuhka oli liian suuri rakeista (kuva 35) ja rakeet olisivat mahdollisesti rikkoneet puut normaalilla levitysteholla ja kyseistä tuhkaa ei olisi saanut levittää metsään lainkaan, eikä sitä olisi saanut sinne tehtaalta toimittaa kyseisessä muodossa. Juupajoella urakoitsija levitti rakeita, joista suurimmat olivat 10 cm halkaisijaltaan. Levitystä arvioitiin silmämääräisesti ja valokuvaamalla. Juupajoellakin rakeet murskautuivat kokonaan levityksessä, ja tuhka jäi levityksessä ajouran läheisyyteen (kuva 36). Juupajoen kohde kertoi rakeiden kestävyiden ja niiden käyttäytymisen levittimessä. Kohteella voidaan todeta ongelman olevan levittimessä ja tuhkan rakeiden lujuusominaisuudessa. Tuhka, mikä muistutti mursketta, hajosi pääosin levityskoneessa ja metsään levinnyt tuhka oli pääasiassa pölytuhkaa. Urakoitsija levitti tällä kohteella hitaammilla levitysnopeuksilla, koska rakeet olivat isoja.

## 7.6 Levitystasaisuus

Levitystasaisuus oli kaikilla tutkimuskohteilla samansuuntainen: tuhka ei levinnyt tasaisesti, tuhka levisi enintään 15 metrin etäisyydelle ajourasta, ja yli kymmenen metrin etäisyydelle tuli vain pieni osa tuhkan kokonaismäärästä. Kun ajourien väli on 30 metriä, tuhkasta suurin osa jää ajouran läheisyyteen, ja lannoitettavan 30 leveän alueen laidoilla on noin 5 metrin levyinen kaista, johon tulee vain vähän tuhkaa. Suuri kosteusprosentti paransi raetuhkan levitystasaisuutta. Mikäli kosteus olisi ollut valmistajan ilmoituksen mukainen, levitystulos olisi ollut vielä huonompi.

Levityksessä noin 90 % tuhkasta jäi noin 10 metrin etäisyydelle ajouran keskustasta. Levitystasaisuus on levityksessä suurin ongelma, koska valtaosa tuhkasta jää ajouralle tai ajouran läheisyyteen. Levitystasaisuuteen vaikuttaa eniten tuhkan laatu ja levityslaite. Pölytuhka ei lennä levittimellä riittävän kauas, jotta saataisiin riittävä levitystasaisuus. Soilla päästään harvoin 20 metrin ajouraväleihin ja siten nykyisellä menetelmällä pinta-alasta jää paljon lannoittamatta. Levitystasaisuus vaikuttaa ennustettuun puuston kasvuun, koska epätasaisella lannoituksella ei saavuteta luvattua kasvua. Koska

sarkaojat sijaitsevat 30 m leveän kaistan laidoilla, jonne leviää vain vähän tuhkaa, tuhkan joutuminen suoraan ojiin jää vähäiseksi.

Kokeessa saatujen tulosten perusteella kehittämistä on levityskohteiden suunnittelussa ajourien osalta, levityslaitteissa ja kuljettajien ammattitaidossa. Kohteet ovat monesti harvennushakkuukohteita, joihin lannoitus on myyty jälkikäteen. Harvennuksessa ei ole aina otettu huomioon tulevaa lannoitusta ja sitä, mitä se vaatii ajourien suunnittelussa.



Kuva. 37 Raetuhkanlevitysjälkeä (Kuva: Ismo Kyngäs.)



## 7.7 Levitin



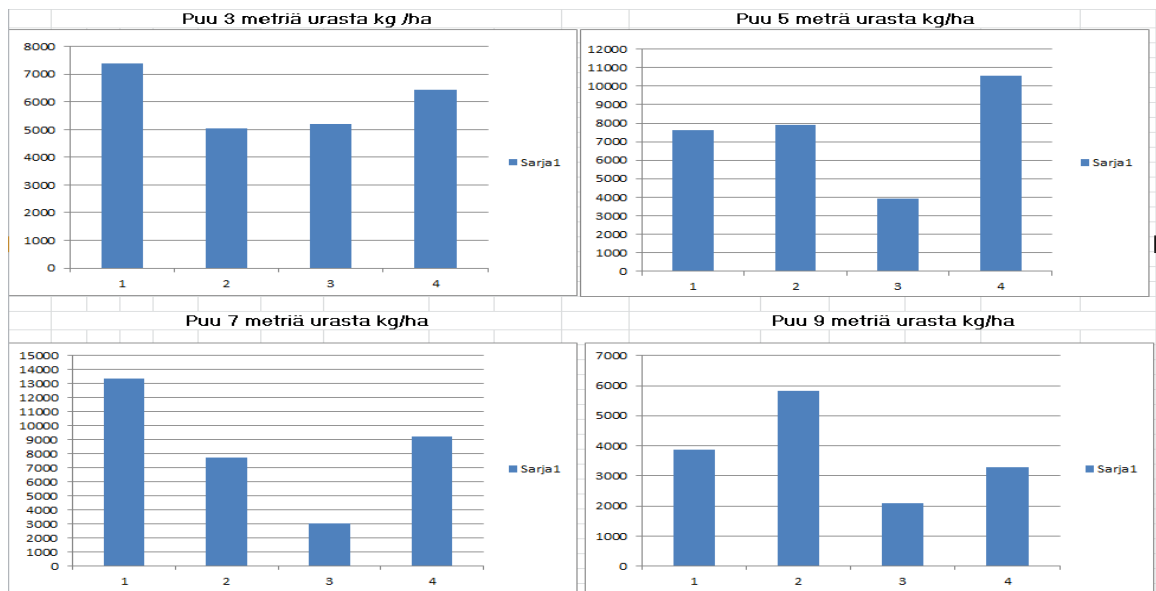
Kuva. 38 Tuhkaerien levityksessä käytetty levitin (Kuva: Ismo Kyngäs.)

