LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Teknillinen tiedekunta
LUT Energia
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Mikko Tiainen

VOIMALAITOSTUHKAN HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUDET

Case: Kouvolan seutu

Työn tarkastajat: Professori, Tekniikan tohtori Mika Horttanainen
Tekniikan tohtori Mika Luoranen

Työn ohjaaja: Professori, Tekniikan tohtori Mika Horttanainen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Teknillinen tiedekunta
LUT Energia
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Mikko Tiainen

Voimalaitostuhkan hyödyntämismahdollisuudet - Case: Kouvolan seutu

Diplomityö

2014

65 sivua, 15 kuvaa, 13 taulukkoa, 2 liitettä

Tarkastajat: Professori Mika Horttanainen
Tekniikan tohtori Mika Luoranen

Hakusanat: Voimalaitostuhkan hyötykäyttö, Tuhkan käyttö metsälannoitteena, Tuhkan käyttöä koskeva lainsäädäntö, Tuhkan hyödyntäminen

Maailman laajuisen kasvihuoneilmiön kiihtyminen ja EU:n tiukentuneet jäsenmailleen asettamat tavoitteet uusiutuvien polttoaineiden käytön lisäämiseksi ovat lisänneet puupolttoaineiden käyttöä Suomessa. Lisääntynyt puupolttoaineiden käyttö ja entistä tehokkaampi hakkuutähteiden hyödyntäminen on lisännyt metsistä poistuvien ravinteiden määrää. Huoli metsien maaperän ravinteiden niukkenemisesta sekä tiukentunut lainsäädäntö tuhkien kaatopaikkasijoittamisesta ovat lisänneet energiayhtiöiden kiinnostusta lisätä tuhkien hyötykäyttöä.

Tuhka täytyy esikäsitellä, eli stabiloida ennen hyötykäyttöä. Stabiloinnissa tuhkaa kostutetaan, jolloin siitä muodostuu rakeita. Hyödynnettäessä tuhkaa metsälannoitukseen tuhka tulee usein myös terästää typellä, sillä tuhka ei sisällä lainkaan typpeä.

Muita tuhkan hyötykäyttömahdollisuuksia ovat peltolannoitus, betonin valmistus, maarakentaminen sekä jätevedenpuhdistus. Näistä vaihtoehdoista betonin valmistus ja maarakentaminen ovat melko yleisiä.

Kouvolassa tuhkaa muodostuu noin 14 000 tonnia vuodessa. Kaupungin omistama metsäalue Saaramaalla voitaisiin lannoittaa lähes samoilla kustannuksilla kuin mitä kaatopaikkasijoittaminen maksaisi. Sen sijaan tuhkan käytöllä tierakentamiseen Tähteen alueella saavutetaan tuhansien eurojen säästöt kaatopaikkasijoitukseen verrattuna ja samalla tuhka saadaan hyötykäyttöön kiviaineksia säästäen.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
Faculty of Technology
LUT Energy
Environmental Technology

Mikko Tiainen

Utilization Possibilities of Power plant ashes - Case: Kouvola Region

Thesis of the Degree of Master of Science in Technology

2014

65 pages, 15 figures, 13 tables, 2 appendices

Examiners: Professor Mika Horttanainen
Doctor of Science (Tech.) Mika Luoranen

Keywords: power plant ash utilization, utilization of ash as forest fertilizer, legislation of utilizing ash, utilizing ash

As the global greenhouse effect is expanding the EU has set stricter targets to its member countries to increase their usage of renewable energy sources. That has increased the usage of wood based fuels in Finland. The increased usage of wood based fuels and the more effective utilizing of wood residues has increased the amount of nutrients to vanish from the forests. Also the stricter legislation of placing the ashes to landfill has made the ash utilization more interesting for energy companies.

The ash must be stabilized before utilization. In stabilization process some moisture is added into ash to make ash form grains. In forest fertilization some nitrogen must be added into ash because ash doesn't include any nitrogen.

Other utilization possibilities are fertilization in agriculture, concrete manufacturing, earth constructing and waste water purification. Concrete manufacturing and earth constructing are quite common in Finland.

In Kouvola about 14 000 tons of ash is formed annually. The forest area in Saaramaa owned by Kouvola could be fertilized with almost the same costs compared to landfilling. Using ash for earth constructing in the Tähtee region would save money for thousands of euros compared to landfilling. At the same time some rock materials are saved.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Lappeenrannan teknilliselle yliopistolle. Työ on varsin pitkälti kirjallisuustyö, jonka aihe on keksitty yhdessä Mika Horttanaisen kanssa. Lisäksi työtä on ollut ohjaamassa Mika Luoranen. Suuri kiitos molemmille Mikoille työn ohjauksesta!

Välillä tuntui, ettei tätä diplomityötä saa ikinä tehtyä, mutta sinnikkään vaimoni, Niinan ansiosta sain itsestäni sen verran paukkuja irti, että tämä työ viimein valmistui. Diplomityö täytyi tehdä kokonaan vapaa-aikana töiden ohella, joten tämän tekstin ääressä on kulunut ilta jos toinenkin. Työllistyminen kesken opintojen ei siis välttämättä ole pelkästään hyvä asia, ainakaan diplomityön kannalta.

Totta kai kiitokset kuuluvat myös omalle perheelleni, joka on kannustanut minua koko yliopisto-opiskelun ajan.

Lappeenrannan teknillisen yliopiston opettajille ja henkilökunnalle kiitokset loistavista puitteista, joissa diplomi-insinöörin tutkinnon on voinut suorittaa.

Lopuksi isot kiitokset mahtavalle ystäväporukallemme, joka on hitsautunut yhteen opiskelun aikana. Tältä porukalta olen saanut paljon apua opiskeluun, ja heidän ansiostaan opiskeluaika on ollut todella hauskaa!

Kouvolassa 22.4.2014

Mikko Tiainen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ 1

ABSTRACT 2

ALKUSANAT 3

SISÄLLYSLUETTELO 4

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO 6

1 JOHDANTO 7

1.1 Työn tavoitteet ja rajaus 10

2 TUHKIEN MUODOSTUMINEN VOIMALAITOKSISSA JA NIIDEN OMINAISUUKSIA 12

2.1 Polttotekniikka ja tuhkien muodostuminen 12

2.2 Tuhkien kemialliset ominaisuudet 14

2.3 Tuhkien fysikaaliset ominaisuudet 15

2.4 Tuhkan määrät ja niiden käyttö 17

3 TUHKAN HYÖTYKÄYTTÖÖN VAIKUTTAVA LAINSÄÄDÄNTÖ 18

3.1 Lannoitevalmistelaki 539/2006 18

3.1.1 Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista 24/11 19

3.2 Lannoitevalmisteiden omavalvonta ja tuoteseloste 21

3.3 Jätelaki 646/2011 22

3.4 Jäteverolaki 1126/2010 22

3.5 Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 591/2006 23

3.6 REACH-asetus 26

3.7 Ympäristönsuojelulaki 86/2000 27

4 TUHKAN STABILOINTI 28

4.1 Itsekovetus 28

4.2 Rakeistaminen 29
4.2.1 Rumpurakeistus 30
4.2.2 Lautasrakeistus 31
4.2.3 Valssausrakeistus 32
5 TUHKAN HYÖTYKÄYTTÖMAHDOLLISUUDET 33
5.1 Tuhkan käyttö metsälannoitteena 33
5.1.1 Levityksen toteuttaminen 36
5.2 Tuhkan käyttö peltolannoitteena 38
5.3 Tuhkan käyttö maarakentamisessa 41
5.3.1 Lentotuhkien tierakentamiseen vaikuttavat ominaisuudet 41
5.3.2 Tuhkien käyttö tierakenteissa. 43
5.4 Hyötykäyttö betonin valmistuksessa 45
5.5 Tuhkan hyödyntäminen vedenpuhdistuksessa 47
6 CASE: TUHKAN HYÖTYKÄYTTÖ KOUVOLAN ALUEELLA 48
6.1 Kymin Voima Oy 48
6.2 Tuhkan käyttö metsälannoitteena Kouvolassa 50
6.3 Tuhkan käyttö tierakentamiseen Kouvolassa 53
6.3.1 Kerrosstabiloinnin toteuttaminen Tähteen alueella 55
6.3.2 Kerrosstabiloinnin työvaiheet 57
6.4 Tarvittavat toimenpiteet toiminnan aloittamiseksi 59
7 YHTEENVETO 60
LÄHTEET 62

LIITTEET

Liite I: Toiminnanharjoittajan omavalvontasuunnitelmassa vaadittavat tiedot

Liite II: Eviran tuoteselostemalli tuhkalannoitteelle

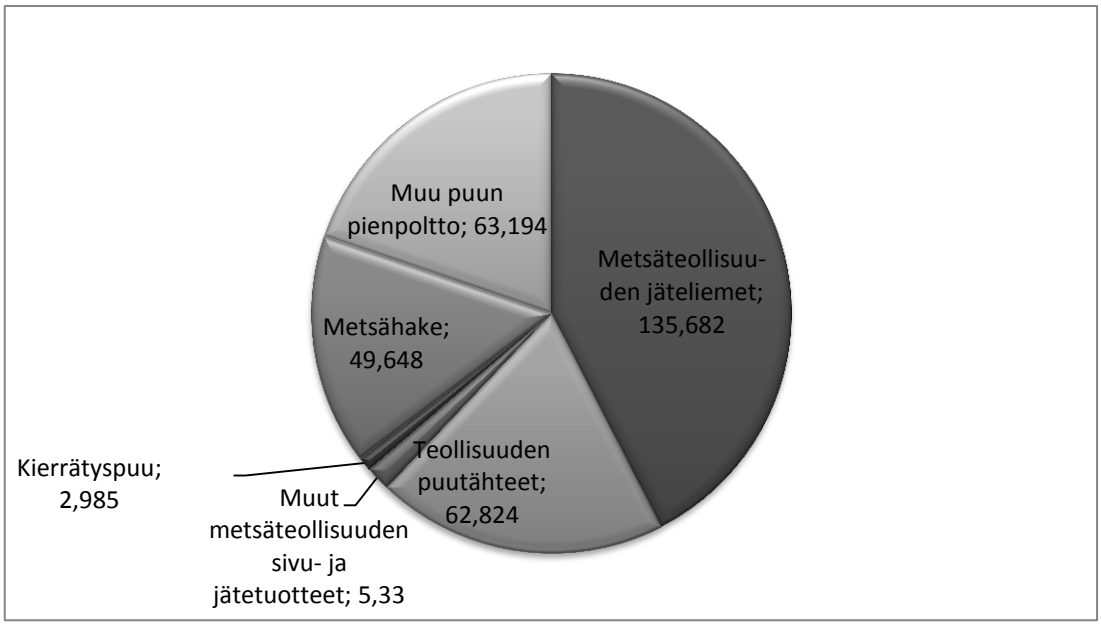
SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

alv.	Arvonlisävero
BOD	*eng.* Biological Oxygen Demand, Biologinen hapenkulutus
COD	*eng.* Chemical Oxygen Demand, Kemiallinen hapenkulutus
CRB	*eng.* California Bearing Ratio, Materiaalin jäykkyyttä kuvaava arvo
Evira	Elintarviketurvallisuusvirasto
KKA	Kasettikuorma-auto
KSS	Kouvolan seudun sähkö, Kouvolassa toimiva energiayhtiö
REACH	*eng.* Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals, Euroopan Unionin asetus kemikaalirekisteröinnistä, kemikaalien arvioinnista, lupamenettelyistä sekä rajoituksista
SiHk	Silttinen hiekka, maalajiluokitus
SJ	Sulamis-jäätymis (koe)
SrHk	Sorainen hiekka, maalajiluokitus
th	Alaindeksi, tehoa kuvaavan yksikön MW yhteydessä tarkoittaa lämpötehoa
TOC	*eng.* Total Organic Carbon, Orgaaninen kokonaishiili
Tukes	Turvallisuus- ja kemikaalivirasto
w-%	Painoprosentti
YVA	Ympäristövaikutusten arviointi

1 JOHDANTO

Maailmanlaajuisen ilmastonmuutoksen edetessä ja fossiilisten polttoaineiden käydessä entistäkin kalliimmiksi energiantuotannossa uusiutuvien energialähteiden hyödyntäminen fossiilisten polttoaineiden korvaajina on koko ajan lisääntymässä. Suomi on asettanut tavoitteekseen lisätä energiantuotannon uusiutuvien energialähteiden osuutta 38 prosenttiin vuoteen 2020 mennessä. Vuonna 2010 uusiutuvienenergialähteiden osuus oli Suomessa 27 %. Metsäteollisuuden elpyminen vaikutti uusiutuvien energialähteiden osuuden kasvamiseen vuonna 2010, jolloin uusiutuvien energialähteiden käyttö kasvoikin 16 %. Merkittävin uusiutuvan energian lähde Suomessa on biomassan poltto, jolla katetaan noin 20 % primäärienergian kulutuksesta. Biomassan poltosta on puupolttoaineiden käytöllä suurin merkitys. (Tilastokeskus 2012.)

Vuonna 2010 puupolttoaineiden käytöstä reilun kolmanneksen kattoi teollisuuden jäteliemien poltto sekä teollisuuden puutähteiden poltto (Kuva 1). Yhteensä vuonna 2010 puupolttoaineilla tuotettiin Suomessa 319 663 TJ energiaa. Erityisen voimakasta kasvu on ollut metsähakkeen poltolla, jonka käyttö on lisääntynyt 2000-luvun alusta kymmenkertaiseksi. (Tilastokeskus 2012.)



Kuva 1. Puupolttoaineilla tuotetun energian [TJ] jakaantuminen Suomessa vuonna 2010 (Tilastokeskus 2012).

Työ- ja elinkeinoministeriön vuonna 2010 julkaisemassa raportissa asetettiin tavoitteeksi, että metsähakkeella tuotetun energian määrä jopa nelinkertaistetaan vuoden 2005 tasosta vuoteen 2020 mennessä. Vuonna 2005 metsähakkeella tuotettiin 6 TWh energiaa, ja vuoden 2020 tavoite on 25 TWh. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2010.)

Puupolttoaineiden ja erityisesti hakkuutähteiden käytön merkittävä lisääminen tarkoittaa uusiutuvien polttoaineiden osuuden kasvamista, mutta samalla metsistä poistuvien ravinteiden määrä kasvaa merkittävästi (Saarsalmi et al. 2012). Alueilla, joissa puusto ei saa riittävästi ravinneaineita, metsän tuottavuus pienenee merkittävästi. Hakkuutähteiden käytön lisääntymisestä energiantuotannossa aiheutuva metsien ravinnekato voidaan kompensoida metsien tuhkalannoituksella. Puhuttaessa tuhkalannoituksesta tarkoitetaan tuhkalla voimalaitoksissa syntyvää lentotuhkaa. Palauttamalla puupolttoaineista syntyvä tuhka takaisin metsään ehkäistään metsän ravinteiden vähenemistä ja samalla lisätään metsän tuottavuutta. Kannattavinta tuhkan käyttö on paksuturpeisissa rämemetsiköissä, joissa puuston ravinteiden saanti on heikkoa maaperän matalan fosfori- ja kalsiumpitoisuuden vuoksi. (Huotari 2012, Hynönen, et al. 2008.)

Jos tuhkan hyödyntäminen metsälannoitteena ei syystä tai toisesta ole mahdollista, niin muita mahdollisia tuhkan hyötykäyttömahdollisuuksia ovat tuhkan käyttö peltolannoitteena, maanparannusaineena, tierakenteissa sekä asfaltin ja sementin lisäaineena. Kun voimalaitoksilla syntyvästä tuhkasta päästään mahdollisimman tehokkaasti eroon, ei tuhkaa tarvitse kuljettaa kaatopaikoille. Tuhkan hyötykäytöllä vähennetään myös yleensä muita ympäristövaikutuksia, kuten keinotekoisten lannoitteiden valmistuksesta aiheutuvia päästöjä. Maanrakennuskohteissa tuhkalla voidaan vähentää luonnon kiviainesten käyttöä. Kivihiilen poltosta syntyvää tuhkaa on käytetty maanrakennuskohteissa jo pitkään, mutta myös puun ja turpeen poltosta syntyvää lentotuhkaa on kokeiltu onnistuneesti. (Pesonen 2012.)

Hiilen käyttö voimalaitosten polttoaineena on ollut tasaisessa nousussa 2010-luvun lopulla, mutta sen käyttö on kuitenkin vähentynyt vuoden 2003 huippulukemasta noin 23 %. Vuonna 2010 hiilen osuus Suomen energiantuotannosta oli 13 % ja sillä tuotettiin 188 660 TJ energiaa. (Tilastokeskus 2012.)

Kolmas merkittävä suomalainen tuhkaa tuottava voimalaitosten polttoaine on jyrsin- ja palaturve, joita poltetaan myös usein yhdessä puupolttoaineiden kanssa. Tällöin puhutaan puun ja turpeen yhteispoltosta. Vuonna 2010 turpeen osuus energiantuotannosta oli 6 %. (Tilastokeskus 2010.) Puhdasta puutuhkaa syntyy varsin vähän eli suurin osa puupoltosta saatavasta tuhkasta syntyy yhdessä turpeen polton kanssa. Suomessa syntyy voimalaitoksissa puun ja turpeen poltolla arviolta 600 000 tonnia tuhkaa. (Huotari 2012.)

Voimalaitostuhkan hyödyntämisestä tekee hankalaa se, että tuhkan käyttöä säätelee varsin tiukka lainsäädäntö. Keskeisimpiä lainsäädännön lakeja ja asetuksia ovat jätelaki, lannoitelaki, ympäristönsuojelulaki sekä valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 591/2006. Usein kynnykseksi osoittautuvat tuhkan hyötykäytössä määrätyt tiukat ainesosaraja-arvot. Tämä vähentää energiayhtiöiden halukkuutta panostaa tuhkan laatuun esimerkiksi lannoitteeksi kelpaavaksi, sillä lannoitelaissa vastuu lannoitteesta on tuottajalla, ja tuhkan laatuun panostaminen tarkoittaa useasti korkeampia käsittelykustannuksia. Toisinaan syynä hyötykäytön haluttomuuteen saattaa olla lainsäädännön huono tuntemus tai sopivien käyttökohteiden ja urakoitsijoiden puuttuminen lähialueelta.

Vuonna 2011 astui voimaan uusi jäteverolaki 1126/2010, jossa voimalaitosten tuhka määritellään verolliseksi jätteeksi. Lain tarkoituksen on vähentää kaatopaikoille päätyvän jätteen määrää. (L 1126/2010.) Uuden lain myötä tuhkien hyödyntämismahdollisuuksien tunteminen on aiempaa tärkeämpää.

Usein voimalaitostuhkan kustannustehokas hyödyntäminen edellyttää hyötykäyttökohteiden läheistä sijaintia. Lisäksi kustannustehokkuutta parantaa se, että yhteen kohteeseen käytetään suuria määriä tuhkaa kerrallaan. Tuhkan jakelu pieniin yksittäisiin kohteisiin saattaa korkeiden kuljetuskustannusten vuoksi muodostua kannattamattomaksi.

