

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Metsätalouden koulutusohjelma

Juuso Karikorpi

KARHULAN BIOLÄMPÖLAITOKSEN LENTOTUHKAN HYÖTYKÄYTTÖ-
VAIHTOEHDOT KOTKAN ENERGIA OY:LLE

Opinnäytetyö 2013

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Metsätalous

KARIKORPI, JUUSO

Karhulan biolämpölaitoksen lentotuhkan hyötykäyttövaihtoehtot Kotkan Energia Oy:lle

Opinnäytetyö

72 sivua + 8 liitesivua

Työn ohjaaja

lehtori Jyri Mulari

Toimeksiantaja

Kotkan Energia Oy

Syyskuu 2013

Avainsanat

hyötykäyttö, puutuhka, biopolttoaineet, lannoitus

Tämän tutkimuksen aiheena on Kotkan Energia Oy:n vuonna 2013 käynnistyneen Karhulan biolämpölaitoksen lentotuhkan hyötykäyttö. Työn tavoitteena on selvittää laitoksen lentotuhkan kelpoisuus lannoitevalmisteeksi ja rakennuskäyttöön, sekä löytää tuhkaa hyödyntäviä toimijoita. Tuhkan soveltuvuuden lannoitevalmisteeksi määrittelee maa- ja metsätalousministeriön asetus 24/11 lannoitevalmisteista, joka sisältää mm. tuhkalannoitteille sallitut haitta-ainepitoisuuksien rajat. Tuhkien käyttöä maanrakennuksessa ohjaa valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maanrakentamisessa (591/2006), joka määrittelee tuhkillle sallitut haitta-ainepitoisuudet ja liukoisuudet rakentamisessa.

Lentotuhkan hyötykäyttökelpoisuutta tutkittiin analysoimalla kuukausittaisia kokoomanäytteitä ja vertaamalla tuloksia asetusten raja-arvoihin. Lämpölaitoksella poltettava puun kuoresta tehtiin alkuaineanalyysi ja lisäksi selvitettiin ilmaluokittelun vaikutusta tuhkan sisältämiin haitta-ainepitoisuuksiin. Tuhkan hyödyntäjiä kartoitettiin vapaamuotoisten haastattelujen avulla kevään ja kesän 2013 aikana.

Tutkimuksessa selvisi, ettei Karhulan biolämpölaitoksen lentotuhka kelpaa kevään 2013 näytteiden perusteella lannoitekäyttöön. Myös tuhkan rakennuskäyttö vaatii ympäristöluvan. Syynä ovat lentotuhkan korkeat haitta-ainepitoisuudet ja -liukoisuudet, jotka eivät täytä kaikkia vaatimuksia. Ilmaluokittelun havaittiin vähentävän tuhkan raskasmetalleja, mutta niiden tarkka lähde ei tutkimuksessa selvinnyt. Haastattelujen perusteella puutuhkan lannoitekäyttö Kaakkois-Suomessa on vähäistä, mutta valtatie 7:n rakennustyöt saattavat tarjota tuhkillle käyttökohteen meluvallien täytemateriaalina. Tuhkien käyttömahdollisuuksien parantamiseksi tulisi lämpölaitokselle kuljetettava polttoainevirta tutkia kokonaan, jotta voitaisiin varmistua haitta-aineiden lähteestä. Lisäksi jatkoselvityksenä voisi tutkia tuhkan laadun parantamista lämpölaitoksen sähkösuodattimella tapahtuvan luokittelun avulla.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Forestry

KARIKORPI, JUUSO

Recycling possibilities of fly ash from the bioenergy plant of Karhula for Kotkan Energia Ltd

Bachelor's Thesis

72 pages + 8 pages of appendices

Supervisor

Jyri Mulari, MSc (For.)

Commissioned by

Kotkan Energia Ltd

September 2013

Keywords

recycling, wood ash, biofuels, fertilization

The bioenergy plant of Karhula, owned by Kotkan Energia Ltd, began to function in January 2013. The subject of this thesis is the recycling of the fly ash formed in that plant. The objectives were to investigate whether the fly ash is suitable for use as a fertilizer and as a material in earth construction and to find parties who are able to recycle wood-based ash. Ministry of agriculture and forestry has set a decree (24/11) concerning fertilizers and it contains the limiting values for concentration of heavy metals allowed for ash fertilizers. The usage of ash in earth construction is guided by the governments decree concerning the recovery of certain wastes in earth construction (591/2006), which contains the limiting values for concentration and solubility of heavy metals allowed for ash material.

Suitability of ash for recycling was examined by analyzing monthly composite samples of fly ash and comparing the results to the limiting values presented in the decrees. An elementary analysis of the bark used in the plant was made and also the effect of fractioning on the concentration of heavy metals was examined. Parties, who would be able to recycle the ash, were mapped through free-form interviews during spring and summer 2013.

The samples taken during the spring of 2013 indicate that the fly ash from the bioenergy plant is not suitable for use as a fertilizer. Also the use in earth construction requires an environmental license. This is due to some heavy metal concentrations in the ash, which exceed the limiting values. Fractioning reduced the amount of heavy metals effectively, but their exact source was not confirmed. According to the interviews the use of ash fertilizers in the South-East Finland is slight, but the construction work on highway 7 might provide a recycling opportunity for the ash as a filling material of noise embankments. To determine the exact source of the heavy metals in the fly ash all biofuels used in the plant should be analyzed in future studies. Also the possibilities to use the plants electric filter to fraction and to reduce the concentrations in the fly ash should be investigated.

1	JOHDANTO	6
2	KOTKAN ENERGIA OY	6
	2.1 Tuotantolaitokset	7
	2.2 Heinsuon polttoainevarasto	8
	2.3 Karhulan biolämpölaitos	8
3	BIOENERGIAN KÄYTTÖ	9
	3.1 Biopolttoaineet Suomen energiantuotannossa	9
	3.2 Energiantuotannon sivutuotteet	10
4	TUHKAMATERIAALI	11
	4.1 Tuhka lannoitteena	12
	4.2 Tuhkien rakennustekniset ominaisuudet	16
	4.3 Tuhkan radioaktiivisuus	16
	4.4 Polttokattilat	17
5	TUHKAN HYÖDYNTÄMISEEN LIITTYVÄ LAINSÄÄDÄNTÖ	19
	5.1 Ympäristönsuojelulaki (86/2000)	19
	5.2 Jätelaki (646/2011)	20
	5.3 Jäteverolaki (1126/2010)	20
	5.4 Lannoitevalmistelaki ja -asetus	21
	5.4.1 Tyyppinimi ja tyyppinimiluettelo	24
	5.4.2 Ilmoitusvelvollisuus ja omavalvonta	24
	5.5 MARA-asetus (Vna 591/2006 ja 403/2009)	25
	5.6 Ilmoitusmenettely ja ympäristöluvan hakeminen	28
6	TUHKALANNOITUS	28
	6.1 Tuhkalannoituksen ympäristövaikutukset	30
	6.1.1 Vaikutus maaperään	30
	6.1.2 Vaikutus puustoon	30
	6.1.3 Vaikutus pintakasvillisuuteen	31

6.1.4	Vaikutus vesistöihin	32
6.2	Tuhkan jalostaminen	33
6.2.1	Itsekovetus	33
6.2.2	Rakeistaminen	34
6.2.3	Fraktiointi	34
6.2.4	Vanhentaminen	36
6.3	Tuhkan levitysmenetelmät	37
7	TUHKIEN KÄYTTÖ RAKENTAMISESSA	37
7.1	Tuhkan rakennuskäyttösovelluksia	39
7.2	Tuhka betoninvalmistuksessa	41
8	TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTO	42
8.1	Lentotuhkan näytteet	42
8.2	Polttoaineanalyysi	42
8.3	Lentotuhkan ilmaluokittelu	43
8.4	Selvitys tuhkan jatkokäyttäjistä	44
9	TUTKIMUSTULOKSET	45
9.1	Karhulan biolämpölaitoksen lentotuhkan kelpoisuus lannoitekäyttöön	45
9.2	Karhulan biolämpölaitoksen lentotuhkan ympäristökelpoisuus	47
9.3	Polttoaineanalyysin tulokset	49
9.4	Ilmaluokittelun tulokset	50
9.5	Tuhkan hyödyntäjät	51
10	TULOSTEN TARKASTELU	55
11	PÄÄTELMÄT	60
12	LÄHTEET	65

1 JOHDANTO

Puun energiakäyttö on noussut perinteisen sellu- ja sahateollisuuden rinnalle, ja puupolttoaineilla tuotettiin vuonna 2012 jo reilu viidesosa koko energiamäärästä Suomessa (Tilastokeskus 2013). Biopolttoaineiden osuus energiantuotannossa todennäköisesti lisääntyy entisestään, sillä EU:n Suomelle asettamien tavoitteiden mukaan uusiutuvien energialähteiden osuus Suomen energiantuotannosta tulisi olla vuoteen 2020 mennessä jo 38 % (Motiva 2013). Vuonna 2011 jäteverolaki uudistui tuoden voimalaitostuhkat verotettavan materiaalin piiriin, mikäli ne toimitetaan kaatopaikalle hyödyntämismenpiteiden sijaan. Uusien biopolttoaineita käyttävien voimaloiden rakentaminen tietää kasvavaa puuperäisten, uusiokäyttöön soveltuvien tuhkien määrää.

Kotkan Energia Oy:n uusiin lämpölaite, Karhulan biolämpölaite käynnistyi vuoden 2013 tammikuussa Sunilan kaupunginosassa. Polttoaineina laite käyttää enimmäkseen metsähaketta ja kuorta, ja se on käytössä lämmityskauden ajan. Laite tuottaa arviolta lentotuhkaa 120 tonnia ja pohjatuhkaa 250 tonnia vuodessa.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää Karhulasta saatavan lentotuhkamateriaalin soveltuvuutta hyötykäyttöön ja löytää sille mahdollisia hyödyntäjätahoja. Pohjatuhka on rajattu työn ulkopuolelle. Tärkeimmät tarkasteltavat käyttövaihtoehdot ovat lannoitus- ja maanrakennuskäyttö. Lannoitevalmistelaki (539/2006), maa- ja metsätalousministeriön asetus 24/11 lannoitevalmisteista ja valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maanrakentamisessa (Vna 591/2006) määrittävät pitkälti tuhkan hyötykäyttömahdollisuudet. Myös tuhkaa käyttävien toimijoiden määrä lähialueella rajaa vaihtoehtoja. Tästä tutkimuksesta on tehty kaksi eri versiota: julkaistava versio ja Kotkan Energia Oy:n käyttöön tuleva versio.

2 KOTKAN ENERGIA OY

Kotkan Energia Oy on vuonna 1993 perustettu Kotkan kaupungin omistama energia-yhtiö, jonka liiketoiminta koostuu kaukolämmön sekä sähkön ja lämmön yhteistuotannosta. Lämmön, sähkön, prosessihöyryn ja jätteiden energiakäyttöpalvelun lisäksi yhtiö myy maakaasua teollisuuden käyttöön. Energia tuotetaan pitkälti biopolttoaineiden avulla, mutta laitoksissa käytetään myös maakaasua sekä kierrätys- ja jättepolttoaineita. Vuonna 2012 kaukolämpöä myytiin 403 GWh, sähköä 133 GWh, prosessihöyryä 189 GWh ja maakaasua 5 GWh. Kaukolämmön osuus Kotkan lämmitysmark-

kinoista on 55 %. Yhtiön palveluksessa työskentelee 89 henkilöä. (Kotkan Energia Oy 2012, 2013 c, 5, 30.)

Yhtiö panostaa uusiutuviin energialähteisiin ja jätteiden energiakäyttöön yhteistyössä paikallisen teollisuuden kanssa. Fossiilisten polttoaineiden käyttöä vähennetään entisestään kasvattamalla biopolttoaineiden osuutta ja tuulivoimalla tuotetun sähkön määrää. (Kotkan Energia Oy 2012, 2013 c, 30.)

Vuonna 2012 polttoaineiden käyttö jakautui seuraavasti:

- bio-, kierrätys- ja jätepolttaineet 582 GWh (+3,3 %)
- maakaasua 165 GWh (-17 %)
- turvetta 156 GWh (-21 %)
- öljyä 4 GWh (-212 %)

Uusiutuvan energian osuus koko tuotannosta oli 48 %. Vuoden 2013 alussa Kotkan Sunilassa käynnistynyt biolämpökeskus ja Mussaloon rakennettavat kaksi tuulivoimalaa nostavat sen osuutta yhä suuremmaksi (Kotkan Energia Oy 2012, 2013 c, 15.)

2.1 Tuotantolaitokset

Hovinsaaren voimalaitos on Kotkan Energia Oy:n päätuotantolaitos, jossa tuotetaan kaukolämpöä, sähköä ja teollisuushöyryä. Lämmöntuotannon maksimikapasiteetti on 140 MW ja sähköntuotannon 50 MW. Laitos koostuu maakaasua käyttävästä kombivoimalasta, sekä haketta, kuorta, turvetta, kierrätys- ja jätepolttaineita käyttävästä biovoimalasta. Tuotettaessa peruskuorma pelkän biovoimalan avulla saadaan lämpöä 60 MW ja sähköä 12 MW. Hovinsaarella tuotettu teollisuushöyry kulkeutuu viereisen Danisco Sweeteners Oy:n tehtaan tuotantoprosessiin. (Kotkan Energia Oy 2012, 2013 c, 30.)

Kotkan Korkeakoskella sijaitseva Hyötyvoimalaitos valmistui vuonna 2009. Laitos polttaa lajiteltua teollisuus- ja yhdyskuntajätettä noin 100 000 tonnia vuodessa, vähentäen osaltaan kaatopaikoille päätyvän jätteen määrää. Korkeakoski tuottaa kaukolämpöä keskimäärin 7 MW yhtiön verkkoon, sähköä 5 MW ja teollisuushöyryä 15 MW Sonoco Alcore Oy:n kartonkitehtaan käyttöön (Kotkan Energia Oy 2012, 2013 c, 30.)

Kierrätykseen kelpaamaton, poltettava jäte kerätään Kymenlaakson, Päijät-Hämeen, Itä-Uudenmaan ja Mikkelin alueilta (Kotkan Energia Oy 2013 a.)