Levityksissä levittimenä toimi järeän metsätraktorin päälle rakennettu lautaslevitin (Kuva 38). Levittimessä on kaksi lautaslevitintä, jotka heittävät tuhkaa ajouran molemmille puolille. Tuhkamääriä voidaan säätää hydraulisesti ja molempia levityspuolia voidaan säätää erikseen. Traktoriin saa enimmillään mahtumaan 10 tonnia tuhkaa, millä teoriassa pitäisi pystyä levittämään 2,5 ha. Tuhkamäärät on laskettu niin, että hehtaarikohtainen tuhkamäärä on 4000 kg. Tuhkan syöttö lautasille tapahtuu hihnakuljettimella. Levitin toimii, mutta rakeet murskautuvat kuljettimella ja levityslautasissa. Tuhkamäärän säätely ei toiminut levityksessä hyvin tai kuljettaja ei osannut säätää syöttöä oikeaksi. Tuhkaa tuli enimmillään kaksinkertainen määrä siitä, mitä alueelle oli suunniteltu laitettavan hehtaarikohtaisesti. Syötön säätäminen tutkimuksessa käyttämällä tuhkillä oli levittäjälle erittäin vaikea tehtävä. Tuhkarakeiden pitäisi olla tasalaatuisia ja painoltaan yhtä raskaita, jolloin levittimen säädöt olisi helpompi tehdä mahdollisimman tarkasti ja niitä ei tarvitsisi koko ajan muuttaa.

## 8 Puusto

Puustosta mitattiin läpimitat rinnankorkeudelta (d 1,3) ja pituus sekä taimikkokoealalta 2 mitattiin taimien pituus ja tiheys. Kohteet sijaitsivat vasta harvennetuissa metsissä lukuun ottamatta taimikkoa. Läpimitaltaan puusto vaihteli 10- 20 cm välillä keskipituuden ollessa 13- 17 välillä. Osa puustosta oli oksaisuudeltaan tupsulatvaista. Puustolla ei tutkimuksessa ollut suurtakaan merkitystä tuhkan leviämiseen johtuen osittain tuhkarakeiden hajoamisesta ja suuresta pölytuhkan osuudesta. Rantsila 1 kohteella tehtiin tuhkan leviämiskoe, jossa selvitettiin puuston vaikutusta tuhkan leviämiseen.

Kuvio 13 kertoo miten tuhka on levinnyt rungon eri puolille, kun rasiat ovat asetettu puuhun nähden seuraavasti: 1=uran puoli, 2= rungon vasen puoli, 3=rungon takana, 4=rungon oikea puoli. Kuvasarjoista voidaan todeta tuhkaa kertyneen vähiten puun taakse, mutta muuten tuhka levisi suhteellisen tasaisesti puun eri puolille.



*Kuvio 13.* Puuston vaikutus tuhkan leviämiseen rungon eri puolille 1 = rungon edessä, 2 = rungon oikealla puolella, 3 = rungon takana, 4 = rungon vasemmalla puolella.

## 9 Levitysjäljen parantamisehdotukset

### 9.1 Rakeistetun tuhkan laatu ja kosteus

Tuhkaa rakeistavien laitoksien tulisi heidän kehittää sellainen menetelmä, jolla tuhkasta saadaan tasalaatuista ja riittävän lujaa, jotta raetuhka kestäisi kuljetukset ja levityksen. Rakeet eivät tällä hetkellä kestä kuljetusta ja levitystä. Rakeistamisvaiheessa tuhkan joukkoon pitää lisätä jotain sidosainetta, joka pitää rakeet kasassa levityksessä ja lannoite muistuttaa rakeisuudeltaan kemiallisia lannoitteita. Rakeiden tasalaatuisuuteen on panostettava ja siihen päästään nykyisillä menetelmillä vain seulomalla tuhkaerät. Rakeistuslaitoksissa pitää kehittää menetelmä, jolla voidaan tuottaa tasalaatuista raetuhkaa. Rakeiden laatu vaikuttaa suoraan levitystulokseen, kun levitin voidaan säätää paremmin ja sitä ei tarvitse säätää uudelleen kohteiden vaihtuessa. Erilaatuiset tuhkaerät vaikeuttavat laitteiden säätöä ja hidastavat samalla tuhkan levitystä. Rakeistus helpottaisi myös laitteiden kehitystä ja tasalaatuista raetta voisi levittää myös maatalouskäyttöön tehdyillä levittimillä.

Tuhkaa rakeistavissa laitoksissa laaduntarkkailuun täytyy kiinnittää huomiota, jotta laitoksilta lähtevät tuhkaerät ovat rakeisessa muodossa, ja kosteusarvot ovat sellaiset mitä niille tuoteselosteessa luvataan. Tuhkaerät eivät saa kostua varastoinnissa ennen levitystä tai erät pitää punnita uudelleen levitysvaiheessa ja ottaa niistä kosteusnäytteet. Kosteusprosentti pitää saada kuntoon ja siihen ainut keino on laadunvalvonta.

Raetuhkan suuri pölytuhkan osuus johtuu osittain siitä, että tehtaalta lähtee tuhkaeriä, joissa on mukana liikaa hienoja tuhkalaatuja. Se miksi hienoja laatuja on paljon, johtuu osittain kustannussyistä ja laadun tarkkailun puutteesta. Laadun parantaminen aiheuttaa laitoksille lisäkustannuksia, mutta sillä tavoin tuhka on varteenotettava vaihtoehto kemiallisille lannoitteille. Levitystasaisuutta on mahdoton saada paremmaksi, ennen kuin tuhkan laatu saadaan kuntoon ainakaan nykyään käytössä olevilla levittimillä. Tuhkan laatu vaikuttaa myös

tuhkan ravinteiden huuhtoutumiseen. Pölytuhkasta ravinteet vapautuvat nopeammin maaperään ja vesistöihin, kun taas vastaavasti raetuhkasta ravinteet vapautuvat hitaammin, ja puusto pystyy hyödyntämään ravinteita kauemmin. Raetuhkaa myydään tuotteena jonka lannoitusvaikutus kestää kauan.

## 9.2 Itsekovettuvan tuhkan laatu ja kosteus

Itsekovettuva tuhka oli tutkimuksessa rakenteeltaan pääasiassa hienojakoista ja kosteudeltaan märkää. Itsekovettuvan tuhkan kosteuspitoisuus oli noin 40 %. Itsekovettuvan tuhkan laatua on vaikea parantaa, kun tarkoituksena on, että tuhkaa pidetään ulkona kasoissa, joissa se itse kovettuu. Kasojen kosteus riippuu paljon siitä, millaiset sääolot ovat vallinneet sen jälkeen, kun tuhka on kasattu metsään odottamaan levitystä. Kasojen kosteus vaihtelee paljon kohteittain. Kokeessa mukana olleet erät toimitettiin ennen levitystä, joten ne eivät ehtineet kastua lisää metsässä. Tuhkan kosteuden tulee olla tiedossa siinä vaiheessa, kun tuhka tuodaan metsään, jotta voidaan laskea hehtaarikohtainen lannoitusmäärätarve.

