



Miten voitaisiin purkaa tuhkalannoituksen käytännön esteitä, jotta tuhkan kierrättäminen onnistuisi paremmin?

Samuli Joensuu

# Sisällys

## 1

<b>1. Monimutkainen toimintaympäristö .....</b>	<b>3</b>
1.1 Lannoitusinto herää.....	3
1.2 Metsälannoituksen suosio romahtaa .....	4
<b>2. Korkeat logistiset kustannukset .....</b>	<b>5</b>
2.1 Tuhkan pölyämisen vähentäminen .....	5
2.2 Tuhkan palautuksen logistiikka .....	6
2.2.1 Tuhkalannoituksen soveltuvuus eri metsätyypeille .....	6
2.2.2 Tuhkan maa- ja helikopterilevitys ja niiden kustannukset .....	8
2.2.3 Tuhkan levityksen kustannukset .....	9
2.3 Maarakentaminen .....	10
<b>3. Tuhkalannoitteen levityksen tasaisuuden varmistaminen .....</b>	<b>10</b>
<b>4. Asiakaskyselyjen tuloksia .....</b>	<b>11</b>
4.1 Retkeilyn kyselyn keskeiset tulokset .....	11
4.2 Tapio Oy:n kyselyn tuloksia .....	11
<b>5. Konkreettiset toimenpiteet ja suositukset yhteistoimintaan kirjallisuuden perusteella.....</b>	<b>13</b>
<b>Kirjallisuus .....</b>	<b>15</b>

# 1. Monimutkainen toimintaympäristö

## 1.1 Lannoitusinto herää

Nykyaikaisen metsänhoidon osana metsälannoituksesta on tutkimustietoa jo viime vuosisadan alkupuolelta lähtien. Ajatuksen metsälannoituskokeiden aloittamisesta Suomessa esitti Evon metsäkoulun opettaja Bernhard Eriksson jo vuonna 1897 (Tuokko 1997). Ensimmäiset kalkituskokeet perustettiin Evolle ja Tuomarniemelle vuosina 1909-1912. Tuhka on samoin ollut pitkään mielenkiinnon kohteena selvittäessä erilaisten maanparannusaineiden tehoa puuston kasvuun. Lukella on koesarjoja erilaisten maanparannusaineiden ja kaupallisten lannoitteiden käytöstä ja eri aineiden vaikutuksista puustoon erityisesti soilla. Varhaisin niistä on Jaakkoinsuolla Vilppulassa 1937 aloitettu tuhkalannoituskoe (Tuokko 1992). Todennäköisesti tunnetuin tuhkalannoituskoe on Muhoksen Leppiniemen koivuntuhkalla tehty lannoituskoe vuodelta 1947. Laajamittainen suometsien ja kivennäismaiden lannoituskoetoiminta Metsäntutkimuslaitoksessa alkoi 1950-luvun alussa. Kuitenkin vasta 1960-luvun alkupuolelta lähtien metsälannoitus otettiin mukaan puuvarojen kestävää käyttöä koskeviin laskelmiin. Sodan jälkeisten voimakkaiden hakkuiden seurauksena nähtiin tarpeelliseksi laatia metsätaloutta ja puuvarojen riittävyttä ohjaavia ohjelmia. Vuonna 1962 valmistuneeseen, tekijöiden nimien alkukirjaimiin perustuvaan HKLN-ohjelmaan (Heikurainen, Keltikangas, Linnamies, Nyysönen) sisällytettiin muiden muassa laskelmat lannoituksella aikaan saatavasta puuston tuottokyvyn lisäyksestä (Heikurainen ym. 1960, Pohtila 1999). Vuosina 1958-1962 istunut professori Nils Westermarkin johtama maatalouskomitea esitti tuotannon painottamista aiempaa enemmän metsätalouteen. Komitean asettama kuusimiehinen työryhmä (Heikinheimo, Holopainen, Kuusela, Heikurainen, Keltikangas, Möttölä) laati ns. Teho-ohjelman (Nyysönen 1998). Sen mukaan maatilametsien perusparannuksiin tulisi lisätä voimavaroja.

Laajamittainen metsälannoitustoiminta alkoi 1960-luvun alkupuolella erilaisina metsälannoituskilpailuina. Tunnetuin näistä oli kivennäismailla toteutettu ”Operaatio Metsälannoitus” vuonna 1962 (Tuokko 1992). Vuosina 1965-1975 toteutetut MERA I, II ja III-ohjelmat käytännössä toivat metsälannoituksen erityisesti yksityismetsätalouden piiriin. Myös valtion metsien, samoin kuin yhtiöidenkin metsien lannoitustoiminta vilkastui MERA-kaudella (Mera I 1964, Mera II 1966, Mera III 1969). Lannoitus tulikin metsänparannusrahoituksen työalajiksi vuonna 1967 uudistettuun metsänparannuslakiin (413/1967).

Maaseudun murros ja muutos toimintaympäristössä vaikuttavat kaikkeen yhteistoiminnassa tehtävään työhön, muun muassa metsälannoitushankkeiden syntymiseen. Viisi vuosikymmentä sitten, kun maaseutu oli täynnä elämää, tilat olivat asuttuja ja kylät täynnä väkeä, oli suhteellisen helppo aktiivisen metsäneuvojan käydä taloissa sekä tarjota ajankohdan muihin rahoitusmahdollisuuksiin nähden edullisilla metsänparannusehdoilla rahoitusta esimerkiksi metsälannoitushankkeisiin.

Ajan henki oli myös toinen. Kylillä periaatteena oli, että ”kaveria ei jätetä”. Tämä oli pitkälti peruja sota-ajan rintamilta. Myös 1940-luvun lopulla virinnyt pienviljelijäyhdistystoiminta loi otolliset olosuhteet yhteishankkeiden muodostamiselle. Oli totuttu kylän tai yhdistyksen yhteisiin puimakoneisiin ja kylvökoneisiin ja yhteistoiminnalla oli jonkinlaiset säännöt. Samoin maataloudesta tuttujen yhteisten viljelysvaltaojien kaivuu synnytti yhteistoimintaa pakollisten ojitusyhtiöiden muodossa. Kaikkiin metsänparannushankkeisiin lähdettiin innolla mukaan vielä 1950 – 1980-luvuilla. Mallina olivat laajat yhteishankkeina toteutettavat metsäojitushankkeet. MERA-kaudella näiden yhteyteen yleensä kytkettiin erityisesti heikkotuottoisten soiden peruslannoitus.

Vaikka ”maaltapako” ja tilojen autioituminen jo ajanjakson lopulla vaikutti tilojen investointipäätöksiin metsätaloushankkeisiin, uudisraivaajahenkeä silti löytyi, kun oli kyse yhteishankkeisiin mukaan lähdestä (Uusitalo 1994). 1960-luvulla alkanut maaltamuutto ei vielä 1970- tai 1980-luvuilla ollut sammuttanut intoa yhteishankkeisiin. Tapion metsänparannuspiirit ja metsänhoitoyhdistykset toimivat aktiivisesti vielä 1980-luvun puolivälissä muun muassa metsälannoitushankkeiden kokoajina.