1.1 Työn tavoitteet ja rajaus

Työssä tarkastellaan Kymin Voima Oy:n omistaman voimalaitoksen tuhkan muodostumista ja sen jatkokäyttömahdollisuuksia Kouvolan seudulla. Kymin Voima Oy:n voimalaitos sijaitsee Kouvolan Kuusankoskella, ja se käyttää polttoaineenaan puun ja turpeen seosta. Tarkasteltavina hyötykäyttökohteina Kouvolassa ovat metsälannoitus sekä tierakentaminen. Kouvolan osalta betoniteollisuuden tarkastelu ei ole mielekästä, koska Kouvolassa ei ole hiiltä polttavia voimalaitoksia, joiden tuottamaa tuhkaa betonin valmistuksessa tarvitaan. Kouvolan seudun lisäksi tutkielman kirjallisuusosassa tarkastellaan tuhkien hyödyntämistä yleisellä tasolla.

Tuhkien hyödyntämiseksi tarkastellaan neljää tutkimuskysymystä:

1. Mitkä ovat puuta, turvetta ja hiiltä polttoaineenaan käyttävien voimalaitosten mahdollisuudet hyödyntää polttoaineen poltosta syntyvää tuhkaa vaihtoehtona kaatopaikkasijoitukselle?

2. Mitkä ovat tarvittavat toimenpiteet, joita tuhkan tuottajan on tehtävä, jotta tuhka olisi hyötykäyttökelpoista?

3. Mikä ovat lainsäädännön asettamat vaatimukset tuhkan hyötykäytölle? Tuhkan käyttöä säätelevät useat eri lait ja asetukset käyttötarkoituksesta riippuen, joten niiden tunteminen on ensiarvoisen tärkeää tuhkan hyödyntämiseksi.

4. Millaisia kustannus-hyötynäkökulmasta järkeviä hyötykäyttötapoja Kouvolan alueella puun ja turpeen poltosta syntyville tuhkille on olemassa?

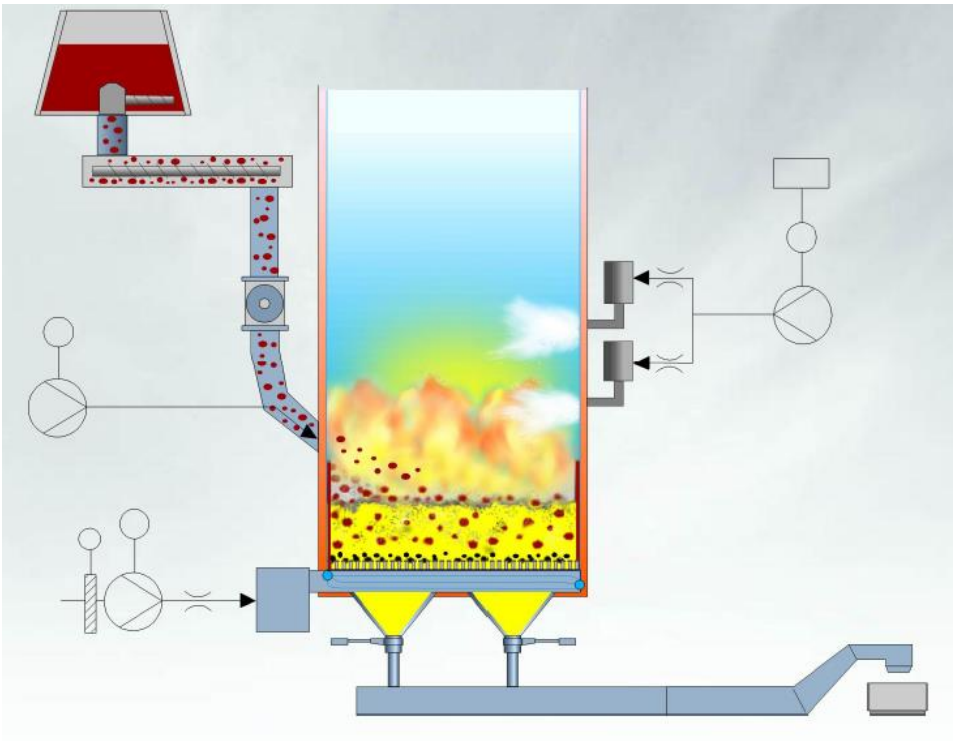
Merkittävä haaste tehokkaan hyötykäytön harjoittamiseen on sopivien hyötykäyttökohteiden löytäminen. Yleisesti ottaen hyötykäyttökohteen on oltava niin tehokas, että se tulee tuhkan tuottajalle perinteistä kaatopaikkasijoitusta edullisemmaksi. Hyvän hyötykäyttökohteen löytämisellä saattaa olla tuhkan tuottajalle sekä taloudellista että imagollista hyötyä.

2 TUHKIEN MUODOSTUMINEN VOIMALAITOKSISSA JA NIIDEN OMINAISUUKSIA

Tuhkaksi kutsutaan voimalaitosten kattiloissa muodostuvaa epäorgaanista ainesta, joka jää jäljelle polttoprosessista, kun kiinteän polttoaineen sisältämä orgaaninen aines palaa. Kattiloissa muodostuu polttoprosessista ja polttoaineesta riippuen raskaampaa pohjatuhkaa (arinatuhkaa) sekä kevyempää lentotuhkaa. Polttoprosessista ei kuitenkaan muodostu yhtä paljon tuhkaa kuin mitä poltettava materiaali sisältää epäorgaanista aineista, sillä osa epäorgaanisesta aineesta hapettuu tai höyrystyy savukaasujen joukkoon. (Pesonen 2012, Ojala 2010.)

2.1 Polttotekniikka ja tuhkien muodostuminen

Yleisimmät kiinteiden polttoaineiden polttotekniikat ovat poltinpoltto, arinapoltto sekä leijupetipoltto. Leijupetitekniikka on syrjäyttänyt voimakkaasti arinapolttoa viimeisen kolmenkymmenen vuoden aikana, mutta arinapolttoa käytetään edelleen pienissä voimalaitoksissa (< 50 MW). Poltinpolttoa sen sijaan käytetään pääasiassa hiilivoimalaitoksissa. Leijupetipoltto soveltuu hyvin erilaisille polttoaineille sekä polttoaineen laadun vaihtelulle. (Pesonen 2012.) Lisäksi polttoaineen esikäsittelyn tarve on huomattavasti arinapolttoa vähäisempää. Leijupetipoltossa kattilan pohjalla on inerttiä pohjamateriaalia, kuten hiekkaa, jota nimensä mukaan leijutetaan kattilan pohjalta johdetulla ilmalla. Pohjan lisäksi ilmaa johdetaan polttokattilaan kattilan sivuista. Käynnistysvaiheessa pohjamateriaali lämmitetään tiettyyn lämpötilaan, jonka jälkeen polttoainetta syötetään kattilaan. Pohjamateriaali lämmittää ja kuivattaa polttoaineen syttymislämpötilaan. Lisäksi pohjamateriaali tasaa kattilan lämpötilan vaihteluita. (Pesonen 2012, Rainio 2012.) Kuvassa 2 on esitetty Kymin Voiman voimalaitoksen leijupetikattilan ilman- ja polttoaineensyötön periaatekuva. Kymin Voiman voimalaitoksessa osa ilmansyötöstä tapahtuu polttoaineensyötön yhteydessä. (Rainio 2012.)



Kuva 2. Kymin Voiman voimalaitoksen polttoaineen- ja ilmansyötön periaatekuva. Ilmaa johdetaan kattilaan kattilan pohjasta ja sivuilta sekä polttoaineen mukana. (Rainio 2012.)

Puun ja turpeen poltosta saatavan tuhkan määrä vaihtelee käytettävästä polttoaineseoksesta riippuen, sillä turpeessa tuhkan osuus on noin 5 %, kun taas puun runko-osassa tuhkapitoisuus on alle prosentin (Ojala 2010). Pelkästään puupolttoaineissakin on varsin merkittäviä eroavaisuuksia tuhkapitoisuuksien suhteen. Puun tuhkapitoisuuteen vaikuttaa poltettava puulaji sekä puun osa. Puun runko-osan tuhkapitoisuus on selvästi oksistoa sekä lehtiä ja neulasia pienempi. (Korpilahti 2004, Vesterinen 2003.) Puupolttoaineista muodostuvat tuhkan suuntaa antavat määrät on esitetty taulukossa 1. Taulukossa on käytetty eri lähteiden keskiarvoja, sillä ne eivät eroa merkittävästi toisistaan.

Taulukko 1. Eri puulajien ja niiden osien tuhkapitoisuudet [w-% kuiva-aineena] (Korpilahti 2004, Vesterinen 2003).

Puulaji	Runko	Kuori	Oksat	Neulaset
Kuusi	0,84	3,20	1,88	5,13
Mänty	0,57	2,55	1,03	2,35
Koivu	0,54	2,18	1,23	5,45

Lentotuhka on pääasiassa savukaasuvirrasta poistettua tuhkaa. Yleensä tuhka erotetaan savukaasuista sähkösuodattimilla. Sähkösuodattimilla hiukkaset poistetaan savukaasuvirrasta sähköisen voiman avulla. Ensimmäisessä vaiheessa hiukkasille luodaan sähköinen varaus koronavaraajalla, jonka jälkeen ne hakeutuvat suodattimen keräinlevyille, joilla on vastakkainen varaus kuin hiukkasilla. Keräinlevyillä hiukkaset menettävät hiljalleen varauksensa, jolloin ne ravistetaan levyiltä keräyssuppiloihin ja niistä edelleen tuhkasiiloihin. (Maaskola 2002, Pesonen 2012.) Pohjatuhka ja karkea hiekka sen sijaan poistetaan kattilan pohjalla olevien reikien kautta, joista pohjatuhka ja hiekka kulkeutuvat kuonakuljettimelle. Tämän jälkeen pohjatuhkasta poistetaan hiekka ja se seulotaan. (Maaskola 2002, Rainio 2012.)

2.2 Tuhkien kemialliset ominaisuudet

Puussa ja turpeessa on erilaiset pitoisuudet eri alkuaineita. Esimerkiksi kadmium höyrystyy noin 700 °C, jolloin se tiivistyy helposti tuhkan sekaan sähkösuodattimiin savukaasujen jäähtyessä. Boori puolestaan höyrystyy jo 150–200 °C, jolloin se kulkeutuu helposti taivaalle savukaasujen joukossa. (Korpilahti 2004.)

Puun poltettavalla osalla on vaikutusta muodostuvan tuhkan koostumukseen; puun oksat ja lehdet sisältävät enemmän metalleja ja mineraaleja kuin puun runko-osa. Kuitenkin, lähes puulajista riippumatta, puutuhkat sisältävät samoja pääkomponentteja, kuten magnesium-, kalsium- ja kaliumyhdisteitä. Yleensä puutuhkan raskasmetallipitoisuudet ovat varsin pieniä, mutta lannoitekäytössä kadmium saattaa olla toisinaan rajoittava tekijä. (Pesonen 2012.) Turpeen poltossa

sen sijaan esiintyy runsaasti piitä, alumiinia ja rautaa. Turvetuhka sisältää vähemmän ravinteita kuin puutuhka ja on samalla karkeampaa. Lisäksi turvetuhka rakeistuu puutuhkaa huonommin ja on näin ollen lannoiteominaisuuksiltaan puutuhkaa huonompaa. Toisaalta turvetuhkassa on puutuhkaa vähemmän raskasmetalleja. (Ojala 2010.) Taulukossa 2 on esitetty puu- ja turvetuhkien sekä kivihiilen poltosta saatavan tuhkan ravinnepitoisuuksia. Arvot on laskettu eri lähteiden keskiarvona, sillä eri lähteiden välillä ei ollut merkittävää eroa alkuainepitoisuuksissa.

Taulukko 2. Eri tuhkalajien ravinnepitoisuuksia [w-% kuiva-aineena] (Ojala 2010, Vesterinen 2003, Korpilahti 2004).

	Ravinne [g/kg]									
Tuhkalaji	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Fe	Zn	S	Al
Puu	2,4	9,3	28,1	3,0	1,6	0,05	1,6	0,4	0,6	1,7
Turve	9,6	2,6	7,5	1,1	0,09	0,01	7,3	0,0	0,01	3,1
Kivihiili	0,1	0,3	2,7	1,3	0,06	0,01	2,9	-	-	2,6

2.3 Tuhkien fysikaaliset ominaisuudet

Arinatuhka on koostumukseltaan varsin hiekkamaista ja isorakeista, ja se kertyy polttokattilan pohjalle, kun taas lannoitteenakin käytettävä lentotuhka on paljon hienojakoisempaa ja on käytännössä savukaasuista puhdistettua tuhkaa (Korpilahti 2004). Tuhkan koostumus riippuu merkittävästi voimalaitoksessa käytettävästä polttoaineesta, palamislämpötilasta, käytettävästä prosessista sekä savukaasujen puhdistusmenetelmästä. Parhaiten tuhkan koostumukseen voimalaitoksella voidaan vaikuttaa tuhkan varastointitavalla sekä eri tuhkalajien erottelulla. (Ojala 2010.)

Tuhka on varsin emäksistä ainetta. Sen pH:n vaihteluväli on 10–13, jolloin sillä on kalkin tavoin maaperän pH-arvoa nostattava vaikutus (Ojala 2010). Kuiva ja käsittelemätön tuhka painaa noin 500–700 kg/m^3. Tuhkan käsittelyyn kuuluu tuhkan kostuttaminen, jolloin tuhkan kosteus on 10–30 %. Tällöin myös tuhkan tiheys kasvaa. Kovetettu ja rakeistettu tuhka painaa hieman yli 1 000 kg/m^3. (Korpilahti

2004.) Taulukossa 3 on listattuna eri voimalaitoksissa tuotettujen tuhkien kosteusprosentteja sekä tiheyksiä.

Taulukko 3. Eri voimalaitosten tuhkalaatujen kosteusprosentteja ja tiheyksiä (Korpilahti 2004).

Tuhkalaatu	**Voimalaitos**	**Kosteus-%**	**Tiheys [kg/m^3]**
Pöly	Äänekoski	0	500–710
Pöly	Pietarsaari	0	830
Itsekovetettu	Äänekoski	18–32	700–890
Itsekovetettu	Kymi	25–29	900
Rakeistettu	Enotuhka	11–13	1 040–1 160
Rakeistettu	Kymi	23–29	900

Tuhkan raekokojakaumat on mahdollista selvittää seulomalla. Taulukossa 4 on esitetty eri voimalaitosten tuhkien raekokojakaumia. Seulonnassa tuhka ajetaan erikokoisten seulojen läpi, jolloin saadaan selville, kuinka suuri osa seulottavasta tuhkasta läpäisee tietyn kokoisen seulan.

Taulukko 4. Eri voimalaitosten tuhkalaatujen rakeisuusjakaumia (Korpilahti 2004).

Tuhkalaatu/Voimalaitos	**Seulan koko (mm) sekä läpäisyprosentti**			
	≥ 2	< 2	< 0,5	< 0,06
Itsekovetettu/Äänekoski	36	16	32	16
Itsekovetettu/Kymi	29	17	48	6
Rae/Voikkaa	44	30	23	3
Rae/Kymi	63	22	12	3

2.4 Tuhkan määrät ja niiden käyttö

Tuhkan eri hyötykäyttömahdollisuuksia on tutkittu runsaasti, mutta edelleen 2000-luvulla tuhkan hyödyntäminen on ollut varsin vähäistä. Metsälannoitukseen ja maarakentamiseen on käytetty tuhkaa vain noin 10–15 % vuosittain muodostuvasta tuhkamäärästä. (Ojala 2010.) 2000-luvulla metsiä on lannoitettu vuosittain muutamia tuhansia hehtaareja, joka on alle 10 % vuosittain muodostuvasta lannoitukseen soveltuvasta tuhkasta (Motiva 2009).

Kivihiilen lentotuhkan käyttöaste on noin 60–80 %, josta suurin osa käytetään tie- ja kenttärakenteisiin sekä kaivostöihin. Kivihiilen lentotuhkaa käytetään myös jonkin verran sementin raaka-aineena. (Energiateollisuus 2010.) Taulukossa on 5 on voimalaitosten sivutuotteiden määrät vuonna 2006. Tuoreempaa tilastoa ei ollut saatavilla, mutta tilasto kuvaa vuoden 2010 tasoa melko hyvin, sillä kivihiilen käyttö on vähentynyt vuoden 2006 tasosta vuoteen 2010 mennessä 12,5 %, mutta vastaavasti puupolttoaineiden käyttö on lisääntynyt 15,7 %. Turpeen osuus on säilynyt kutakuinkin samana. (Tilastokeskus 2012.)

Taulukko 5. Voimalaitosten sivutuotteena muodostuneet tuhkamäärät vuonna 2006 [t, kuiva-ainetta] (Ojala 2010).

Lentotuhka		**Pohjatuhka tai -kuona**	
Kivihiili	Puu + Turve	Kivihiili	Puu + Turve
465 559	274 924	88 539	87 466

3 TUHKAN HYÖTYKÄYTTÖÖN VAIKUTTAVA LAINSÄÄDÄNTÖ

Tuhkien hyötykäyttöä säätelevät useat eri lait ja asetukset, joita sovelletaan tuhkan käyttötarkoituksen mukaan. Pääasiassa tuhkan hyötykäyttöä koskeva lainsäädäntö asettaa rajoituksia tuhkan sisältämille haitallisten aineiden pitoisuuksille ja liukoisuuksille. Ainoat lainsäädännön asettamat fysikaaliset rajoitteet tuhkan hyötykäytölle koskevat tuhkan pölyämisen ehkäisemistä ja levitettävyyttä lannoitekäytössä.

Tuhkan käyttöä ja loppusijoittamista koskevia lakeja ja asetuksia ovat lannoitevalmistelaki, jätelaki, maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista, ympäristönsuojelulaki, jäteverolaki, valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa sekä REACH-asetus. Näiden lakien ja asetusten tuhkia koskevaa sisältöä käsitellään seuraavissa luvuissa.

3.1 Lannoitevalmistelaki 539/2006

Lannoitevalmistelain tarkoituksena on, että Suomessa käytettävät ja markkinoitavat lannoitekäyttöön tarkoitetut valmisteet ovat turvallisia, hyvälaatuisia sekä kasvintuotantoon sopivia. Lisäksi lain tarkoitus on edistää lannoitekäyttöön soveltuvien sivutuotteiden hyödyntämistä silloin, kun ne täyttävät laissa määritetyt turvallisuusvaatimukset. Lannoitteet luokitellaan laissa turvallisiksi, kun ne eivät sisällä sellaisia määriä haitallisia aineita tai eliöitä, että niiden käyttöohjeiden mukaisella käytöllä olisi vaaraa ihmisten tai eläinten turvallisuudelle ja terveydelle. Lannoitteiden käytöstä ei myöskään saa aiheutua haittaa ympäristölle. (L 539/2006.)