## 9.3 Raetuhkan levitystasaisuus

Levitystasaisuuteen vaikuttaa rakeiden laatu, levityslaitteet, olosuhteet ja levittäjän ammattitaito. Alueelle, mille tuhka levitetään, tulisi olla etukäteen tehdyt ajourat, jotta levitystyössä voitaisiin ajaa mahdollisimman tasaisesti ja samalla vauhdilla. Lannoitus tulee ajoittaa heti korjuun jälkeen, kun metsässä on hyvät ajourat, jotka kantavat levityskonetta. Levittäjän on helpompi seurata ajouria ja lumi ei hidasta eikä vaikeuta levitystä. Ajourien väli vaikuttaa tällä hetkellä eniten levitystulokseen, koska tuhka ei leviä riittävän kauas levityksessä. Ongelmia aiheuttaa myös nykyinen levityskäytäntö, kun levitystä tehdään ympäri vuorokauden. Ojitusalueilla ojien huomioon ottaminen on pimeään aikaan vaikeaa tai miltei mahdotonta. Ojiin päätyy tuhkaa, kun levittäjä ei näe oja.

Tuhkamäärät tulisi laskea ravinnepitoisuuksien ja kosteuden mukaan, jotta kohteelle saataisiin halutun suuruinen ja tasainen levitystulos. Tutkimuksessa levitysmäärät vaihtelivat 3350- 7200 kg/ koe välillä. Tuloksista voi päätellä, että nykyisellä kalustolla ja tuhalla ei päästä tasaiseen levitystulokseen.

#### 9.4 Levitystasaisuus itsekovettuvalla tuhalla

Itsekovettava tuhka levisi aika tasaisesti 9 metriin asti. 20 metrin ajouravälillä levitystasaisuutta voidaan pitää hyvänä, mutta leveämmillä uraväleillä levitys ei onnistu hyvin. Ensimmäisellä kohteella tulosten arviointia vaikeuttaa hankikeli, missä tuhkarakeet rullasivat lumen pintaa pitkin ja urakoitsijan mukaan kuljettaja levitti ensimmäisellä kohteella normaalia enemmän tuhkaa. Toisella kohteella määrät olivat urakoitsijan mukaan sellaisia, mitä levityksessä käytetään, ja levitystasaisuus oli hyvä. Itsekovettuvalla tuhalla levitystasaisuus oli parempi kuin raetuhkalla, mikä johtuu osittain tuhkan suuremmasta kosteudesta. Kosteaa tuhkaa on raskaampaa ja lentää kauemmaksi. Kyseisen tuhkan levitys onnistuu, mikäli pakkasta ei ole liikaa. Pakkasella tuhka jäätyy kasaan ja sitä on vaikea lastata, märkä tuhka tarttuu myös vaunuun ja levittimeen. Tuhkan ongelma on sen levitysjankkohta, koska levitystä voidaan tehdä pääasiassa pakkasjaksojen aikana talvella. Tutkimuksen aikana lämpötila oli 0 asteen tuntumassa, minkä vuoksi levitys onnistui hyvin, eikä jäätymisongelmia ilmennyt. Levitysmääriä tarkasteltaessa tutkimusalueiden hehtaarikohtaiset tuhkamäärät vaihtelivat 1750 kg- 2570 kg/ koe. Tämä vastaa samaa hehtaarikohtaista kilomäärää kuin levitys olisi tehty 30 metrin ajouravälillä. Tuhkamäärä on vähemmän kuin nykyisin suositellaan metsään levitettäväksi.

#### 9.5 Ajourat

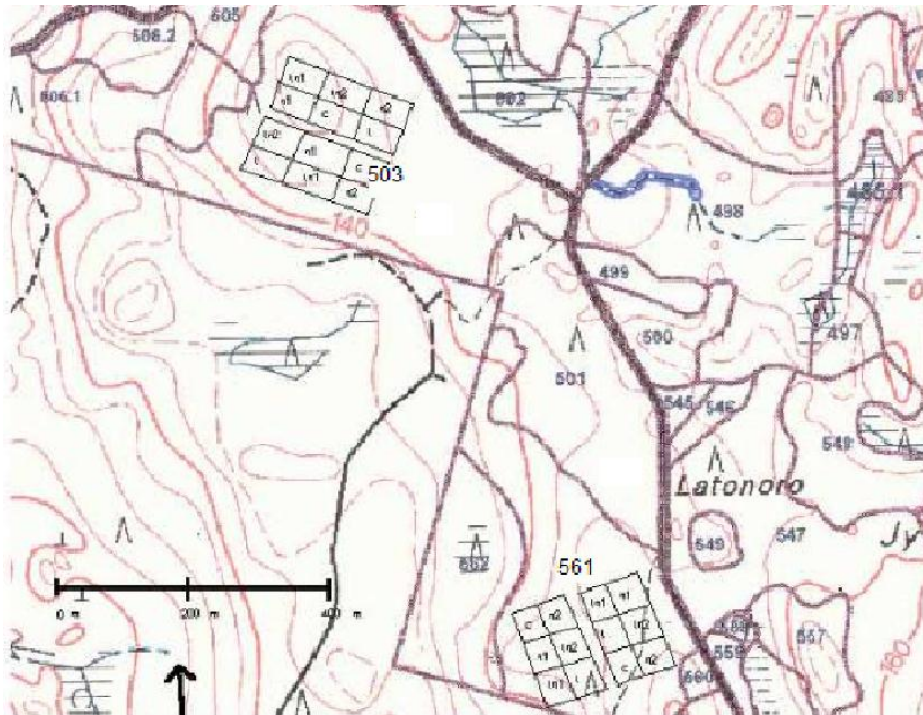
Ajourien suunnittelu näyttelee tärkeintä osaa maalevityksessä nykyisillä tuhkalannoitteilla. Ajourat saisivat mielellään olla alle 20 metriä toisistaan, ihanne leveys olisi noin 18 metriä sekä leveys vähintään 4 metriä. Suot on yleensä ojitettu noin 30- 60 metrin sarkaleveyteen, 30 metrin sarkaväli on yleisin. Usein ajourat tehdään saran keskelle, koska puusto kasvaa yleensä keskellä huonommin ja siellä on helpompi liikkua koneella. Ajourien väliksi tulee noin 30 metriä ja näin ollen levityksessä pinta-alasta jää yli kolmannes