Yhtiöllä on entuudestaan kaksi 1 000 kW tuulivoimalaa Mussalossa, joista toinen korvataan uudella, tehokkaammalla voimalalla. Lisäksi rakennetaan yksi uusi tuulivoimala. Uudet voimalat ovat napakorkeudeltaan 98-metrisiä, ja roottorin halkaisija on 92 metriä. Tuulivoimaloiden vuosituotannoksi arvioidaan noin 17 000 MWh, eli suunnilleen 950 sähkölämmitteisen omakotitalon vuosikulutuksen verran. Tuulivoimaloiden uudistamishanke toteutetaan vuoden 2013 aikana ja kaupalliseen käyttöön voimalat pyritään saamaan joulukuussa 2013. (Kotkan Energia Oy 2013 d.)

Eri puolilla Kotkaa on yhtiön kaukolämmön huippu- ja varalämpökeskuksia, joiden lämpöteho on yhteensä 114 MW. Uusin lämpökeskus rakennettiin Sunilan kaupunginosaan vuoden 2012 aikana ja otettiin käyttöön tammikuussa 2013. Uusi laitos käy biopolttoaineiden voimin ja on teholtaan 18 MW (Kotkan Energia Oy 2012, 2013 c, 30.)

2.2 Heinsuon polttoainevarasto

Kotkan kaupungilta ostettu Heinsuon varastokenttä on pinta-alaltaan 13,2 hehtaaria, ja se toimii välivarastona puupohjaisille polttoaineille, kuten rankapuulle, sahojen sivutuotteille ja kierrätyspuulle. Kentälle varastoidaan myös yhtiön voimaloilta kuljetettuja tuhkia. Polttoaineen välivarastoinnilla turvataan Hovinsaaren voimalan biokattilan ja Karhulan biolämpökeskuksen polttoainetarve silloinkin, kun lämmöntarve on suuri. Välivarastointi myös vähentää riippuvuutta polttoainemarkkinoiden tai olosuhteiden muutoksista ja helpottaa eri polttoainelajien laadun silmämääräistä seuranta. Heinsuon varastokenttää on paikoin rakennettu Hovinsaaren biovoimalaitoksen lentotuhkalla, jota on ensin vanhennettu kasavarastoituna. (Mäkelä 2013, 2.)

2.3 Karhulan biolämpölaitos

Karhulan biolämpölaitoksen, eli Karbion, rakennustyöt valmistuivat vuoden 2012 aikana Sunilan kaupunginosassa, ja se otettiin käyttöön 11. tammikuuta 2013. Laitos laajentaa Kotkan Energian kaukolämpöverkkoa ja varmistaa lämmön riittävyyden Karhulassa. Laitoksen lämpöteho on 18 MW ja sen on toimittanut Metso Oy. (Kotkan Energia Oy 2013 b.)

Polttoaineena laitos käyttää haketta ja kuorta, mikä nostaa yhtiön käyttämien uudistuvien energialähteiden osuuden tuotannossa noin 60 %:n tasolle. Polttokattilana toimii pyörivä kekoarina ja savukaasut poistuvat 30-metrisestä piipusta puhdistuksen jälkeen. Laitosta käytetään kauko-ohjatusti Hovinsaaren voimalaitoksen valvomosta, ja se on toiminnassa lämmityskaudella, eli noin 5 – 6 kk vuodessa. (Kotkan Energia Oy 2013 b.)

3 BIOENERGIAN KÄYTTÖ

3.1 Biopolttoaineet Suomen energiantuotannossa

Suomen energiankulutuksesta katetaan nykyään runsas 25 % biopolttoaineiden avulla. EU:n asettaman tavoitteen mukaisesti uusiutuvien energialähteiden osuus Suomen kokonaisenergiankulutuksesta tulisi olla vuoteen 2020 mennessä 38 % (Motiva 2013). Kestävän kehityksen periaatteiden noudattaminen edellyttää fossiilisten polttoaineiden korvaamista entistä enemmän uusiutuvilla energialähteillä, joista bioenergian osuus on lähes 90 % (FINBIO ry 2010 a.)

Bioenergiaa saadaan hyödyntämällä soilla, pelloilla ja metsissä kasvavaa biomassaa, mutta myös hyödyntämällä teollisuuden, maatalouden ja yhdyskuntien bioenergiaksi kelpaavat jätteet. Uusiutuvaa energiaa voidaan biopolttoaineiden ohella tuottaa myös aurinko-, vesi- ja tuulivoimasta, maalämmöstä sekä aaltojen liikkeestä (FINBIO ry 2010 a). Uusiutuvien energialähteiden vahvuuksia ovat niiden ekologisuus ja ehtymättömyys: rikki- ja kasvihuonekaasupäästöt ilmakehään ovat fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna enimmilläänkin vähäiset, ja niitä voidaan käyttää kestävästi. (FINBIO ry 2010 b.)

Puupolttoaineet ovat Suomen toiseksi tärkein energianlähde öljyn jälkeen. Vuonna 2011 puuperäisiä polttoaineita käytettiin yhteensä 86 TWh, mikä oli noin viidennes energian kokonaiskulutuksesta. Valtaosa puuperäisistä polttoaineista saadaan metsäteollisuuden hyödyntämiskelpoisista jätteistä kuten jäteliemistä, kuorista ja puruista. Lisäksi polttoaineita saadaan talousmetsien hoidon ja uudistushakkuiden yhteydessä kerättävistä kannoista, latvuksista, oksista ja rangoista, joista ei ole metsäteollisuuden käyttöön sinällään, mutta jotka ovat haketettuina luonnonmukainen energianlähde. (MMM 2012.)

Lämpö- ja voimalaitokset kuluttivat 6,8 miljoonaa kuutiometriä metsähaketta vuonna 2011, mikä on 10 % edellisvuotta enemmän. Kun mukaan lasketaan pientalojen metsähakkeen kulutus, vuoden 2011 metsähakkeen käyttö kohoaa 7,5 miljoonaan kuutiometriin. Metsäteollisuuden prosesseissa syntyvää sivutuotepuuta, kuten kuorta ja puurua, käytettiin voimaloissa 9,4 miljoonaa kuutiometriä. Kaakkois-Suomen lämpö- ja voimalaitoksissa kulutettiin noin kuudesosa kaikista kiinteistä puupolttoaineista. (Metsätilastollinen vuosikirja 2012, 276.)

Metsähakkeen käytön lisäämisellä on katsottu olevan merkittävä rooli EU:n velvoiteteisiin vastaamisessa. Tarkistetussa Kansallisessa metsäohjelmassa 2015 (KMO 2015) vuotuisen metsähakkeen käytön tavoitteeksi on asetettu 10 – 12 kuutiometriä vuoteen 2015 mennessä. Hallituksen Uusiutuvan energian velvoitepaketissa on tavoitteena nostaa lämpö- ja voimalaitosten vuotuinen metsähakkeen käyttö 12 – 13 miljoonaan kuutiometriin (90 PJ) vuoteen 2020 mennessä. (Metsätilastollinen vuosikirja 2012, 276.)

3.2 Energiantuotannon sivutuotteet

Voimalaitoksilta peräisin oleva jäte on enimmäkseen pölyä ja tuhkaa. Suomessa tuhkaa syntyy vuosittain noin 1,5 miljoonaa tonnia (Kiviniemi, Sikiö, Jyrävä, Ollila, Autiola, Ronkainen, Lindroos, Lahtinen ja Forsman 2012, 6) ja se tulisi jätelain nojalla pyrkiä hyödyntämään. Kaiken jätteen hyödyntämisen edellytyksenä on, ettei se saa aiheuttaa vaaraa ympäristölle eikä ihmisille. Hyödyntämisen koko ketjun ympäristövaikutukset on arvioitava alkaen jätteen esikäsittelystä aina hyötykäytön jälkeiseen toimintaan. Useista tuhkille sopivista uusiokäyttövaihtoehtoista huolimatta käytännössä vain puolet koko tuhkamäärästä hyödynnetään, sillä etenkin seospolton tuhkille on haastavaa löytää sopivia kohteita. (Korpijärvi, Mroueh, Merta, Laine-Ylijoki, Kivikoski, Järvelä, Wahlström ja Mäkelä 2009, 11, 13.)

Suomessa energiantuotannon tuhkat muodostuvat kivihiilen, puun ja turpeen poltosta. Kivihilituhka kelpaa materiaaliksi maanrakentamisessa, maarakenteiden stabiloinnissa, sementin raaka-aineena, betonin tai sementin seosaineena ja asfaltin täyteaineena. Puun- ja turpeenpolton tuhkat kelpaavat myös maanrakentamiseen sekä kaatopaikko-

jen maisemointitöihin. Puhtaalla puutuhkalla on edellytykset myös suometsien ja peltojen lannoitteeksi. (Korpijärvi ym. 2009, 11.)

Erityisesti hienojakoinen lentotuhka eroaa luonnonkiviaineksesta sementtiä muistuttavan lujittumisominaisuutensa sekä huokoisen rakenteensa vuoksi ja vaatii hyödyntäjältä perehtymistä. Maanrakennustöissä käytetään vuosittain 100 miljoonaa tonnia luonnonkiviainesta, joten tuhkan tehokas uusiokäyttö säästäisi uusiutumattomia luonnonvaroja kuten soraa ja hiekkaa. (Kiviniemi ym. 2012, 6.)

Tuhkan hyötykäytöllä on kuitenkin haasteensa, jotka vähentävät sen suosiota uusiomateriaalina. Tuhkat sisältävät polttoaineesta jäljelle jääneitä raskasmetalleja, joten niiden sisältämät pitoisuudet eivät välttämättä ole lain edellyttämässä rajoissa. Ympäristölainsäädäntö ei ota kantaa tuhkien teknisiin ominaisuuksiin, ja maanrakennustoimijat saattavatkin olla epävarmoja tuhkien soveltuvuudesta kohteelle. Suurin osa tuhkista muodostuu lisäksi talvella, kun lämmöntuotanto on suurimmillaan. Tämä on ristiriidassa maanrakennustyön kanssa, sillä hyödyntäminen on mahdollista vain kesäaikaan. Rakennustöissä tarvitaan usein suuria tuhkamääriä kerrallaan, mikä luo haasteita sen varastoinnille. Irtonainen lentotuhka on hienojakoista ja pölyävää, aiheuttaen helposti haittoja ihmisille ja liaten ympäristöä. Koska tuhkan käyttö on vielä paikoitista, ovat kuljetusmatkat ammattimaisten lannoite- tai rakennuskäyttötoimijoiden luononesti pitkiä. (Korpijärvi ym. 2009, 11.)

4 TUHKAMATERIAALI

Tuhka muodostuu orgaanisen polttoaineen alkuaineista, joiden oksidit ovat haihtumattomia polttokattilan palamislämpötilassa. Puun tuhka sisältää runsaasti kalsiumia, mikä tekee siitä emäksistä; puutuhkan pH on noin 12 ja turvetuhkan pH 7 – 12 (Soininen, Mäkelä, Kyyhkynen ja Muukkonen 2010, 17). Suomessa tuhkalaadut luokitellaan niiden keräyspaikan perusteella lento- ja pohjatuhkiin sekä polttoprosessin polttoainekoostumuksen perusteella kivihiilen polton, seospolton ja rinnakkaispolton tuhkiin (taulukko 1). Suurirakeinen pohjatuhka varisee polttokattilan pohjalle, kun taas hienojakoinen lentotuhka erotetaan savukaasuista ennen hiukkasten leviämistä ilmaan. Lentotuhkan raekoko vaihtelee 0,002 – 0,1 mm välillä vastaten maalajeista silttiä. Pohjatuhkan raekoko vaihtelee 0,002 - 16 mm välillä vastaten hiekkaa ja soraa. (Kiviniemi ym. 2012, 8, 12.)

Taulukko 1. Tuhkien luokittelu Suomessa (Kiviniemi ym 2012, 8.)

	Nimike	Määritelmä
Keräyspaikka	Pohjatuhka	Kattilan pohjalle kerääntyvä tai poistuvan leijupeti-materiaalin mukana poistuva tuhka
	Lentotuhka	Savukaasuista erotettava tuhka
Polttoainekoostumus	Kivihiiilen poltto	Kivihiiilen polton lentotuhka
	Seospoltt	Tavanomaisten polttoainek- seospoltt
	Rinnakkaispoltt	Jätteiden ja tavanomaisten polttoainek- seospoltt

4.1 Tuhka lannoitteena

Puun alkuaineet muodostuvat lähes kokonaan hiilestä, hapesta ja vedystä. Poltossa haihtuvia aineita puu sisältää 84 – 88 % kuivapainosta. Haihtuvista aineista happea (O) on 38 – 42 %, typpeä (N) 0,1 – 0,5 %, vetyä (H) 6,0 – 6,5 % ja rikkiä (S) 0,05 %. (Alakangas 2000, 35.)

Puun poltosta jäljelle jäävää tuhkaa voidaan käyttää luonnonmukaisena lannoitteena, jolla poltossa jäljelle jääneet ravinteet voidaan palauttaa takaisin kiertoon. Polttoainek-
seoksesta ja poltettavasta puuositteesta riippuen puutuhka sisältää keskimäärin 0,2 – 3 % fosforia, 0,5 – 10 % kaliumia, 5 – 40 % kalsiumia ja alle 0,1 % booria. Turpeen-
polton tuhka on puutuhkaa vähäravinteisempaa, sisältäen keskimäärin 0,5 – 2 % fosfo-
ria, 0,2 – 0,4 % kaliumia, 5 – 10 % kalsiumia ja booria alle 0,01 %. (Huotari 2012, 6.)

Puulajin ja puun iän mukaan puun biomassassa jakautuu eri suhteessa runkopuuhun, kuoreen, oksiin ja neulasiin tai lehtiin. Vaikka puulajien väliset erot alkuainekoostumuk-
sessa ovat pienet, puun eri osien sisältämät alkuainepitoisuudet poikkeavat selvästi toisistaan. (Alakangas 2000, 35 – 36.) Taulukossa 2 on listattu alkuainepitoisuuksia havu- ja lehtipuun eri osissa.