Maa- ja metsätalousministeriö on säätänyt lannoitevalmistelain nojalla asetuksen lannoitevalmisteita koskevasta toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta (MMM-asetus 11/12). Tämän asetuksen mukaan toiminnan harjoittajalla on ilmoitusvelvollisuus Elintarviketurvallisuusvirastolle (Evira) toiminnan

aloittamisesta ja siinä tapahtuvasta muutoksesta viimeistään kuukautta ennen toiminnan tai muutoksen alkamista. Toiminnan harjoittajalla tarkoitetaan asetuksessa toimijaa, joka valmistaa, teknisesti käsittelee, saattaa markkinoille, maahantuo tai varastoi lannoitevalmisteita tai soveltuvin osin niiden raaka-aineita. Tällöin toiminnan harjoittajaksi lukeutuu energiayhtiö, jonka voimalaitoksessa tuotettua tuhkaa aiotaan käyttää lannoitekäytössä. (MMM-asetus 11/12.)

3.1.1 Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista 24/11

Maa- ja metsätalousministeriön asetus 24/11 lannoitevalmisteista edellyttää, että lannoitekäyttöön päätyvä tuhka on peräisin turpeen, peltobiomassan tai puun poltosta. Näiden lisäksi voidaan käyttää myös eläinperäistä tuhkaa. Eläinperäisellä tuhkalla tarkoitetaan sivutuotteita, jotka ovat syntyneet luokan 2 ja 3 eläinperäisiä sivutuotteita poltettaessa. Asetuksen mukaisesti tuhka on esikäsiteltävä siten, että pölyäminen on mahdollisimman vähäistä. (MMM-asetus 24/11.)

Taulukossa 6 on esitetty asetuksessa asetetut alkuaineiden enimmäispitoisuudet metsälannoituskäytössä. Pitoisuudet ilmoitetaan kuiva-ainekilogrammaa kohden. Enimmäispitoisuuksien lisäksi on säädetty, että metsälannoitteeksi käytettävässä tuhkassa on kaliumin ja fosforin yhteispitoisuus on oltava vähintään 2 % kuiva-ainetta kohden. Tämän lisäksi kalsiumia on oltava vähintään 6 %. Taulukossa 7 on vastaavat raja-arvot käytettäessä tuhkaa peltolannoitukseen. (MMM-asetus 24/11.)

Taulukko 6. Tuhkan sisältämät enimmäispitoisuudet metsälannoitteessa (MMM-asetus 24/11).

Alkuaine	Enimmäispitoisuus [mg/kg]	Enimmäiskuormitus [g/ha/v]
Arseeni (As)	40,0	160 g/ha/60 v
Elohopea (Hg)	1,0	
Kadmium (Cd)	25,0 (50)[1)]	100 g/ha/60 v
Kromi (Cr)	300	
Kupari (Cu)	700	
Lyijy (Pb)	150	
Nikkeli (Ni)	150	
Sinkki (Zn)	4500[2)]	

[1)]Lannoitteessa, jonka fosforipitoisuus on vähintään 2,2 % (5 % P_2O_5), voidaan sallia kadmiumin enimmäispitoisuudeksi 50 mg/kg.

[2)] Enimmäispitoisuuden ylitys lannoitevalmisteissa voidaan sallia, kun maaperäanalyysin perusteella on todettu puutetta kuparista tai sinkistä. 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/kg_{ka}.

Taulukko 7. Tuhkan sisältämät enimmäispitoisuudet peltolannoituksessa (MMM-asetus 24/11).

Alkuaine	**Enimmäispitoisuus [mg/kg]**
Arseeni (As)	25
Elohopea (Hg) [1)]	1,0
Kadmium (Cd)	1,5 [2)]
Kromi (Cr)	300 [3)]
Kupari (Cu)	600 [4)]
Lyijy (Pb)	100
Nikkeli (Ni)	100
Sinkki (Zn)	1500 [4)]

[1)] Elohopean määritys EPA 743 -menetelmällä.

[2)] 2,5 mg_{Cd}/kg kuiva-ainetta maa- ja puutarhataloudessa sekä viherrakentamisessa ja maisemoinnissa käytettävässä tuhkalannoitteissa tai niiden raaka-aineena käytettävässä tuhkassa.

[3)] Sellaisenaan kalkitusaineena käytettävälle sivutuotteelle teräskuona (tyyppinimi 2A2/3) määritetään kromi liukoisena kuuden arvoisena kromina (Cr 6+). Raja-arvo liukoiselle kuuden arvoiselle kromille on 2,0 mg/kg kuiva-ainetta.

[4)] Enimmäispitoisuuden ylitys lannoitevalmisteissa voidaan sallia, kun maaperäanalyysin perusteella on todettu puutetta kuparista tai sinkistä.

3.2 Lannoitevalmisteiden omavalvonta ja tuoteseloste

Toiminnan harjoittajan velvollisuudeksi kuuluu myös tuotteen omavalvonta. Valmisteen omavalvonnan tarkoituksena on taata tuotteen laatu ja jäljitettävyys sekä tuotteen turvallisuus ympäristölle, ihmisille ja eläimille. Omavalvontaan kuuluu tuotteen valmistuksen ja käsittelyn kriittiset vaiheet. Toiminnan harjoittajalla on oltava kirjallinen suunnitelma lannoitevalmisteen omavalvonnasta, joka on toimitettava Eviralle. (L 539/2006.)

Omavalvontasuunnitelmasta on käytävä ilmi muun muassa toiminnasta vastuussa olevat henkilöt, valmisteen tuotekohtaiset raaka-aineet sekä toimintaohjeet häiriötilanteita varten. Tarkemmat ohjeet lannoitevalmisteen omavalvonnasta on liitteessä I.

Toiminnan harjoittaja on vastuussa siitä, että tuote täyttää lainsäädännössä asetetut vaatimukset. Tuhkan kohdalla toiminnan harjoittaja voi olla esimerkiksi voimalaitoksen omistama energiayhtiö, jonka voimalaitoksella tuhka tuotetaan. Valmisteen seuraavalle käyttäjälle, eli ostajalle, on valmisteen luovutuksen yhteydessä annettava valmisteen tuoteseloste. (Evira 2009.) Tuoteselosteessa on oltava kirjallisesti tiedot tuotteen tyyppi- ja kauppanimestä, ominaisuuksista, käytöstä, koostumuksesta, valmistajasta ja maahantuojasta (L 539/2006). Liitteessä II on Eviran tuoteselosteohje tuhkalannoitteelle, josta selviää tarkemmin vaadittavat tuoteselosteen tiedot.

3.3 Jätelaki 646/2011

Jätelaissa 646/2011 määritellään jätteeksi esine tai asia, jonka sen haltija on poistanut, aikoo poistaa käytöstä, taikka on velvollinen poistamaan käytöstä. Voimalaitostuhkaa ei kuitenkaan välttämättä tarvitse määritellä jätteeksi, sillä laissa tuhka voidaan määritellä sivutuotteeksi, jos sen jatkokäytöstä on varmuus tai jos se on käyttökelpoista enintään tavanomaisen teollisen käytännön mukaisesti. Tällä voidaan tarkoittaa esimerkiksi tuhkan stabilointia. (L 646/2011.)

3.4 Jäteverolaki 1126/2010

Vuonna 2011 voimaan astuneen uuden jäteverolain tarkoitus on lisätä hyödyntämiskelpoisen jätteen hyötykäyttöastetta ja samalla vähentää kaatopaikalle päätyvän jätteen määrää. Hyödyntämiskelpoiseksi jätteeksi katsotaan sellainen jäte, jonka hyötykäyttö on teknisesti ja ympäristöperusteisesti mahdollista. (L 1126/2010.)

Samalla jäteverolain piiriin tulivat myös yksityiset kaatopaikat. Jäteverolaki ei kuitenkaan koske ongelmajätteitä tai sellaisia jätteitä, joilla ei ole kaatopaikkasijoitusta korvaavaa teknistä hyödyntämis- tai käsittelymahdollisuutta tai joiden käsittelymahdollisuudet eivät ole ympäristöllisesti kestäviä. Veron ulkopuolella ovat myös maankaatopaikat sekä väliaikaiset läjitysalueet. Uuden jäteverolain myötä suurimpia veron piiriin kuuluvia jätteitä ovat yhdyskuntajäte sekä voimalaitosten ja rauta- ja terästeollisuuden tuhkat ja kuonat. Verotus kohdistuu jätteiden kaatopaikkakäsittelyyn, ja siitä peritään 50 euroa jätetonnia kohden. (L 1126/2010, VaVM 43/2010 vp.)

3.5 Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 591/2006

Asetuksen tarkoitus on helpottaa eräiden jätteiden ammatti- ja laitosmaista hyödyntämistä maanrakennuskohteissa määrittelemällä ne edellytykset, joiden täyttyessä asetuksessa tarkoitettujen jätteiden osalta ei tarvita ympäristönsuojelulain 86/2000 mukaista ympäristölupaa.

Asetuksen mukaisia maanrakennuskohteita ovat:

1. yleiset tiet, kadut, pyörätiet ja jalkakäytävät sekä niihin välittömästi liittyvät tienpitoa ja liikennettä varten tarpeelliset alueet, ei kuitenkaan meluesteet;
2. pysäköintialueet;
3. urheilukentät sekä virkistys- ja urheilualueiden reitit;
4. ratapihat sekä teollisuus-, jätteenkäsittely- ja lentoliikenteen alueiden varastointikentät ja tiet.

Vaikka ympäristönsuojelulain mukaista ympäristölupaa ei asetuksen mukaan tarvita, on jätteen laadunvalvonta ja hyödyntäminen järjestettävä. Lisäksi toiminnasta on ilmoitettava ympäristönsuojelun tietojärjestelmään ELY-keskukselle.

Jätteen hyödyntämisen ehtona on, että jäte täyttää taulukossa 8 ilmoitetut raja-arvot. Myöskään muita haitallisia aineita ei saa olla siinä määrin, että jätteen

hyödyntämisestä aiheutuu vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle. Lisäksi jätettä sisältävän rakenteen paksuus saa olla enintään 150 cm ja se on aina peitettävä tai päällystettävä. Peittämisellä tarkoitetaan jätteen suojaamista vähintään 10 cm paksuisella luonnon kiviaineskerroksella. Päällystämisellä sen sijaan tarkoitetaan jätteen suojaamista sateiden ja suotautumisen varalta asfaltilla, jonka tyhjätila on enintään 5 prosenttia. Myös muut päällystysmenetelmät sallitaan, jos niillä saavutetaan vastaava suojaustaso. (VNa 591/2006.)

Taulukko 8. Valtioneuvoston asetuksen liitteessä 1 säädetyt raja-arvot haitta-aineille, joita jäte saa enimmillään sisältää (VNa 591/2006).

Haitallinen aine	**Raja-arvo mg/kg kuiva-ainetta** Perustutkimukset[1]			**Raja-arvo mg/kg kuiva-ainetta** Laadunvalvontatutkimukset[2]		
	Pitoisuus	Liukoisuus (L/S = 10 l/kg) Peitetty rakenne	Liukoisuus (L/S = 10 l/kg) Päällystetty rakenne	Pitoisuus	Liukoisuus (L/S = 10 l/kg) Peitetty rakenne	Liukoisuus (L/S = 10 l/kg) Päällystetty rakenne
PCB[2]	1,0					
PAH[3]	20/40[4]					
DOC[5]		500	500			
Antimoni		0,06	0,18			
Arseeni	50	0,5	1,5	50		
Barium	3 000	20	60	3 000		
Kadmium	15	0,04	0,04	15		
Kromi	400	0,5	3,0	400	0,5	3,0
Kupari	400	2,0	6,0	400		
Elohopea		0,01	0,01			
Lyijy	300	0,5	1,5	300	0,5	1,5
Molybdeeni	50	0,5	6,0	50	0,5	6,0
Nikkeli		0,4	1,2			
Vanadiini	400	2,0	3,0	400	2,0	3,0
Sinkki	2 000	4,0	12	2 000		
Seleeni		0,1	0,5		0,1	0,5
Fluoridi		10	50		10	50
Sulfaatti		1 000	10 000		1 000	10 000
Kloridi		800	2 400		800	2 400

[1] Perustutkimuksilla osoitetaan jätteen kuuluvan asetuksen soveltamisalaan. Perustutkimuksissa on vakioiduin analyysi- ja testausmenetelmin selvitettävä ainakin jätteen koostumus ja haitallisten aineiden liukoisuus. Vähintään viiden vuoden väliajoin tai, jos jätettä tuottavassa toimissa tapahtuu muutoksia, jotka voivat olennaisesti vaikuttaa jätteen laatuun, on tehtävä riittävät lisätutkimukset sen varmistamiseksi, että jäte edelleen vastaa perustutkimuksia. Mittaukset, testaukset, selvitykset ja tutkimukset on tehtävä ympäristönsuojelulain 108 §:n mukaisesti pätevästi, luotettavasti ja tarkoituksenmukaisin menetelmin.

[2] Polyklooratut bifenyylit, kongeneerien 28, 52, 101, 118, 138, 153, ja 180 kokonaismäärä.

[3] Polyaromaattiset hiilivedyt, yhdisteiden (antraseeni, asenafteeni, asenaftyleeni, bentso(a)antraseeni, bentso(a)pyreeni, bentso(b)fluoranteeni, bentso(g,h,i)peryleeni, bentso(k)fluoranteeni, dibentso(a,h)antraseeni, fenantreeni, fluoranteeni, fluoreeni, in-deno(1,2,3-cd)pyreeni, naftaleeni, pyreeni, kryseeni) kokonaismäärä.

[4] Peitetty rakenne/päällystetty rakenne

[5] Liuennut orgaaninen hiili

3.6 REACH-asetus

Euroopan Unionin REACH-asetuksen (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) (2006/1901/EY) tarkoitus on varmistaa terveyden- ja ympäristönsuojelun korkeataso EU-maissa. Lisäksi asetuksella pyritään lisäämään tavaroiden vapaata liikkumista EU:n jäsenmaissa sekä samalla parantaa EU:n kemianteollisuuden kilpailukykyä. Asetus koskee kemikaalien rekisteröintiä, arviointia ja lupamenettelyä. (Tukes 2013.)

Asetuksen mukaan toimijan, joka valmistaa tai tuo maahan yhdessä tai useammassa erässä yhden vuoden aikana yhden tonnin tai enemmän ainetta, on toimitettava rekisteröinti kemikaalivirastoon (Tukes 2013).

REACH-velvoitteen piiriin aine joutuu silloin, kun sitä ei enää luokitella jätelain 646/2011 mukaisesti jätteeksi. Sivutuotteet, joilla on käyttötarkoitus, kuten voimalaitostuhka, tulee rekisteröidä REACH-asetuksen mukaisesti. Rekisteröinti tulee tehdä ensisijaisesti muiden vastaavaa ainetta rekisteröivien tahojen kanssa. (Kemikaalineuvonta 2013.) Vuonna 2010 Linnunmaa niminen yritys teki yhdessä 71 tuhkantuottajan muodostaman konsortion kanssa REACH-asetuksen mukaisen rekisteröinnin 56 lämpövoimalaitoksen seospolton tuhkalle. (Linnunmaa 2011.) Näin ollen vastaavanlaista tuhkaa tuottavilla laitoksilla ei ole rekisteröintivelvoitetta (Kemikaalineuvonta 2013). Vain jos tuhkalla ei ole hyötykäyttömahdollisuutta, ja se varastoidaan kaatopaikalle, siihen sovelletaan voimassa olevaa jätelakia.

3.7 Ympäristönsuojelulaki 86/2000

Ympäristönsuojelulain tarkoitus on muun muassa ehkäistä ympäristöpilaantumista, ehkäistä jätteiden syntyä ja niiden haitallisia vaikutuksia, edistää luonnonvarojen kestävää käyttöä sekä torjua ilmastonmuutosta (L 86/2000).

Voimalaitoksissa syntyvä tuhka luokitellaan jätelain mukaan jätteeksi, koska tuhkan haltija on voimalaitos, jossa tuhka on muodostunut, jolloin voimalaitos on myös velvollinen poistamaan se käytöstä. Normaalisti jätteen laitos- tai ammattimainen käsittely vaatii ympäristöluvan, joka haetaan kunnan ympäristölupaviranomaiselta. Ympäristölupaa ei kuitenkaan tuhkan kohdalla tarvita, sillä ympäristönsuojelulain 30 a § kohdassa 2 mainitaan, että haitatonta tuhkaa voidaan hyödyntää lannoitekäytössä lannoitevalmistelain 539/2006 mukaisesti ilman ympäristölupaa. Ympäristölupaa ei tarvita myöskään silloin, kun valtioneuvoston asetuksessa eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 591/2006 määritellyt ehdot täyttyvät. (L 86/2000.)

Vaikka tuhkan hyötykäyttöä koskeva toiminta ei tarvitsisikaan ympäristölupaa, on toiminnasta kuitenkin tehtävä ilmoitus hyvissä ajoin ennen toiminnan aloittamista elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukselle 65 § momentin 2 mukaan. Ilmoitus tehdään 27 §:n mukaista rekisteröintiä varten. Ilmoituksessa on oltava riittävät tiedot toiminnan harjoittajasta, toiminnasta, sen sijainnista ja vaikutuksista. (L 86/2000.)

4 TUHKAN STABILOINTI

Lentotuhka on sellaisenaan erittäin hienojakoista, pölyävää ja vaikeasti käsiteltävää materiaalia. Jotta tuhkan käsittely ei olisi niin hankalaa ja pölyävää esimerkiksi kuljetuksessa ja lannoituksen levitysvaiheessa, se on ensin esikäsiteltävä eli stabiloitava. Kaikessa yksinkertaisuudessaan tuhkan stabiloiminen tarkoittaa tuhkan kostuttamista vedellä. Tuhkan kovettuminen johtuu tuhkan sisältämästä vapaasta kalkista eli kalsiumoksidista (CaO), joka yhdessä veden kanssa muodostaa kalsiumhydroksidia. Tämä puolestaan reagoi ilman hiilidioksidin kanssa muodostaen kalsiumkarbonaattia. Lisäkovuutta tuhkalle tuo myös kalsiumoksidin reagoiminen erilaisten alumiiniyhdisteiden kanssa, jolloin muodostuu sementtimäistä ainetta, joka sitoo tuhkahiukkasia tiiviiksi partikkeleiksi. (Korpilahti 2003.)