lannoittamatta nykyisillä levityslaitteilla. Ajouravälien kaventaminen olisi yksi vaihtoehto levitystasaisuuden parantamiseksi, mutta samalla puiden juuristovaurioiden määrä lisääntyy ja kasvatettavaa puustoa jää vähemmän metsään. Tästä seuraa kasvutappioita. Leveämpi sarkaleveys helpottaa ajourien suunnittelua ja näillä kohteilla on mahdollisuus päästä parempiin levitystuloksiin. Ongelmaksi muodostuvat ojat, joihin ei saisi mennä tuhkaa levityksessä, mikäli niitä ei avata heti lannoituksen jälkeen. Mielestäni ojat pitäisi avata lannoituksen jälkeen. Näin saavutettaisiin parempi levitystasaisuus ja ravinteita ei huuhtoutuisi vesistöihin. Levityksessä on mahdoton päästä tasaiseen levitystulokseen jos ojat joudutaan huomiomaan levityksessä.

## **10 Loppupäätelmät tuhkanlevityksestä**

Tämän tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että tuhkillä mitä tutkimuksessa levitettiin, ei ole suurtakaan eroa kun tarkastellaan miten raetuhka ja itsekovetettu- tuhka leviävät traktorilevityksessä. Levitysjälkeen vaikutti tuhkanlaatu ja levitin. Raetuhka oli huonolaatuista ja rakeet eivät kestäneet levitintä. Molempien tuhkien ongelma oli kosteusprosentti, joka laski levitettävät tuhkamäärät alle suositusten kun tarkastellaan hehtaari kohtaisia kilomääriä. Kosteusprosentti vastaavasti paransi levitystulosta, koska märkä tuhka lentää kauemmaksi kuin kuivatuhka.

## 11 Evon typpi-tuhka lannoituskoe



Kuva 39 Evon 810 kokeen kartta

Tutkimuksessa tarkasteltiin miten tuhka ja typpi yksinään tai yhdessä annettuna vaikuttavat puuston kasvuun. Koe on perustettu vuonna 2000 lehtomaisen kankaan (OMT) kuusikkoon Evolle. Kuusen osuus puustosta on noin 90 % ja muut puulajit ovat mänty ja rauduskoivu. Maan omistaa UPM, ja kokeen suunnittelusta on vastannut Helsingin yliopisto. Koe on jaettu kahteen eri kuvioon, jotka sijaitsevat noin puolen kilometrin etäisyydellä toisiinsa. lältään puusto lannoitushetkellä oli kuviolla 503 61 vuotta ja kuviolla 561 57 vuotta. Alue oli harvennettu vuonna 1991. Tuhkalannoitteena kokeessa käytettiin UPM: n Voikaan tehtaan kuusen kuorituhkaa ”ks. liite 3”, joka levitettiin koealoille käsin. Lannoituksessa tuhkan määrä laskettiin siten, että fosforin määräksi tuli 30 kg/ha. Typpilannoitteena käytettiin suomen salpietaria (Kemira Ltd.) ja mikrokosmoskokeessa ammoniumnitraattia. Typpilannoitustasot olivat 100 ja 200 kg N ha<sup>-1</sup> (Taulukko 2) Koealat ovat kooltaan 30 m x 30 m ja koealoja on 24. Koealat on jaettu 4 lohkokon. Koealojen välissä on 10 metrin suojakaistat ja lohkojen välissä 30 metrin suojakaistat. Toistoja kokeessa on siten 4 kappaletta. Puusto mitattiin syksyllä 2007 ja samalla puusto kairattiin.



Kuva. 40 Evon kokeen metsää (Kuva: Mikko Kukkola.)

Puuston laskennassa käytettiin Metlassa käytössä olevaa KPL-ohjelmaa ja tilastollisesti tuloksia tarkasteltiin IBM SPSS statistic 20 ohjelmalla.

## 11.2 Tulokset

Keskiarvot käsittelyittäin				
	Käsittely	ppa <sub>1</sub>	ppa <sub>2</sub>	ppa <sub>2</sub> /ppa <sub>1</sub>
Ei lannoitusta	Kontrolli	0,49	0,65	1,32
Typeä 100 kgN/ha	N1	0,49	0,71	1,46
Typeä 200 kgN/ha	N2	0,45	0,65	1,43
Tuhkaa 4500 kg/ha	T	0,44	0,62	1,42
Tuhkaa 4500 kg/ha + typeä 100 kgN/ha	TN1	0,40	0,60	1,51
Tuhkaa 4500 kg/ha + typeä 200 kgN/ha	TN2	0,40	0,65	1,66

*Taulukko 2 Pohjapinta-alan kasvun vertailu ennen ja jälkeen lannoituksen*

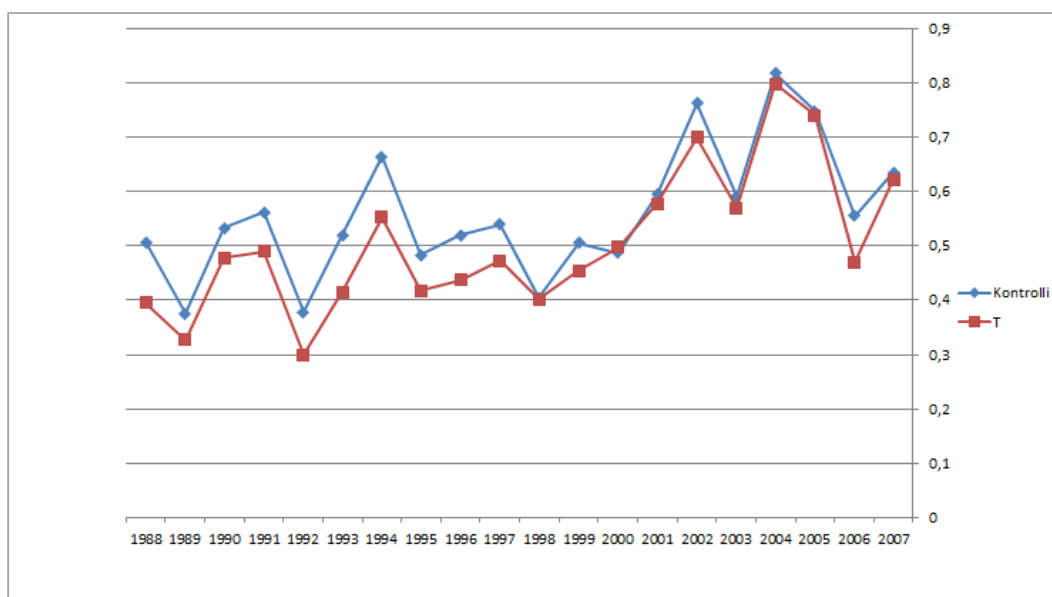
*ppa<sub>2</sub>*= Pohjapinta-alan kasvu lannoituksen jälkeen (kasvukausina 2000–2007) keskimäärin vuotta kohti.