Taulukko 2. Puun eri osien sisältämiä alkuainepitoisuuksia (Hakkila ja Kalaja 1983)

Puulaji / osa	Päämineraali kuiva-aineessa, m-%				Hivenainepitoisuus kuiva-aineessa, mg/kg				
	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	B	Cu
Havupuu									
Runko	0,01	0,06	0,12	0,02	147	41	13	3	2
Kuori	0,08	0,29	0,85	0,08	507	60	75	12	4
Oksat	0,04	0,18	0,34	0,05	251	101	44	7	4
Neulaset	0,16	0,60	0,50	0,09	748	94	75	9	6
Kokopuu	0,03	0,15	0,28	0,05	296	85	30	6	4
Lehtipuu									
Runko	0,02	0,08	0,08	0,02	34	20	16	2	2
Kuori	0,09	0,37	0,85	0,07	190	191	131	17	13
Oksat	0,06	0,21	0,41	0,05	120	47	52	7	4
Lehdet	0,21	1,17	1,10	0,19	867	135	269	21	10
Kokopuu	0,05	0,21	0,25	0,04	83	27	39	6	5

Ravinteiden lisäksi tuhkaan rikastuu poltettavien biomassojen sisältämiä raskasmetalleja, joita puutuhka sisältää tavallisesti turvetuhkaa enemmän. Taulukossa 3 on esitelty puun poltossa tuhkaan rikastuvien raskasmetallien tyypillisiä pitoisuuksia. Etenkin kadmium (Cd) ja lyijy (Pb) ovat eliöille ja kasveille myrkyllisiä jo pieninäkin määrinä. Osa raskasmetalleista, kuten kupari (Cu), mangaani (Mn) ja sinkki (Zn) ovat pieninä annoksina kasveille käyttökelpoisia hivenaineita, mutta muuttuvat suurina määrinä haitallisiksi. (Huotari 2012, 6.) Taulukossa 4 on lueteltu eri haitta-aineiden lähteitä.

Taulukko 3. Puun polton tuhkien raskasmetallipitoisuuksia (Taipale 1996)

Alkuaine	Pitoisuus mg/kg	
	Pohjatuhka	Lentotuhka
Arseeni (As)	0,2 – 3,0	1 – 60
Kadmium (Cd)	0,4 – 0,7	6 – 40
Koboltti (Co)	0 - 7	3 – 200
Kromi (Cr)	60	40 – 250
Kupari (Cu)	15 - 300	200
Elohopea (Hg)	0 – 0,4	0 – 1
Mangaani (Mn)	2500 - 5500	6000 – 9000
Nikkeli (Ni)	40 - 250	20 – 100
Lyijy (Pb)	15 - 60	40 – 1000
Seleeni (Se)		5 – 15
Vanadiini (V)	10 - 120	20 – 30
Sinkki (Zn)	15 - 1000	40 - 700

Kuorettoman puhtaan puun sisältämän kloorin määrä on tavallisesti alle 0,02 m - % ja kuorellisella puulla noin 0,3 m - % kuiva-aineesta. Kloori polttoaineessa aiheuttaa kloridiyhdisteitä mm. kaliumin ja natriumin kanssa, suolahappopäästöjä (HCl) ja dioksiini- ja furaanipäästöjä epätäydellisen palamisen vuoksi. Savukaasujen tiivistyminen polttolaitoksen sisällä tai piipussa voi aiheuttaa myös pintojen korroosiota. Klooripitoisuuden korkeat arvot voivat johtua suuresta kuoren tai neulasten määrästä polttoaineessa, puun alkuperästä lähellä rannikkoa, jossa se on ollut merivedelle alttiina, tai maantiesuolasta, joka on kerääntynyt puuhun kuljetuksen tai varastoinnin aikana. Myös käsitellyn puun lahonestoaineet nostavat klooripitoisuutta. (Alakangas, Erkkilä ja Heikkinen 2013, 8.)

Taulukko 4. Haitallisten aineiden lähteitä (Korpijärvi ym. 2009, 18.)

Alkuaine	Lähde
Antimoni (Sb)	Kyllästys- ja peittäusaineet, palonestoaine, maaliväri (oranssi ja keltainen), metalliseokset, vulkanointiaine.
Arseeni (As)	Kyllästys, painomuste, korroosionesto, parkitusaine.
Elohopea (Hg)	Uretaanivaaho, katalyytti muoveissa.
Kadmium (Cd)	PVC-muovien valo- ja lämpöstabilaattori, pigmentti.
Kloori (Cl)	Suola, PVC muovi.
Kromi (Cr)	Kromaus, kyllästys, parkitusaine, metalliseokset, värit (keltainen ja vihreä).
Kupari (Cu)	Messinki, metalli, pigmentti, kyllästysaine, katalyytti.
Lyijy (Pb)	Lyijysilikaatti, juotostina, tiiviste, pigmentti, metalli, messinki, muovistabilaattori (PVC), polymeerikatalyytti.
Nikkeli (Ni)	Metalliseokset, niklaus, pigmentti, katalyytti.
Sinkki (Zn)	Sinkitys, ruosteenesto, vulkanointi, messinki, palonesto, öljyjen kovetin, stabilaattori, pigmentti, kyllästys.

Biovoimalaitoksilta syntyvä tuhka on monesti sekoitus hakkeen-, turpeen- ja kuoren-poltosta syntyvää tuhkaa, mikä luo haastetta lannoitekäyttöön soveltuvien tuhkaerien erotteluun (Makkonen 2008, 8). Käytetyn polttoaineen ohella tuhkan laatuun vaikuttavat myös palamisolosuhteet, kuten palamisnopeus, ilmansyöttö, lämpötila ja tuhkan talteenottomenetelmät. Myös polttokattilan kunto vaikuttaa lopputulokseen. (Korpijärvi ym. 2009, 16.)

4.2 Tuhkien rakennustekniset ominaisuudet

Tuhkia on mahdollista käyttää maanrakennuksessa sellaisenaan, sideaineena, tiivistettynä tai sekoitettuna toisen sivutuotteen kanssa. Voidakseen kilpailla luonnonkiviaineksien kanssa, sivutuotteen tulisi olla teknisiltä ominaisuuksiltaan rakennusmateriaaliksi soveltuvaa. Merkittävimpiä ominaisuuksia ovat:

- optimivesipitoisuus
- maksimikuivairtoteiheys
- lämmönjohtavuus
- routivuus
- lujittumispotentiaali
- jäätymis-sulamisrasituskestävyys.

Tuhkan optimivesipitoisuus vaihtelee vuodenajan ja käytettyjen polttoaineiden perusteella paljon, mutta on tyypillisesti kiviaineksiin verrattuna korkea. Tiheydeltään tuhka on kiviainesta kevyempää, ja lentotuhka painaa keskimäärin $800 - 1100 \text{ kg / m}^3$. Lujittumisominaisuutensa takia lentotuhka läpäisee heikosti vettä, mikä saattaa aiheuttaa veden kerääntymistä rakenteen päälle ja pintakelirikon riskin. Huokoisuutensa vuoksi tuhkan lämmönjohtavuus on tavallisesti kiviainesta pienempi. Raekokonsa mukaan lentotuhkat luokitellaan voimakkaasti routivaksi materiaaliksi. Tuhkaerän routivuuserkkyys tuleekin selvittää, jotta varmistutaan sen soveltuvuudesta käyttökohteelle. (Kiviniemi ym. 2012, 12 – 15, 22.)

Teknisten ominaisuuksiensa perusteella tuhkalta voidaan määritellä sille soveltuvat käyttökohteet maanrakennuksessa. Tekniset ominaisuudet antavat maanrakennushanketta suunnittelevalle taholle arvokasta tietoa materiaalista, ja tuhkan ominaisuuksia olisikin hyvä tarkistaa aina, kun polttoainesuhteissa tai polttoprosessissa tapahtuu merkittäviä muutoksia. (Kiviniemi ym. 2012, 12.)

4.3 Tuhkan radioaktiivisuus

Cesium ^{137}Cs on merkittävin radionuklidi tarkasteltaessa puutuhkan aiheuttamaa säteilyaltistusta. Se on lähes kokonaan lähtöisin Tshernobylin ydinvoimalassa vuonna 1986 sattuneesta onnettomuudesta, jossa voimalan reaktorista pääsi ilmaan radioaktii-

visia aineita. Sateiden mukana maaperään päätnyt cesium siirtyy puihin juurten kautta ja päätyy ravinteiden tavoin niiden kasvaviin osiin, kuten latvaan ja neulasiin. Runkopuussa säteilyä on vähemmän. Cesiumin määrä vähenee hitaasti radioaktiivisen hajoamisen myötä. Puuston hakkuulla ei ole merkittävää vaikutusta.. (Vetikko, Valmari, Oksanen, Rantavaara, Klemola ja Hänninen 2004, 11.)

Puuta poltettaessa osa radioaktiivisesta aineksesta päätyy tuhkaan. Säteilyturvakeskus on antanut ohjeen ST 12.2 ” Rakennusmateriaalien ja tuhkan radioaktiivisuus” säteilylain (592/1991) nojalla. Ohje koskee tuhkan käyttöä, sijoitusta ja käsittelyä. Toiminnanharjoittajan on huolehdittava, että säteilyannosten toimenpidearvoja noudatetaan ja mahdollisesta radioaktiivisuudesta ilmoitetaan tuhkan vastaanottajalle. Säteilyn aiheuttamaa terveyshaittaa kuvataan efektiivisenä annoksena, jonka yksikkönä on sievert (Sv). Suomessa keskimääräinen kokonaissäteilyannos ihmisellä on suunnilleen 4 millisievertiä (4 mSv) vuodessa. Käytettäessä tuhkaa teiden ja katujen rakentamiseen, maisemointiin tai läjitykseen, on säteilyaltistuksen toimenpidearvo 0,1 mSv. Tuhkan peittäminen maakerroksella vähentää kuitenkin säteilyaltistusta tehokkaasti. Käytettäessä tuhkaa betonin seosaineena edellytetään, että cesiumista johtuva säteilyannoksen lisäys on enintään 0,1 mSv vuodessa. (Vetikko ym. 2004, 13 – 14.)

Puuntuhka ei tavallisesti ylitä kuljettajille ja voimalaitostyöntekijöille asetettua enimmäisvuosiannosta (1 mSv / v). Tutkimustulokset ovat osoittaneet tuhkan metsälevityksen pienentävän ravintoketjujen kautta saatavaa sisäistä säteilyaltistusta, kun sitä verrataan lannoittamattomaan metsikköön. Myöskään kehon ulkopuolelta tulevaan säteilyn määrään tuhalla ei ole havaittu olevan vaikutusta. (Makkonen 2008, 20.)

4.4 Polttokattilat

Suomen voimalaitoksien polttokattilat ovat yleensä arina- tai leijukerroskattiloita. Arinapoltto on vanhin kiinteiden polttoaineiden polttotapa, ja se on nykyäänkin yleinen alle 5 MW polttoainetehon laitoksissa. Varsinaisen arinan lisäksi järjestelmään kuuluu polttoaineen ja palamisilman syöttölaitteisto. Arinakattiloissa polttoaine palaa arinan päällä, ja valtaosa tuhkasta putoaa arinan läpi vesialtaaseen jäähtymään. Leijukerrospolttoa hyödynnetään suuremmissa laitoksissa, ja ne ovat teholtaan 5 – 400 MW. Kyseisessä menetelmässä arinan läpi puhalletaan esilämmitettyä ilmaa suurella nopeudella, jolloin arinan päällä oleva petihiekka ja ylhäältä syötettävä polttoaine alkavat leijua. Leijukerroskattiloihin käyvät lähes kaikki kiinteät polttoaineet ja tehokas

palaminen mahdollistaa vähäiset hiilivety-, häkä- ja typenoksidipäästöt. (Motiva 2012.)

Karhulan biolämpölaitos hyödyntää MW Powerin patentoimaa BioGrate kekoarinaa, joka on tarkoitettu biomassan polttoon. Polttoaine syötetään ruuvilla arinan alta sen keskelle, jossa se kuivuu arinan seinien heijastamien liekkien lämmössä. Polttoaine palaa ympärillä kiertävien arinakehien päällä, kun taas suurirakeinen pohjatuhka putoaa arinan reunoilta vesiastiaan jäähtymään. (MW Power 2013.)



Kuva 1. Karhulan biolämpölaitoksen polttokattila (MW Power 2013)

Biolämpölaitoksella syntyvä hienojakoinen lentotuhka poistetaan savukaasuista sähkösuodattimen avulla, jolloin tuhka saadaan talteen kuivana. Sähkösuodattimen toiminta perustuu suodattimeen saapuvan kaasun ionisointiin. Sähkövarauksen saaneet pienhiukkaset kulkevat vastakkaisen varauksen omaavien keräinlevyjen välistä, jolloin hiukkaset kerääntyvät levyille ja menettävät ennen pitkää varauksensa. Keräinlevyt puhdistetaan aika-ajoin mekaanisesti, jottei niiden erotustehokkuus heikentyisi merkittävästi. (Maaskola 2002, 40 – 41.)

5 TUHKAN HYÖDYNTÄMISEEN LIITTYVÄ LAINSÄÄDÄNTÖ

Tuhkien hyötykäyttöön merkittävästi vaikuttavia lakeja ovat ympäristönsuojelulaki (86/2000), jätelaki (646/2011) ja jäteverolaki (1126/2010). Tuhkien käyttöä lannoitteena säätelee lannoitevalmistelaki (539/2006) ja sen perusteella annetut asetukset (MMM asetus 24/11) (Huotari 2012, 9). Teollisuuden sivutuotteiden uusiokäyttöä pyritään puolestaan edistämään valtioneuvoston asetuksella eräiden jätteiden hyödyntämisestä maanrakennuksessa (591/2006). (Korpijärvi ym. 2009, 13.)