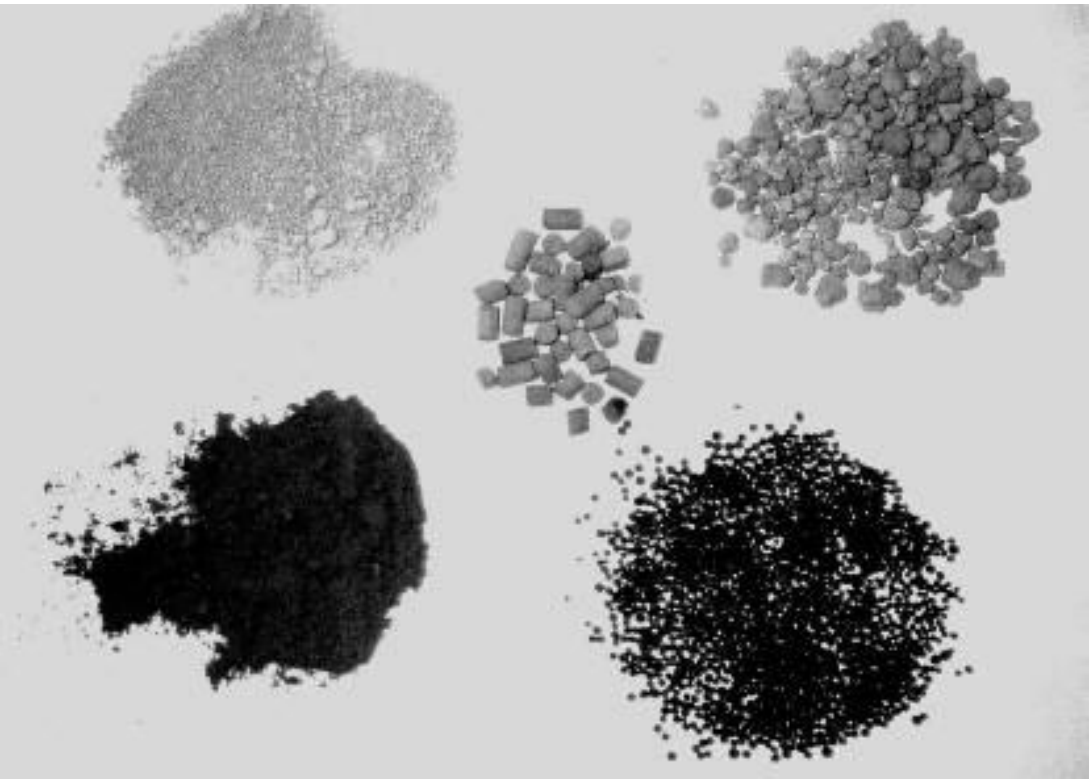
4.1 Itsekovetus

Yksinkertaisin esikäsittelymenetelmä on tuhkan itsekovetus, jossa tuhka kostutetaan vedellä ja jätetään kasoiksi kovettumaan. Itsekovetuksessa tuhkan sopiva kostutusmäärä on noin 30–35 % vettä tuhkan ja veden yhteenlasketusta määrästä. Riittävä kovettumisaika on muutamia viikkoja. (Hynönen et al. 2008.) Kostutus tapahtuu ruuvikostuttimella, jossa tuhka johdetaan siilosta tuhkaruuviin, johon sumutetaan vettä. Itsekovetuksen jälkeen tuhkakasoista murskataan suurimmat paakut pienemmiksi, esimerkiksi kuormausvaiheessa seulakauhalla. Vaikka itsekovetettu tuhka sisältääkin melko paljon hienoa ainesta, se on kuitenkin riittävän pölyämätöntä, jotta sitä voidaan kuljettaa kuorma-autolla ja levittää metsään. (Korpilahti 2003.) Periaatekuva tuhkan stabiloinnista on esitetty kuvassa 3.

Kuva 3. Lentotuhkan stabilointiprosessi itsekovettamalla.

4.2 Rakeistaminen

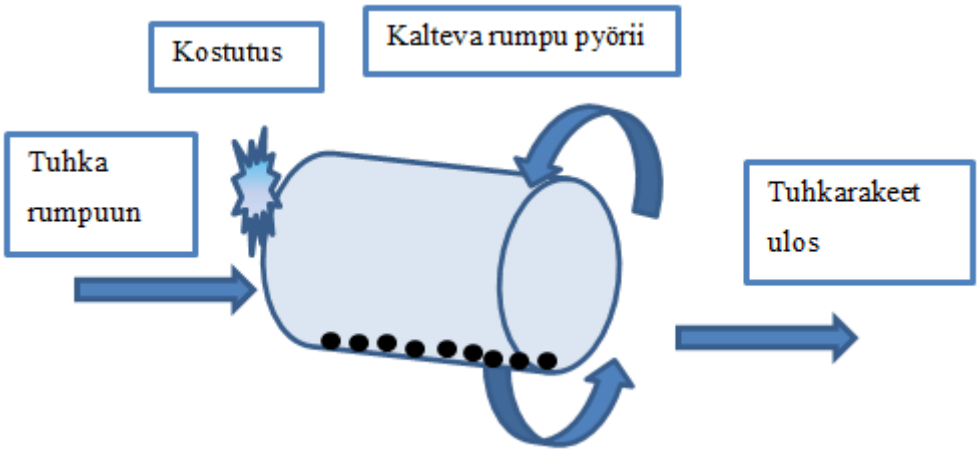
Lentotuhkan rakeistaminen on itsekovettamista tehokkaampi stabilointitekniikka. Rakeistuksessa tuhkan sisältämä hienon ja pölyävän aineen osuus on paljon pienempi kuin itsekovetuksessa. Rakeistukseen on muutamia eri tekniikoita, mutta kaikki perustuvat siihen, että tuhkaa sekoitetaan kostutuksen aikana, jolloin se muodostaa rakeita. (Hynönen et al. 2008.) Rakeistuksessa käytetyt tekniikat ovat rumpu-, lautas- ja valssausrakeistus. Lisäksi on tutkittu myös tuhkan matriisirakeistusta, jossa kostutettu tuhka puristetaan matriisin läpi, jolloin tuhkasta muodostuu pötköjä, jotka voidaan katkoa rakeiksi. Menetelmä toimii siis lihamyllyn tavoin, mutta siinä on ilmennyt ongelmia matriisin tukkiutumisessa sekä tuhkan kovettumisessa sementin tavoin. (Jutila 2012.) Kuvassa 4 on erilaisilla stabilointimenetelmillä käsiteltyjä tuhkalaatuja. Rakeistuksen onnistuminen riippuu hyvin pitkälle tuhkan laadusta ja lämpötilasta. Parhaiten rakeistus onnistuu, kun tuhka on peräisin puupolttoaineiden poltosta ja se on vielä lämmintä. Rakeistaminen on itsekovetusta kalliimpi menetelmä, mutta se on myös nopeampi ja se soveltuu paremmin jatkokäyttöä varten. (Hynönen et al. 2008.)



Kuva 4. Erilaisilla stabilointimenetelmillä käsiteltyjä tuhkalaatuja. Ylhäällä vasemmalta oikealle on itsekovetettua, matriisipuristettua sekä rumpurakeistettua tuhkaa. Alhaalla vasemmalla on käsittelemätöntä tuhkaa ja oikealla lautasrakeistettua tuhkaa. (Korpilahti 2003.)

4.2.1 Rumpurakeistus

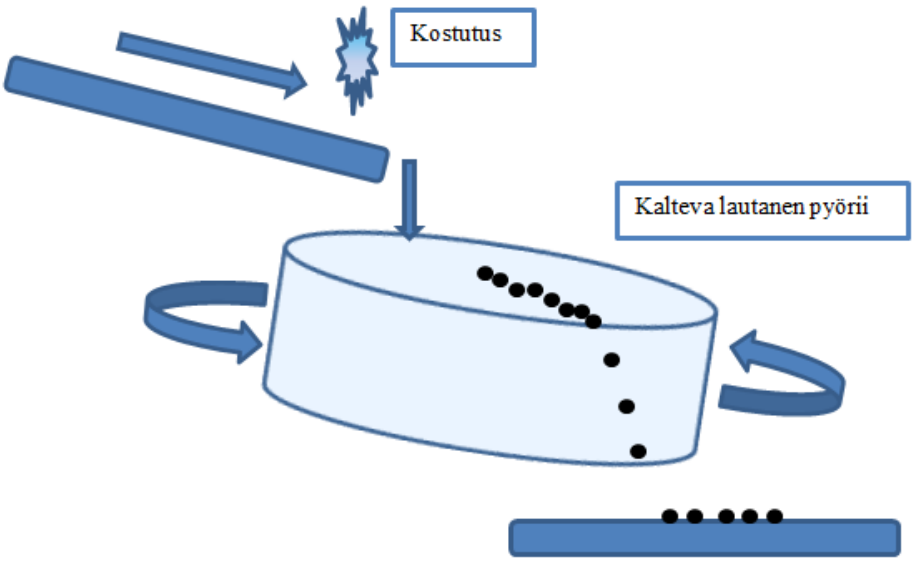
Tuhkan rumpurakeistuksessa tuhkaa syötetään pyörivään rumpuun, jolloin siihen samanaikaisesti sumutetaan vettä. Tuhkan kostuessa ja rummun pyöriessä saadaan aikaan tuhkan rakeistuminen, kun tuhka valuu lopulta rummun pohjalle. Rumpu on hieman kallellaan, jolloin rakeistunut tuhka vierii eteenpäin rummussa (Kuva 5). Tuhkan raekokoa voidaan säädellä rummun pyörimisnopeudella sekä kallistuskulmalla, tuhkan syötöllä ja veden sumutuksella. Rakeistuksen jälkeen tuhka johdetaan kuivausrummun kautta seulaan, jolloin hieno aines palautetaan rummun alkupäähän ja liian suuret jakeet johdetaan murskaukseen. (Kaakkois-Suomen ympäristökeskus 2006.)



Kuva 5. Tuhkan rumpurakeistuksen periaatekuva.

4.2.2 Lautasrakeistus

Lautasrakeistuksessa periaate on varsin sama kuin rumpurakeistuksessa. Kostutettu tuhka johdetaan pyörivälle lautaselle, joka on kaltevassa asennossa, jolloin tuhka muodostaa pallomaisia rakeita vieriessään kaltevalla lautasella. Lautaselta tuhkarakeet kulkeutuvat hihnakuljettimelle ja seulontaan (Kuva 6). Lautasrakeistuksessa lopputuotteen kosteuspitoisuus on noin 12 %. (Korpilahti 2003.)



Kuva 6. Tuhkan lautasrakeistuksen periaatekuva

4.2.3 Valssausrakeistus

Tuhkan rakeistaminen valssauksella perustuu puristusvoimaan, jossa tuhkasta puristetaan levymäisiä tai nauhamaisia paloja. Nämä levyt ja nauhamaiset kappaleet voidaan murskata ja katkoa erityisellä laitteella (Kuva 7), tai sitten niiden voidaan antaa murskautua jatkokäsittelyjen ja kuljetuksen aikana. Valssausmenetelmän vedentarve on hyvin vähäinen, sillä rakeistuksen vesipitoisuus voi olla jopa vain 3–5 %. Lisäksi valssauksella saadaan rakeistettua vanhat ja muilla menetelmillä huonosti rakeistuvat tuhkat. (Jutila 2012, Korpilahti 2003.)

Kuva 7. Ruotsissa kehitetyssä valssirakeistimessa taaempi rumpu on uritettu, jolloin se tiivistää ja muotoilee tuhkan nauhamaiseksi. Etualalla olevassa rummussa on lankoja, jotka pätkivät tuhkanauhat. (Korpilahti 2003.)

5 TUHKAN HYÖTYKÄYTTÖMAHDOLLISUUDET

Tuhkan hyötykäyttömahdollisuuksiin vaikuttavat monet tekijät. Vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa tuhkan koostumus, muodostuvan tuhkan määrä, tuhkan sijainti suhteessa hyödyntämiskohteeseen sekä hyödyntämiskohteiden määrä ja sijainti. Koostumuksella on merkittävä vaikutus, sillä tuhkan sisältämien ainesosien perusteella määräytyy, onko tuhka lain mukaan kelvollista esimerkiksi lannoituskäyttöön, tai onko tuhka ravinnepitoisuuksiltaan lannoitekäyttöön soveltuvaa. Käytettävä polttoaine ratkaisee myös tuhkan käyttökelpoisuuden, sillä esimerkiksi sementin valmistuksessa tuhkan tulee olla pääasiassa kivihiilestä peräisin. Seuraavissa kappaleissa esitellään erilaisia hyötykäyttömahdollisuuksia kaatopaikkasijoituksen vaihtoehtona.

5.1 Tuhkan käyttö metsälannoitteena

Maaperässä, jossa ravinnepitoisuudet ovat päässeet laskemaan, voidaan havaita puuston hidastunutta kasvua, joka ei ole toivottavaa metsän tuottavuuden kannalta. Joissakin olosuhteissa puiden kasvu saattaa loppua kokonaan tai puuston laatu voi kärsiä maaperän väärästä ravinnetasapainosta. Tällaista tilannetta voidaan parantaa metsän lannoituksella. (Hynönen et al. 2008.)

Metsien lannoitusmäärät ovat vaihdelleet Suomessa merkittävästi kuluneiden vuosikymmenten aikana. 1970-luvulla metsien lannoitus oli huipussaan, jolloin vuonna 1975 lannoitettiin peräti 245 000 hehtaaria metsää. 1990-luvulla metsien lannoitus oli romahtanut vain muutamaan tuhanteen hehtaariin, mutta lannoituksen määrä on taas noussut 2000-luvulla. (Ojala 2010.)

Tuhkan käyttöä metsälannoitteena on tutkittu Suomessa jo 80 vuotta. Ensimmäiset kokeet tehtiin 1930-luvun lopulla. 1937–1959 perustettiin 30 koetta ojitusaluemetsiin. Laajamittaisempiin kokeisiin ryhdyttiin 1970-luvulla, jolloin perustettiin noin 200 koealuetta pääasiassa turvealueille. Tällöin tutkittiin erilaisten

tuhkalaatujen käyttöä sekä vaikutuksia pohjamaahan ja puustoon. Myöhemmin 1990-luvulla on tehty tarkempia kokeita tuhkalannoituksen vaikutuksesta marjoihin, sieniin, vesistöihin sekä kasvihuonekaasuihin. Lisäksi tällöin tutkittiin muun muassa tuhkan liukoisuutta, ravinnehuuhtoumia sekä tuhkan rakeistuksen vaikutuksia. (Moilanen 2011.)

Lannoitteeksi tuhka sopii erityisen hyvin sen korkeiden ravinnepitoisuuksien takia. Puhdas puutuhka olisi ravinnearvoiltaan valmista lannoitetta sellaisenaan typen puuttumista lukuun ottamatta, mutta valitettavasti Suomen voimalaitoksissa syntyy puhdasta puutuhkaa varsin vähän, sillä yleensä polttoaineena käytetään puun ja turpeen sekoitusta. Seospolttoaineen alkuainepitoisuudet riippuvat luonnollisesti käytettävästä puun ja turpeen seossuhteesta. (Huotari 2010, Korpilahti 2004.)

Turpeen poltosta syntyvä tuhka ei sen sijaan ole niin ravinnerikasta kuin puunpoltosta syntyvä tuhka. Varsinkin turvetuhkan sisältämät kaliumin (K) ja Boorin (B) määrät ovat huomattavasti vähäisempiä kuin puutuhkalla, joka useimmissa tapauksissa johtaa huonoon lannoitustulokseen. (Korpilahti 2004.) Varsinkaan turvemailla turvetuhkan käytöllä ei saavuteta mainittavaa hyötyä (Saarsalmi et al. 2006).

Suositellut tuhkamäärät lannoituksessa vaihtelevat 3 000–5 000 kg/ha. Parhaiten tuhkalla lannoitettaviksi metsiksi sopivat suometsät, joiden maaperässä on runsaasti typpeä, mutta vain vähän fosforia ja kaliumia. Lisäksi otollisia kohteita ovat käytöstä poistetut turvetuotantoalueet, jotka valjastetaan talousmetsiksi, tai jotka on tarkoitus maisemoida. (Huotari 2012, Hynönen et al. 2008.) Ojitetuilla suometsillä tuhkalannoituksen vaikutukset saattavat olla havaittavissa heti levityksen jälkeisenä vuotena, jolloin kaliumin ja boorin kasvua hidastava puutostila on korjaantunut (Huotari 2012). Puutostilan korjaantuminen näkyy parhaiten metsän ulkoasussa. Puiden neulasten väri muuttuu kellertävästä tumman vihreäksi ja samalla niiden koko kasvaa (Kuva 8). (Hynönen et al. 2008.) Fosforin puutos korjaantuu vasta 3–4 vuodessa, sillä fosfori liukenee tuhkasta merkittävästi hitaammin kuin kalium (Huotari 2012, Hynönen et al. 2008.) Suometsien ravinnemäärien on todettu pysyvän hyvänä jopa 20–50 vuotta tuhkalannoituksen jälkeen. Joissakin kohteissa nopeasti liukenevan ja huuhtoutuvan kaliumin takia lannoituskertoja saatetaan tarvita kaksi

puuston kasvuaikana. (Huotari 2012, Hynönen et al. 2008.) Suometsissä, joiden maaperässä on typpeä, on tuhkalannoituksen todettu antavan hitaasti käynnistyvän, mutta pitkäkestoisen puuston kasvua lisäävän vaikutuksen. Runsastyppisessä maaperässä puuston kasvu lisääntyy 2–3 vuodessa, kun taas vähän typpeä sisältävässä maaperässä kasvun lisääntyminen on havaittavissa vasta noin 5 vuoden kuluttua tuhkan levityksestä. (Hynönen et al. 2008.)

Kuva 8. Tuhkalannoitus korjaa puustossa kalium, boorin ja fosforin puutostilaa. Ylempi männyn oksa on tuhkalannoitetulta Pelson alueelta ja alempi oksa lannoittamattomalta verrokkialueelta 10 vuoden kuluttua lannoituksesta. (Hynönen et al. 2008.)

Turvemaiden metsälannoitukseen tuhka on sopivaa, kun se sisältää riittävästi ravinteita. Taulukossa 9 on esitetty turvemaiden metsälannoitukseen soveltuvien lannoitteiden alkuainesisältöjä.

Taulukko 9. Turvemaiden metsälannoitukseen soveltuvien lannoitteiden ravinnemääriä [w-% kuiva-aineena] (Hynönen et al. 2008).

Ravinne	**Puutuhka**	**Turvetuhka**
Fosfori (P)	1,5	1,1
Kalium (K)	3,8	0,3
Kalsium (Ca)	23,3	7,6
Magnesium (Mg)	2,2	1,1
Boori (B)	0,03	> 0,01

Kangasmetsissä tehtyjen lannoituskokeiden tulokset ovat olleet jossain määrin ristiriitaisia. Joissakin kokeissa pelkällä tuhkalannoituksella ei ole saatu havaittavaa parannusta puuston kasvuun mineraalipitoisilla kangasmailla (Huotari 2012, Ozolincius et al. 2007). Joidenkin tulosten mukaan tuhkalannoituksella saavutetaan jonkin verran parantunutta biologista aktiivisuutta kangasmetsien maaperässä, jolla puolestaan on pieni puun kasvua lisäävä vaikutus pitkällä aikavälillä (> 10 vuotta) (Huotari 2012).

5.1.1 Levityksen toteuttaminen

Lannoitettavaksi alueeksi valitaan mahdollisimman laaja alue, jotta tuhkan kuljetus ja levityskustannukset saadaan matalammiksi lannoitushehtaaria kohden. Tarvittaessa tuhkan levitys kannattaa suunnitella ja toteuttaa useamman eri metsän omistajan kanssa. (Huotari 2012.)