*ppa<sub>1</sub>*= Pohjapinta-alan kasvu ennen lannoitusta (kasvukausina 1995–1999) keskimäärin vuotta kohti.

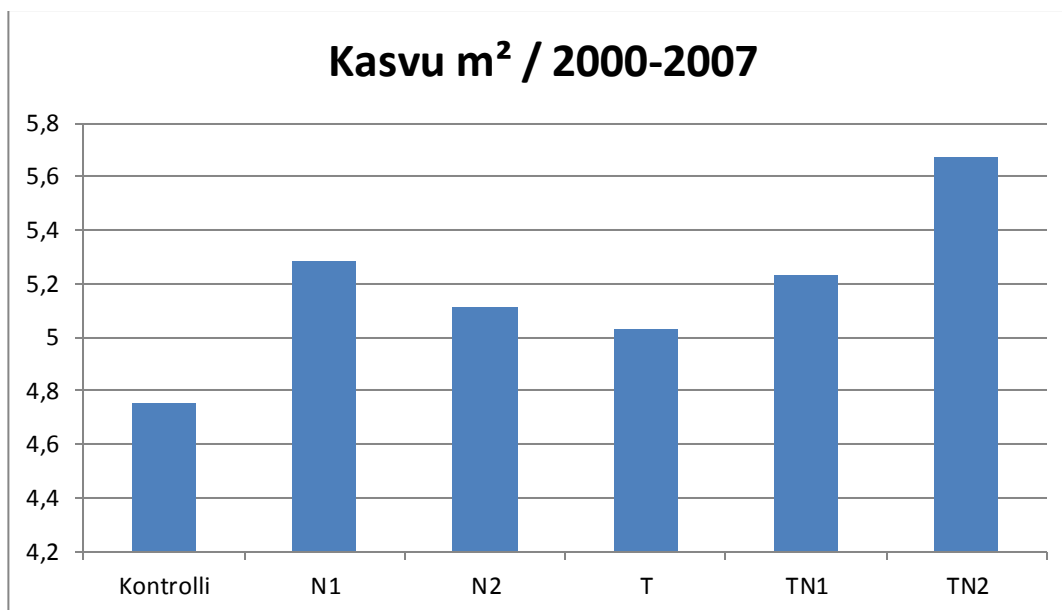




Kuvio 14 Pohjapinta-alan kasvu käsittelyittäin kairaustulosten mukaan käsittelyittäin



Kuvio 15 Pohjapinta-alan kasvu käsittelyittäin lannoittamattomilla koealoilla ja pelkästään tuhalla lannoitetuilla koealoilla.

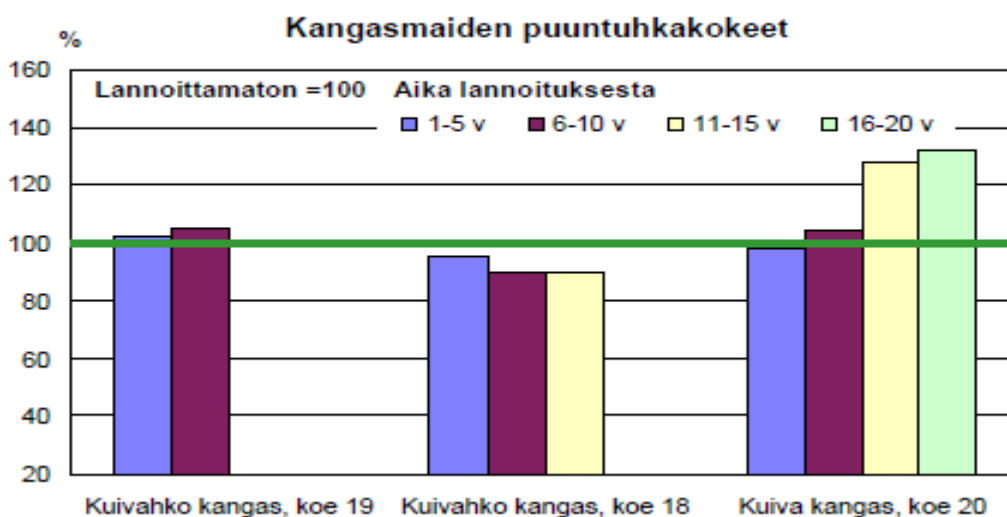


*Kuvio 16 Puuston pohjapinta-alan kasvu tutkimusjaksolla 2000-2007, jossa on käytetty kovariaattina viiden vuoden tilavuuskasvua ennen lannoitusta.*

Pareittain vertailu		
(I) Käsittely	(J) Käsittely	p- arvo
Kontrolli	N1	,069
	N2	,214
	T	,334
	TN1	,129
	TN2	,007
	N1	N2
N1	T	,375
	TN1	,848
	TN2	,203
	N2	T
N2	TN1	,679
	TN2	,062
	T	TN1
T	TN2	,034
	TN1	TN2

*Taulukko 3 Käsittelyjen vertailu, tutkittavana muuttujana pohjapinta-alan kasvu. Kovariaattina on käytetty puuston viiden lannoitusta edeltävän vuoden kasvua. Käsittelyjen välinen ero on tilastollisesti merkitsevä, jos p-arvo on < 0,05.*