Aikakauden taloudelliseen tilanteeseen verraten silloisten metsänparannuslainsuojien korot ja lyhennykset sekä pitkä takaisinmaksuaika houkuttelivat osaltaan osallistumaan yhteishankkeisiin. Lisäksi maksuun sai aluksi vapaavuosia. Samoin hankkeiden suunnittelu ja työnjohto olivat maanomistajalle ilmaista.

”Metsälannoitusinto” oli huipussaan 1960-1970-lukujen taitteessa ja jonkin aikaa 1970-luvun alkupuolella. Yksityismailla lannoituksen huippu saavutettiin 1975, jolloin lannoitettiin yli 160 000 hehtaaria yksityismetsiä (Metsätilastollinen vuosikirja 1976). Kaikkiaan tuona vuonna lannoitettiin metsiä runsaat 244 000 hehtaaria. Pääosa lannoituksista oli soiden peruslannoituksia ja lannoitteena käytettiin kaupallisia fosfori-kali-lannoitteita. Tiedot tuhkalannoituksen hyvistä tuloksista olivat jo tuolloin esillä, mutta tuhkan käyttöä haittasi saannin satunnaisuus. Lisäksi tuhkan rakeistusta ei vielä ollut kehitetty, jolloin irtotuhkan levityksen ongelmat sekä levitysmenetelmien kehittymättömyys vähensivät kiinnostusta tuhkaan. Lisäksi kaupallisten lannoitteiden levityksen vaivattomuus ja hehtaariohjausten käyttömäärien vähäisyys tuhkaan verrattuna houkuttelivat käyttämään ”Kemiran tuotteita” pitkävaikutteisemman tuhkan sijasta.

Tuhkan levitysmenetelmiä jossakin määrin kyllä testattiin ja kehitettiin, mutta pääpaino oli kaupallisten lannoitteiden levitysmenetelmissä. Menetelmät soveltuivat parhaiten rakeistetun lannoitteen levittämiseen. Vasta tuhkan rakeistamisen kehittäminen on luonut edellytykset tuhkalannoituksen kehittymiselle.

## 1.2 Metsälannoituksen suosio romahtaa

Metsälannoituksen suosiossa tapahtui romahdus 1988 jälkeen. Tuolloin julkaistiin Metlan tutkimus (Ahti 1988), jossa todettiin, että suometsien lannoitus lisää fosforin huuhtoutumista vesistöihin. Tämä johtui silloisesta fosforilannoitteen valmistusprosessista, jolloin valmistuksen yhteydessä lannoitteeseen lisättiin fosforin vesiliukoinen osa. Huuhtoutumisen näkyminen vedessä oli shokki lannoitusmäärien kannalta. Muutamassa vuodessa vuoden 1988 jälkeen lannoituspinta-alat putosivat lähes yhdeksänkymmenen tuhannen hehtaarin vuositasolta muutamaan tuhanteen hehtaariin. Pohja saavutettiin vuonna 1994, jolloin koko valtakunnan metsälannoituspinta-ala oli vain 2000 hehtaaria.

Todennäköisesti muitakin syitä lannoituksen taantumaan on, kuin tieto fosforikuorman lisääntymisestä lannoitusten seurauksena. Syitä voidaan hakea muun muassa tuona ajankohtana syntyneestä kasinotalouden jälkeisestä syvästä lamasta. Tämä vähensi intoa investoida lannoituksen kautta puuston kasvuun.

Samaan aikaan herättiin arvostamaan metsien luontoarvoja. Vuoden 1994 Tapion metsänhoitosuosituksot olivat voimakkaasti vihreän metsätalouden puolesta. Luontojärjestöjen aktiivisella tuella saatiin aikaan suosituksot, joissa ensimmäistä kertaa alettiin puhua elintärkeiden ympäristöjen säilyttämisestä metsänhoidossa. Siirryttiin pelkän puukuution tuottamisesta monimuotoisen metsätalouden kauteen. Tämä osittain johti ajatteluun, jossa metsälannoitus saatettiin kokea rehevöitymistä lisääväksi tai muutoin ekologian vastaiseksi.

Biotalouden murros alkoi 1990-luvun alkupuolelta. Siirtyminen öljystä ja kivihielestä uusiutuvan polttoaineen käyttöön johti vähitellen tuhkamäärien kasvuun. Toisaalta kaupallisten lannoitteiden

puolella kehitettiin suometsien lannoitukseen Rauta-PK lannoite, jonka johdosta lannoituksen fosforikuormitus väheni oleellisesti. Kokonaislannoitusmäärät alkoivat nousta vähitellen, tosin hitaasti. Tällä hetkellä vuotuinen metsälannoituspinta-ala on noin 45 000 hehtaaria, josta tuhkalannoitusta on noin 10 000 hehtaaria

Metsänomistusrakenteen muutos, ihmisten vieraantuminen metsästä, metsän muiden, kuin puuntuotantoarvojen korostuminen, omistajien asuminen muualla kuin palstan sijaintikunnassa vaikeuttavat kaikkien yhteistoimintaa vaativien hankkeiden, kuten lannoitushankkeiden markkinointia. Myös metsätaloustoimijoiden sukupolvi on vaihtunut. Nykyinen toimijapolvi ei tunne aikaisempina vuosikymmeninä vallinnutta yhteishankekulttuuria. Kymmeniä tai joissakin tapauksissa satoja osakkaita koskevien yhteishankkeiden kokoaminen, hallinnoiminen ja toteuttaminen koetaan varsin työlääksi. Samoin toimintatavat ja metsäorganisaatiot ovat muuttuneet. Nykyinen toiminta perustuu liiketoimintaperiaatteeseen, jolloin taloudelliseen tuottoon ja katteen syntymiseen perustuen rahan nopea kierto ja hankkeiden kireät aikataulut estävät suurten yhteishankkeiden syntymisen. Metsätoimijan kannalta nopeasti toteutettavat parin – kolmen osakkaan hankkeet ovat nykytilanteessa edullisimpia ja kannattavia. Lannoitusurakoitsijan kannalta taas laaja yhtenäinen keskittymä olisi taloudellisesti kannattavin, koska silloin siirtymiset voidaan minimoida.

Ojalan (2010) mukaan tietoisuus tuhkalannoituksen mahdollisuuksista ei ole aina selkeä metsänhoitoyhdistyksiä toimihenkilöille eikä maanomistajille. Tuhkalannoituksen voisi ottaa esiin jo kunnostusohjelmien suunnitelmia tehdessä.