5.1 Ympäristönsuojelulaki (86/2000)

Ympäristönsuojelulakia sovelletaan aina, kun toiminta saattaa aiheuttaa haittaa ympäristölle, se tuottaa uutta jätettä tai kun on kyse jätteenkäsittelystä. Ympäristön pilaantumiseksi määritellään ihmisen toiminnasta johtuvan aineen, säteilyn, hajun, energian, lämmön, valon, melun tai värinän jättäminen ympäristöön, mistä seurauksena on:

- terveyshaitta
- haitta luonnolle tai sen toiminnoille
- luonnonvarojen käytön estymistä tai merkittävää vaikeutumista
- ympäristön viihtyvyyden tai kulttuurillisten arvojen vähentymistä
- ympäristön virkistyskäyttöön soveltuvuuden vähentymistä
- vahinkoa tai haittaa omaisuudelle tai sen käytölle
- muu edellisiin rinnastettava yksityisen tai yleisen edun loukkaus.

Lain tavoitteena on ensisijaisesti vähentää ympäristön pilaantumista ja taata terveellinen ja monimuotoinen ympäristö, mutta myös ehkäistä jätteiden syntyä ja edistää luonnonvarojen kestäväää käyttöä. Ympäristön vaarantavaan toimintaan vaaditaan erityinen ympäristölupa, joka tulee kyseeseen myös jätteiden laitos- tai ammattimaisessa hyödyntämisessä ja käsittelyssä. Voimalaitostuhkien hyötykäyttö on kuitenkin tietyissä tapauksissa mahdollista pelkästään ilmoituksella paikallisen ELY-keskuksen tietojärjestelmään, nk. ilmoitusmenettelyllä. (Valtion ympäristöhallinto 2013.)

5.2 Jätelaki (646/2011)

Uusin jätelaki astui voimaan 1.5.2012. Laki pyrkii vähentämään syntyvän jätteen määrää, kannustaa materiaalien parempaan hyödyntämiseen ja jätteen kierrättämiseen. Jätetuoltoa parannetaan seuraavaa etusijajärjestystä noudattamalla:

1. Jätteen synnyn ehkäisy ja sen haitallisuuden vähentäminen
2. Jätteen valmistelu uudelleenkäyttöön
3. Jätteen kierrättäminen
4. Jätteen hyödynnys muilla keinoin, kuten energiantuotannossa
5. Jätteen loppusijoittaminen.

Laissa jäte määritellään aineeksi tai esineeksi, jonka sen haltija on poistanut tai aikoo poistaa tai jonka hän on velvollinen poistamaan käytöstä. Lisäksi valtioneuvoston asetuksella voidaan antaa yksityiskohtaisempia säännöksiä siitä, milloin aine ei ole enää jätettä. Aineen määrittely jätteeksi päättyy, jos

- aineelle on tehty hyödyntämistoimet
- aineelle on käyttötarkoitus, johon sitä yleisesti käytetään
- aineelle on olemassa markkinat ja kysyntää
- käyttötarkoituksen mukaiset tekniset vaatimukset täyttyvät ja aine on vastaaviin tuotteisiin sovellettavien säännösten mukainen
- aineen käyttö ei kokonaisuutta arvioiden vaaranna terveyttä tai ympäristöä

(Jätelaki (646/2011).)

5.3 Jäteverolaki (1126/2010)

Vuoden 2011 alusta lähtien jäteverotus muuttui kannustavammaksi jätteiden hyötykäyttöä ja kaatopaikkakäsittelyn vähentämistä kohtaan. Jäteverotus laajeni koskemaan kaikkia kaatopaikalle toimitettavia materiaaleja, joiden hyötykäyttö olisi teknisesti ja ympäristöä vaarantamatta mahdollista. Verollisiksi säädetty jäteryhmät perustuvat ympäristöministeriön asetukseen yleisimpien jätteiden ja ongelmajätteiden luettelosta. Lakiuudistus toi verotuksen piiriin voimalaitosten sekä rauta- ja terästeollisuuden tuhat ja kuonat, jotka ovat määrältään yksiä suurimmista jätelajeista. Myös läjitysalueet ja yksityiset kaatopaikat tulivat verotuksen piiriin. (Jäteverolaki (1126/2010).)

Ennen jäteverolain uudistusta kaatopaikkajätteestä oli maksettava 30 euroa veroa tonnia kohden. Verotus kiristyi siten, että vuoden 2011 alun jälkeen kaatopaikalle tuotavasta jätteestä oli maksettava veroa 40 euroa tonnilta ja vuoden 2013 alusta lähtien 50 euroa tonnilta. Verotus koskee vain kaatopaikalle sijoitusta, eikä verotettaviksi menettelmiksi katsota jätteen sijoittamista välivarastoon enintään kolmen vuoden ajaksi. (Valtion ympäristöhallinto 2012.)

5.4 Lannoitevalmistelaki ja -asetus

Tuhkan lannoitekäyttöä Suomessa säätelee lannoitevalmistelaki (539/2006) sekä lain nojalla annettu maa- ja metsätalousministeriön asetus (24/11) lannoitevalmisteista. Lannoitevalmistelain tarkoitus on varmistaa uusien lannoitevalmisteiden turvallisuus, laatu ja soveltuvuus kasvintuotantoon. Lisäksi lailla pyritään edistämään lannoitteiksi soveltuvien teollisuuden sivutuotteiden hyötykäyttöä, kunhan niillä ei ole haittavaikutuksia eliöille tai ympäristölle. Suomessa lannoitevalmisteiden valvonnasta vastaa Elintarviketurvallisuusvirasto, Evira. (MMM 2013.)

Tuhkalannoitteeksi soveltuu puun, turpeen, peltobiomassan tai eläinten lannan poltosta syntyvä tuhka. Ravinteiden pitoisuudet ilmoitetaan painoprosenteina kuiva-aineesta. Metsälannoitteena käytettävän tuhkan fosfori- ja kaliumpitoisuuden yhteenlaskettuna tulee olla vähintään 2 % ja kalsiumin vähintään 6 %. Jotta lannoite sisältäisi ravinteita oikeassa suhteessa, tulisi fosforin ja kaliumin keskinäisen suhteen olla noin 1:2 (Huotari 2012, 9). Lisäksi haitallisille raskasmetalleille on määritelty enimmäisraja-arvot, jotka ilmoitetaan milligrammoina kilossa kuiva-ainetta (taulukko 5). Rakeistettuun tuhkaan voidaan lisätä epäorgaanisia lannoitteita vaatimusten täyttämiseksi tai käyttökelpoisuuden parantamiseksi. Jos tuhkaan lisätään booria, sitä ei saa levittää suojele- tai pohjavesialueilla. (MMM:n asetus 24/11, 9.)

Taulukko 5. Metsänlannoituksessa käytettävälle tuhkalta asetetut haitta-aineiden enimmäispitoisuudet (MMM:n asetus 24/11, 24)

Alkuaine	Raja-arvo (mg/kg) kuiva-ainetta	Enimmäiskuormitus (g/ha/v)
Arseeni (As)	40	Enintään 160 g/ha 60 vuoden ajanjaksona annettuna.
Elohopea (Hg)	1,0	
Kadmium (Cd)	25	Enintään 100 g/ha 60 vuoden ajanjaksona annettuna.
Kromi (Cr)	300	
Kupari (Cu)	700	
Lyijy (Pb)	150	
Nikkeli (Ni)	150	
Sinkki (Zn)	4500 ¹⁾	

¹⁾Enimmäispitoisuuden ylitys sallittu ainoastaan suometsissä käytettäessä kun sinkin puute on todettu kasvustosta joko maaperä-, lehti- tai neulasanalyysillä. Tällöin sinkkiä saa olla lannoitevalmisteessa enintään 6000 mg/kg.

Arseenia saa lannoitevalmisteessa olla enintään 25 mg kilogrammassa kuiva-ainetta, mutta metsätalouden käyttöön tulevat, tyyppinimiryhmän 1A7 tuhkalannoitteet voivat sisältää arseenia enintään 40 mg kilogrammassa kuiva-ainetta. Metsäkäytössä aiheutuva arseenin enimmäiskuormitus ei saa ylittää 2,65 g/ha vuodessa. Arseenin enimmäiskuormitus metsätaloudessa saa olla enintään 160 g/ha 60 vuoden ajanjaksona annettuna. (MMM:n asetus 24/11, 4.)

Kadmiumia saa lannoitevalmisteessa olla enintään 1,5 mg kilogrammassa kuiva-ainetta, sekä maisemoinnissa, viherrakentamisessa ja maa- ja puutarhataloudessa käytettävässä tuhkalannoitteessa 2,5 mg kilogrammassa kuiva-ainetta. Metsäkäyttöön tulevilla ryhmän 1A7 tuhkalannoitteissa ja niiden raaka-aineena käytettävässä tuhkassa kadmiumia saa olla 25 mg kilogrammassa kuiva-ainetta. Lannoitevalmisteen fosforipitoisuuden ollessa vähintään 2,2 % (5 % P₂O₅) saa kadmiumia olla 50 mg yhtä fosforikilogrammaa kohden. (MMM:n asetus 24/11, 3.)

Lannoituksen aiheuttama kadmiumkuormitus ei saa ylittää 1,5 grammaa hehtaaria kohti vuodessa. Lannoite-erien ja käyttöjaksojen aiheuttama kadmiumin kuormitus saa enimmillään olla:

1. maa- ja puutarhataloudessa 7,5 g/ha viiden vuoden ajanjaksona annettuna
2. viherrakentamisessa ja maisemoinnissa 15 g/ha 10 vuoden ajanjaksona annettuna ja
3. metsätaloudessa käytettävissä tyyppinimiryhmän 1A7 tuhkalannoitteet lannoitevalmisteissa 100 g/ha 60 vuoden ajanjaksona annettuna.
(MMM:n asetus 24/11, 3.)

Jos tuhkaa käytetään muualla kuin metsälannoitteena, esimerkiksi pelto- tai puutarhailannoitteena, on sen neutraloivan kyvyn (Ca) oltava vähintään 10 %. Näille tuhille on säädetty tiukemmat raskasmetallien enimmäispitoisuudet, jotka on esitetty taulukossa 2. (MMM:n asetus 24/11, 9.)

Taulukko 6. Haitallisten aineiden enimmäispitoisuudet epäorgaanisissa lannoitteissa ja kalkitusaineissa (MMM:n asetus 24/11, 24.)

Alkuaine	Raja-arvo (mg/kg) kuiva-ainetta
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 määrittäminen EPA 743 – menetelmällä.

²⁾ 2,5 mg Cd/kg ka maa- ja puutarhataloudessa, sekä viherrakentamisessa ja maisemoinnissa käytettävissä 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 voidaan sallia, jos maaperäanalyysin perusteella alueella on puutetta kuparista tai sinkistä.

5.4.1 Tyyppinimi ja tyyppinimiluettelo

MMM:n asetus 24/11 sisältää ohjeet lannoitevalmisteiden tyypeistä, tyyppinimiryhmistä ja niitä koskevista vaatimuksista. Lisäksi säädetään valmisteiden raaka-aineista, sekä laatu-, merkintä-, kuljetus-, pakkaus-, varastointi- ja käyttövaatimuksista (Evira 2013 b). Elintarviketurvallisuusvirasto Evira ylläpitää kansallista tyyppinimiluettelo ja päättää uusien tyyppinimien hyväksymisestä MMM:n asetuksen vaatimusten perusteella. (Evira 2013 a.)

Tyyppinimi kuvaa lannoitevalmisteen käyttötarkoitusta, koostumusta ja ominaisuuksia. Tyyppinimiluettelossa on lueteltu valmisteen keskeisten ainesosien vähimmäispitoisuudet, tuoteselosteessa ilmoitettavat tiedot, viranomaisvalvonnan analyysimenetelmät, sekä käyttöä koskevat mahdolliset rajoitukset. Ainoastaan niitä lannoitteita, joiden tyyppinimi kuuluu kansalliseen lannoitevalmisteiden tyyppinimiluettelo tai EY -lannoitteista lannoiteasetuksen (2003/2003) liitteenä olevan Euroopan yhteisön lannoitetyyppien luettelo, saa tuoda maahan, valmistaa markkinoille tuomista varten tai saattaa markkinoille. (Elintarviketurvallisuusvirasto 2013 a.)

Tuhkalle on olemassa oma tyyppinimiryhmänsä ”1A7 Tuhkalannoitteet”, johon kuuluvat tyyppinimet ”1A7:1 Puun ja turpeen tuhka” ja ”1A7:2 Eläinperäinen tuhka”. (Elintarviketurvallisuusvirasto 2011.)

5.4.2 Ilmoitusvelvollisuus ja omavalvonta

Toiminnanharjoittajan, joka valmistaa tai käsittelee lannoitevalmisteita, on ilmoitettava Eviralle kirjallisesti toiminnan aloittamisesta, sen merkittävistä muutoksista tai loppumisesta. Ilmoitus on tehtävä ennen toiminnan alkamista, ja mukana on oltava kuvaus toiminnan järjestämisestä. Ilmoitukseen kuuluu toiminnan kuvaus, tuoteseloste valmisteesta ja suunnitelma omavalvonnasta. Toiminnanharjoittajan on ylläpidettävä tarkkoja tietoja mm. raaka-aineiden alkuperästä, varastopaikoista ja eteenpäin luovutuksesta.

(Lannoitevalmistelaki 539/2006.)

Kirjallisen omavalvontasuunnitelmaan kuuluu

- toiminnan vastuuhenkilöt
- toiminnan kuvaus
- raaka-ainetiedot
- tuotteen laatuominaisuudet ja haitta-ainepitoisuudet
- kuvaus eräkohtaisesta jäljitettävyydestä ja erän määrittämisestä
- laadunvalvonta- ja näytteenottosuunnitelma
- suunnitelma toimenpiteistä, jollei lannoitevalmiste tai raaka-aine täytä laatuvaatimuksia
- kuvaus lannoitevalmisteiden kuljetuksesta ja varastoinnista

(Evira 2012.)

5.5 MARA-asetus (Vna 591/2006 ja 403/2009)

Sivutuotteiden ja jätteiden laitos- tai ammattimaista käyttöä tukee valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maanrakentamisessa, nk. MARA-asetus. Asetuksen soveltamisalaan kuuluvat jätteet ovat betonimurska sekä kivihiilen, turpeen ja puuperäisen aineksen polton lento- ja pohjatuhkat. Asetuksen liitteitä muutettiin vuonna 2009 asetuksella 403/2009, jolloin luetteloon lisättiin leijupetihiekka ja haitta-ainerajoja tarkistettiin. Asetuksen ehtojen täytyessä jätettä voidaan käyttää rakennustöissä ilman erillistä ympäristölupaa

- yleisillä kaduilla, teillä, jalkakäytävillä ja pyöräteillä sekä näihin välittömästi liittyvillä liikennettä tai tienpitoa varten tarpeellisilla alueilla,
- virkistys- ja urheilualueiden poluilla sekä urheilukentillä,
- teollisuuden, jätteenkäsittelyn ja lentoliikenteen alueiden teillä ja varastokentillä sekä ratapihoilla ja
- pysäköintialueilla.