Levitettävän tuhkan on oltava esikäsiteltyä, eli joko itsekovetettua tai rakeistettua, jotta vältytään tuhkan liialliselta pölyämiseltä. Ennen levityksen aloittamista esikäsitelty tuhka kuljetetaan lannoitettavan metsän lähelle kuorma-autoilla. Välivarastointipaikaksi sopii mahdollisimman tasainen ja aukea alue, jonne kuorma-autolla on helppo päästä. Myös kuljetusreitti kannattaa suunnitella etukäteen mahdollisimman sujuvaksi. Kasettikuorma-autoilla (KKA) voidaan tehostaa tuhkan kuljetusta pidemmillä välimatkoilla. Yhdellä KKA:lla voidaan kuljettaa kerrallaan noin 40 tonnia tuhkaa. Tuhkan välivarastointi saattaa olla tarpeen sijoittaa useampaan

eri pisteeseen, jotta voidaan pienentää levityskaluston edestakaisin kulkemaa matkaa. Levityksen aloittamisesta on hyvä tiedottaa alueen lähiasukkaille. (Huotari 2012.)

Metsälannoituksen levitysmenetelmät ovat maa- ja ilmalevitys. Maalevityksessä yleisin työkone on metsätraktori kun taas ilmalevityksessä käytetään helikopteria. Helikopterilevityksen etuja traktorilevitykseen verrattuna ovat levityksen riippumattomuus vuodenajasta ja metsänhoitovaiheesta sekä levityksen tehokkuus. Lisäksi kivikkoiset alueet ja metsälammet saattavat tehdä alueesta rikkonaisen, jolloin tuhkan levittäminen traktorilla on hankalaa. Toisaalta helikopterilevityksen kustannukset ovat usein korkeammat kuin maalevityksen kustannukset. (Huotari 2012.) Käytettäessä helikopteria tuhkan levitykseen, tulee huomioida metsäojien suunta, sillä tuhka tulee levittää ojien suuntaisesti, jotta vältytään tuhkan joutuminen ojiin. Myös navakka sivutuuli lisää riskiä tuhkan joutumiselle ojiin. (Hynönen et al. 2008.)

Maalevitystä suunniteltaessa tulee ottaa huomioon metsän maaperän kantavuus. Suometsissä, joissa maaperän kantavuus on huono, levitys on viisainta suorittaa talvella maaperän ollessa jäässä. Toisaalta, kun tuhka levitetään lumen päälle, ravinnehuuhtoumat vesistöihin lisääntyvät. Lisäksi maalevitys on tehtävä metsänhoidollisesti oikeaan aikaan. Levitys voidaan suorittaa harvennushakkuun jälkeen, jolloin samalla on hakattu kulkureittejä levityskalustoa varten. Harvennushakkuuta seuraavan lannoituksen jälkeen tehdään yleensä kunnostusojitus. (Huotari 2012.) Kuvassa 9 on maalevitykseen soveltuva metsätraktori, jonka perässä on tuhkasäiliö lautaslevittimineen.

Kuva 9. Maalevityksessä käytettävä metsätraktori, jonka perässä on tuhkasäiliö lautaslevittimellä varustettuna (Jutila 2012).

5.2 Tuhkan käyttö peltolannoitteena

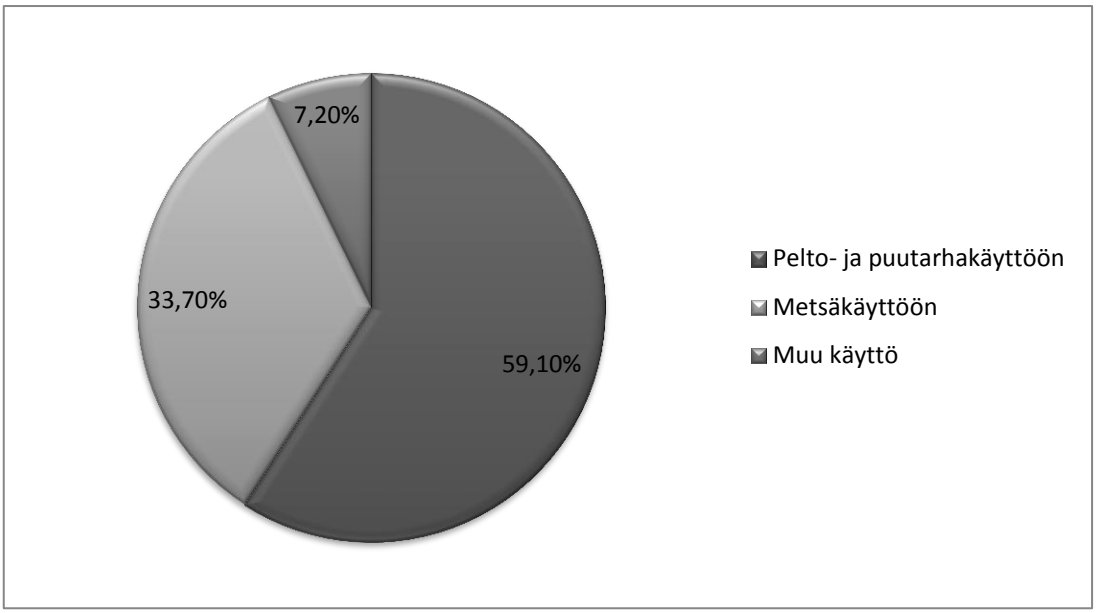
Peltojen lannoitukseen vaikuttavat monet tekijät, kuten esimerkiksi viljeltävät kasvit ja niiden käyttötarkoitus, viljelysmaan ominaisuudet (maalaji, multavuus, happamuus ja ravinnepitoisuus) sekä viljelyvyöhyke. Nykyisellään keinotekoiset lannoitteet sisältävät muun muassa typpeä, fosforia, kaliumia, kalsiumia ja magnesiumia. Näiden aineiden lisäksi on osoitettu suomalaisessa lannoituksessa boorin ja kuparin tarve. (Maa- ja metsätalousministeriö 2008.) Typpeä ja booria lukuun ottamatta puutuhka sisältää kaikkia näitä tarpeellisia aineita (Ojala 2010).

Suomalainen maaperä on luontaisesti hapanta, jolla on kasvien kasvua hidastava vaikutus. Lisäksi maaperän happamuus alentaa monien ravinteiden saatavuutta kasveille ja näin ollen suomalaisen viljelyn kannattavuutta. (Maa- ja

metsätalousministeriö 2008.) Jo aiemmin tuhkan todettiin olevan varsin emäksistä, joten tuhkan käytöllä lannoitteena on maaperää neutraloiva vaikutus.

Suomessa maatalous on merkittävin ihmisen toiminnasta aiheutuva fosfori- ja typpikuormituksen lähde vesistöille, sillä yli puolet fosfori- ja typpikuormituksesta on peräisin maataloudesta. Maatalouden typpi- ja fosforihuuhtoumat ovat peräisin peltojen viljelystä ja niiden lannoituksesta sekä kotieläintaloudesta. Lisäksi lannoituksesta aiheutuu merkittäviä kasvihuonekaasupäästöjä. Lannoitevalmisteena kasveille annettava typpi kuormittaa ilmakehää dityppioksidina, kun taas lannasta itsestään tulee metaanipäästöjä. Hiilidioksidiekvivalenteiksi muutettuna lannoitus ja lanta aiheuttavat noin 70 prosenttia maatalouden kasvihuonekaasupäästöistä ja noin 5 prosenttia koko maan kasvihuonekaasupäästöistä. (Maa- ja metsätalousministeriö 2008.)

Toisin kuin muilla lannoitteilla, tuhkalannoitteiden käytöllä ravinnehuuhtoumat ovat olleet erittäin vähäisiä, jos lannoitusvaiheessa jätetään riittävät suojavyöhykkeet ojiin ja vesistöihin (Maa- ja metsätalousministeriö 2008, Huotari 2012). Todennäköisenä syynä fosforin huuhtoutumattomuuteen pidetään fosforin sitoutumista tiukasti tuhkan rauta- ja alumiiniyhdisteisiin (Hynönen et al. 2008). Lisäksi tuhkan osuuden lisäämisellä peltolannoitteeksi voidaan vähentää maataloudesta aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä, sillä näin tarpeeton lanta voitaisiin esimerkiksi mädättää, ja näin voitaisiin vähentää lannasta aiheutuvia metaanipäästöjä. Kuvassa 10 on esitetty tuhkan käytön jakautuminen vuonna 2007 ilman kaatopaikkasijoitusta (Maa- ja metsätalousministeriö 2008.)



Kuva 10. Tuhkan käytön jakautuminen vuonna 2007 (Maa- ja metsätalousministeriö 2008).

Ulkomaalaisissa tutkimuksissa on osoitettu peltotuhkan kiihdyttävän esimerkiksi kauran, maissin ja kyyhkyherneen kasvua. (Pesonen 2012, Pandey et al. 2008). Lisäksi tuhkalla on ulkomaalaisten tutkimusten mukaan maaperän laatua parantavia ominaisuuksia. Sen on todettu muun muassa parantavan maaperän veden pidätyskykyä sekä neutraloivan maaperän happamuutta. (Basu et al. 2008.) Tuhkan käyttöä peltolannoitteena on tutkittu Suomessa melko vähän, sillä tutkimus on keskittynyt Suomessa tuhkan käyttöön metsälannoitteena (Pesonen 2012). Lisäksi voimalaitostuhkan sisältämä kadmiumin määrä usein ylittää peltolannoitukselle sallitut raja-arvot (ks. taulukko 7) (Vesterinen 2003).

Kuten metsälannoitteen tapauksessa, myöskään peltotuhka ei sisällä typpeä, joten typpeä on lisättävä tuhkaan ennen sen käyttöä peltojen lannoitukseen. Vaikka tuhka sisältää runsaasti kasvien tarvitsemia ravinneaineita, sillä ei voida kokonaan korvata kemiallisia lannoitteita tai orgaanista lantaa. Peltotuhkan käytöllä voidaan kuitenkin korvata kalkin käyttö maaperän neutraloimiseen ja samalla pystytään vähentämään keinotekoisten lannoitteiden ja orgaanisen lannan tarvetta. (Basu et al. 2008.)

Paras kohde peltotuhkan käytölle on hapan ja ravinneköyhä maaperä, jonka vedenpidätyskyky vaatii parannusta. Tuhkan levittäminen pelloille onnistuu

luontevasti maataloustraktorilla, joka on varustettu esimerkiksi lautaslevittimellä. Ennen levitystä tuhkan tulee olla stabiloitua pölyämisen estämiseksi.

5.3 Tuhkan käyttö maarakentamisessa

Suomen metsäteollisuudessa syntyvän tuhkan suurin potentiaali maarakentamisen materiaalina on kiviainesten korvaaminen. Yksinomaan maarakentamisessa käytetään Suomessa vuosittain noin 80 miljoonaa tonnia luonnon kiviaineksia. Tuhkien sopivan raekokojakauman ansiosta lentotuhkaa voidaan hyödyntää esimerkiksi asfaltin sideaineena kun taas pohja- ja arinatuhkia voidaan hyödyntää samasta syystä hiekkaa ja soraa korvaavana materiaalina. (Soikkeli et al. 2005.)

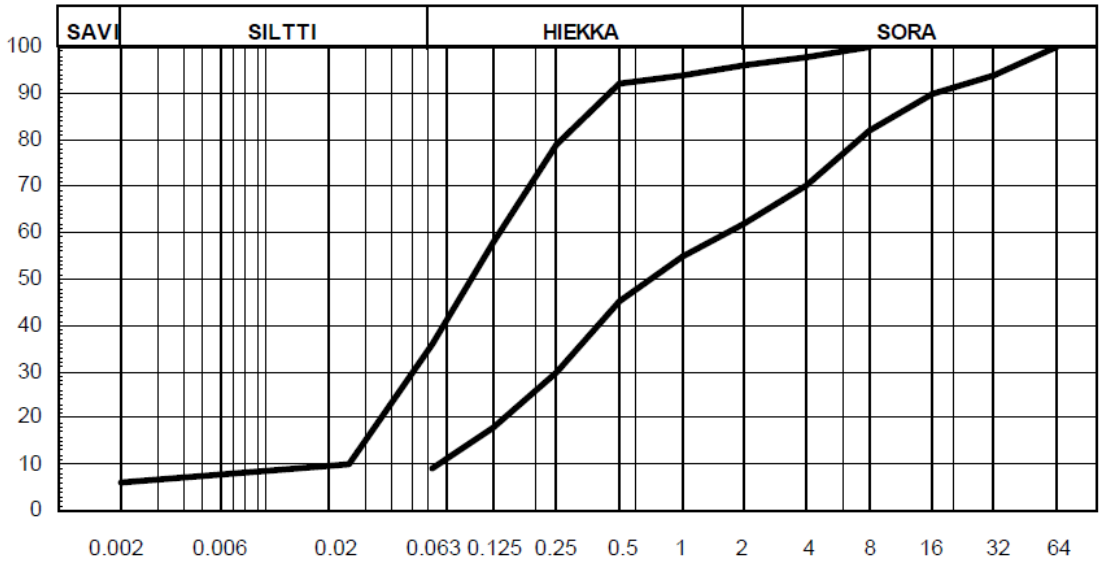
Maarakentaminen on tuhkien hyötykäyttömahdollisuuksista kaikkein monipuolisin. Tuhkat soveltuvat erilaisiin tie- ja kenttärakenteisiin, kaatopaikkojen maisemointiin sekä meluvalleihin. Tuhkia on käytetty jo pitkään koeluontoisissa projekteissa, mutta niiden käyttö ei ole vielä kunnolla yleistynyt. Käytön yleistymisen suurimpia esteitä on tietämättömyys tuhkan soveltuvuudesta ja sen teknisistä ominaisuuksista maarakentamiseen sekä ympäristökelpoisuudesta. (Pesonen 2012.)

Tuhkan käyttöä maarakentamisessa säätelee valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 591/2006. Uuden asetuksen myötä tuhkia on mahdollista käyttää maarakennusaineena ilman ympäristölupaa, jos hyödynnettävä tuhka täyttää asetuksessa säädetyt raja-arvot haitallisista aineista. Asetuksen päätavoite on tehdä tuhkien hyödyntämisestä helpompaa. (MMM-asetus 591/2006.)

5.3.1 Lentotuhkien tierakentamiseen vaikuttavat ominaisuudet

Maalajiluokituksen perusteella kasavarastoitu lentotuhka luokitellaan silttisestä hiekasta (SiHk) soraiseen hiekkaan (SrHk) keskimääräisen raekoon ollessa 0,30 mm. Kasavarastoinnilla tarkoitetaan tässä tekstissä lentotuhkan varastointia kasalla, jossa se on kostutettu ennen läjittämistä ja on ollut varastoituna vähintään yhden

kuukauden yli 5 °C lämpötilassa. Kuvassa 11 on esitetty kasavarastoidun lentotuhkan rakeisuuskäyrä, josta selviää lentotuhkan raekokojakauma. (Soikkeli et al. 2005.)



Kuva 11. Kasavarastoidun lentotuhkan raekokojakauman vaihteluväli (Soikkeli et al. 2005). x-akselilla on seulojen koko [mm] ja y-akselilla seulojen läpäisyprosentti.

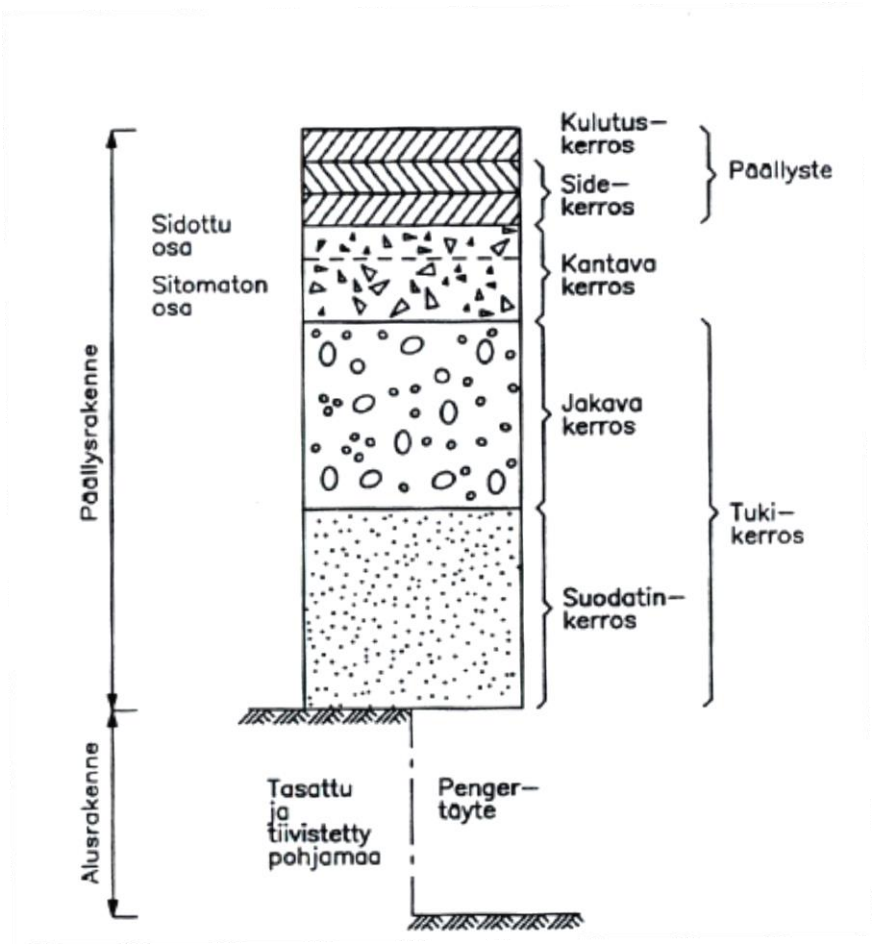
Kasavarastoidun lentotuhkan vesipitoisuus on tyypillisesti 40–60 %. Tässä yhteydessä vesipitoisuudella tarkoitetaan tuhkan sisältämän veden massaa jaettuna kuivan tuhkan massalla prosentteina ilmaistuna. Muita maarakentamiselle oleellisia ominaisuuksia ovat lujuus ja kantavuus. Kaikilla kasavarastoiduilla lentotuhkilla 28 vuorokauden 1-aksiaalinen puristuslujuus on yli 200 kPa. 1 MPa puristuslujuus luokitellaan voimakkaasti lujittuvaksi, jolloin kyseinen lentotuhka soveltuu esimerkiksi tierakentamisessa kantavan kerroksen alapintaan, jakavaan kerrokseen tai suodatin kerrokseen. (Soikkeli et al. 2005, Lahtinen et al. 2012.) Kevätkantavuutta kuvaavan muodonmuutosmoduulin arvo lentotuhkalle on 45 MN/m^2. Tällöin tiivistysasteen tulee olla yli 90 %. Kantavuutta voidaan arvioida myös CRB-arvolla (California Bearing Ratio), joka tarkoittaa tutkittavan materiaalin painumaa verrattuna verrokkimateriaalina käytettävään kalkkikivimurskeeseen. Lentotuhkan CRB-arvo on vähintään 15 %, kun voimakkaasti lujittuvilla

materiaaleilla CRB-arvo on 40–50 %. (Soikkeli et al. 2005.) Lisäksi tuhkien soveltuvuus on hyvä testata jäätymis-sulamiskokeella (JS-koe). JS-kokeen jälkeinen muutos 1-aksiaalisessa puristuslujuudessa tulee olla alle 30 %. (Lahtinen et al. 2012.)