## 2. Korkeat logistiset kustannukset

### 2.1 Tuhkan pölyämisen vähentäminen

Tuhkan pölyäminen lisää käsittelykustannuksia. Pölyämisen vähentämiseksi yksinkertaisin menetelmä on itsekovetus. Menetelmässä tuhka kostutetaan sekoittamalla siihen vettä. Kostutettu tuhka ajetaan kasaan, jossa sen annetaan kovettua (Rinne 2007). Itsekovetettu tuhka muistuttaa hienojakoista multaa, joka sisältää erikokoisia rakeita. Itsekovetettua tuhkaa seulotaan seulakauhan avulla käytön yhteydessä. Itsekovetettu tuhka pölyy vähemmän kuin kovettamaton tuhka. (Makkonen 2008,)

Tuhkan rakeistaminen on tehokas menetelmä vähentää tuhkan pölyämistä ja hidastaa sen liukoisuutta (Rinne 2007). Kostutettu tuhka voidaan rakeistaa, joko lautasella tai rummussa pyörittämällä. (Isännäinen ym. 2006). Rakeistamisen tavoitteena on saada alle senttimetrin halkaisijaltaan olevia rakeita. Käytännössä menetelmällä saatujen rakeiden koko kuitenkin vaihtelee (Makkonen 2008). Rakeiden laatuun voidaan vaikuttaa käyttämällä rakeistuksen eri vaiheissa koostumukseltaan erilaisia tuhkia. Itsekovetettuun tuhkaan verrattuna rakeistettu tuhka kovettuu nopeammin, se pölyy vähemmän ja sen loppukosteus on pienempi. Pienempi loppukosteus vähentää esimerkiksi kuljetus- ja levityskustannuksia.

Tuhkaa voidaan käsitellä puristamalla se matriisien läpi eli pelletöimällä. Menetelmä ei ole Suomessa käytössä suuressa mittakaavassa tuhkanrakeistuksessa. Pelletöimällä saadaan aikaan hyvälaatuinen lopputuote. Tuhkan pelletöinnissä ongelmana on pelletöintimatriisien nopea kuluminen, minkä takia kustannukset nousevat korkeaksi. Menetelmä sopiikin lähinnä pienimuotoiseen toimintaan, jossa tuhkan pelletöinnin määrät ovat vähäisiä. (Rinne 2007, Huotari 2012)

Pekkala (2012) on tarkastellut tuhkan hyötykäytön edistämistä ja miten rakeistaminen kannattaa. Selvityksen toteutusajankohtana Pohjois-Suomen alueella ei ollut yhtään tuhkien rakeistuslaitosta. Lähin laitos oli valmistunut Ouluun, Haukiputaalle, keväällä 2012.

Selvityksessä todettiin, että rakeistetulle tuhkalta on lannoitteena kysyntää myös pohjoisessa, mutta pitkät kuljetusetäisyydet vaikuttavat oleellisesti tuhkalannoituksen kannattavuuteen. Rovaniemen Energian laitoksilla syntyy vuosittain lentotuhkaa noin 10 000 - 15 000 tonnia, jotka analyysien perusteella soveltuvat lannoitehyötykäyttöön kaikilla puun ja turpeen polttoainesuhteilla. Selvityksessä todetaan, että Pohjois-Suomessa on myös muita puuta ja turvetta käyttäviä laitoksia, joiden tuhkat voisivat soveltua rakeistukseen. Rovaniemi sijaitsee keskellä Lappia, joten sijaintinsa puolesta Rovaniemi olisi hyvä sijoituspaikka rakeistuslaitokselle. Selvityksen perusteella rakeistuslaitos on sittemmin perustettu Rovaniemelle ja toiminta on alkanut vuoden 2016 alusta.

## 2.2 Tuhkan palautuksen logistiikka

Väätäinen ym. (2000) tutkivat rakeistetun puutuhkan metsään palautuksen logistiikkaa. Tavoitteena oli selvittää rakeistetun tuhkan metsään palautuksen logistiset vaiheet ja löytää siten kustannustehokas menetelmä rakeistetun tuhkan palautuksessa aina rakeistamolta metsään. Tavoitteena oli myös kartoittaa ja analysoida eri organisaatioiden metsätietojärjestelmiä potentiaalisten tuhkanlevityskohteiden tunnistamisessa. Tutkimus kohdistui Uimaharjun Enotuhka Oy:ssä tuotetun raetuhkan metsään palautukseen Stora Enson mäntyvaltaisille turvemaille Pohjois-Karjalassa.

Tulosten perusteella kustannustehokkain menetelmä raetuhkan metsään palautuksessa koostui raetuhkan tuotantoon ja levityksiin sopeutetusta katetusta tehdasvarastosta, raetuhkan kaukokuljetuksesta maansiirtokuljetukseen soveltuvalla ajoneuvoyhdistelmällä, raetuhkan lyhytaikaisesta metsävarastoinnista lähellä levityskohteita ja raetuhkan levityksestä metsäkohteille metsätraktorilustaisella levitin yhdistelmällä. Metsätraktorilevitykseen nähden helikopterilevitys osoittautui yli kaksi kertaa tuottavammaksi, mutta noin viisi kertaa kalliimmaksi menetelmäksi. Tuhkanlevityskohteita kyettiin paikantamaan tehokkaasti tutkimuksessa mukana olleiden Stora Enson, Metsäkeskuksen ja Metsähallituksen metsätietojärjestelmillä.

Raetuhkan metsään palautuksen logistisia kustannuksia on edelleen mahdollista vähentää, jos levityskohteiden paikantamisessa keskitytään ”edullisten” kohteiden kartoitukseen metsätietojärjestelmillä, suositaan maalevitystä ja kehitetään sekä rakeiden valmistusta että koko tehdaslogistiikkaa.

Ojalan (2010) mukaan tuhkan logistiikkatilanne on haastava tuhkan tuottajan ja jatkokäyttäjän kannalta; eniten hyödynnettäviä tuhkia syntyy eteläisessä Suomessa, kun taas käyttökohteet sijaitsevat lännessä, idässä ja pohjoisessa.

### 2.2.1 Tuhkalannoituksen soveltuvuus eri metsätyypeille

Tällä hetkellä tuhkaa suositellaan erityisesti ojitettujen turvemaiden lannoitukseen. Lannoitettaviksi valitaan sellaisia kohteita, joissa kuivatus toimii eikä liika vesi rajoita puiden kasvua. Lannoitettava alue kunnostusojitetaan tarvittaessa lannoituksen yhteydessä. Hyvän metsänhoidon suositusten mukaan hyviä tuhkalannoituskohteita ovat (Vanhatalo ym. 2014):

- Havupuuvallaiset, paksuturpeisista soista ojituksen jälkeen kehittyneet turvekankaat, joissa pintakerroksen turve on pitkälle maatonut ja sisältää runsaasti typpeä.

- Aiemmin fosfori-kalium-peruslannoitetut, paksuturpeisista soista ojituksen jälkeen kehittyneet turvekankaat, joissa pintakerroksen turve on pitkälle maatonutta.
- Paksuturpeiset, avosoista syntyneet varputurvekankaat, joissa pintakerroksen alla on kohtalaisesti maatonutta, typpipitoisuudeltaan riittävän hyvää turvetta
- Lannoituskohteiksi sopivimpia ovat hyvälaatuiset, riittävästi kasvatettavia puita sisältävät havupuuvaltaiset metsiköt.
- Tuhkalannoituksen vaikutusaika fosforilla on parhaimmillaan jopa 50 vuotta.

Maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa lannoitevalmisteista (24/11) määritellään muun muassa metsään levitettävän tuhkalannoitteen vähimmäisravinnepitoisuudet:

- Kalium (K) + Fosfori (P) 2,0 %
- Kalsium (Ca) 6,0 %
- Haitallisten metallien enimmäispitoisuudet (mg/kg) metsätaloudessa käytettävissä tuhkalannoitteissa ovat seuraavat:
 

- Arseeni (As)	40
- Elohopea (Hg)	1,0
- Kadmium (Cd)	25
- Kromi (Cr)	300
- Kupari (Cu)	700
- Lyijy (Pb)	150
- Nikkeli (Ni)	150
- Sinkki (Zn)*	4500
- \*) Metsätaloudessa enimmäispitoisuuden ylitys lannoitevalmisteena käytettävässä sivutuotteessa on sallittu ainoastaan sinkkiä suometsissä käytettäessä, silloin kun sinkin puute on kasvustosta todettu joko maaperä-, lehti- tai neulasanalyysillä Tällöin maksimimäärä sinkkiä lannoitevalmisteena käytettävässä sivutuotteessa saa olla enintään 6000 mg Zn/kg ka.
- Lannoitevalmisteiden käytöstä aiheutuva keskimääräinen kadmiumin enimmäiskuormitus ei saa ylittää 1,5 grammaa kadmiumia hehtaaria kohden vuodessa. Lannoitevalmisteiden käytöstä aiheutuva kadmiumin enimmäiskuormitus käytettävänä erinä ja käyttöjaksoina saa olla metsätaloudessa enintään 100 grammaa hehtaarille 60 vuoden ajanjaksona annettuna.
- Metsätaloudessa käytettävien tuhkalannoitteiden käytöstä aiheutuva arseenin enimmäiskuormitus saa olla metsätaloudessa enintään 160 grammaa hehtaarille 60 vuoden ajanjaksona annettuna.

## 2.2.2 Tuhkan maa- ja helikopterilevitys ja niiden kustannukset

Edellä kuvatun perusteella suositeltavat tuhkan käyttömäärät vaihtelevat kohteista riippuen 3000 – 8000 kilogrammaan hehtaarilla. Levitys voidaan tehdä helikopterilla ilmasta tai metsätraktorilla maalevityksenä. Maalevitys on parhaiten toteutettavissa harvennus- ja ojalinjahakkuun jälkeen talvella roudan aikaan. Hyvillä kohteilla maalevitys voidaan tehdä myös kesällä.

Huotarin (2012) mukaan tuhkalannoitukseen on käytettävä rakeistettua tai itsekovetettua tuhkaa, jotta pölyäminen olisi mahdollisimman vähäistä (MMM asetus 24/11). Tuhkalannoitus kannattaisi suunnitella ja toteuttaa usean tilan yhteishankkeena, jolloin lannoituspinta-alan laajuus toisi säästöjä kuljetus- ja levityskustannuksiin (Moilanen 2009).

Tuhkan kuljetus metsään kuorma-autolla edellyttää, että teiden kantavuudesta sekä talviaikaan mahdollisesta aurauksesta ja hiekoituksesta huolehditaan. Tuhkan varastopaikaksi valitaan kovapohjainen ja tasainen alue. Kun käytetään säkitettyä tuhkaa, tuhkalannoitevarasto voidaan sijoittaa vapaammin ja varastoa on mahdollista jakaa pienemmissä erissä tarpeen mukaan.

Tuhkalannoitus voidaan toteuttaa joko lento- tai maalevityksenä. Maalevitys tehdään tavallisesti metsätraktorilla tai maatalouskalustolla. Maalevitystä varten metsän pohjan pitää olla riittävän kantavaa, joten suometsissä lannoitus suoritetaan talviaikaan, kun maa on jäässä. Tuhkan maalevityksessä myös metsänhoitotoimenpiteiden ajoitus on tärkeää

Helikopterilevitys voidaan käytännössä tehdä mihin vuodenaikaan tahansa. Lannoitteen levitys ei myöskään ole sidottu mihinkään metsänkäsittelyvaiheeseen (Väätäinen 2000). Lentolevitys on tehokasta, mutta maalevitystä kustannuksiltaan vähintään kolmanneksen kalliimpaa (Korpilahti 2004, Väätäinen ym. 2011).

Kustannusten pienentämiseksi olisikin hyvä muodostaa mahdollisimman suuria lannoituskeskittymiä tai ketjuttaa levityskohteet siten, että päästään mahdollisimman suuriin levityseriin. Helikopterilevityksenä lannoitettavan alueen tulisikin olla yhteensä vähintään 30–40 ha (Väätäinen ym. 2011). Lentolevitys edellyttää aina rakeistetun tuhkan käyttöä. Jos alueella on vesistöjä, tulee huomioida suojavyöhykkeet. Levityssuunnitelma tulisi laatia siten, etteivät helikopterin siirtymämatkat olisi kovin pitkiä (Makkonen 2008, Väätäinen ym. 2011). Suositeltava lentomatka tuhkan varastopaikalta lannoituskuviolle on enintään 2 km.

Lentolevitys vaatii tarkan suunnitelman, josta käyvät ilmi tuhkan varastopaikat, nousu- ja laskupaikat. Näiden kenttien tulee olla tilavia, lisäksi niiden lähellä ei saa olla korkeita puita tai sähkölinjoja. Tuhkaa levittäessä lennetään sarkojen suuntaisesti, koska tuhkaa ei saa joutua ojiin. Varastopaikalle tulee päästä rekka-autolla ja siihen pitää sopia 40 tonnia tuhkaa. (Huotari 2012). Varastopaikan etäisyys levityskohteesta vaikuttaa merkittävästi kustannuksiin ja ajanmenekkiin. Maassa tehtävä levityssäiliöiden täyttäminen vaatii henkilöstöä (Korpilahti 2003).

Maalevityksessä maapohjan tulee olla riittävän kantava, jotta koneet eivät uppoa. Yleensä turvemailloilla levitykset tehdään talvella, maan ollessa jäässä. Maalevitys tehdään maataloustraktorilla tai metsäkoneella. Levityskohteella pitää tehdä harvennushakkuu ennen levitystä. Näin saadaan aikaan ajourat, joilta tuhka voidaan levittää (Huotari 2012). Maataloustraktori kalustolla tapahtuva levitys soveltuu hyvin kangasmaille ja jäätyneen maan aikana turvemaille.