Rakennettavan kohteen on oltava peitetty tai päällystetty ja tuhkarakenteen sallittu enimmäispaksuus on 150 cm. Peittäminen tarkoittaa vähintään 10 cm kerrosta hiekkaa tai soraa rakenteen päällä ja päällystäminen päällystämistä asfaltilla tai muulla vettä huonosti läpäisevällä materiaalilla. Jätteen hyödyntämispaikan haltijan on aina tehtävä ilmoitus ELY -keskukselle ympäristönsuojelun tietojärjestelmään. (Vna 591/2006.)

Asetusta sovelletaan, jos rakentaminen tehdään maankäyttö- ja rakennuslaissa (132/1999) tarkoitetun katusuunnitelman, yleisen alueen toteuttamissuunnitelman, luvan tai ilmoituksen mukaisesti tai yleisistä teistä annetussa laissa (243/1954) tai maantielaisissa (503/2005) tarkoitetun tiesuunnitelman mukaisesti. Pohjavesialueilla asetusta ei kuitenkaan sovelleta. (Vna 591/2006)

Uusiokäyttöön tarkoitettujen jätteiden haitta-ainepitoisuuksille ja -liukoisuuksille on määritelty enimmäisraja-arvot (taulukko 7). Jätteen luovuttajan on luotava laadunvarmistusjärjestelmä, johon kuuluvat oleellisesti mm. laadunvalvontatutkimukset. Perustutkimuksilla todetaan jätteen kuuluvan asetuksen piiriin selvittämällä vähintään sen koostumus ja haitta-aineiden liukoisuudet. Vähintään viiden vuoden välein, tai jos toiminnassa tapahtuu merkittäviä muutoksia, on varmistuttava, että jäte vastaa yhä perustutkimuksia. (Vna 591/2006)

Taulukko 7. Haitta-aineiden enimmäispitoisuudet ja -liukoisuudet kivihiilen, turpeen ja puuperäisen aineen polton lento- ja pohjatuhkilla, sekä leijupetihiekalla (Vna 403/2009.)

Haitta-aine	mg/kg ka			mg/kg ka		
	Perustutkimukset			Laadunvalvontatutkimukset		
	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 ¹	1,0					
PAH ²	20/40 ³					
DOC ⁴		500	500			
Antimoni (Sb)		0,06	0,18			
Arseeni (As)	50	0,5	1,5	50		
Barium (Ba)	3000	20	60	3000		
Kadmium (Cd)	15	0,04	0,04	15		
Kromi (Cr)	400	0,5	3,0	400	0,5	3,0
Kupari (Cu)	400	2,0	6,0	400		
Elohopea (Hg)		0,01	0,01			
Lyijy (Pb)	300	0,5	1,5	300	0,5	1,5
Molybdeeni (Mo)	50	0,5	6,0	50	0,5	6,0
Nikkeli (Ni)		0,4	1,2			
Vanaadiini (V)	400	2,0	3,0	400	2,0	3,0
Sinkki (Zn)	2000	4,0	12	2000		
Seleeni (Se)		0,1	0,5		0,1	0,5
Fluoridi (F)		10	50		10	50
Sulfaatti (SO ₄ ²⁻)		1000	10 000		1000	10000
Kloridi (Cl)		800	2400		800	2400

¹ Polyklooratut bifenyylit, kongeneerien 28, 52, 101, 138, 153 ja 180 kokonaismäärä.

² Polyaromaattiset hiilivedyt, yhdisteiden (antraseeni, asanafteeni, asanaftyleeni, bentso(a)antraseeni, bentso(a)pyreeni, bentso(b)fluoranteeni, bentso(g,h,i)peryleeni, bentso(k)fluoranteeni, dibentso(a,h)antraseeni, fenantreeni, fluoranteeni, fluoreeni, indeno(1,2,3-cd) pyreeni, naftaleeni, pyreeni, kryseeni) kokonaismäärä.

³ Peitetty rakenne / päällystetty rakenne

⁴ Liuennut orgaaninen hiili

5.6 Ilmoitusmenettely ja ympäristöluvan hakeminen

Puutuhkan, joka täyttää maanrakennusasetuksen pitoisuus- ja liukoisuuskriteerit, hyödyntämiseen riittää ilmoitus ELY-keskuksen tietojärjestelmään. Ilmoituksen tekee hyötykäyttöpaikan haltija tai tämän valtuuttamana hyödynnettävän jätteen tuottaja. Vasta kun ilmoitus on rekisteröity, hyödyntäminen voidaan aloittaa. Materiaalia on lupa varastoida käyttöpaikalla 4 viikon ajan tai suojattuna 10 kuukauden ajan. (Kiviniemi ym. 2012, 40.)

Jos MARA-asetuksen haitta-ainekriteerit eivät täyty tai rakennuskohde ei kuulu asetuksen piiriin, hankkeelle on anottava ympäristösuojelulain (86/2000) 28§:n mukaista ympäristölupaa. Mikäli vuosittain hyödynnettävä tuhkamäärä on alle 10 000 tonnia, ympäristölupaa haetaan oman kunnan ympäristöviranomaiselta. Jos määrä ylittää 10 000 tonnia, haetaan ympäristölupaa aluehallintoviranomaiselta (AVI). Ympäristöluvan saamiseksi kohteelle laaditaan työsuunnitelma, josta selviävät käytettävät sivutuotteet ja niiden määrät, rakenteet, varastointi ja työmenetelmät. Myös mahdollisten ihmisille ja ympäristölle koituvien riskien kartoittaminen sekä haittavaikutusten estäminen kuuluvat ympäristölupahakemuksen laadintaan. (Kiviniemi ym. 2012, 40 – 41.)

ELY-keskuksen tietojärjestelmään tehty ilmoitus käsitellään tavallisesti noin kuukaudessa. Kunta käsittelee ympäristölupa-anomuksen neljässä kuukaudessa ja aluehallintovirastossa ympäristöluvan käsittelyyn voi kulua 10 kuukautta. (Kiviniemi ym. 2012, 40.)

6 TUHKALANNOITUS

Metsälannoitusta tehdään puuston kasvun parantamiseksi lisäämällä kasvupaikalle niitä ravinteita, joista maassa on puutetta. Puuston kasvun lisäämiseen tähtäävien lannoitusten (nk. kasvatuslannoitukset) lisäksi lannoituksella voidaan nopeuttaa vaurioituneen tai huonokuntoisen metsikön elpymistä tai vahvistaa puustoa tulevia tuhoja varten (nk. terveyslannoitukset). Kangasmetsissä on tavallisesti puutetta puustolle käyttökelpoisesta tyypestä (N), kun turvemailla kasvua rajoittaa puolestaan kaliumin (K) ja fosforin (P) vähäisyys. Puutuhka ei sisällä lainkaan tyypeä, joten käyttökohteiksi kohdentuvat keskiravinteiset ojitetut turvemaat. (Mälkönen 2003, 182, 194.)

Lannoitustarve todetaan alueen puustossa esiintyvien merkkien, kuten kasvun taantumisen, neulasten kellastumisen ja karsiutumisen tai varmemmin laboratoriossa analysoitavan neulasanalyysin perusteella. Tuhkalannoituskohteeksi soveltuvat parhaiten ojitetut II -tyypin mustikka- ja puolukkaturvekankaat, joilla on yli 30 cm paksuinen turvekerros ja puutetta kaliumista ja fosforista. Turpeen olisi myös oltava kohtalaisen maatumutta, jotta se sisältäisi puustolle käyttökelpoista typpeä (Makkonen 2008, 11.)

Taulukko 8. Tärkeimmät ravinteet turvemaiden neulasanalyysin tulkinnessa (Makkonen 2008, 11.)

Ravinne	Mänty		Kuusi	
	Ankara puutos	Riittävästi	Ankara puutos	Riittävästi
N (%)	alle 1,2 [*]	yli 1,3	alle 1,2 [*]	yli 1,4
P (g/kg)	alle 1,3	yli 1,6	alle 1,7	yli 2,3
K (g/kg)	alle 4,0	yli 4,5	alle 5,0	yli 6,0
B (mg/kg)	alle 5,0	yli 10,0	alle 7,0	yli 10,0

Vuonna 2011 yksityismetsiä lannoitettiin Suomessa 17 031 ha, mikä oli 11 % vähemmän kuin vuonna 2010. Lannoituksesta toteutettiin tuhkalannoitteella 1 769 ha, kun vuonna 2010 määrä oli vain 166 ha. Pinta-alallisesti eniten tuhkalannoitusta tehtiin Pohjois-Pohjanmaan, Kainuun ja Pohjois-Karjalan alueilla. (Tapion vuositilastot 2011, 20)

Valtakunnan metsien 11. inventoinnin mukaan Suomen metsätalousmaan pinta-ala on lähes 26,2 miljoonaa hehtaaria. Metsätalousmaan pinta-alasta suota on 8,8 miljoonaa hehtaaria eli 34 %. Metsätalousmaa luokitellaan suoksi, kun maata peittää turvekerros tai kun alueen pintakasvillisuudesta yli 75 % on suokasvillisuutta. Turvekerrokselle ei ole määritetty minimipaksuusvaatimusta, mutta suo luokitellaan ohutturpeiseksi, jos turvekerroksen paksuus on alle 30 cm. Ojitettua suopinta-alaa on koko Suomessa 4,7 miljoonaa hehtaaria. Soiden osuus metsätalousmaasta on suurin Pohjois-Pohjanmaalla (51 %), Kainuussa (46 %) ja Lapin eteläosassa (44 %). Kaakkois-Suomessa suopinta-alaa on 126 000 hehtaaria, mikä on 16 % metsätalousmaasta. Ojittamatonta suota on 21 000 hehtaaria ja ojituksen seurauksena syntyneitä turvekankaita 91 000 hehtaaria. Tuhkalannoitukseen parhaiten soveltuvia keskiravinteisia soita on Kaakkois-Suomessa

noin 78 000 hehtaaria, mutta alaan kuuluvat myös ojittamattomat suot. (Metsätilastollinen vuosikirja 2012, 49 – 52.)

6.1 Tuhkalannoituksen ympäristövaikutukset

Ravinteiden lisääminen maaperään vaikuttaa lannoitettavan alueen puustoon, pintakasvillisuuteen, maaperän pieneliöihin ja lähivesistöihin. Emäksinen tuhka nostaa maaperän pH -arvoa, mikä puolestaan vilkasta pieneliöiden hajotustoimintaa. Ravinnetilan parantuminen lisää alueen heinä- ja ruohokasvillisuutta ja vähentää varpuja ja jäkälien peittävyttä. Huolimattomasti toteutettu tuhkalannoitus voi johtaa myös ravinteiden huuhtoutumiseen lähialueen jokiin ja järviin. (Makkonen 2008, 16.)

6.1.1 Vaikutus maaperään

Tuhka kalkitsee pintamaata ja lisää sen alkuainevaroja pitkäaikaisesti. Lannoitusvaikutukset ovat havaittavissa vielä 40 – 60 vuotta lannoituksen jälkeen maan 10 cm pintakerroksessa. Tuhkan määrän, laadun ja lannoitettavan kasvupaikan mukaan pintaturpeen tai kangashumuksen pH kohoaa 1 – 3 yksikköä. Mikäli noudatetaan ohjeiden mukaisia tuhka-annoksia (4 000 – 5 000 kg / ha), maaperässä oleva kalsium voi kymmenkertaistua, fosfori nelinkertaistua ja kadmium kaksinkertaistua. Typpeä maaperään vapautuu välillisesti vilkastuvan hajotustoiminnan seurauksena. (Makkonen 2008, 16.)

Tuhkan sisältämistä ravinteista fosforia riittää hitaan liukenevuutensa vuoksi pitkäksi aikaa, kun taas kalium ja boori liukenevat huomattavasti helpommin maaveteen. Myös magnesiumia ja kalsiumia liukenee tuhkasta jo ensimmäisten vuosien aikana. Nopeasti liukenevat ravinteet saattavat huuhtoutua juuriston ulottumattomiin, jos niistä on kasvillisuuden tarpeeseen nähden ylitarjontaa. (Huotari 2012, 14.)

6.1.2 Vaikutus puustoon

Tuhka soveltuu puuston terveys- ja kasvatuslannoitukseen turvemaidella. Kaliumin ja boorin puutoksesta kärsivät metsiköt alkavat elpyä jo vuoden päästä levityksestä, ja fosforin puute korjautuu 3 – 4 vuoden kuluttua. Ravinteiden puutosoireet näkyvät puissa tavallisimmin neulasten kellastumisena ja varisemisena sekä kasvun taantumisenä. Tuhkamäärän ja alkuainesuhteiden mukaan puustolle tarjolla olevien ravinteiden

määrä säilyy hyvänä 20 – 50 vuoden ajan. Ohjeellinen fosforin lisäsmäärä turvemaille on 40 – 50 kg/ha ja kaliumin 80 – 100 kg/ha. (Makkonen 2008, 12 – 13, 25.)

Kasvatustalannoituksissa turpeessa oleva typen määrä ratkaisee tuhkalannoituksen kasvuvaikutukset. Runsastyyppisillä kohteilla puuston kasvupyrähdys alkaa 2 – 3 vuoden aikana levityksestä, kun vähätyppisillä alueilla muutosta täytyy odottaa viidenkin vuoden ajan. Runsastyyppisillä kohteilla kasvun lisäys on ollut 2 – 6 m³/ha/ v ja vähätyppisillä 1 – 3 m³/ha/ v (Huotari 2012, 23). Vaikka puusto reagoi tuhkalannoitukseen hitaammin kuin teollisiin PK -lannoitteisiin, tasoittuvat kasvuerot keskimäärin 10 vuoden kuluttua lannoituksesta. Pitkällä aikavälillä tuhkalannoituksella päästään turvemaille vähintään yhtä hyvään kasvutulokseen kuin PK -lannoituksella. (Makkonen 2008, 14.)