Tuloksia tarkasteltaessa (kuvio 15) voidaan todeta kasvuissa olevan eroavaisuuksia ennen lannoitusta. Oikean tuloksen saamiseksi laskennassa käytettiin kovariaattina 5 vuoden kasvua ennen lannoitusta. Tuloksia tilastollisesti tarkasteltuna tehtiin pareittainen vertailu LSD testiä käyttäen. Tilastollisesti merkitsevästi puuston kasvu oli lisääntynyt kontrolliin verrattuna vain käsittelyssä, joka oli saanut tuhkaa ja 200 kg/ha typpeä. Tässä käsittelyssä puusto kasvun lisäys oli myös merkitsevästi suurempi kuin pelkkää tuhkaa saaneilla koealoilla, mutta ei kuitenkaan eronnut muista typpeä sisältävistä käsittelyistä. Aikaisemmissa tutkimuksissa on saatu tuloksia, joissa tuhka ja typpi yhdessä ovat lisänneet puuston kasvua kangasmailla pelkkään typpilannoitukseen verrattuna. Moilanen ja Issakainen tutkimuksissa (2000, kuvio 17) typpi ja tuhkalannoitettujen koealoilla runkopuun kasvu jatkui pitempään kuin niillä koealoilla, jotka oli lannoitettu vain typellä. Evon kokeessa tulosten arviointia vaikeuttaa ennen lannoitusta suoritettu harvennushakkuu ja se, että maaperä on runsasravinteinen. Kaikilla koealoilla kasvu on lisääntynyt, mikä johtuu osaltaan siitä että puusto saa lisää valoa ja hakkuutähteistä vapautuvat ravinteet ovat puuston käytettävissä.



*Kuvio 17 Kangasmaiden puuntuhkakokeet (Moilanen ja Issakainen 2000)*

Männyn suhteellinen tilavuuskasvu kangasmaan tuhkalannoituskokeilla, 5-vuotisjaksoittain. Kokeessa 20 on levitetty tuhkan ohella typpilannoitetta. (Moilanen & Issakainen 2000)

## 12 Johtopäätökset

Selvitysten mukaan hakkuutähteistä saadaan niin haluttaessa kerättyä melkein kaikki energiapuu talteen. Nykyisessä korjuumenetelmässä, jossa hakkuutähteet kasataan isoihin kasoihin, on vaarana ravinteiden huuhtoutuminen, kun pienelle alalle tulee paljon ravinteita, joita kasvavat kasvit eivät ehdi hyödyntää. Kasaamisen seurauksen hakkuualalle jäävät ravinteet sijoittuvat epätasaisesti. Kasojen kohdalla maa on myös hapanta.

Energiapuun korjuutekniikkaa voidaan muuttaa niin, että vain puun rankamainen osa korjataan tai hakkuutähdekasoja varastoidaan hakkuuaukolla niin pitkään, että neulaset ehtivä varista. Tuhkalannoitus on hyvä tapa palauttaa pääosa pois kuljetetuista ravinteista takaisin metsään korjuun jälkeen. Tuhkan levitys metsiin tulee lisääntymään metsien lannoitteena puun polton lisääntyessä ja kun tuhkasta halutaan eroon mahdollisimman edullisesti sekä ekologiset arvot huomioon ottaen. Tuhkalannoitus pitää saada taloudellisesti kannattavaksi vaihtoehdoksi keinolannoitteille ainakin turvemailla. Tuhkalle ja levitykselle pitäisi laatia laatustandardit, missä annettaisiin rajat levitysjäljelle ja levitettävän tuhkan laadulle. Kokeessa mitatuissa erissä kosteus ja ravinnemäärät olivat varsinkin raetuhkalla tuoteselostetta huonommat. Kaskisen tuhkalla arvot olivat lähellä niitä, mitä myyjät ilmoittivat. Ongelmana voidaan pitää sitä, että kosteutta ei otettu huomioon, kun tuhkaa levitettiin. Näin metsänomistajille myytiin tuhkaa käyttösuosituksella 4000 kg/ hehtaari, jossa vesi oli mukana.

Tuhkan levityksen suurimpana ongelmana on tällä hetkellä tuhkan laatu, järkevä toteutus ja kustannustehottomuus. Tutkimus osoitti tuhkamäärien vaihtelevan paljon eri kohteilla ja kohteen eri osissa. Tämä johtuu tuhkan laadusta, levityslaitteista ja levittäjien ammattitaidosta. Levitys suoritetaan nykyään erillisenä työvaiheena, josta kertyy suuria koneiden siirtokuluja, kun etäisyydet kohteiden välillä ovat suuret. Lannoitteen tilaajat ovat suurimmaksi osaksi yksityisiä metsänomistajia, joiden levityskohteet ovat pieniä. Lannoituksessa pitäisi pystyä hyödyntämään enemmän metsissä käytettävää

nykyistä korjuukalustoa ja suorittamaan lannoitus heti korjuun jälkeen. Tämä edellyttää levittimien kehittelyä sellaisiksi, että ne voidaan nopeasti irrottaa ja kytkeä metsätraktoriin. Tällä vältyttäisiin turhilta siirroilta ja kuljettaja tuntisi levityskohteen, kun on ensiksi ajanut puut sieltä pois. Nykyisiä levityslaitteita voitaisiin hyödyntää, kun levitetään tuhkaa päätehakkuualoille. Päätehakkuualoille laitteet sopisivat hyvin. Niillä pystyttäisiin levittämään paljon ja nopeasti tuhkaa, kun ei tarvitse olla niin tarkasta levitysmääristä. Nykyiset levittimet ovat suuria ja raskaita, minkä vuoksi niillä voi levittää lannoitteita vain talvisaikaan, jolloin suot ovat jäässä. Keventämällä levitintä, levittimen käyttöaika pitenisi koskemaan turvemaiden koko korjuuaikaa. Mikäli levitystä voitaisiin tehdä sulanmaan aikaan, vähennettäisiin sillä samalla huuhtoutumisriskiä. Talvilannoitusten yhteydessä vesistöihin huuhtoutuu aina jonkin verran ravinteita sulamisvesien mukana, kun maa on jäässä talven jälkeen.

Tuhka tulisi toimittaa metsään säkkitavarana, jolloin se eivät kerää vettä varastokasassa. Tuhkan tulisi olla tasalaatuista eli seulottua raetta tai muuten tasalaatuista. Tuhkan pitäisi olla leimikolla jo ennen puutavaran ajoa metsästä. Ajokone voisi viedä tuhkan metsään samalla, kun menee hakemaan sieltä puutavaraa. Tästä aiheutuu säästöä ajassa ja kustannuksissa vanhaan menetelmään verrattuna, kun tuhkaa ei tarvitse hakea varastolta asti. Näin levitystä voi jatkaa tasaisesti koko ajan. Menetelmä vähentäisi myös juuristo- ja ajouravaurioita, kun edestakainen ajo urilla vähenisi. Nykyisessä menetelmässä lannoitteen hakuun menee kauemmin kuin itse levitykseen, varsinkin jos lannoitevarasto sijaitsee kauempana. Säkkitavara on helpompi pitää tasalaatuisena kuin irtotavara. Säkkitavara ei kastu kuljetettaessa ja varastoitaessa, eivätkä rakeet rikkoudu niin helposti lastausvaiheissa.