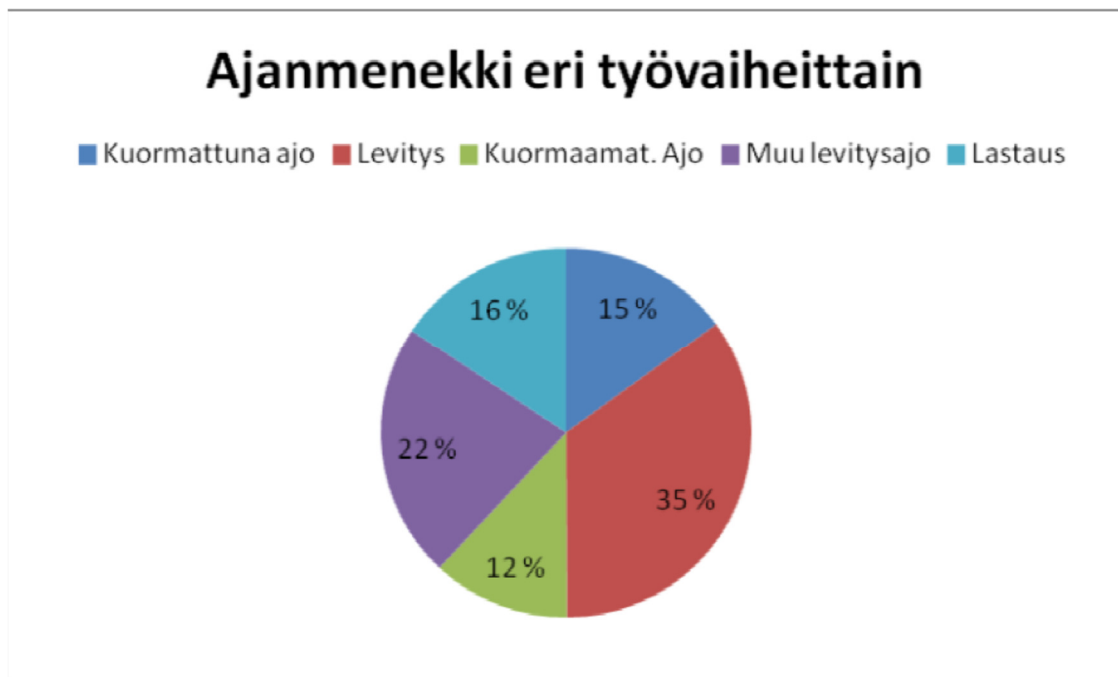


Metsäkoneet ovat tulleet maataloustraktoreiden tilalle. Levityksessä käytetään kevyitä ja keskiraskaita metsäkoneita. Maalevitys on kustannustehokas vaihtoehto turvemaiden tuhkalannoitteen levittämiseen. Samana talvena harvennetuilla kohteilla saadaan paras hyöty jäätyneistä ajourista. Metsäkoneen perään on asennettu keskipakoislevitin, jolla lannoitetta levitetään. Tällaisen levittimen levitysetäisyys riittää hyvin normaalissa ajouraverkostossa. Koneeseen sopivat yhdellä kertaa kahden hehtaarin vaatimat lannoitteet.

### 2.2.3 Tuhkan levityksen kustannukset

Saarisen (2014) selvityksen tavoitteena oli saada selville rakeistetun tuhkan levittämisen kustannukset. Mittauksia varten valittiin kolme erityylistä levityskohdetta, joissa ajomatka vaihteli. Kohteille oli tehty harvennushakkuu muutama vuosi sitten. Levityksessä käytettiin vanhoja ajouria. Ajourilla ei ollut ajettu mittausta ennen, joten ajourat olivat lumen peitossa. Tuhka levitettiin metsäkoneella, jossa oli lautaslevitin. Jokaiselle kohteelle levitettiin yksi kuorma tuhkaa. Levityksen ajanmittauksessa käytettiin sekuntikelloa ja työskentely mitattiin käyttöaikana.

Tulokset antoivat suuntaviivan tuhkan levittämisen kustannuksista ja levitysmääristä. Parhaimmalla kohteella päästiin tuhkan levityksessä 13,8 tonnin tuntituotokseen. Tällaisiin levitysmääriin päästiin lähellä tietä olevissa kohteissa. Kaukana olevat kohteet laskivat tuntituotosta merkittävästi. Tuhkan levityksen ajanmenekkiin vaikutti huomattavasti ajouraverkosto. Ajouria suunniteltaessa tulisi tuhkan levittäminen ottaa huomioon. Tämä nopeuttaisi tuhkan levittämistä ja vähentäisi puustoon tulevia vaurioita.



Kuva 1. Ajanmenekin jakaantuminen eri työvaiheisiin maalevityksen yhteydessä Lähde: Saarinen 2014.

Jutilan selvityksessä (2008) rakeistetun tuhkan maalevityksen kustannukset (HUOM! vuoden 2008 hintataso) metsänomistajille olivat hehtaaria kohti noin 300 € + alv. Helikopterilevitys oli hieman

kalliimpaa, noin 450 € + alv hehtaarilta. Kustannusarvio koostui kokonaisuudesta, johon kuuluvat materiaali-, levitystyö- sekä kuljetuskustannukset. Suurimman osuuden muodosti levitystyö, koska tuhkaa joudutaan levittämään keinolannoitukseen verrattuna suuria määriä hehtaaria kohden. Kohteen sijainnilla ei puolestaan ole suuria vaikutuksia lopullisiin kustannuksiin, koska rakeistetun tuhkan kuljettaminen on varsinkin tehokkaalla kaluston käytöllä edullista.

## 2.3 Maarakentaminen

Tuhkien hyödyntäminen maarakentamisessa vaatii joko ympäristöluvan tai ilmoitusmenettelyn. Maarakennuskohteissa voidaan hyödyntää yleensä suuria määriä tuhkaa, mutta hyödyntämisen kesto ei ole välttämättä kovin pitkä. Tuhkille on hyvä olla olemassa välivarastointialue maarakennuskohteita varten, jotta mahdollisia kohteita varten saadaan kerättyä tarpeellinen määrä tuhkaa.

Esimerkkinä tuhkan käytöstä maarakennuksessa tarkastellaan Pekkalan (2012) selvityksessä käytettyä Rovaniemen Energia Oy:n laskelmaa. Selvityksen mukaan Suksiaavan läjitysalueelle on suunnitteilla välivarastointialue. Läjitysalueen tuhkia voidaan hyödyntää myös maarakentamisessa. Mikäli tuhkat läjitetään välivarastointialueelle ja hyödynnetään maarakentamisessa, kustannukset muodostuvat tuhkien kuljetuskustannuksista. Selvityksessä on käytetty esimerkkiä, että maarakentamisessa tuhkalla korvataan neitseellistä materiaalia, hiekkaa, jonka markkinahinnaksi on arvioitu 3 €/t kuljetettuna perille. Mikäli maarakentamishyötykäyttöä verrataan tuhkien läjityskustannuksiin, 46,3 €/t vuoteen 2013 asti ja 56,3 €/t vuoden 2013 jälkeen, saadaan kannattavaksi kuljetusetäisyydeksi alla olevan esimerkin mukaisesti:

Tässä laskennassa on oletettu, että tuhkat kuljetettaisiin nykyisellä kalustolla. Pitempien matkojen kuljetukset hoidettaisiin todennäköisesti autoilla, johon mahtuu enemmän tuhkaa. Jos tuhkaa kuljetetaan 40 tonnia kerrallaan (2,5 €/km), niin kannattava kuljetusetäisyys edestakainen matka huomioiden olisi 2013 asti 390 km ja 2013 jälkeen 470 km. Näissä laskelmissa oletettiin, että jätevero olisi 50 €. Vuoden 2016 alusta jätevero on 70 €, jolloin vastaavasti taloudellinen kuljetusetäisyys kasvaa entisestään.