Tutkimusten perusteella kasavarastoitu lentotuhka on routimaton materiaali (Soikkeli et al 2005). Roudalla tarkoitetaan maaperän sisältämän veden jäätymisen johdosta kovettuvaa maakerrosta. Roudan muodostumisen tai sulamisen johdosta maan pinta liikkuu, jolloin esimerkiksi tierakenteille saattaa aiheutua vahinkoa, jolloin puhutaan routavaurioista. (Pesonen 2012.)

5.3.2 Tuhkien käyttö tierakenteissa.

Tuhkaa voidaan käyttää tierakenteissa useassa eri tarkoituksessa. Lentotuhkaa voidaan hyödyntää päällysteessä, kantavan kerroksen alaosassa, jakavassa kerroksessa sekä suodatinkerroksessa. Lisäksi pohjatuhkaa voidaan käyttää jakavassa kerroksessa sekä suodatinkerroksessa. (Lahtinen et al. 2012.) Tien rakennekerrokset on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Periaatekuva tien rakennekerroksista nimityksineen (KT 02 2002).

Tuhkia on kokeiltu useassa eri tiehankkeessa, joista monet ovat onnistuneet hyvin. Rovaniemellä tuhkaa kokeiltiin tien jakavassa kerroksessa, jonka seurauksena todettiin roudan etenemisnopeuden ja keväällä sulamisnopeuden hidastuvan. Lisäksi tuhkaa kokeiltiin asfaltin fillerinä jalkakäytävän päällysteessä. Huokoisuutta lukuun ottamatta tuhkan todettiin täyttävän asfalttinormien asetukset. Lisäksi tuhkalla on onnistuttu stabiloimaan teiden kulutuskerroksia sekoittamalla tuhkan sekaan sideainetta, jonka jälkeen seos on sekoitettu tien vanhoihin rakennekerroksiin halutulla syvyydellä. Näin on saatu aikaan parempi tien kantavuus sekä kestävyys kelirikkoja varten. (Pesonen 2012). Vastaavanlainen tiehanke toteutettiin Kouvolassa vuonna 2011, kun Lautarontiellä tien kantava kerros stabiloitiin tuhkan ja sideaineen seoksella (Kouvolan kaupunki 2014). Vuoden 2013 kesällä kyseisen tien asfaltissa

oli varsin merkittäviä pitkittäissuuntaisia halkeamia. Halkeamien syy ei tosin ole tiedossa.

Lentotuhkilla tehtäviä sorapintaisten teiden koeluontoisia stabilointeja on tehty muun muassa Lappeenrannassa, Teuroisissa, Leppävirrassa sekä Kuusankoskella. Teuroisten paikallistiellä tierakenne oli vuoden seurannan jälkeen hyvässä kunnossa. Myöskään Lappeenrannassa ei kokeillulla Vihto-Jäkkö tiellä havaittu vaurioita vuoden mittaisen tarkkailun aikana. (Pesonen 2012.) Kuusankosken Väkkäräntie oli myös hyvässä kunnossa vuoden 2013 kesällä tuhkastabiloidulla osuudella.

5.4 Hyötykäyttö betonin valmistuksessa

Käyttämällä lentotuhkaa betonin valmistuksessa, voidaan saavuttaa merkittäviä materiaalisäästöjä. Lentotuhkalla voidaan korvata betonin valmistuksessa sementtiä jopa 400 kg jokaista käytettyä tuhkatonnia kohden. Samalla vähennetään kaikista hienojakoisimman kiviaineksen tarvetta. (Pesonen 2012.) Tuhkan roolina on siis toimia sideaineena betonin valmistuksessa ja samalla se lisää hieman betonin loppulujuutta. (Siddique 2012, Pesonen 2012.)

Betonin valmistukseen käytettävää tuhkaa säätelevät betoninormit sekä lentotuhkastandardi SFS EN 450 osa 1 ja 2. Lentotuhkastandardi asettaa vaatimuksia betonin valmistuksessa käytettäville tuhkille. Standardi sallii kivihiilen ja biopolttoaineiden seospolton, mutta kivihiilen osuus on oltava vähintään 80 %. Näin ollen puun ja turpeen poltosta peräisin olevaa lentotuhkaa ei nykyisellään juurikaan päästä hyödyntämään betonin raaka-aineena. EU:n ilmastopolitiikka kuitenkin ajaa kivihiilen osuutta energiantuotannossa alaspäin ja samalla lisätään biopolttoaineiden käyttöä, joten lentotuhkastandardikin muuttunee tulevaisuudessa myönteisemmäksi puu- ja turvetuhkia kohtaan. (Pesonen 2012.)

Puun poltosta saatavalla lentotuhkalla on tehty kokeita betonin kestävyyden suhteen. Eräässä kokeessa betonia valmistettiin vertailuerä ilman lentotuhkaa ja kolme erää, joissa osa sementistä korvattiin lentotuhkalla. Käytetyt tuhkamäärät olivat 5 %, 8 % ja 12 % sementin kokonaismassasta. Tehtyjen kokeiden perusteella ilman tuhkaa

valmistetun betonin puristuskestävyys 28 päivää betonin valmistuksen jälkeen oli 3,8 MPa. 365 päivää betonin valmistuksen jälkeen puristuskestävyys oli 4,3 MPa. Käytettäessä tuhkaa osana sementin valmistuksessa vastaavat luvut vaihtelivat 3,6 MPa ja 4,0 MPa välillä 28 päivän kuluttua. Puolestaan 365 päivän kuluttua puristuskestävyys vaihteli 4,2 MPa ja 5,1 MPa välillä. Tutkimuksen mukaan paras kestävyys saavutettiin, kun sementin valmistuksessa käytettiin 8 % tuhkaa. Vastaavasti yli 20 % prosentin osuus tuhkaa sementissä johti puristuskestävyyden alentumiseen. (Siddique 2012.)

Yleisesti ottaen puutuhka sisältää vähemmän betonin valmistukselle hyödyllisiä pii-, alumiini- ja rautayhdisteitä kuin kivihiilituhka. Lisäksi puutuhkassa on enemmän betonille haitallisia kalsiumyhdisteitä. Turvetuhka on ominaisuuksiltaan lähempänä kivihiilituhkaa, joten tuhkan käyttö betonin raaka-aineena on kannattavaa sellaisilla alueilla, joissa kivihiiltä polttoaineenaan käyttävä voimalaitos on betonivalmistamon lähellä. (Pesonen 2012.) Jos lentotuhkastandardi tulevaisuudessa sallii pienemmän osuuden kivihiilituhkaa osana sementtiä, voi erilaisten tuhkien käyttö levitä laajemmalti betoniteollisuudessa.

5.5 Tuhkan hyödyntäminen vedenpuhdistuksessa

Eräs mielenkiintoinen lentotuhkien hyödyntämiskohde on jätevedenpuhdistus. Jätevedenpuhdistusta lentotuhkan avulla on tutkittu Oulun yliopiston kemian laitoksella, jossa Kuokkasen tekemissä kokeissa rakeistetulla biotuhkalla onnistuttiin vähentämään kemiallisen hapenkulutuksen (COD) määrää jopa 99,5 % synteettisestä öljy-vesi-emulsiota sisältävästä jätevedestä. Samassa yhteydessä orgaanisen hiilen kokonaismäärää (TOC) saatiin vähennettyä noin 80 %. Menetelmä on edelleen kokeiluasteella, mutta jatkotutkimuksissa on saatu lupaavia tuloksia. (Pesonen 2012.)

Kääriäisen Oulun yliopistolle tekemässä pro gradu -tutkielmassa onnistuttiin valmistamaan turvetuhkasta saostuskemikaalia, jonka todettiin toimivan jäteveden fosforin poistossa hyvin (Pesonen 2012). Kyseistä menetelmää voidaan käyttää kemikaalinsyötössä esimerkiksi ferrosulfaatin korvikkeena, ja se on helposti otettavissa käyttöön.

Ruotsissa tehdyissä kokeissa tutkittiin puuperäisen lentotuhkan vaikutusta puulaminaattiteollisuuden koneiden pesemisestä aiheutuville jätevesille. Kokeissa keskityttiin tarkkailemaan kemiallisen hapenkulutuksen, biologisen hapenkulutuksen (BOD) ja orgaanisen hiilen kokonaismäärien vähentymiseen tuhkan raekokoa ja annostusta säätelemällä. Tuloksista selviää, että 160 g/l annostuksella tuhkaa jätevedessä raekoon ollessa alle 1 mm saadaan jätevedestä poistettua seuraavat määrät: COD 37 %, BOD 24 % ja TOC 30 %. Samassa tutkimuksessa osoitettiin, että kemiallisesta hapenkulutuksesta voidaan poistaa 42 % esikäsittelemällä tuhka kuumalla vedellä. Tuhkalla ei saavuteta yhtä hyviä tuloksia kuin kaupallisilla tuotteilla, mutta se on hinnaltaan edullinen. Lisäksi tuhkasta saattaa liueta jäteveteen metalleja, kuten kromia, joten tuhka on pestävä huolellisesti ennen käyttöä. (Laohaprapanon et al. 2010.) Kyseinen menetelmä on vielä kokeiluasteella, eikä sitä ainakaan vielä ole otettu laitoskäyttöön.

6 CASE: TUHKAN HYÖTYKÄYTTÖ KOUVOLAN ALUEELLA

Kouvola on noin 87 000 asukkaan kaupunki, joka on muodostunut vuonna 2009 yhdistyneistä kunnista ja kaupungeista, joita ovat: Kouvola, Kuusankoski, Valkeala, Elimäki, Anjalankoski ja Jaala. Kouvola sijaitsee Kaakkois-Suomessa valtateiden 6 ja 15 risteymäkohdassa. Lisäksi Kouvola on yksi Suomen merkittävimmistä rautateiden risteysasemista sijaiten Helsinki-Pietari-radan ja Savonradan risteyskohdassa. (Kouvolan kaupunki 2013.) Maapinta-alaa Kouvolassa on noin 2 560 neliökilometriä, josta peltoa on noin 49 000 hehtaaria. Vesistöpinta-alaa on noin 325 neliökilometriä, joka koostuu pääasiassa kaupungissa mutkittelevasta Kymijoesta. (Maanmittauslaitos 2013.)

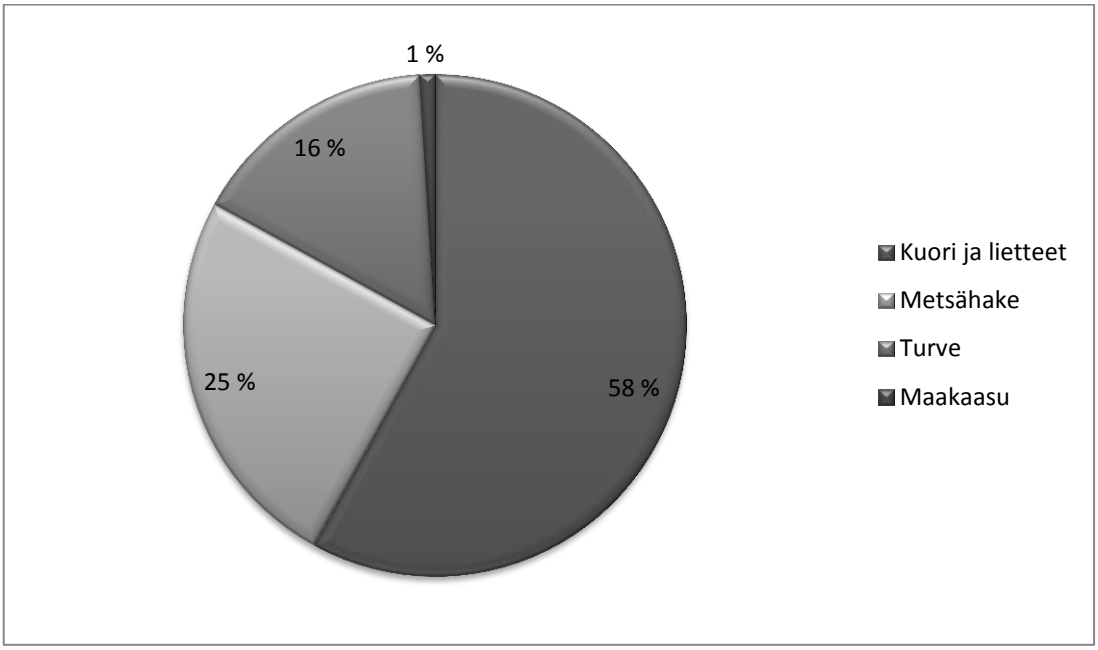
6.1 Kymin Voima Oy

Kymin Voima on KSS Energia Oy:n ja Pohjolan Voima Oy:n omistama energiantuotantoyhtiö, joka sijaitsee Kouvolan Kuusankoskella UPM Kymin tehdasalueella. Pohjolan Voima omistaa Kymin Voimasta 76 % ja KSS Energia 24 %. Voimalaitos tuottaa prosessihöyryä, tehdaskaukolämpöä sekä sähköä UPM Kymin tehtaalle sekä kaukolämpöä ja sähköä KSS Energialle. Kymin Voiman voimalaitos valmistui vuonna 2002. (KSS 2013.)

Polttoaineinaan Kymin Voima käyttää kuorta, metsätähteitä, haketta, lietettä, purua ja turvetta. Varavoimana ja laitoksen käynnistämiseen käytetään maakaasua. Voimalaitoksen pääpolttoaine on kuori, joka on peräisin UPM Kymin tehtaan kuorimolta. Kuori kuljetetaan suoraan kuorimolta voimalaitoksen kuorivarastolle hihnakuljettimilla. Kuorivarastolta kuori kuljetetaan voimalaitoksen kattilaan. Kuorivarastolle tuodaan myös tehdasalueen ulkopuolelta tulevat biopolttoainekuormat, esimerkiksi metsätähteet. (KSS 2013.)

Toinen merkittävä polttoaine on turve, jonka määrää ollaan tosin koko ajan vähentämässä. Kun vuonna 2003 voimalaitos oli juuri otettu käyttöön, turpeen osuus

käytettävästä polttoaineesta oli 37 %. Vuonna 2011 turpeen osuus oli enää 16 %. Turpeen käyttöä on kompensoitu metsähakkeen, kuoren ja lietteen osuutta lisäämällä. (Rainio 2012) Voimalaitoksen käyttämien polttoaineiden jakauma on esitetty kuvassa 13. Polttoaineen määrä on yli 1 000 GWh vuodessa (KSS 2013).



Kuva 13. Kymin Voiman käyttämillä polttoaineilla tuotetun energian jakauma vuonna 2011 (Rainio 2012).

Turpeen kuljetuksessa välimatkat ovat lyhyitä, sillä turve tuodaan pääasiassa Valkealan ja Anjalankosken turvesoilta. Turve kuljetetaan kuorma-autoilla voimalaitoksen turvesiiloihin, joista se siirtyy hihnakuljettimilla kattilaan. (KSS 2013.)

Kymin Voiman voimalaitoksen kattilassa hyödynnetään leijupetipolttoa, joka toteutetaan kerrosleijupoltolla. Laitoksen teho on 269 MW_{th}, ja sen tuorehöyryn lämpötila on 541 °C. Voimalaitoksessa on kaksi sähkösuodatinta, joiden avulla lentotuhka erotetaan savukaasuista. Kattilasta poistetaan pohjatuhka kattilan pohjalta yhdessä leijutushiekan kanssa. Kuonakuljettimella hiekan ja pohjatuhkan seos kuljetetaan hiekan poistoon ja seulontaan. (Rainio 2012.) Voimalaitoksella muodostuu vuosittain noin 10 000 tonnia lentotuhkaa ja noin 4 000 tonnia

pohjatuhkaa. Viime vuosina tuhkaa on käytetty tehokkaasti muun muassa UPM:n omistamien metsien lannoitukseen sekä erilaisiin maanrakennuskohteisiin. Maanrakennuskohteita ovat olleet erilaisia valtion ja Kouvolan kaupungin tie- ja pyörätiehankkeita sekä parkkipaikkoja. Viime vuosina kaikki muodostunut tuhka on saatu hyötykäyttöön. (Rainio 2013.)

6.2 Tuhkan käyttö metsälannoitteena Kouvolassa

Kouvolan kaupunki omistaa metsää noin 3 600 hehtaaria, joka jaetaan talousmetsiin ja taajamametsiin. Talousmetsää kaupunki omistaa noin 1 600 hehtaaria, josta suurimmat palstat ovat Jaalan Paljakassa sekä Anjalankosken Saaramaalla. (Kouvolan kaupunki 2013.) Tuhkalannoitus taajamametsissä ei ole järkevää, sillä taajamametsät sijaitsevat usein asutuksen välittömässä läheisyydessä, jolloin tuhkan pöllyämisestä levitysvaiheessa saattaisi koitua ongelmia. Lisäksi taajamametsien käyttötarkoitus on toimia taajama-alueen virkistysalueina, jolloin puuston kasvulla ja tuotolla ei tavoitella rahallista hyötyä. UPM on myös yksi merkittävä metsänomistaja Kouvolassa, joka voisi hyötyä metsälannoituksesta.

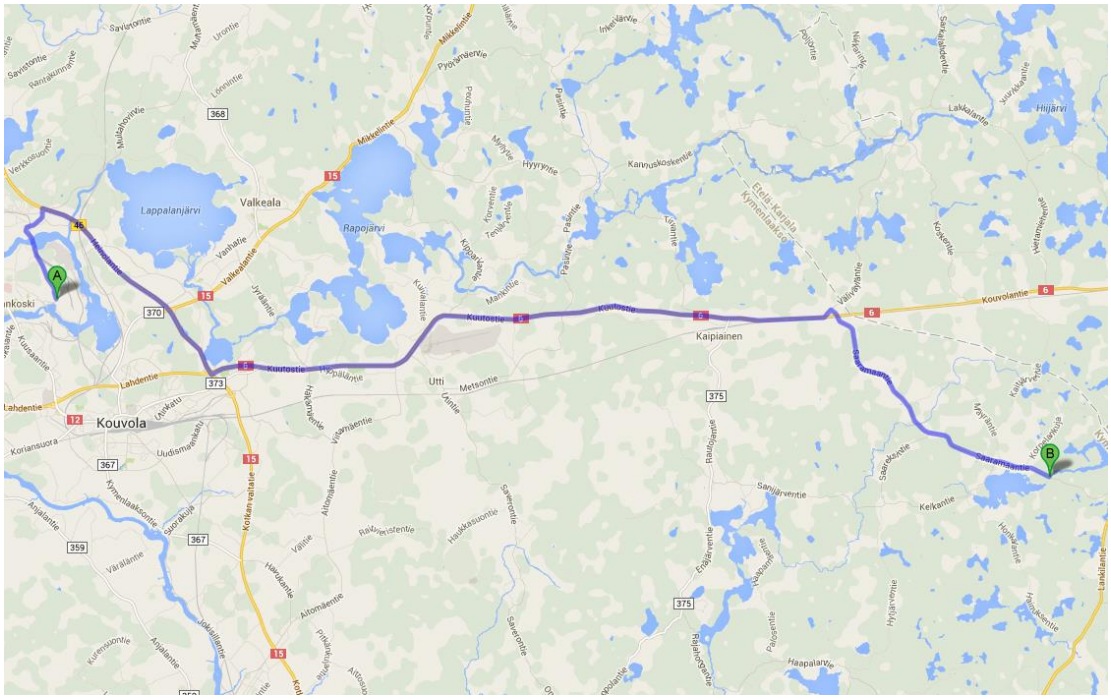
Kymin Voiman tuottamalla 10 000 tonnilla lentotuhkaa voitaisiin lannoittaa noin 2 000–3 300 hehtaaria metsää, sillä tuhkaa tarvitaan noin 3–5 tonnia hehtaarille. Vastaavasti tuhkaa voitaisiin käyttää vanhoille turvetuotantoalueille, jotka on tarkoitus metsittää. (Huotari 2012.) Kymin Voiman tuhka soveltuu varsin hyvin metsälannoitteeksi ravinnepitoisuuksiensa vuoksi (ks. lannoitukseen soveltuvat ravinnepitoisuudet kappaleesta 5.1). Ravinnepitoisuudet ovat hieman alhaiset, mutta vuoden 2004 tasosta turpeen osuus polttoaineessa on vähentynyt noin 20 %, ja se on korvattu puupolttoaineilla (Rainio 2012). Puupolttoaineiden osuuden kasvu on todennäköisesti lisännyt tuhkan ravinnepitoisuuksia. Kymin Voiman tuhkan ravinnepitoisuudet on lueteltuna taulukossa 10.