Tuhka on tutkimuksissa todettu erinomaiseksi lannoitteeksi turvemaidella ja sen jatkokäyttöä tutkitaan kivennäismailla. Tuhka sisältää fosforia, kalia, booria ja muita hivenravinteita, joita turvemaidella on usein liian vähän. Tuhkan lannoitusvaikutus kertalannoituksena on turvemaidella moninkertainen verrattuna kemiallisiin lannoitusaineisiin. Tuhkan lannoitusvaikutus kestää turvemaidella kymmeniä vuosia yhdellä lannoituskerralla. Oikein suoritettu lannoitus lisää

puuston kasvua tutkimusten mukaan turvemaiilla keskimäärin 2-4 m<sup>3</sup>/ vuosi ja joillakin paikoilla vielä paljon enemmän.

Kivennäismailla tuhalla ei ole saavutettu vastaavia kasvatulosoksia, mutta sen maaperää parantava kalkitusvaikutus on tiedossa. Tuhka ei sisällä typpeä koska se häviää puusta polton yhteydessä. Kivennäismailla kun tuhkaan on lisätty typpeä, on saavutettu pitempi aikainen lannoitusvaikutus kuin pelkällä typellä lannoitettaessa (Saarsalmi ym. 2012 ja 2014).

Tuhkaa levitetään metsään rakeisessa ja itse kovettuvassa muodossa. Itsekovettuvan tuhkan levitys on lisääntymässä, kun lämpölaitoksia rakennetaan koko ajan lisää ja tuhkasta halutaan päästä eroon mahdollisimman kustannustehokkaasti. Rakeistamisesta aiheutuu lisäkustannuksia samoin kuin tuhkan kuljetuksista rakeistuslaitoksiin ja sieltä takaisin metsään. Tämä tutkimus osoitti että nykyiset raetuhkalaadut eivät leviä aikaisempia laatuja paremmin nykyisillä levittimillä. Rakeistuksella ei saavuteta haluttua parempaa levitystasaisuutta. Koska rakeet rikkoutuivat levityksessä, ne eivät myöskään liukene hitaammin metsään. Ongelmana molemmilla tuhkalaaduilla voidaan pitää suurta vesimäärää.

Lämpölaitokset joutuvat yleensä maksamaan tuhkan poisviennistä. Hinta riippuu tuhkan laadusta. Hinta Helsingin kaatopaikoilla oli syksyllä 2014 156,74 €/ tonni ja punnitus 19,8€/ kuorma.

Raetuhkaa myydään metsänomistajille lannoitteena, joka leviää metsään tasaisesti ja samalla luvataan yhtä suuri puuston kasvun lisäys kuin Metla on esittänyt omien tutkimuksiensa tuloksina. Metlassa on yleensä tutkimuksissa käytetty nykyisiä suosituksia suurempia tuhkamääriä hehtaarilla varsinkin turvemaiilla ja tuhka on levitetty tasaisesti metsään ihmistyönä. Käytännön työmailla kasvu voi jäädä huomattavasti luvattua huonommaksi, mikä johtuu epätasaisesta levitystuloksesta sekä tuhkaerien epätasaisesta laadusta ja määrästä. Puuston kasvusta lannoituksen jälkeen käytännön kohteilla tarvitaan tutkimuksia, joissa selvitetään lannoituksen todellinen vaikutus alueen puustolle ja samalla pystytään laskemaan lannoituksen todellinen vaikutus.

Tutkimuksessa selvitettiin raetuhkaerien koostumuksia vuosilta 2010 ja 2013. Erät olivat rakenteeltaan samanlaisia, eikä parannusta ollut tapahtunut rakeistuksessa eikä kosteudessa vuoden 2010 jälkeen, vaikka ilmoitimme mittauksen tulokset yritykselle. Alalla toimivat rakeistamot ovat pienyrityksiä, joilla on rajallinen mahdollisuus kehittää rakeiden laatua kustannussyistä. Metsäalan muutokset eivät paranna nykyistä tilannetta, kun yhdistykset ja metsäkeskuksesta eriytetty Otso Metsäpalvelu joutuvat hankkimaan rahoituksensa liiketoiminnasta. Metsänomistajien etu jää helposti huomioimatta, kun lannoitusten myyntimäärät ovat suhteessa myyjien tulokseen. Isommat määrät lisäävät levityskustannuksia ja minkä seurauksena levitystä on vaikeampi markkinoida metsänomistajille. Paras keino olisi, että lannoitteen valmistaja myisi tuotteen suoraan metsänomistajille tai urakointia hoitaville yrityksille. Tällä tavoin myyjä olisi suoraan vastuussa työn laadusta.

Terveyslannoituksiin on mahdollisuus saada täällä hetkellä valtion kemera-tukea. Tuet maksetaan hehtaarikohtaisesti, joten levitysjäljen seurantaan pitäisi tulevaisuudessa keskittyä entistä tarkemmin tai muuten lannoituksiin sijoitetut rahat menevät osittain hukkaan. Levitystasaisuudelle pitäisi säätää kriteerit sille, milloin levitysjälki olisi hyväksyttävää. Vaatimusten tiukentaminen pakottaisi tuhkan toimittajat laadun kehittämiseen, ja levittäjät joutuisivat panostamaan laitteiden kehittämiseen.

Evon viljavassa kuusikossa tuhalla ei yksinään ollut vaikutusta puuston kasvuun. Tuhkan ohella annettu typpilannoitus ei myöskään lisännyt merkittävästi puuston kasvua pelkkään typpilannoitukseen verrattuna. Kuitenkin, käsittelyssä, jossa tuhkan ohella oli annettu typpeä  $200 \text{ kg N ha}^{-1}$ , puusto kasvoi merkittävästi paremmin kuin lannoittamattomilla koealoilla.