Muun muassa UPM-Kymmenen Kaipolan tehtailla on laskettu nykyisen jäteveron lisäävän taloudellisen kuljetusetäisyyden määrää siten, että kuljetus on vielä kannattavaa Jämsästä Ouluun saakka (Rantala suull. 2015)

## 3. Tuhkalannoitteen levityksen tasaisuuden varmistaminen

Lannoituksen levitystasaisuuden tarkkailua tehdään samalla menetelmällä riippumatta levitystavasta tai lannoitelajista. Tarkkailtavalle alueelle asetetaan riviin kymmenen keräilysuppiloa määrä välein koko levityskaistalle. Suppiloihin levityksen yhteydessä tullut lanta- tai tuhkamäärä punnitaan. Levitystasaisuuden tunnuksena käytetään ns. poikkeamaprosenttia. Enintään kolmessa suppilossa kymmenestä saa olla puolet enemmän tai vähemmän lannoitetta kuin tavoitemäärä edellyttää. Levitystasaisuutta korjataan seurannan perusteella.

## 4. Asiakaskyselyjen tuloksia

### 4.1 Retkeilyn kyselyn keskeiset tulokset

Kesäkuussa 2016 Tuhkan käyttö kivennäismailla - hankkeella järjestetyn tuhkaretkeilyn yhteydessä osallistujilta kysyttiin muun muassa:

#### **Mitkä ovat tuhkalannoituksen merkittävimmät käytännön esteet?**

Vastauksista nousi tiedon puute ehdottomaksi ykköseksi. Toiseksi eniten huomiota kiinnitettiin tuhkalannoituksen korkeampiin kokonaiskustannuksiin keinolannoitukseen verrattuna. Samoin huomiota kiinnitettiin siihen, että tuhkalannoitusta tarjoavia toimijoita erityisesti urakoitsijoita on liian vähän tai paikoin ei lainkaan. Vastauksista ilmeni myös epätietoisuus siitä, mitkä ovat todelliset kokonaiskustannukset, mitä niihin lasketaan ja otetaanko esimerkiksi lannoituksen todellinen vaikutusaika mitenkään laskelmissa huomioon. Tällöin esimerkiksi kustannus-hyöty-analyysistä voisi olla hyötyä.

Tuhkaa pidetään edelleenkin jätteenä, mikä vaikuttaa jossakin määrin käyttöpäätökseen. Tuhkalannoitukseen suhtauduttiin joissakin vastauksissa epäilevästi – ”Ei voi toimia” – asenteella. Erityisesti tämä epäily jätteestä tulee esille keskusteltaessa tuhkasta maarakentamisen materiaalina. Sen sijaan tuhkalannoituksen ympäristövaikutuksia ei koettu lannoituksen merkittäväksi käytännön esteeksi. Vastauksista löytyi yksi satunnainen epäilevä maininta vaikutuksista sieniin ja marjoihin. Tuhkalannoituksen vesistövaikutuksia ei mainittu kertaakaan.

Esteiden poistamiseksi koulutus ja neuvonta olivat vastaajien mielestä ensisijainen toimintatapa.

### 4.2 Tapio Oy:n kyselyn tuloksia

Vastaavassa, vuonna 2015, Tapio Oy:n toimesta Joensuun ympäristössä toimiville metsätoimijoille suunnatussa kyselyssä vastaukset olivat samansuuntaisia kuin yllä:

Toimijoiden mielestä tuhkan käyttömahdollisuuksia koskevasta tiedosta on selvästi puutetta. Maanomistajille olisi helpompi markkinoida tuhkalannoitusta, kun heille olisi tilakäynneillä mahdollisuus jakaa enemmän tietoa tai metsänomistajilla olisi mahdollisuus lukea artikkeleita tuhkan lannoitusvaikutuksista ja sen hyvistä ominaisuuksista tienrakennuksen materiaalina.

Tämä toisaalta tarkoittaa myös sitä, että metsätoimijan olisi itse oltava aktiivinen ja tiedonjanoinen sekä ottaa selvää tuhkan hyvistä ominaisuuksista. Samoin toimijan kannattaisi entistä aktiivisemmin osallistua aihepiirin koulustilaisuuksiin. Kyse on siten lähinnä metsätoimijan oman innostuksen lisäämisestä tuhkan hyödyntämiseen.

Myös alan asiantuntijoiden tulisi laatia helpotajuisia artikkeleita tuhkan käytöstä maanomistajia lähellä oleviin lehtiin. Kun aihetta pidetään esillä, se vähitellen syöpyy mieliin.

Tuhkan käytön esteinä nähtiin ensisijaisesti sen suurista määristä johtuva levityskustannusten kalleus muihin lannoitteisiin verrattuna. Osittain vastauksista heijastuu toiminnan vähäisyys ja siitä johtuva kokemuksen puute. Tuhkalannoitusta on totuttu pitämään pelkästään turvemaille soveltuvana toimintana. Valtaosalla kyselyyn vastanneista toimijoista oli taas ns. kivennäismaatausta. Tästä johtuen

kaikilla toimijoilla ei ole syntynyt toimintakulttuuria tuhkalannoitushankkeiden kokoamiseen. Laajojen yhteishankkeiden perinteitä on lähinnä Otson toimihenkilöillä, joilla näytti vuotuinen tuhkan tarvekin olevan suurin.

Yllättävän usein vastauksissa mainittiin myös raskasmetallit, joita pelätään tuhkan käytön yhteydessä pääsevän luontoon. Oikean tiedon tarve on tässäkin yhteydessä selvästi olemassa. Samoin helppotajuiset laskelmat tuhkalannoituksen kannattavuudesta pitkällä aikajaksolla helpottaisivat tuhkalannoituksen markkinointia.

Kuntien viranomaisten yksittäisistä vastauksista edellä käsiteltyihin kysymyksiin näkyi, että kiinnostus kuntien rakennuskohteilla tuhkan käyttöön ei ole kovin suuri. Kiinnostuksen puute näkyi erityisesti siinä, että puhelinkeskustelusta huolimatta ei nähty tarpeelliseksi vastata kyselyyn. Syiksi tuhkan käyttämättömyyteen nähtiin oma asiantuntemattomuus, vähäinen kokemus ja vähäinen käyttötarve rakennuskohteiden puuttuessa

Kuntien viranomaisvastaajien mielestä tuhka on sopiva materiaali hyödynnettäväksi maarakennuskohteissa, jos materiaali täyttää MARA-asetuksen ehdot. Tuhkan käyttöön suhtauduttiin sinänsä positiivisesti ja sen nähtiin soveltuvan hyvin maarakentamiseen pohjavesialueiden ulkopuolella. Yhtenä käyttömahdollisuutena nähtiin kompostointi ja maanparannus.