Kangasmetsissä tuhalla ei ole merkitystä puuston kasvun lisääjänä, mutta se kelpaa kuitenkin boorin ja fosforin puutostilojen korjaamiseen. Turvetuotannosta vapautuvien suopohjien turpeessa on tavallisesti riittävästi typpeä, mutta niukkuutta muista kasvilisäyksille tarpeellisista mineraaleista. Koivun ja pajun biomassan kasvua suopohjien energiapuuviljelmillä on onnistuttu lisäämään puutuhkalla. Metsitetyillä suopelloilla kasvavissa kuusissa, koivuissa ja männyissä on usein ravinne-epätasapainon aiheuttamia kasvuhäiriöitä, joita puutuhkalla voidaan korjata. Suopelloilla turpeessa on paljon typpeä ja fosforia, mutta puutetta muun muassa boorista ja kaliumista. (Huotari 2012, 24 – 25.)

6.1.3 Vaikutus pintakasvillisuuteen

Tuhkalannoitus saattaa muuttaa alueen kasvien runsaussuhteita jo viiden vuoden aikana levityksestä. Voimakkaimmin lannoitustyö muokkaa typpeä sisältävien turvemaiden kasvustoa, etenkin jos operaatiossa on käytetty käsittelemätöntä irtotuhkaa. Pohja- ja kenttäkerroksen lajiston runsaussuhteiden muutokset ovat kokeissa olleet pitkäaikaisia tai jopa pysyviä. Tavallisimmin alueen alkuperäiset jäkälät ja sammaleet ovat kuivuneet ja luovuttaneet tilaa uusille pioneerilajeille. Myös varpujen on havaittu taantuvan, ja kasvupaikka on muuttunut rehevämmäksi heinien, ruohojen ja pensaiden myötä. (Huotari 2012, 30 – 31)

Tuhkan levitys vaikuttaa alueen marjojen, sienten ja kasvien alkuainepitoisuuksiin. Kalsiumin, fosforin, kaliumin ja boorin pitoisuudet marjoissa kohoavat muutaman

vuoden sisällä, mutta myös jotkin raskasmetallit, kuten arseeni, titaani ja kromi, saattavat tilapäisesti näkyä arvoissa. Sen sijaan tuhalla ei ole vaikutusta marjojen kadmiumpitoisuuteen, joka saattaa jopa alentua levityksen jälkeen. Lannoitusalan sienten alkuainepitoisuudet käyttäytyvät samankaltaisesti, mutta toisinaan niiden arseeni-, kromi- ja alumiinipitoisuudet ovat kohonneet jo muutaman kuukauden kuluttua levityksestä. (Makkonen 2008, 18 – 19.)

Lannoitettujen alueiden kasvien raskasmetallipitoisuudet eivät ole merkittävästi eronneet niiden luontaisista vaihteluväleistä. Tutkimuksissa ei ole havaittu tuhkan raskasmetallien siirtyvän sieniin tai marjoihin siinä määrin, että siitä olisi haittaa ihmisille tai eläimille. (Huotari 2012, 32 – 33.)

6.1.4 Vaikutus vesistöihin

Lannoitustöihin liittyy aina vaara levitettyjen ravinteiden päätyemisestä läheisiin vesistöihin. Tuhkankin sisältämä fosfori on typen ohella tärkein kasviravinne, ja se aiheuttaa järvissä veden samenumista, levien ja vesikasvien runsastumista sekä lajiston yksipuolistumista. Fosforikuormitusta aiheuttavaa ihmisen toimintaa ovat maa- ja metsätalous, teollisuus sekä haja-asutusalueilta kulkeutuvat jätevedet. Metsätaloudessa merkittävimmät työlajit ravinteiden huuhtoutumista ajatellen ovat turvemaiden ojitus, lannoitus, uudistushakkuut ja maanmuokkaus. (Suomen ympäristökeskus 2011.)

Tuhkalannoitustoiminnan ei ole havaittu nostavan lähivesien fosforikuormitusta paljoa, minkä arvellaan johtuvan fosforin sitoutumisesta tuhkan alumiini- ja rautayhdisteisiin. Huuhtoumaa on tapahtunut tuhkan päätyessä suoraan esimerkiksi ojiin, mutta tuhkan rakeistamisella ja levityksen suunnittelulla tämäkin voidaan välttää. (Makkonen 2008, 16.)

Metsätalouden vesiensuojelumenetelmät ovat tärkeitä vesien rehevöitymisen ehkäisyssä. Maalevityksessä jätetään purojen varrelle 10 – 15 metrin ja muiden vesistöjen rannoille vähintään 50 metrin lannoittamaton suojakaista. Myös ojien lähiympäristö jätetään lannoittamatta. Lentolevityksessä jätetään aina vähintään 50 metrin suojakaista. Suometsien hoidossa työjärjestyksen tulisi olla seuraava: hakkuut, lannoitus, ojien perkaus. Ojia ei kaiveta vesistöihin asti, vaan väliin on jätettävä pintavalutuskenttä keräämään huuhtoutuvaa kiintoainesta. Lannoitusta ei myöskään saa suorittaa luokan I tai II pohjavesialueilla. (Makkonen 2008, 24.)

6.2 Tuhkan jalostaminen

Kuiva lentotuhka on käsittelemättömänä hyvin hienojakoista ja siten herkästi pölyävää. Pölyävää tuhkaa on hankala kuljettaa ja levittää, koska se aiheuttaa helposti ympäristö- ja terveyshaittoja. Esikäsittely hillitsee tuhkan maaperälle aiheuttamaa voimakasta pH:n nousua. Levityksen kannalta tuhkan esikäsittelyn päämenetelmät ovat itsekovetus ja rakeistus, joissa molemmissa on pohjimmiltaan kyse tuhkan kastelemisesta vedellä. (Makkonen 2008, 8 – 9.)

Veden lisääminen saa aikaan betonin kovettumista vastaavan reaktion, joka johtuu biopolttoaineiden sisältämien liukoisten alumiini-, kalsium- ja sulfaattiyhdisteiden saostumisesta sementin kaltaiseksi aineeksi. Veden tarve on 30 – 35 % tuhkan ja veden yhteenlasketusta massasta. (Huotari 2012, 10.)

Voimalaitostuhkan kemialliset ominaisuudetkaan eivät aina ole määräysten mukaiset, vaan haitta-ainepitoisuudet vaihtelevat mm. lentotuhkan sisältämien eri raekokojen mukaan. Tutkimuksissa on havaittu raskasmetallien rikastuvan tuhkan pienimpiin raakeisiin, joten tuhkan soveltuvuutta esimerkiksi lannoitekäyttöön voidaan parantaa ns. fraktioinnilla. Tässä menetelmässä tuhkaerästä poistetaan kaikkein pienin raekoko. (Jutila 2012, 15.)

Tuhkan vanhentaminen kasavarastoituna vähentää sen alkalisuutta ja sen sisältämä alumiini muuttuu stabiilimpaan muotoon. Varastoinnin aikana tuhkan on oltava kostutettua, jolloin se reagoi ilmassa olevan hiilidioksidin kanssa. Tällöin tuhkan kalsiumoksidit muodostavat kalsiumkarbonaattia ja rikki- ja alumiiniyhdisteet sementtimäisiä aineita. (Jutila 2012, 15.)

6.2.1 Itsekovetus

Pienien tuhkamäärien stabilointiin itsekovetus on edullisin menetelmä, ja sen kustannuksiksi on arvioitu 12 euroa / tonni (Isännäinen, Rinne, Järvelä ja Lindh 2006, 10). Menetelmässä kasteltu tuhka ajetaan kasaan ja sen annetaan kovettua. Kovettuminen jatkuu muutaman viikon ajan kastelun jälkeen. Ennen tuhkan levitystä rikotaan suurimmat lohkarit esimerkiksi seulakauhan avulla. Itsekovetettu tuhka sisältää yhä paljon hienoa jaetta, mutta se pölyää irtotuhkaa vähäisemmin. (Makkonen, 2008, 9.)

6.2.2 Rakeistaminen

Tuhkan rakeistus on paras käsittelymenetelmä kuljetusta ja levitystä ajatellen. Rakeistuksessa kostutettua tuhkaa sekoitetaan, tavoitteena valmistaa noin 1 cm halkaisijaltaan olevia tuhkarakeita (Makkonen 2008, 9). Rakeistusmenetelmiä ovat rumpu- ja lautasrakeistus sekä valssaus. Rumpurakeistuksessa kostea tuhka kulkee pyörivän sylinterin läpi hihnakuljettimelle, jolla se kuivuu ennen varastointia. Lautasrakeistuksessa tuhka kulkeutuu pyörivälle, kallistuksessa olevalle lautaselle, jossa on vastasuuntaan pyörivä lapa. Muodostuneet tuhkarakeet tippuvat lautasen reunojen yli kuljettimelle. Valssauksessa kosteaa tuhkaa puristetaan yhtenäisiksi levyiksi tai nauhoiksi, jotka sitten pilkotaan palasiksi. Tuhkaa on mahdollista myös pelletoida puristamalla sitä matriisin lävitse, mutta menetelmä ei ole saavuttanut suurta suosiota Suomessa. Ongelmana on matriisilevyn reikien tukkiutuminen ja laitteiston voimakas kuluminen (Pesonen 2012, 29 – 30.)

Rakeistus on itsekovetusta kalliimpi menetelmä, ja sen kustannusten on arvioitu olevan noin 25 euroa / tonni kiinteillä rakeistamoilla (Isännäinen ym. 2006, 10). Paras rakeistustulos saavutetaan puhtaalla ja lämpimällä puutuhkalla, jota ei ole varastoitu tavasalla. Rakeistuksella saavutetaan useita hyötyjä itsekovetusmenetelmään verrattuna; rakeet kovettuvat kasavarastoitua tuhkaa nopeammin, ne pölyävät vähemmän ja rae-tuhkan loppukosteus on tavallisesti kasavarastoitua pienempi. (Makkonen 2008, 10.)

6.2.3 Fraktiointi

Lentotuhka voidaan jakaa ominaispainonsa perusteella hienoon ja karkeaan jakeeseen ilmaluokittelun avulla. Luokittelu perustuu luokitinpyörän nopeuteen ja luokitinpyörän läpi virtaavan ilman nopeuteen. Luokitinpyörän nopeutta muuttamalla voidaan säätää haluttu erotusraja materiaalille. Teoriassa erotusrajaa pienemmät jakeet päätyvät hienon jakeen astiaan ja suuremmat karkean jakeen astiaan, mutta tarkkuus vaihtelee ilmaluokittelulaitteiston mukaan. Karkean jakeen astiaan päätyy vähemmän raskasmetallipitoisuuksia sisältävä tuhka, joka soveltuu alkuainepitoisuuksiltaan paremmin hyötykäyttöön. (Karvonen, Pesonen, Kuokkanen, V. ja Kuokkanen, T. 2012, 28 – 29.)

Fraktiointi onnistuu myös sähkösuodattimen avulla, jolloin perusajatus eri raekokojen erottamisesta on täysin sama kuin edellä. Ennen kuin polton savukaasut lasketaan voimalan piipusta ulos, niiden seassa kulkeutuva lentotuhka saa sähkövarauksen ja tarttuu suodattimen keräyselektrodeille. Aika ajoin pienhiukkasten keräyslevyt puhdistetaan, ja tuhka putoaa suppiloihin ja edelleen konttiin. Sähkösuodattimen keräyslevyt sijaitsevat peräkkäisissä kentissä, joista ensimmäisiin tarttuvat suuremmat hiukkaset ja jälkimmäisiin jää hienoin aines. Koska suurin raskasmetallipitoisuus on hienoaineksessa, on ensimmäisiin keräyslevyihin tarttuva lentotuhka keskimäärin puhtaampaa. (Jutila 2012, 16.)

Mikkelin ammattikorkeakoulun tutkimuksessa *Biopolttoaineita käyttävien energiantuotantolaitosten tuhkien hyötykäyttö- ja logistiikkavirrat Itä-Suomessa* (2010) tehtiin sähkösuodattimeen perustuvia fraktiointikokeita kahdella voimalaitoksella, joista toisessa oli käytössä 2-kenttäinen suodatin ja toisessa 3-kenttäinen suodatin. Voimalaitoksella, jossa oli käytössä 2-kenttäinen suodatin, poltettiin turvetta ja puupolttoaineita, ja voimalaitoksella, jossa oli 3-kenttäinen suodatin, poltettiin kokopuuhaketta, sahanpurua, metsähaketta ja koivun kuorta. Tutkimuksessa analysoitiin näytteitä sähkösuodattimien eri kentistä ja tuhkasiilosta. (Soininen ym. 2010, 88.)

Tutkimuksessa havaittiin että jopa 70 % savukaasun sisältämästä tuhkavirrasta tarttuu sähkösuodattimen ensimmäiseen kenttään. Analyysitulosten perusteella luokittelulla saadaan pitoisuutta vähennettyä usean raskasmetallin kohdalla. Taulukossa 9 on esitetty, kuinka eri aineiden pitoisuuksien on havaittu tutkimuksessa alenevan. 2-kenttäisellä suodattimella ero on mitattu ensimmäisen ja toisen kentän välillä ja 3-kenttäisellä ensimmäisen ja kolmannen kentän välillä. (Soininen ym. 2010, 93.)