Taulukko 10. Kymin Voiman tuhkan ravinnepitoisuuksia [w-% kuiva-aineena] (Korpilahti 2004).

Ravinne	**Kymin Voima (2004)**
Fosfori, P	0,78
Kalium, K	1,5
Kalsium, Ca	16,6
Magnesium, Mg	1,1
Boori, B	0,014

Jos Kouvolan kaupunki haluaisi tuhkalannoittaa Anjalan Saaramaalla sijaitsevan noin 240 hehtaarin kokoisen metsäalueen, kuluisi siihen noin 1 200 tonnia lentotuhkaa. Tämä on sopivan kokoinen alue, sillä Huotarin (2012) mukaan helikopterilla lannoitettavan alueen tulisi olla kooltaan vähintään 30–40 hehtaaria. Helikopterin siirtymämatkan tulisi olla noin 2 kilometriä. Sitä varten tuhka olisi kuljetettava kasettikuorma-autoilla (KKA) lähelle lannoitettavaa metsäaluetta. 1 200 tonnia tuhkaa saataisiin kuljetettua voimalaitokselta Saaramaalle 30 kuoma-autokierroksella, sillä yhteen KKA:oon mahtuu noin 40 tonnia tuhkaa. Kuormaukseen sopisi parhaiten tavallinen kauhakuormaaja.

Kuusaanniemeltä pääsee sujuvasti Saaramaalle Valtatie 15:ttä ja 6:tta pitkin. Matkaa kertyy yhteen suuntaan noin 45 kilometriä (Kuva 14) (Google Maps 2014). Tähän matkaan menee KKA:lla noin 40 minuuttia. Kun tähän lisätään vielä kuormaus sekä kuormien kippaaminen, ehtii yksi KKA kuljettaa 4 kuormaa työpäivän aikana, kun otetaan tauot huomioon. Neljällä KKA:lla ja yhdellä kauhakuormaajalla kuljetus saataisiin hoidettu kahdessa työpäivässä. Kauhakuormaajan tuntihinta on 50 € ja KKA:n 70 € (alv. 0 %) (Kouvolan kaupunki 2014, Akanojan kuljetus Oy 2014). Tällöin kuljetuksen hinnaksi tulee 5 280 €. Helikopterilevityksen hinta oli vuonna 2005 noin 350–450 €/ha (Hynönen et al. 2008). 240 hehtaarin alueen lannoittaminen helikopterilla tulisi siis maksamaan noin 84 000–108 000 €. Käytetään kustannuslaskelmissa keskimääräistä hintaa, eli 96 000 €.



Kuva 14. Saaramaan metsäalue sijaitsee pisteessä B kuvan oikeassa reunassa. Kymin Voiman voimalaitos sijaitsee pisteessä A kuvan vasemmassa laidassa. Matkaa voimalaitokselta metsäalueella kertyy noin 45 kilometriä. (Google Maps 2014.)

6.2.1 Kaatopaikkasijoituksen kustannusvertailu

Vaihtoehtoisesti tuhka voitaisiin sijoittaa kaatopaikalle. Kymin Voimalla ja UPM:llä on yhteinen teollisuuskaatopaikka Vehkosillantiellä, jonne kertyy Kuusaanniemeltä matkaa 15 kilometriä (Rainio 2013, Google Maps 2014). Tämän välin ehtii KKA:lla ajaa työpäivän aikana 8 kertaa edes takaisin, kun huomioidaan kuormaaminen, kuorman kippaaminen sekä tauot. Näin ollen 1 200 tonnia tuhkaa saataisiin kuljetettua kaatopaikalle neljällä KKA:lla yhdessä työpäivässä. Tällöin kuljetuskustannuksia kertyy kauhakuormaaja huomioiden 2 640 €. Kaatopaikkavero on 50 €/t, joten tuhkan kaatopaikkasijoittaminen maksaisi 60 000 €. Taulukossa 11 on listattuna lannoituksen eri vaiheiden kustannuksia. Kummassakin tapauksessa tuhkan tulee olla kostutettua, sillä niin metsälannoituksessa kuin kaatopaikkasijoituksessakin tuhkan tulee olla pölyämätöntä. Tämän vuoksi tuhkan esikäsittelykustannukset on jätetty pois niiden vähäisen eroavaisuuden vuoksi.

Taulukko 11. Metsälannoituksen ja kaatopaikkasijoituksen kustannusvertailu (hinnat eivät sisällä arvonlisäveroa).

Metsälannoitus		**Kaatopaikkasijoitus (1 200 t)**	
Työvaihe	**Kustannukset [€]**	**Maksut**	**Kustannukset [€]**
Kuljetus	5 280	Kuljetus	2 640
Lentolevitys	96 000	Kaatopaikkavero	60 000
Yhteensä (alv. 0%)	101 280	**Yhteensä (alv. 0%)**	62 640

Kustannusvertailusta huomataan, että tuhkan kaatopaikkasijoittaminen on kustannuksiltaan edullisempaa kuin hyödyntäminen metsälannoitteeksi. Metsälannoituksessa tuhka tulee kuitenkin hyötykäyttöön, ja samalla se lisää puuston kasvua. Tällöin osan metsälannoituksen kustannuksista saadaan takaisin metsän paremmalla tuotolla ja keinolannoitteiden säästöllä.

Vuosittain muodostuvasta 10 000 tonnin lentotuhkamäärästä saadaan kaupungin metsälannoitukseen hyödynnettyä 12 %. Tuhkalannoituksen väli on kuitenkin kymmeniä vuosia, joten enemmän metsäpinta-alaa olisi tarpeen löytää. Kouvolassa muun muassa UPM sekä yksityiset metsänomistajat voisivat hyödyntää tuhkaa lannoitteeksi.

6.3 Tuhkan käyttö tierakentamiseen Kouvolassa

Tuhkaa on käytetty tierakentamisessa Kouvolassa jo useasti. Arina- eli pohjatuhkaa on käytetty kadun jakavassa kerroksessa vuonna 2011 rakennetussa Niskalanrannan asuinalueella Kesärannassa ja Talvirannassa. Kyseiset kadut ovat kuitenkin edelleen murskepintaisia, jolloin katujen painumisesta, muodonmuutoksista ja routimisesta on vaikea tehdä johtopäätöksiä. Kyseisessä hankkeessa tuhka oli peräisin Kymin Voiman voimalaitoksesta, ja se oli välivarastoitu Mattilan kaatopaikan läjitysalueelle. Kyseisessä hankkeessa tuhkan käytöllä ei arvioitu saavutettavan

suuria säästöjä, koska tuhka jouduttiin noutamaan läjitysalueelta Niskalanrantaan omilla kuorma-autoilla. Lisäksi pohjatuhkan jakavaa soraa huonompi kantavuus arvioitiin rakennustyömaata hidastavaksi tekijäksi. Joka tapauksessa tuhka saatiin hyötykäyttöön, eikä sitä tarvinnut läjittää kaatopaikalle. (Kouvolan kaupunki 2014.) Samalla säästettiin uusiutumatonta luonnon kiviainesta.

Lentotuhkaa on käytetty useassa tiehankkeessa kerrosstabilointiin. Yksi hankkeista on Teuroistentien Ecoroad-hanke, jossa 8 057 metriä pitkälle tieosuudelle tehtiin perusparannus kantavuuden osalta vuonna 2006 käyttäen sementin ja lentotuhkan seosta. Kyseisessä kohteessa 25 cm:n syvyisellä stabiloinnilla arvioitiin säästettävän noin 30 cm:n paksuudelta kalliomursketta. Rambollin tekemän hankeselvityksen mukaan kerrosstabiloinnilla saavutettiin tien tavoitekantavuus reilusti. Lisäksi Teuroistentie on käyttäytynyt seurantajakson aikana suunnitellulla tavalla. Myös Ecoroad-hankkeessa säästettiin luonnon kiviaineksia ja saatiin lentotuhka hyötykäyttöön. (Ramboll 2008.)

Tiehankkeita tulee Kouvolan kaupungilla olemaan tulevaisuudessa jatkuvasti, koska huonokuntoisia teitä tullaan jatkuvasti parantamaan ja uusia katuja rakennettaan aika ajoin lisää. Lisäksi tiehankkeita voitaisiin toteuttaa yksityisten ja valtion omistamilla tieosuuksilla. Taulukossa 12 on listattuna kaupungin lähitulevaisuuden tiehankkeita. Jokaisessa tiehankkeessa tien jakava kerros voitaisiin toteuttaa arina- tai lentotuhkalla, sillä kyseisillä kaduilla pohjamaa ei poikkea merkittävästi jo toteutetun Niskalanrannan pohjamaasta (Kouvolan kaupunki 2014). Toisaalta osassa katuja pelkällä kerrosstabiloinnilla voitaisiin saavuttaa riittävä kantavuus, jolloin kallista massanvaihtoa ei tarvittaisi. Massanvaihdolla tarkoitetaan tässä tutkielmassa nykyisten tierakenteiden kaivamista pois ja uusien rakennekerrosten rakentamista. Vanhat rakennekerrokset kaivetaan pois uusien rakennekerrosten alapintaan saakka tien tasausviivan koron säilyessä ennallaan. Ennen tuhkan käyttöä tierakentamisessa tulee sen soveltuvuus testata (ks. kappale 5.3.1).

Taulukko 12. Kouvolan kaupungin lähitulevaisuuden tiehankkeita (Kouvolan kaupunki 2014).

Tiehanke	Tien pituus [m]	Tien leveys [m]
Saunakuja	342	4,5
Katajakuja	405	4,5
Venetie	356	4,5
Tähteenrannantie	268	4,5
Leppäkuja	337	4,5
Haapakuja	286	4,5

Edellä taulukossa mainitut Saunakuja, Venetie, Katajatie, Tähteenrannantie, Leppäkuja ja Haapakuja ovat osa Kouvolan Tähteen aluetta sijaiten lähellä toisiaan. Saunakujan, Venetien, Katajatien ja Tähteenrannantien vesihuolto on saneerattu vuosina 2012–2013. Leppäkujan ja Haapakujan vesihuollon saneeraus on vuoden 2014 työohjelmassa (Kouvolan kaupunki 2014). Vesihuollon saneerauksen yhteydessä katurakenteet on jätetty uusimatta, joten katurakenteet tullaan uusimaan lähivuosina. Kyseiset kuusi katua muodostavat katupituudeltaan yhteensä 2 000 metrin laajuisen alueen.

6.3.1 Kerrosstabiloinnin toteuttaminen Tähteen alueella

Käyttämällä kyseisillä kaduilla kerrosstabilointimenetelmää perinteisen murskekerroksen sijaan, voidaan saavuttaa rahallista etua sekä säästää samalla uusiutumattomia luonnonvaroja. Koska jokainen katu on 4,5 metriä leveä, tulee tuhkaa levittää kerrosstabiloinnissa 5 metrin leveydeltä (Lahtinen et al. 2012). Stabilointisyvyys on 25 cm, joten stabiloitava kantava kerros on tilavuudeltaan noin 2 500 m^3. Jos stabiloitavan kantavan kerroksen oletetaan koostuvan pääasiassa kalliomurskeesta, jonka irtotilavuuspaino koneyrittäjät-sivuston mukaan on 1,54 t/m^3, on stabiloitavan kerroksen massa noin 3 850 tonnia. Tästä tuhkan osuus tulisi olla noin 8 % (Ramboll 2008). Tällöin tuhkaa kuluisi kyseisten katujen kerrosstabilointiin noin 308 tonnia.

Tähteen alue sijaitsee Kouvolan Kuusankoskella noin 4 kilometrin päässä Kymin Voiman voimalaitoksesta. Voimalaitoksen lentotuhkan välivarastointipaikkana voitaisiin käyttää Mattilan vanhaa kaatopaikka-aluetta, jota käytettiin välivarastointipaikkana myös Niskalanrannan rakennushankkeessa. Mattilan läjitysalue sijaitsee noin 6 kilometrin päässä Kymin Voiman voimalaitoksesta ja niin ikään noin 6 kilometrin päässä Tähteen alueesta. Liikenneväylinä käytettävät Kuusaanniementie, Kuparintie ja Väkkäräntie ovat liikennemääriltään vähäisiä, joten tuhkan kuljettaminen näillä teillä pitäisi onnistua sujuvasti. Kuljetuksille on vaikea arvioida hintaa, mutta suuntaa-antavan arvion voi päätellä vertaamalla kaatopaikkasijoituksen kuljetuskustannuksia. Nyt kyseessä on paljon lyhyempi matka, mutta toisaalta kuljetukset on tehtävä pienissä erissä työmaan edetessä. Arvioidaan kuljetusten osuudeksi noin 1 500 €. Rambollin raportin mukaan rakennuskustannusten vertailu ei välttämättä ole oleellista, sillä kerrosstabiloidulla tiellä odotettavissa oleva kestoikä on pidempi (Ramboll 2008). Lisäksi Lahtisen mukaan tuhkarakentamisen kustannukset ovat lähes samat perinteiseen maarakentamiseen verrattuna (Lahtinen et al. 2012). Kerrosstabiloinnissa saattaa kuitenkin olla hankaluuksia tieosuuksilla, joille on rakennettu kunnallistekniikkaa. Stabilointijyrsimen käyttö saattaa olla haastavaa tieosuuksilla, joilla sijaitsee kaivonkansia. Tämän vuoksi tuhkan käyttö esimerkiksi kenttärakenteissa olisi toteutuksen kannalta helpompaa, mutta tällaisia hankkeita ei tällä hetkellä ole tiedossa.

Jos kerrosstabilointiin käytettävä määrä tuhkaa sijoitettaisiin kaatopaikalle, voitaisiin 308 tonnia tuhkaa kuljettaa Vehkosillantien kaatopaikalle 4:llä KKA:lla noin kahdessa tunnissa. Näin saadaan kuljetuskustannuksiksi 660 €. Jos sen sijaan stabiloitava kerros korvattaisiin massanvaihdossa kalliomurskeella (raekoko 0–32), jouduttaisiin mursketta ostamaan vastaavasti 3 850 tonnia. Kyseinen määrä mursketta työmaalle toimitettuna maksaa 26 758 €. Murskeen hinta on 6,95 €/t ilman arvonlisäveroa (Kouvolan kaupunki 2014). Taulukossa 13 on kustannusvertailu tierakentamisen ja kaatopaikkasijoituksen välillä.

Taulukko 13. Tierakentamisen ja kaatopaikkasijoituksen kustannusvertailu.

Tierakentaminen		**Kaatopaikkasijoitus (308 t)**	
Työvaihe	**Kustannukset [€]**	**Maksut**	**Kustannukset [€]**
Kuljetus	1 500	Kuljetus	660
		Kaatopaikkavero	15 400
		Kiviaines (3 850 t)	26 758
Yhteensä (alv. 0 %)	1 500	**Yhteensä (alv. 0 %)**	42 818

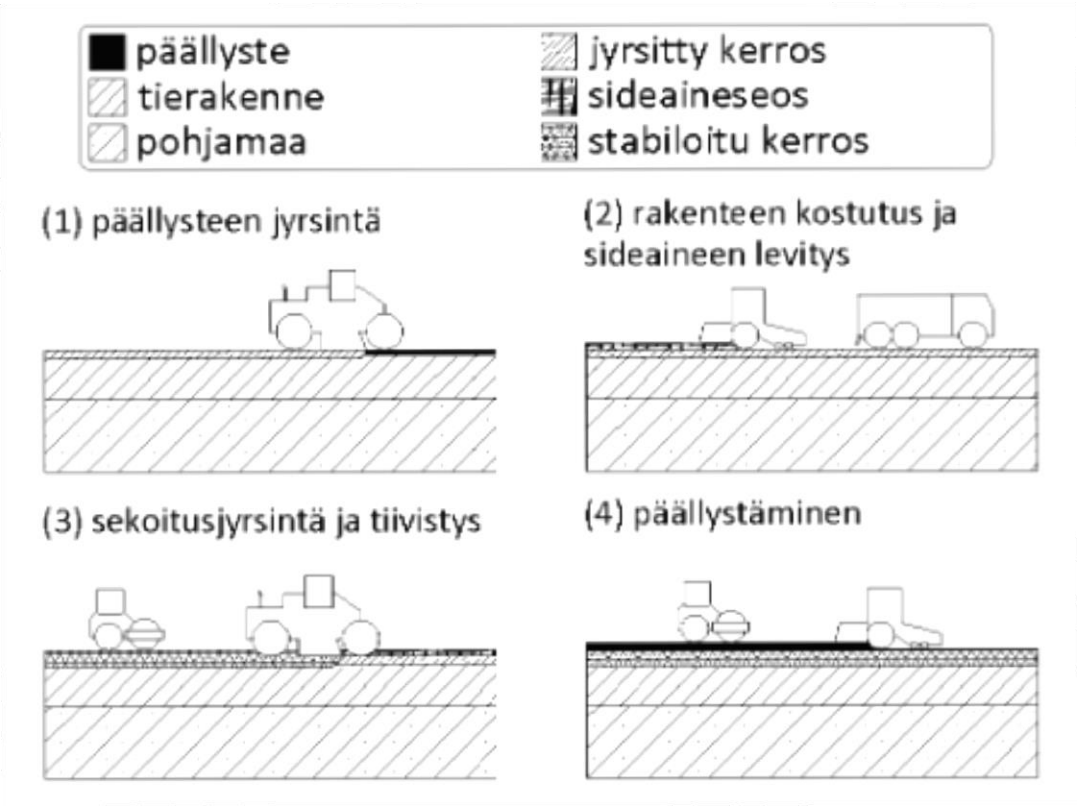
Kustannusvertailussa tuhkan käyttö tierakenteisiin on kaatopaikkasijoitusta merkittävästi edullisempaa. Kerrosstabiloinnilla ei kuitenkaan saada hyödynnettyä kuin 3 % vuosittain muodostuvasta lentotuhkasta. Sen sijaan tuhkan käyttö tien jakavassa kerroksessa on hyvä keino saada suuria määriä lento- tai arinatuhkaa hyötykäyttöön. Jakavaa soraa käytetään tyypillisesti Kouvolassa katuluokan 5 kaduilla noin puolen metrin paksuinen kerros (Kouvolan kaupunki 2014). Jos jakavan kerroksen leveys olisi noin 5,5 metriä, kuluisi Tähteen alueen katuihin noin 5 500 tonnia lentotuhkaa, sillä kostutetun lentotuhkan tiheys on noin 1 000 kg/m^3. Tämä määrä on jopa 55 % vuosittain muodostuvasta lentotuhkan määrästä.