Sama kysely lähetettiin myös Joensuun ympäristössä toimiville maanrakennus- ja metsäkoneurakoitsijoille. Kyselyssä heiltä ei saatu yhtään vastausta.

### **Johtopäätöksiä**

Tuhkan hyvät lannoitusvaikutukset näyttävät tuntevan parhaiten

Sen sijaan tuhkan käyttö tienrakennuksen materiaalina on todennäköisesti täysin tuntematon

Toimijoilla on paljon ennakkoluuloja tuhkasta jätteenä erityisesti metsätienrakentamisessa.

Muu "metsänhoitoaktiivisuus" ajaa yleensä tuhkan edelle

Tietoa tarvitaan maanomistajille, jotta he osaavat kiinnostua tuhkasta

Tietoa tarvitaan metsätoimijoille, jotta he osaavat ja ymmärtävät markkinoida tuhkaa maanomistajille

Tarvitaan innostusta ja innostuksen lisäystä toimihenkilöille, jotta he nykyisiltä työpaineiltaan näkevät tuhkan mahdollisuudet

Tuhkalannoitushankkeen koostaminen ja markkinointi metsänomistajille koetaan työlääksi

Tietoa rahoitus- ja tukimahdollisuuksista lisää

Tarvitaan neuvontaa ja koulutusta aihepiiristä, jotta sana leviää

Pienten lämpölaitosten tuhkat eivät ole metsätoimihenkilöille tuttuja

Yhteydenpitoa ja tunnettuutta pitää lisätä, jotta metsäammattilainen osaa kysyä materiaalia käyttöön lähialueelta

Paikallinen puskaradiotoiminta aktiiviseksi

Lämpölaitosten edustajien ja metsätoimihenkilöiden vuoropuhelu voisi olla mahdollisuus

Suuri vastaamattomien määrä kyselyn yhteydessä kieli osittain kiinnostuksen puutteesta. Samaan viittaa "piiloutuminen" puhelinkeskustelussa suuren työmäärän alle.

Jutilan (2008) selvityksessä metsänomistajille laadittiin lyhyt kysely lannoitekäytön tarpeesta sekä suhtautumisesta rakeistetun tuhkan hyödyntämiseen lannoituksessa. Saatujen vastauksien perusteella noin 75 % vastanneista suhtautui rakeistetun biotuhkan lannoitekäyttöön positiivisesti, jos tuotteen hankinta- ja levityskustannukset ovat kaupallisiin kemiallisiin lannoitteisiin verrattuna kilpailukykyiset.

## 5. Konkreettiset toimenpiteet ja suositukset yhteistoimintaan kirjallisuuden perusteella

Edellä kuvatusta kokonaisuudesta voidaan kiteyttää seuraavat pääkohdat, joilla tuhkan hyötykäyttöä voidaan tehostaa:

1. Ajantasainen käytännön ohjeistus puutuhkan käytölle ja asiantuntija-artikkeleilla tuhkaa tunnetuksi
2. Kivennäismaakohteiden tuhkalannoituksen vaikutuksen keston selventäminen typpilannoituksen vaikutuksen keston verrattuna
3. Kustannus-hyötyanalyysi pelkän kustannustarkastelun sijasta
4. Ennakkoluulojen hälventäminen ja ymmärrys reunaehdoista, joilla tuhkaa käytetään
5. Uusien käyttökohteiden etsintä, esimerkiksi ajatus ravinteiden palautuksesta uudistamisen yhteydessä
6. Tuhkan levityksen ajankohtasuositukset
7. Urakoitsijoiden määrä
8. Intensiivisen metsätalouden alueet

Toimijoiden mielestä tuhkan käyttömahdollisuuksia koskevasta tiedosta on puutetta. Maanomistajille olisi helpompi markkinoida tuhkalannoitusta, kun heille olisi tilakäynneillä mahdollisuus jakaa enemmän tietoa tuhkasta tai metsänomistajilla olisi mahdollisuus lukea artikkeleita tuhkan lannoitusvaikutuksista ja sen hyvistä ominaisuuksista tienrakennuksen materiaalina. Asiantuntijoiden tulisikin laatia helppotajuisia ja ymmärrettäviä artikkeleita tuhkan käytön hyvistä vaikutuksista maanomistajia lähellä oleviin lehtiin. Kun aihetta pidetään riittävän useasti esillä, se vähitellen syöpyy mieliin. Artikkelit olisivat hyvä selkänöja ja mahdollisuus perusteluille, kun toimijat käytännössä kohtaavat maanomistajia ja haluavat markkinoida tuhkalannoitusta.

Tuhkalannoituksia markkinoivan toimihenkilön pitäisi osata innostaa maanomistajia yhteistoimintaan, eli toteuttamaan lannoitushanke riittävän laajana yhdessä naapurien kanssa. Nykyisille käytännön toimijoille ei ole syntynyt perinnettä tai toimintakulttuuria tuhkalannoitusyhteishankkeiden kokoamiseen. Laajojen yhteishankkeiden kokoamisperinteitä on vain osalla toimihenkilöillä. Toimijan kannattaisi entistä aktiivisemmin osallistua aihepiiriin koulutustilaisuuksiin. Tämä toisaalta tarkoittaa sitä, että myös metsänomistajan olisi itse oltava aktiivinen ja tiedonjanoinen sekä ottaa selvää tuhkan hyvistä ominaisuuksista. Kyse on siten lähinnä metsätoimijan ja metsänomistajan oman innostuksen lisäämisestä tuhkan hyödyntämiseen.

Tuhkan käytön esteinä nähdään usein sen suurista levitysmääristä johtuva kustannusten kalleus muihin lannoitteisiin verrattuna. Tuhkalannoitushankkeita markkinoitaessa tulisikin korostaa tuhkan pitkäaikaisia vaikutuksia puuston kasvuun ja sen hyviä ominaisuuksia maaperän kasvukunnon parantamisessa. Kannattavuuden perusteet tulevatkin pitkäaikaisvaikutusten kautta. Yllättävän usein vastauksissa mainitaan myös raskasmetallit, joita pelätään tuhkan käytön yhteydessä pääsevän luontoon. Oikean tiedon tarve on tässäkin yhteydessä selvästi olemassa. Samoin helppotajuiset laskelmat tuhkalannoituksen kannattavuudesta pitkällä aikajaksolla helpottaisivat tuhkalannoituksen markkinointia.