Taulukko 9. Mikkelin ammattikorkeakoulun tutkimuksessa mitattuja lentotuhkan haitta-ainepitoisuuksien eroja suodattimien kenttien välillä. Luku kertoo, paljonko kyseisen aineen pitoisuus on vähentynyt. (Soininen, ym. 2010, 93 – 94)

Haitta-aine	2-kenttäinen suodatin	3-kenttäinen suodatin
Arseeni	30 – 68 %	47 – 89 %
Kadmium	28 – 61 %	19 – 48 %
Kromi	9 – 29 %	5 – 21 %
Kupari	25 – 66 %	5 – 28 %
Lyijy	22 – 51 %	37 – 53 %
Nikkeli	10 – 46 %	
Sinkki	31 – 65 %	30 – 64 %

6.2.4 Vanhentaminen

Samassa Mikkelin ammattikorkeakoulun tutkimuksessa seurattiin kahden energiantuotantolaitoksen ja kahden teollisuuden energiantuotantolaitoksen lentotuhkan haitta-ainepitoisuuksien ja aineiden liukoisuuden muutoksia varastoinnin seurauksena. Tuhkia vanhennettiin suojaamattomassa aumassa vuoden ajan ja näytteitä otettiin tutkittavaksi tuoreesta, kolme ja kuusi kuukautta vanhennetusta sekä vuoden ajan varastoidusta tuhkaista. Tutkimuksissa havaittiin turpeen ja puun seospolton tuhkien vanhentamisen vähentäneen bariumin, kadmiumin, kromin, kuparin, molybdeenin, nikkelin, lyijyn, sinkin, fluoridin ja liunneen orgaanisen hiilen (DOC) pitoisuutta. Myös tuhkan pH-arvo aleni 10,9:stä arvoon 9,7. Teollisuuden energiantuotantolaitosten tuhkiin, jotka olivat peräisin puuperäisten sivutuotteiden poltosta, vanhentaminen alensi arseenin, bariumin, kadmiumin, kromin, kuparin, molybdeenin, nikkelin, sinkin, kloridin, sulfaatin ja liunneen orgaanisen hiilen pitoisuuksia. Myös teollisuuden tuhkan pH aleni 13,1:stä arvoon 12,5. (Soininen ym. 2010, 85 – 87.)

Tutkimuksessa todetaan, ettei vanhentamista voida pitää täysin luotettavana menetelmänä aineiden pitoisuuksien ja liukoisuuksien pienentämiseen. Materiaalin alkalisuuden alentuminen vaikuttaa aineiden liukoisuuksiin eri tavoin sen ominaisuuksien mukaan. Lisäksi vanhentamalla saavutetut pitoisuuksien alenemat eivät olleet tarpeeksi merkittäviä, jotta kaikki MARA-asetuksen raja-arvot olisivat täyttyneet. Yksittäisten

raskasmetallien määrää vanhentamisella voidaan kuitenkin pienentää. (Soininen ym. 2010, 87.)

6.3 Tuhkan levitysmenetelmät

Tuhkalannoitus voidaan suorittaa maasta tai ilmasta käsin. Maalevitys toteutetaan yleensä metsätraktorilla tai maatalouskalustolla, joten työ on tehtävä talvisaikaan suopohjan kantavuuden varmistamiseksi. Kun hanke toteutetaan hakkuiden jälkeen, lannoitustyö etenee kuormatraktorin tiivistämiä valmiita ajouria myöten (Huotari 2012, 43 – 44). Työpäivän aikana traktorilla ehditään levittää noin 40 000 kg tuhkaa, ja tois- taiseksi se on hehtaarihinnaltaan lentolevitystä edullisempaa. (Makkonen 2008, 23, 25.)

Helikopterin avulla tehty lannoitus ei riipu vuodenajasta eikä metsikön ajourista. Il- masta tehtävä lannoitus vaatii aina tuhkan rakeistuksen, helikopterin nousu- ja laskeu- tumispaikan sekä lentoreittien suunnittelun. Siirtymämatkan varastolta lannoituslalle ei tulisi olla 2 kilometriä pidempi. Lentolevitys on maalevitystä tehokkaampaa: työ- päivän aikana helikopteri levittää nelin - viisinkertaisen tuhkamäärän metsätraktoriin verrattuna. (Makkonen 2008, 22, 25.) Helikopterilla suoritettu lannoitustyö soveltuu hyvin huonosti kantaville tai kivisille kohteille, joiden yhteenlaskettu koko on vähin- tään 30 – 40 hehtaaria (Huotari 2012, 44).

Lannoitustyö on hyvä tehdä usean tilan yhteisoperaationa, jotteivät levityskustannuk- set nouse kohtuuttoman suuriksi. Tuhkan varastointipaikalle on oltava pääsy raskailla ajoneuvoilla, ja siellä tulee olla tilaa vähintään yhden rekkakuormallisen (40 tonnia) varastoimiseksi. Tuhkalannoitukseen voidaan hakea kestävän metsätalouden rahoitus- lain (Kemera) mukaista tukea, jolloin rahoituksella katetaan noin puolet lannoituksen todellisista kustannuksista. Lentolevityksen tuotto nuorissa männiköissä 20 vuoden ajanjaksolla saattaa olla jopa 6 % ja valtion Kemera-tuen kanssa yli 10 %. Maalevi- tyksessä tuotto on parhaimmillaan yli 10 %. (Makkonen 2008, 21, 25.)

7 TUHKIEN KÄYTTÖ RAKENTAMISESSA

Maanrakennushanketta suunnitellessa on jo aikaisessa vaiheessa päätettävä, käyte- täänkö työssä muiden materiaalien ohella myös tuhkaa. Hyötykäytön ensimmäisenä vaiheena on selvittää, voiko tuhkaerän hyödyntää nopeimmalla ilmoitusmenettelyllä,

vai onko varattava aikaa ympäristöluvan hakemiseen. Myös saatavilla olevan tuhkan tekninen soveltuvuus suunnitellulle käyttökohteelle on ratkaisevaa. Teknisten ominaisuuksiensa perusteella lentotuhkat jaetaan neljään ja pohjatuhka kahteen käyttöluokkaan, jotka määrittävät tuhkan soveltuvuuden käyttökohteen eri rakenteisiin (taulukko 10). (Kiviniemi, ym. 2012, 38)

Taulukko 10. Tuhkien käyttöluokat. (Kiviniemi ym. 2012, 17)

Käyttöluokka	Käyttökohteet	Huomioitavaa
LT 1	Kantavan kerroksen alaosa, jakava kerros	Päällysteen alle murskekerros
LT 2	Jakava kerros, suodatinkerros	
LT 3	Suodatinkerros, pengerr	Routivuus huomioitava käyttökohteen valinnassa
LT 4	Pengerr, täytöt, putkikaivantojen arinat ja täytöt	Tuhkien korroosio-ominaisuudet huomioitava
PT 1	Suodatinkerros	
PT 2	Pengerr, täytöt	

Teiden, katujen, pysäköintialueiden ja pihojen rakenteen muodostavat päälly- ja alusrakenne (taulukko 11). Päällysrakenne koostuu kulutuskerroksesta, kantavasta ja jakavasta kerroksesta sekä eristys- ja suodatinkerroksesta. Alusrakenteen muodostaa pohjamaa tai alustaksi rakennettu pengerr. (Kiviniemi, Tamminiemi, Niemelä, Kuusisto, Hjelm, Väkevä, Strandström, Suuriniemi ja Säteri 2001, 2)

Taulukko 11. Teiden ym. rakennekerrokset (Kiviniemi, ym. 2001, 2)

Päällysrakenne	Päällyste- /kulutuskerros
	Kantava ja jakava kerros
	Eristys- ja suodatinkerros
Alusrakenne	Pohjamaa tai pengertäyte

Päällyste on kulumista kestävä tasainen alusta liikenteelle, ja se estää veden pääsyn alempiin rakennekerroksiin. Kantava kerros jakaa liikenteen aiheuttamaa kuormitusta laajemmalle alueelle alempiin rakennekerroksiin ja luo kulutuskerrokselle tasaisen alustan. Sen tehtävänä on kestää liikenteen tien aiheuttamat jännitykset ja kuivattaa päällysteen läpi mahdollisesti tiikkuva vesi. Jakava kerros lisää rakenteen kantavuutta ja routakestävyyttä. Se johtaa pois ylemmistä kerroksista tulevan veden ja katkaisee kapillaarisen veden nousun alemmista kerroksista. Suodatinkerros estää ylempien rakenteiden ja pohjamaan sekoittumisen, estää kapillaarista veden nousua ja vähentää roudan vaikutusta alla oleviin kerroksiin. Alusrakenteen tehtävä on taata yhdenmukaisen koostumuksensa turvin mahdollisimman tasaiset routanousut ja sulamisvaiheen siirtymät koko rakenteelle. (Korpijärvi ym. 2009, 22 – 23.)

Voimalaitosten lentotuhkien käyttökohteina ovat tavallisesti kenttien ja pihojen päällysrakenteiden alaosa ja alusrakennekerros, teiden, katujen ja kevyenliikenteenväylien jakava kerros sekä pengertäytöt. (Rudus Oy. Lentotuhkaohje 2008, 6.)

Pohjatuhkan käyttökohteina ovat teiden, katujen ja kevyenliikenteen väylien suodatinkerros, kenttärakenteet ja pengertäytöt. Myös kevyenliikenteenväylien jakava kerros ja putkikaivantojen arinat ja täytöt ovat mahdollisia käyttökohteita. (Rudus Oy. Pohjatuhkaohje 2008, 7.)

7.1 Tuhkan rakennuskäyttösovelluksia

Pelkkää lentotuhkaa ja tarvittaessa lujittavalla sideaineella stabiloitua lentotuhkaa sisältäviä kerrosrakenteita nimitetään massiivisiksi lentotuhkarakenteiksi. Niitä käytetään uusien tie-, katu- ja kenttärakenteiden eri kerroksissa, tuhkan käyttöluokan osoittamissa rajoissa. Lentotuhkarakenteita käyttämällä voidaan selvittää perinteistä rakennustyötä ohuemmalla kokonaisrakennepaksuudella ja vähemmällä maaleikkauksella. Merkittävimmät edut luonnonkiviaineksen käyttöön verrattuna ovat tuhkarakenteen hyvä kantavuus, keveys, lämmöneristävyys ja kiviaineksen kulutuksen väheneminen. Myös pohjatuhkaa on mahdollista hyödyntää hiekan tavoin pengertäytöissä sekä teiden suodatinkerroksessa, ja sen edut ovat samat kuin lentotuhkaa käytettäessä. (Kiviniemi ym. 2012, 22 – 23.)

Seosmateriaalien käyttö pyrkii yhdistämään eri osamateriaalien hyviä ominaisuuksia ja vähentämään epäsuotuisten ominaisuuksien vaikutusta. Lentotuhkaa käytetään

seosmateriaalina tavallisesti kipsin, kuitusaven, betonimurskeen ja rikastushiekan kanssa. Seostuksella halutaan yleensä muokata materiaalin lämmöneristyskykyä, vedenläpäisevyyttä, roudankestoa tai muodonmuutosominaisuuksia. Verrattuna pelkän tuhkan hyödyntämiseen haastetta tuo usean materiaalin käsittely ja sekoitus siten, että syntyvä seosmateriaali on laadultaan tasaista. Tuhkaseosmateriaalin hyödyntäminen rakenteissa riippuu täysin seostuksella saavutettavista ominaisuuksista ja rakenteelle asetettavista laatuvaatimuksista. Vaatimusten ja materiaalin ominaisuuksien kohdassa seoksen käyttö on mahdollista täytöstä ja pengerrakenteista aina kantavaan kerrokseen asti. (Kiviniemi ym. 2012, 24 – 25.)

Stabiloinnilla pyritään lisäämään aineksen kantavuutta tai lujuutta. Kuivana varastoitu lentotuhka kelpaa stabilointimenetelmien sideaineseokseen sellaisenaan tai yhdessä muiden sivutuotteiden kanssa. Lentotuhkan on havaittu parantavan stabiloitujen rakenteiden lujuuskehitystä ja jäätymis-sulamisrasituksen kestävyyttä. Stabilointimenetelmiä, johon tuhkaa voidaan soveltaa, ovat massa- ja syvästabilointi, kerrosstabilointi, auma-, tai prosessistabilointi ja pilaantuneiden maiden stabilointi. (Kiviniemi ym. 2012, 25 – 26.)

Pehmeiden maiden lujuutta ja sopivuutta hyötykäyttöön on mahdollista parantaa syvästabiloinnilla, mikä on usein paalutusta edullisempi vaihtoehto. Myös pilaantuneista maista liukenevien haitta-aineiden määrää on pystytty hillitsemään stabiloimalla. Kerrosstabiloinnissa uuden kiviaineksen tai vanhan tien pintakerrokseen lisätään lujittuvaa sideainetta, joka parantaa sen kantavuutta ja jäätymisenkestoa. Sideaineeksi käy kuivana varastoitu lentotuhka ja sementti. (Kiviniemi ym. 2012, 26 – 27.)

Melu- ja maavallien rakenteet koostuvat pintakerroksesta, täytöstä ja pohja- tai alusrakenteesta. Pintakerros toimii alempien kerrosten eroosiosuojana ja kasvualustana. Täyte muodostaa pitkälti rakenteen rungon ja siksi sen tulee säilyttää lujuutensa myös sulamisvaiheessa. Täytemateriaalilta edellytetään jäätymis-sulamiskestävyyttä, riittävää vakavuutta ja vedenläpäisykykyä. Pohjarakenne tasaa rakenteen painumista ja sen materiaaleilta edellytetään riittävää kantavuutta ja vakavuutta. (Korpijärvi ym. 2009, 24.)

Meluvallin rakentaminen on rajattu MARA-asetuksen ulkopuolelle, ja se vaatii aina ympäristöluvan. Pekka Valliuksen raportissa *Meluvallin ME222 rakentaminen lentotuhkasta* (2011) todetaan Stora Enson Imatran tehtaalta peräisin olleen kasavaras-

toidun lentotuhkan soveltuneen hyvin meluvallin materiaaliksi. Tuhkakerros oli tiivistynyt hyvin, ja sen muotoilu oli ollut helppoa. Kaiken kaikkiaan rakentaminen ei ollut poikennut paljoakaan tavanomaisesta, esimerkiksi moreenimateriaalilla rakentamisesta (Vallius 2011, 12 – 13.)