6.3.2 Kerrosstabiloinnin työvaiheet

Tuhka on kannattavinta kuljettaa levityspaikalle kuorma-autoilla. Välivarastointipaikalla kuormaaminen suoritetaan kauhakuormaajalla. Kerrosstabiloinnissa tuhkasta ja sementistä voidaan sekoittaa valmista sideainetta, tai vaihtoehtoisesti sideaineet voidaan levittää yksitellen. Tällöin puhutaan joko yksi- tai kaksivaiheisesta levityksestä. Sideaine voi olla levityskalustosta riippuen joko kosteaa tai kuivaa. Kostean sideaineen levittämiseen soveltuu parhaiten tavallinen asfalttilevitin, kun taas kuivan sideaineen levityksessä kannattaa käyttää erilaisia kalkinlevittimiä. (Lahtinen et al. 2012.)

Tähteen alueella ensimmäisenä voitaisiin levittää kostutettu lentotuhka vanhojen tierakenteiden päällä asfalttilevittimellä, koska se on hitaammin lujittuvaa kuin

sementti. Tämän jälkeen lentotuhka kannattaisi sekoittaa tierakenteisiin jyrsimellä noin 25 cm:n syvyydeltä. Sekoituksen jälkeen pinta on syytä painaa kevyesti kiinni täryjyrällä, jonka jälkeen tie voitaisiin muotoilla lopulliseen muotoonsa. Lopuksi levitys ja jyrsinsekoitus voitaisiin suorittaa uudelleen käyttäen toista sideaineitta, sementtiä, jonka jälkeen suoritettaisiin lopullinen tiivistystyö. Yksivaiheisessa levityksessä pinta tulee muotoilla ennen levitystyön aloittamista. (Lahtinen et al. 2012.) Sideaineet levitetään noin 25 cm tulevan päällysteen reunojen ulkopuolelle (Ramboll 2008). Sideaineseoksen tavoitekosteuspitoisuus levitystyön aikana on 30 %. Tuhkan osuus on 8 % ja sementin osuus 2,5 % stabiloitavan runkomateriaalin kuivamassasta. (Ramboll 2008.) Kerrosstabiloinnin työvaiheet on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. Kerrosstabiloinnin työvaiheet (Lahtinen et al. 2012).

6.4 Tarvittavat toimenpiteet toiminnan aloittamiseksi

Ennen toiminnan aloittamista on syytä todentaa tuhkien sisältämät alkuainepitoisuudet sekä liukoisuudet, jolloin tiedetään, voidaanko toimia pelkällä ilmoitusmenettelyllä, vai tarvitseeko toiminta ympäristöluvan. Samalla voidaan myös todentaa tuhkien soveltuvuus metsälannoitukseen. Tierakentamisen tapauksessa on myös syytä testata tuhkan fysikaaliset ominaisuudet, jolloin niiden soveltuvuudesta päästään varmuuteen. Ympäristövaikutusten arviointia (YVA) tuhkan käytöstä ei Kouvolan mittakaavassa tarvita, sillä YVA-menettelyn perusteena on, että hankkeen tuhkamäärä on vähintään 50 000 tonnia. (Lahtinen et al. 2012.)

Tuhkan käyttö tierakentamisessa vaikuttaa seuraavien asiakirjojen sisältöön (Lahtinen et al. 2012):

- Tarjouspyyntökirje
- Urakkaohjelma
- Turvallisuusasiakirja
- Tarjouslomake
- Urakkasopimus
- Työkohtainen työselostus tai työtapaohjeistus

Hyvin valmistellulla hyötykäyttökohteella säästetään usein rahaa, luonnonvaroja sekä maa-alaa.

7 YHTEENVETO

Energian tarpeen kasvu, ja sitä myötä lisääntyvä polttoaineiden käyttö energiantuotannossa lisää voimalaitostuhkan muodostumista. Uudistuneen lainsäädännön myötä voimalaitostuhka luokitellaan veron alaiseksi jätteeksi, jolloin sen kaatopaikkasijoituksesta peritään veroa, joten tuhkan hyödyntämisestä on tullut entistäkin tarpeellisempaa. Puupolttoaineiden käytön kasvu on sen sijaan lisännyt metsistä poistuvien ravinteiden määrää. Maaperän ravinnepuutoksella on todettu olevan merkittävä vaikutus metsän tuottavuuteen. Palauttamalla ravinteet takaisin metsään voidaan parantaa ravinnepuutoksesta kärsivän puuston kasvua ja samalla päästään eroon tuhkasta, joka muutoin päätyisi kaatopaikalle. Tuhkaa on käytetty metsälannoitukseen jo pitkään, ja sen onkin todettu olevan varteenotettava korvike keinotekoisille lannoitteille. Parhaiten lannoitteeksi sopivaa tuhkaa on puhdas puutuhka, mutta turve- ja puutuhkan sekoituksellakin päästään hyviin tuloksiin. Tuhkan lannoitevaikutusta voidaan parantaa typpirikastuksella.

Toinen merkittävä käyttökohde tuhkalle on maarakentaminen. Tuhkaa on käytetty tierakenteissa onnistuneesti jo useassa kohteessa. Tärkeintä tuhkan käytössä on löytää sopivat kohteet, jotka ovat riittävän lähellä tuhkan syntypaikkaa, jotta kuljetuskustannukset eivät nouse liian korkeiksi. Hyviä maarakennuskohteita ovat tiet ja kentät. Tierakenteissa tuhkaa voidaan käyttää tien jakavassa kerroksessa sekä kantavan kerroksen stabilointiin. Jakavaan kerrokseen sopii parhaiten hiekkamainen arinatuhka, kun taas stabiloinnissa käytetään lentotuhkaa yhdessä sementin kanssa.

Kouvolan seudulla syntyy vuosittain tuhkaa noin 14 000 tonnia Kymin Voiman voimalaitoksesta. Tuhkasta noin 10 000 tonnia on lentotuhkaa ja 4 000 tonnia arinatuhkaa. Toteutuskelpoisia hyötykäyttökohteita Kouvolassa ovat metsälannoitus sekä maarakentaminen. 10 000 tonnilla lentotuhkaa voitaisiin lannoittaa vuosittain noin 2 000–3 300 hehtaaria metsää. Tuhkan levittäminen metsiin helikopterilla on hieman kalliimpaa kuin tuhkan sijoittaminen kaatopaikalle, mutta metsän lisääntyvällä tuottavuudella ja keinolannoitteen säästämisellä päästään todennäköisesti kannattavammin. Kaupungin omistamalla metsäalueella saadaan vasta noin 12 % muodostuneesta lentotuhkasta hyötykäyttöön, joten metsäpinta-alaa

tarvittaisiin 1 760–3 060 hehtaaria lisää. Lisää metsäpinta-alaa voitaisiin saada UPM:ltä sekä yksityisiltä metsänomistajilta.

Maarakennuskohteista yleisimpiä Kouvolassa ovat tiehankkeet, joihin tuhkaa voisi käyttää. Käyttämällä lentotuhkaa Kuusankosken Tähteen alueen kerrosstabilointiin, säästetään tuhansia euroja rahaa sekä luonnon kiviaineksia kaatopaikkasijoitukseen verrattuna. Kerrosstabiloinnissa tuhkaa käytetään kuitenkin vain noin 3 % vuosittain muodostuneesta tuhkasta. Vaihtoehtoisesti tuhkaa voidaan käyttää tien jakavaan kerrokseen. Tähteen alueen kaduille voitaisiin käyttää jopa 5 500 tonnia lentotuhkaa, joka on noin 55 % vuosittain muodostuvasta lentotuhkan määrästä. Vastaavasti jakavassa kerroksessa voidaan käyttää myös arinatuhkaa.

LÄHTEET

Akanojan kuljetus Oy. Nieminen J. 2014. Puhelinhaastattelu kasettikuorma-autojen hinnoista.

Basu M., Pande M., Bhadoria P., Mahapatra S. 2008. Potential fly-ash utilization in agriculture: A global review.

Elintarviketurvallisuusvirasto. 2009. Tuhkan käyttö lannoitevalmisteena. Saatavissa: http://www.evira.fi/files/attachments/fi/kasvit/lannoitevalmisteet/ohjeet/12502_02_tuhkan_kaytto_lannoitevalmisteena.pdf

Energiateollisuus ry. 2010. Kivihiilen poltosta syntyvät jätteet. [Viitattu 20.3.2014] Saatavissa: http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/ymparisto-ja-kestava-kehitys/ymparistovaikutukset/kiinteat-jatteet. 2012

Google Maps -karttapalvelu. 2014. [Viitattu 1.4.2014] Saatavissa: https://maps.google.fi/

Huotari N. 2012. Tuhkan käyttö metsälannoitteena. Saatavissa: http://www.metla.fi/julkaisut/isbn/978-951-40-2371-2/tuhkan-kaytto-metsalannoitteena.pdf

Hynönen T., Moilanen M & Makkonen T. 2008. Tuhkalannoitus.

Jutila T. 2012. Tuhkan rakeistaminen Pohjois-Pohjanmaalla. Saatavissa: http://www.metla.fi/hanke/7464/pdf/Tuhkan-rakeistaminen-P-Pohjanmaalla-15082012_Valmis.pdf

Kaakkois-Suomen ympäristökeskus. 2006. Ympäristölupapäätös Nro A 1052. Päätös ympäristönsuojelulain 35 §:n mukaisesta ympäristölupahakemuksesta.

Kemikaalineuvonta. 2013. Soveltamisala ja poikkeukset. [Viitattu 3.12.2013] Saatavissa: http://www.kemikaalineuvonta.fi/fi/Usein-kysyttya1/REACH/Soveltamisala_ja_poikkeukset/

Koneyrittäjät-nettisivusto. 2014. Kuutio-tonni-kuutio muunnokset. [Viitattu 17.2.2014] Saatavissa: http://www.koneyrittajat.fi/Raiku/tn-m3-tn.html

Korpilahti A. 2004. Puu- ja turvetuhkan analysointi ja analyysituloksia. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_172.pdf

Korpilahti A. 2003. Tuhkan esikäsittely metsäkäyttöä varten. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_143.pdf

Kouvolan kaupunki. 2013. Nettisivut. Talousmetsät. [Viitattu 10.12.2013] Saatavissa: http://www.kouvola.fi/index/aikuisvaestolle/asuminenjaymparisto/kaupunkiymparisto/metsatjaluonto/talousmetsat.html

Kouvolan kaupunki, Kouvolan Veden liikelaitos. Mänttäri J. 2014. Suullinen tiedonanto saneeratuista kaduista.

Kouvolan kaupunki, Paikkatietopalvelut. 2014. Web map -karttarekisteri.

Kouvolan kaupunki, Yhdyskuntatekniset palvelut. Kimmo J. 2014. Suullinen tiedonanto Kouvolan kaupungin tuhkarakennushankkeista.

Kouvolan Seudun sähkö. 2013. Sähkön ja lämmön yhteistuotanto. [Viitattu 11.12.2013] Saatavissa: http://www.kssenergia.fi/sahkojalampo

Lahtinen P., Kiviniemi O., Sikiö J., Jyrävä H., Ollila S., Autiola M., Ronkainen M., Lindroos N & Forsman J. 2012. Tuhkarakentamisen käsikirja. Saatavissa: http://www.infrary.fi/files/3985_Tuhkarakentamisen_kasikirja.pdf

Laohaprapanon S., Marques M. & Hogland W. 2008. Removal of Organic Pollutants from Wastewater Using Wood Fly Ash as a Low-Cost Sorbent.

Linnunmaa. 2011. Tuhka rekisteröity REACH-asetuksen mukaisesti. [Viitattu 10.12.2013] Saatavissa: http://www.linnunmaa.fi/sitenews/view/-/nid/48/ngid/1/ .

Maa- ja metsätalousministeriö. 2008. Lannoitevalmistesektorin tulevaisuuskatsaus vuosille 2009–2013. Saatavissa: http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/tyoryhmamuistiot/2009/5DZni0S8G/trm1_2009.pdf

Maanmittauslaitos. 2013. Pinta-alat kunnittain. Saatavissa: http://www.maanmittauslaitos.fi/tiedotteet/2013/03/kuntien-paivitetyt-pinta-alat-ilmestyivat

Maaskola T. 2002. Puun ja turpeen sekapolton vaikutus leijukerroskattilan hiukkaspäästöihin.

Moilanen M. 2011. Power point -esitys. Tuhkalannoitus nykytiedon valossa. Saatavissa: http://www.metla.fi/tapahtumat/2011/sum-seminaari/esitykset/Moilanen.pdf

Moilanen M., Saarsalmi A., Kukkola M., Issakainen J. 2013. Effects of stabilized wood ash on nutrient status and growth of Scots pine – Comparison between uplands and peatlands.

Motiva. 2009. Metsätuhkan ravinteet takaisin metsään. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/3014/Metsatuhkan_ravinteet_takaisin_metsaan.pdf

Ojala E. 2010. Selvitys puu- ja turvetuhkan lannoite- sekä muusta hyötykäytöstä. Saatavissa: http://energia.fi/sites/default/files/tuhkaselvitys_eo_final.pdf

Ozolincius R., Varnagiryte-Kabasinskiene I., Stake nas V & Miksys V. 2007. Effects of wood ash and nitrogen fertilization on Scots pine crown biomass.

Pandey V. Abhilash P., Upadhyay R & Tewari D. 2008. Application of fly ash on the growth performance and translocation of toxic heavy metals within Cajanus cajan L.: Implication for safe utilization of fly ash for agricultural production.

Pesonen J. 2012. Oulun biotuhkien fraktiointi, kemialliset ominaisuudet ja hyötykäyttöpotentiaali.

Rainio A. 2012. Power point -esitys. Tuhkien muodostuminen 2012.

Rainio A. 2013. Puhelinhaastattelu Kymin Voimalaitoksen tuhkien muodostumismääristä sekä niiden käsittelystä.

Ramboll. 2008. Pt 14547/01/0-8165 Teuroistentie (Elimäki, Koria) Lentotuhka kerrosstabiloinnin sideaineena. Saatavissa: http://projektit.ramboll.fi/uuma/pages/teuroinen.pdf

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.

Siddique R. 2012. Utilization of wood ash in concrete manufacturing.

Soikkeli J., Heikkilä A-P., Kujala K. & Palko J. 2005. Metsäteollisuuden lentotuhkien käyttö tie-, katu- ja kenttärakenteissa. Saatavissa: http://www.finncao.fi/pdf/mitoitusohje14032005.pdf

Suomen Kuntaliitto. 2002. Kunnallisteknisten töiden yleinen työselostus 02. Liite 2000/3.

Tilastokeskus. 2012. Energiatilasto vuosikirja 2011. Saatavissa: http://www.stat.fi/tup/julkaisut/tiedostot/julkaisuluettelo/yene_enev_201100_2012_6164_net.pdf

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. 2013. REACH-asetus. [Viitattu 15.12.2013] Saatavissa: http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kemikaalit-biosidit-ja-kasvinsuojeluaineet/Teollisuus--ja-kuluttajakemikaalit/REACH---asetus/

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2010. Kiinteiden puupolttoaineiden saatavuus ja käyttö Suomessa vuonna 2020. [Viitattu 14.9.2013] Saatavissa: https://www.tem.fi/files/28437/TEM_66_2010_verkkojulkaisu.pdf

Valtiovarainvaliokunnan mietintö 43/2010 vp. 2010. Hallituksen esitys jäteverolaiksi. Saatavissa: http://www.eduskunta.fi/triphome/bin/thw/trip?${APPL}=utpvm&${BASE}=utpvm&${THWIDS}=0.12/1396777872_346933&${TRIPPIFE}=PDF.pdf

LIITTEET

Liite I

Toiminnanharjoittajan omavalvontasuunnitelmassa vaadittavat tiedot

1) toiminnasta vastuussa olevat henkilöt ja suunnitelma henkilökunnan perehdyttämisestä;

2) markkinoille saatettavien lannoitevalmisteiden tuotekohtaiset raaka-aineet sekä niiden alkuperä ja laatu;

3) eräkohtainen jäljitettävyyden varmentaminen;

4) tuotanto- ja toimintaprosessi ja sen

a) kriittiset valvontapisteet ja toimenpiderajat

b) korjaustoimenpiteet, joihin ryhdytään, kun toimenpiderajat ylitetään

c) tiedot käytössä olevista tiloista, koneista ja laitteista sekä niiden

- kunnossapidosta

- mittausvälineiden kalibroinnista

- puhdistustavasta ja tiheydestä

- tuhoeläinten torjunnasta;

5) toimintaohjeet häiriötilanteita varten;

6) laadunvalvonta- ja näytteenottosuunnitelma koskien raaka-aineita, tuotantoa ja lopputuotetta;

7) toimenpiteet, joihin ryhdytään, mikäli lannoitevalmiste tai niiden raaka-aine ei täytä sille asetettuja laatuvaatimuksia tai on vanhentunut, sekä

8) lannoitevalmisteiden ja niiden raaka-aineiden varastointi-, säilytys- ja kuljetustiedot.

Liite II

Eviran tuoteselostemalli tuhkalannoitteelle

Tuhkan käyttö lannoitevalmisteena

Tuoteselostemalli

Tyyppinimi	Metsätuhka	
Kauppanimi	Tuhkatien voimalaitoksen metsätuhka	
Ominaisuudet	Fosfori (P)	1,2 %
	Vesiliukoinen fosfori (P)	0,02 %
	Kalium (K)	3,2 %
	Kalsium (Ca)	14,2 %
	Neutraloiva kyky	16,5 % (Ca)
	Kosteus	45 %
Haitalliset metallit	Arseeni (As)	10 mg/kg
	Elohopea (Hg)	0,2 mg/kg
	Kadmium (Cd)	12 mg/kg
	Kromi (Cr)	40 mg/kg
	Kupari (Cu)	120 mg/kg
	Lyijy (Pb)	30 mg/kg
	Nikkeli (Ni)	45 mg/kg
	Sinkki (Zn)	1700 mg/kg
Raaka-aineet	Puun puru, kuori ja hake	
Käyttö ja käyttörajoitukset	Tuhkan peltokäyttö on kielletty, käyttö sallittu ainoastaan metsälannoitukseen. Tuhka soveltuu metsien kasvatus- ja terveyslannoitukseen. Enimmäiskäyttömäärä on 5 tonnia hehtaarille 40 vuoden ajanjaksona annettuna. Levityksessä on huomioitava riittävät suojavyöhykkeet vesistöihin.	
Valmistaja	Tuhkatien voimalaitos Tuhkatie 1 12345 VOIMALAITOS	