Lähituhkan eli paikallisen lämpölaitoksen tuhkan hyödyntäminen metsälannoituksessa tai maarakentamisessa edellyttää tuhkan olemassa olon tuntemiseen selvää parannusta. Metsätaloustoimijat eivät tunne paikallisista lähteistä saatavia tuhkatuotteita. Toisaalta tuhkien pitää täyttää maarakentamista tai lannoitusta säätelevän lainsäädännön vaatimukset. Paikallisten yhteistyöverkoston luominen tuhkien tunnettuuden ja käytön parantamiseksi on tarpeen. Tuhkan tuottajien ja käyttäjien tapaamiset paikallisella tasolla voisivat tehdä tuhkaa tunnetuksi. Myös tuhkan

jalostaminen esimerkiksi rakeistamalla luo paremmat edellytykset materiaalin markkinoimiselle. Lämpölaitosten edustajien ja paikallisten metsätoimijoiden keskinäisen vuorovaikutuksen ja yhteistoiminnan edistämällä on merkitystä tuhkan hyötykäytön edistämässä. Yhteistoimintaketjun luominen lämpölaitosyrittäjä – rakeistaja – urakoitsija – metsätalousyrittäjä – maanomistaja – välille parantaa suurella todennäköisyydellä tuhkan hyötykäytön edistämismahdollisuuksia.

Tuhkan hyötykäytön edistämistä varten tarvittaisiin paikkatietoon perustuva ”tuhkarekisteri”, joka pitäisi sisällään vuosittain syntyvät tuhkamäärät ja tiedon, mihin käyttöön eri tuhkalaadut sopisivat. Tästä rekisteristä voisi ajan oloon syntyä tuhkan tuottajien ja tuhkan käyttäjien yhteinen foorumi, jossa tuottajat voisivat tarjota tuhkaa toimijoiden käyttöön ”tuhkan kauppapaikaksi”.

## Kirjallisuus

Ahti, E. 1988. Talvilannoituksen vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen ojitetulta suolta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 300.

Heikurainen, L., Kuusela, K., Linnamies, O. & Nyyssönen, A. 1960. Metsiemme hakkuumahdollisuudet. Pitkän ajan tarkastelua. Silva Fennica 110. 52 s.

Huotari, N. 2012. Tuhkalannoitus opas. 47 s.

Isännäinen, S., Rinne S., Järvelä E. & Lindh, T. 2006 Tuhkan käyttö metsälannoitevalmisteena. [http://www.skogsstyrelsen.se/Global/myndigheten/Projekt/RecAsh/Handb%C3%B6cker%20Handbook%20RecAsh%20handbok%20\(finska\).pdf](http://www.skogsstyrelsen.se/Global/myndigheten/Projekt/RecAsh/Handb%C3%B6cker%20Handbook%20RecAsh%20handbok%20(finska).pdf). 24.11.2016.

Jutila, T. 2008. Tuhkan rakeistaminen Pohjois-Pohjanmaalla. Ramboll Oy:n raportti. 45 s. + liitteet.

Jyväskylä, Petri. 2014. Tuhkalannoitusketju ja lannoituksen kustannukset. ForestVital Oy. Kasvaa metsiin tuhkasta – seminaari. Pieksämäki 19.3.2014.

Jyväskylä, Petri. 2013. Metsänlannoitus. Menetelmät, lannoitteet ja kannattavuus. Forest Vital Oy Luentoaineisto. 2013.

Korpilahti, A. 2004. Tuhkan kuljetus ja levitys metsään. Metsätehon raportti 173. 28 s. Saatavilla pdf-muodossa osoitteessa: [http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti\\_173.pdf](http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_173.pdf)

Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista (24/11)

Makkonen, T. (toim.) 2008. Tuhkalannoitus. [http://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/pictures/tuhkalannoitus\\_tapio\\_2008\\_pakattu.pdf](http://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/pictures/tuhkalannoitus_tapio_2008_pakattu.pdf). 24.11.2016.

Mera I. 1964. Metsätiedotustoimisto. Helsinki

Mera II. 1966. Metsätiedotustoimisto. Helsinki.

Mera III. 1969. Metsätiedotustoimisto. Helsinki.

Metsätilastollinen vuosikirja 1976.

Moilanen, M. 2009. Metsätuhkan ravinteet takaisin metsään. Motiva, esite, 8 s. Saatavilla pdf-muodossa osoitteessa: [http://www.motiva.fi/files/3014/Metsatuhkan\\_ravinteet\\_takaisin\\_metsaan.pdf](http://www.motiva.fi/files/3014/Metsatuhkan_ravinteet_takaisin_metsaan.pdf)

Nyyssönen, A. 1998. Metsiemme kasvu; HKLN-ohjelman tavoitteet toteutumassa. Metsätieteen aikakauskirja 1/1998, 104-107.

Ojala, E. 2010. Selvitys puu- ja turvetuhkan lannoite- sekä muusta hyötykäytöstä. Motiva Oy. 46 s.

- Palosuo, V. J. 1979. Mera-ohjelmat Suomen metsätaloudessa. Acta Forestalia Fennica 165, 1979.
- Pekkala, S. 2012. Puun ja turpeen seospolton vaikutus tuhkan hyötykäyttökohteisiin. Diplomityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Teknillinen tiedekunta, Ympäristötekniikan koulutusohjelma. 132 s.
- Pohtila, E. 1999. Aikaisemmat puuntuotanto-ohjelmat. Metsätieteen aikakauskirja 1/1999, 130-133.
- Rinne, S. 2007. Biopolttoaineiden tuhkaa metsälannoitteeksi.  
[http://www.motiva.fi/files/3052/Biopolttoaineiden tuhkaa lannoitteeksi.pdf](http://www.motiva.fi/files/3052/Biopolttoaineiden_tuhkaa_lannoitteeksi.pdf). 24.11.2016.
- Saarinen, J. 2014. Rakeistetun laitostuhkan koneellinen levittäminen. Laitostuhkan hyötykäyttö lannoitteena. Opinnäytetyö (AMK).
- Tuokko, K. 1992. Metsänparantajat kansakunnan asialla 1908-1988. Saarijärvi. 509 s.
- Uusitalo, E. 1994. Maaseutupolitiikan keinot: elinkeinojen edistäminen maaseudun kehittäjäyhteisöissä, Kunnallissalan kehittämissäätiö, 1994 - Kunnallissalan kehittämissäätiön väitöskirjasarja, no 1.
- Vanhatalo, K., Väisänen, P., Joensuu, S., Sved, J., Koistinen, A. & Äijälä, O. (toim.) 2015. Metsänhoidon suositukset suometsien hoitoon, työopas. Tapion julkaisuja.
- Väätäinen, K., Sikanen, L. & Asikainen, A. 2000. Rakeistetun puutuhkan metsään palautuksen logistiikka. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta. Tiedonantoja 116.
- Väätäinen, K., Sirparanta, E., Räisänen, M. & Tahvanainen, T. 2011. The costs and profitability of using granulated wood ash as a forest fertilizer in drained peatland forests. Biomass and Bioenergy 34: 3335–3341.