## 13 Lähdeluettelo

### Lähteet

1. Ahonen, Harri. 2011. Rakeistetun tuhkalannoitteen leviäminen maakonelevityksessä
2. Moilanen & Issakainen Metsätehon raportti 93 30.5.2000 32 s.
3. Hakkila, P. & Kalaja, H.1983. Puu- ja kuorituhkan palauttamisen tekniikka. Folia For. 552
4. Helmisaari, H.-S., Finér, L., Kukkola, M., Lindroos, A.-J., LUIRO, J., Piirainen, S., Saarsalmi, A., Smolander, A. & Tamminen, P. 2008. Energiapuun korjuu ja metsän ravinnetase ja Tapion ja Metlan julkaisuja 2008 Energiapuunkorjuuraportti 18–29 s.
5. Issakainen J & Huotari N (2007) Suopohjien metsittäminen. Moniste, 11 s.
6. Metsätilastollinen vuosikirja 2014 241s.
7. Jacobson, S. 2003. Addition of stabilized wood ashes to Swedish coniferous stands on mineral soils – effects on stem growth and needle nutrient concentrations. *Silva Fennica* 37: 437–450.
8. Kuusinen, M & Ilvesniemi, H. ENERGIAPUUN KORJUUN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET Tutkimusraportti 2008 11 s.
9. Ojala, E Selvitys puu- ja turvetuhkan lannoite sekä muusta hyötykäytöstä 31.8.2010 6 s.
10. Peltola, Kaila & Ihalainen ym. Metsätilastollinen vuosikirja 2014
11. Saarsalmi, A., Smolander, A., Kukkola, M., Moilanen, M. & Saramäki, J. 2012. 30-year effects of wood ash and nitrogen fertilization on soil chemical properties, soil microbial processes and stand growth in a Scots pine stand. *Forest Ecology and Management* 278: 63-70.
12. Saarsalmi, A., Smolander, A., Moilanen, M., Kukkola, M. 2014. Wood ash in boreal, low-productive pine stands on upland and peatland sites: Long-term effects on stand growth and soil properties. *Forest Ecology and Management* 327: 86-95.
13. Saarsalmi, A & Kukkola, M. Tuhkalannoituksen vaikutus maaperään ja puuston kasvuun. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2009).
14. Timo Makkonen. Hyvän metsänhoidon opassarja. Tuhkalannoitus Tapio 2008 15 s.
15. Äijälä, O. Kuusinen, M. & A Koistinen, A. Hyvän metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen ja kasvatukseen 2010 21 s.
16. <http://www.metla.fi/uutiskirje/metpro/2013-2/uutinen-2.html>



## Liite 1

## FA Forestin tuoteseloste

## Tuotteen ominaisuudet

<b>Kokonaisfosfori (P)</b>	<b>0,9 %-1,1 %</b>	<b>Boori (B)</b>	
<b>Vesiliukoinen fosfori</b>	<b>0,05 %</b>	Ecolan © T-4000	0,02 %
<b>Kokonaiskalium (K)</b>	<b>2,6 %</b>	Ecolan © BT-4000	0,05 %
		Magnesium (Mg)	1,2 %
<b>Kokonaiskalsium (Ca)</b>	<b>14–17 %</b>	Kupari (Cu)	0,01 %
<b>Neutralointikyky (Ca)</b>	<b>22 %</b>	Rauta (Fe)	1,5 %
		Mangaani (Mn)	0,6 %
		Sinkki (Zn)	0,2 %

Ravinteiden määrä on ilmoitettu prosentteina kuiva-aineesta. Tuotteen haitta-ainepitoisuudet alittavat metsäkäytölle asetetut raja-arvot.

Suosittelut käyttömäärät on 3000–5000 kg/ha. Vesistöjen rannoille on jätettävä vähintään 25 metrin levyinen suojavyöhyke. Metsätuhkia voidaan levittää kaikkina vuodenaikoina.

## Liite 2

## Kaskisten tuhkan tuoteseloste



## TUOTESELOSTE

## METSÄTUHKA

Kauppanimi	Kuorituhka
Raaka-aineet	Puun kuori 90 %, Prosessiliete 10 %
Neutralointikyky	14 % (Ca)
Pääravinteet	

## Sivuravinteet

	Pitoisuus kuiva-aineessa % ka.
Fosfori (P)	1,1
Vesiliukoinen fosfori	<0,1
Kalium (K)	4,2
Kalium ja fosfori	5,40

## Hivenravinteet

	Pitoisuus kuiva-aineessa % ka.
Kalsium (Ca)	11,1
Magnesium (Mg)	1,01

## Haitalliset metallit

	Pitoisuus kuiva-aineessa % ka.
Mangaani (Mn)	0,60
Boori (B)	0,017
Molybdeeni (Mo)	0,0053

	Pitoisuus kuiva-aineessa mg/kg
Arseeni (As)	<6,4
Elohopea (Hg)	< 0,07
Kadmium (Cd)	< 15
Kromi (Cr)	<43
Kupari (Cu)	<91
Lyijy (Pb)	< 45
Nikkeli (Ni)	<50
Sinkki (Zn)	< 1750

Kosteus (H<sub>2</sub>O) 37,50 % (Tulos kerällynäyttöestä 31.01.2013)

Käyttötarkoitus Metsälannoitus

## Käyttöohje

Tuotteen käyttötarkoitus on metsälannoitus. Ojitetuille turvemaille puorten ja vartuneiden kasvatusmetsien lannoitukseen kohteille, joilla ei ole pulaa tyydestä ja puusto on kasvatuskelpoista. Suositeltavat levitysmäärät ovat fosfori 40-50 kg/ha ja kalium 80-100 kg/ha, mistä muodostuu tarvittava tuhkan levitysmäärä hehtaariin. Kadmiumin enimmäiskuormitus saa olla enintään 100 g/ha ja arseenin enintään 160 g/ha 60 vuoden ajanjaksona annettuna. Lannoittamaton suoja-aiesta purojen varsille vähintään 15 metriä ja muiden vesistöjen varsille vähintään 50 metriä.

Valmistaja ja valmistuspaikka

Metsä Board Oy, Kaskisten tehdas

64260 Kaskinen  
01046 69501

## Liite 3

## Evon tuhkan ravinneanalyysi

TAULUKKO 1 Voikkaan paperitehtaan kuusenkuorituhkan koostumus  
(Metsäntutkimuslaitos, J. Issakainen, kirj. ilm.). Pitoisuudet  
mg g<sup>-1</sup>. 9 mittausta.

Alkuaine	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Al	Cr	Ni	Cd
Mediaani	9,4	28	351	18	11	9,6	2,4	0,08	0,2	0,01	0,06	0,07	0,02
Min	8,6	22	320	16	10	8,7	1,9	0,07	0,17	0,01	0,06	0,04	0,01
Max	9,9	33	369	19	14	10,4	3,0	0,10	0,22	0,01	0,08	0,10	0,02