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion, Aalto-yliopiston ja Suomen metsäkeskuksen Keski-Suomen alueyksikön yhteistyössä toteuttama Tuhkatie-hanke tutkii tuhkan rakennuskäytön ympäristövaikutuksia erityisesti pinta- ja pohjavesiin. Hankkeessa keskitytään metsäteiden kunnostamiseen, sillä Suomessa on 135 000 kilometriä metsäteitä, joiden kunto vaikuttaa puunhankinnan ja lähialueen virkistyskäytön onnistumiseen. Puupolttoaineiden tuhkan tekniset ominaisuudet soveltuvat hyvin metsäautotien rakentamiseen, ja se kelpaa osaksi tien pintamateriaalia side- ja seosaineena tai tierungon vahvistukseksi sellaisenaan. Hanke jatkuu vuoden 2014 alkuun, minkä aikana kehitetään toimintamalli tuhkan hyödyntämiseksi metsäautoteiden ja muiden yksityisteiden perusparantamisessa. Metsätiet ja alempiasteiset soratiet eivät kuulu MARA-asetuksen piiriin, joten tuhkaa käytettäessä kohteelle täytyy hakea aina ympäristölupa. (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2013.)

7.2 Tuhka betonivalmistuksessa

Puutuhkan kelpoisuutta betonin fillerinä ja sideaineena tutkittiin vuosina 2006 – 2008 Teknillisen korkeakoulun Rakennusmateriaalitekniikan laboratoriossa Finncao Oy:n toimeksiannosta. Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään, soveltuuko puutuhka lainkaan betonin seosaineeksi vai onko sillä valmistusprosessia tai valmiin tuotteen laatua heikentäviä ominaisuuksia. (Vornanen ja Penttala 2008, 72.)

Kivihiilen lentotuhkaa käytetään betonivalmistuksessa jo yleisesti, mutta puutuhkien hyödyntämistä jarruttavat niiltä puuttuvat standardit. Koska puutuhkien käyttöön ei ollut virallista ohjeistusta, sen ominaisuuksia verrattiin kivihiilen lentotuhkaan. Betonivalmistuksen kannalta kloridit ja rikkiyhdisteet (SO_3 -pitoisuutena mitattuna) ovat puutuhkien merkittävimpiä huonoja ominaisuuksia, sillä ne saattavat vauhdittaa korroosiota, heikentää betonin puristuslujuuden heikentymistä ja aiheuttaa sementtikiven halkeilua. Myös puutuhkan hehkutushäviö ja kivihiilen tuhkia suurempi vedentarve prosessissa on huomioitava. (Vornanen ja Penttala 2008, 72, 74.)

Tutkimuksessa todetaan, että puutuhkan koostumus sopii betoninvalmistukseen ja sen käyttö voi jopa parantaa betonin puristuslujuutta. Suurimpana haasteena todettiin olevan puutuhkan laadunvaihtelu käytettyjen polttoaineiden ja vuodenajan mukaan. (Vornanen ja Penttala 2008, 76 – 77.)

8 TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTO

8.1 Lentotuhkan näytteet

Karhulan lämpölaitoksella lentotuhka poistuu sähkösuotimen avulla kuivana omaan konttiinsa. Kontin täytyessä se kuljetetaan tyhjennettäväksi Heinsuon polttoainekentälle. Tutkimuksen aikana kuljettaja otti jokaisen tyhjennyksen yhteydessä kannelliseen muoviämpäriin tuhkaa, ja kuun lopussa näytteistä muodostettiin noin litran kokoomanäyte tiiviiseen purkkiin. Huhtikuun tuhkaa ei tutkittu, sillä lämpölaitos ajettiin alas kuun puolivälissä. Sen sijaan toukokuun alun käyttöjaksolta otettiin viimeinen tutkimukseen kuuluva näyte.

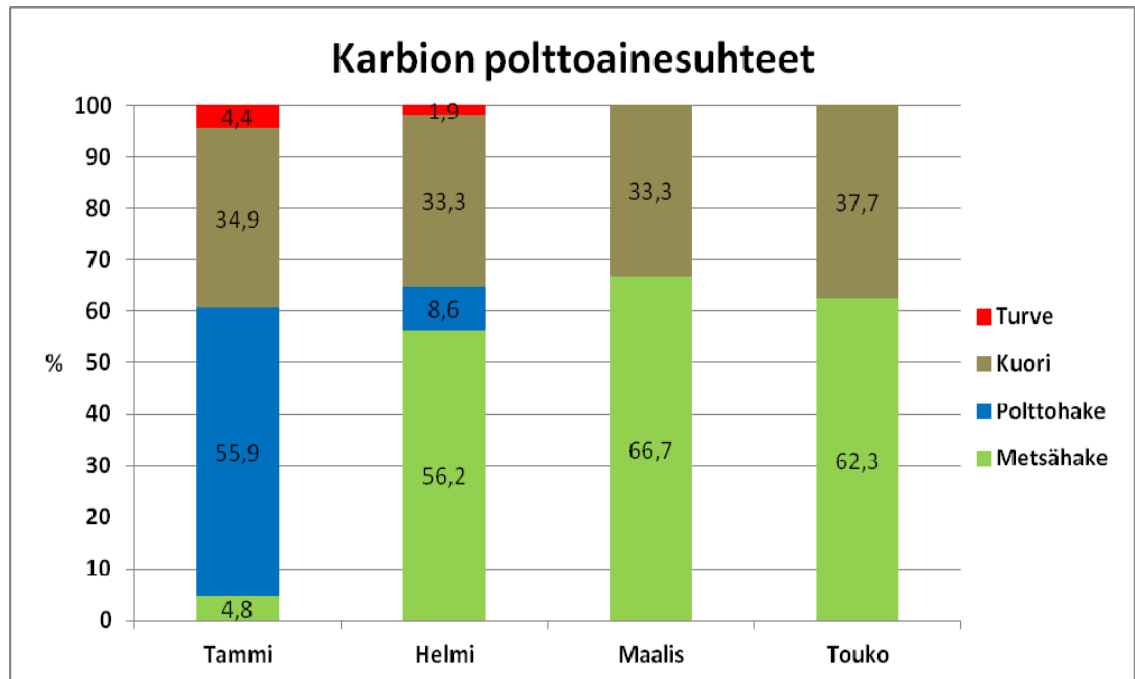
Helmi-, maalisi- ja toukokuun lentotuhkasta tutkittiin MMM:n asetuksen (24/11) lan-noitevalmisteista mukaiset haitta-ainepitoisuudet sekä valtioneuvoston maanrakennusasetuksen 403/2009 mukaiset haitta-ainepitoisuudet ja liukoisuudet. Tammikuun lentotuhkasta oli saatavilla Kotkan Energia Oy:n omia tutkimustuloksia, joten soveltuvin osin otin ko. tuloksia mukaan työhön. Maanrakennusasetuksen haitallisten aineiden listaan kuuluvat PCB ja PAH -yhdisteet jätettiin tutkimuksen ulkopuolelle. Jokaisen lentotuhkanäytteen arvot määrittä Ramboll Analytics.

8.2 Polttoaineanalyysi

Käytetyt polttoaineet vaikuttavat voimalla syntyvän tuhkan alkuainepitoisuuksiin. Jos polttoaineet sisältävät epäpuhtauksia, ne jäävät polton jälkeen tuhkaan tai poistuvat savukaasujen mukana. Myös palamislämpötila ja -nopeus, polttokattiloiden kunto, ilman syöttö ja tuhkan talteenottomenetelmät vaikuttavat osaltaan tuhkan ominaisuuksiin.

Karhulan biolämpölaitokselle kevättalvella 2013 ajetusta polttoaineesta noin kolmasosa oli kuorta (kuva 2). Kuori oli kuusen sahatukeista peräisin ja silmämääräisesti hyvin tasalaatuista, joten alkuaineanalyysillä sen sisältämistä pitoisuuksista oli mahdol-

lista saada edustava tutkimustulos. Tutkimuksella haluttiin selvittää, voiko kuoren poltolla olla tekemistä lämpölaitoksen lentotuhkan kriittisten pitoisuuksien kanssa. Myös kuoren alkuainemäärityksen teki Ramboll Analytics.



Kuva 2. Karhulan biolämpölaitokselle kuljetetut polttoaineet keväällä 2013

Polttoaineena käytettiin tammi- ja helmikuussa kuoren ja metsähakkeen ohella myös polttohaketta ja turvetta. Polttohake on metsäteollisuudesta peräisin olevaa puutähdettä, joka hyödynnetään energiantuotannossa. Turpeen käytöstä luovuttiin helmikuun jälkeen, sillä se pakkautui laitoksen kuljettimille, jotka jumittuivat.

Suurimman osan polttoaineesta muodostaa metsähake, jonka osuus keväällä oli noin 2/3. Metsähake on käsittelemätöntä luonnonpuuta, joka on kulkenut joko hakkurin tai murskaimen läpi. Lämpölaitokselle kuljetettu metsähake on sekoitus useiden eri toimittajien laadultaan vaihtelevaa haketta, joten yksittäinen alkuaineanalyysi ei olisi antanut kovin tarkkaa kuvaa mahdollisten haitta-aineiden lähteestä.

8.3 Lentotuhkan ilmaluokittelu

Muun muassa kierrätys- ja hyötykäyttöpalveluja tarjoava Ekokem Oy tutki biolämpölaitokselta toukokuussa kerätyn lentotuhkan jalostusmahdollisuuksia peltolannoitekelepoiseksi. Pellolle levitettävään tuhkamateriaaliin sovelletaan lannoitevalmisteasetuk-

sen tiukimpia rajoja. Ekokem Oy:n maalaboratorio Riihimäellä tutki ilmaluokittelun vaikutusta lentotuhkan haitta-ainepitoisuuksiin.

8.4 Selvitys tuhkan jatkokäyttäjistä

Kouvolan Koriolla sijaitsi aiemmin LT-Tuhkimo Oy:n rakeistamo, joka valmisti metsälannoitteita teollisuuden puu ja kuorituhkasta, mutta yhtiö meni konkurssiin vuonna 2010 (Kouvolan Sanomat 26.10.2010). Kartoittaakseni mahdollisia tuhkan hyötykäyttäjiä, heidän kokemuksiaan ja kiinnostustaan puutuhkan hyödyntämisestä, haastattelin sähköpostitse tai puhelimitse useita toimijoita. Seuraavassa listassa on kaikki tahot, jotka tutkimuksen aikana tavoitin.

- Ekokem Oy
- FA Forest Oy
- FinnSementti Oy
- ForestVital Oy
- GeoPex Oy
- HaminaKotka Satama Oy
- Hyvinkään Tieluiska Oy
- Kaakkois-Suomen ELY -keskus
- Kymen Bioenergia Oy / KSS Energia
- Lemminkäinen
- Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus
- Metsänhoitoyhdistys Kymenlaakso
- Metsäkeskus Kaakkois-Suomi

- MW Power
- ProAgria Kymenlaakso
- Rudus Oy
- StoraEnso Oyj ja Tornator Oy
- Tyynelän tila
- UPM
- Uusioma / Humuspehtoori Oy
- YIT

9 TUTKIMUSTULOKSET

9.1 Karhulan biolämpölaitoksen lentotuhkan kelpoisuus lannoitekäyttöön

Tuhkan lannoitekäyttöä varten sen haitta-ainepitoisuuksien tulee olla MMM:n asetuksen (24/11) liitteessä IV lueteltujen raja-arvojen sisällä. Metsälannoitusikäytössä hyödynnettävälle tuhkalta sallitaan suuremmat haitta-ainepitoisuudet kuin epäorgaanisille lannoitteille yleensä. Karbion lentotuhkan haitta-ainepitoisuudet on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Karhulan biolämpölaitoksen lentotuhkasta mitatut alkuaineiden pitoisuudet verrattuna MMM:n asetuksen (24 / 11) lannoitevalmisteista raja-arvoihin. Määritykset on tehnyt Ramboll Analytics. Yksikkönä on mg/kg kuiva-ainetta.

Alkuaine	Tammikuu	Helmi- kuu	Maaliskuu	Touko- kuu	Raja- arvo	Raja- arvo (metsä)
Arseeni (As)	9,6	28	2,8	6,0	25	40
Eloho- pea (Hg)	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	1,0	1,0
Kadmi- um (Cd)	26	20	17	36	1,5	25
Kromi (Cr)	26	24	10	21	300	300
Kupari (Cu)	190	150	140	230	600	700
Lyijy (Pb)	86	73	61	100	100	150
Nikkeli (Ni)	29	38	38	48	100	150
Sinkki (Zn)	13 000	6400	6100	12 000	1500	4500
Fosfori (P)		15 000	16 000	24 000		
Kalium (K)		71 000	67 000	150 000		
Kalsi- um (Ca)		240 000	320 000	450 000		
Neutra- lointi- kyky (% Ca)		41	46	41		

Kuukausittaisista määrityksistä havaitaan, että kadmiumin ja sinkin pitoisuudet ylittävät lannoitevalmisteille asetetut enimmäisrajat. Kadmiumia on selvästi yli epäorgaanisille lannoitteille sallitun rajan, mutta metsäkäytön pitoisuus ylittyy vain tammikuussa ja toukokuussa. Sinkkiä on joka tutkimuskerralla ollut huomattavasti liikaa. Lämpölaitoksen käynnistymisen jälkeen sinkin pitoisuus putosi selvästi helmi- ja maaliskuun ajaksi, mutta kohosi uudelleen laitoksen lyhyen alasajon ja käynnistämisen jälkeen

toukokuussa. Sinkin määrä ylittää myös poikkeustapauksissa suometsien lannoituksessa hyväksytyyn määrään 6 000 mg/kg. Arseeni ylittää peltokäytön rajan ainoastaan helmikuussa. Useimman raskasmetallin pitoisuudet käyvät matalimmillaan maaliskuussa, jolloin lämpölaitos oli toiminut noin kolme kuukautta.

9.2 Karhulan biolämpölaitoksen lentotuhkan ympäristökelpoisuus

Puuperäisen aineksen polton lentotuhkien raskasmetallipitoisuuksille määritellään raja-arvot valtioneuvoston asetuksessa eräiden jätteiden hyödyntämisestä maanrakentamisessa (403/2009). Myös raskasmetallien liukoisuudet tulee selvittää. Asetuksessa on määritelty erikseen rajat peitetyn ja päällystetyn rakenteen sallituille liukoisuuksille L/S suhteella 10 l/kg. L/S kuvaa nestemäisen ja kiinteän materiaalin suhdetta liukoisuustutkimuksessa.

Tuhkat, jotka täyttävät maanrakennusasetuksen kriteerit pitoisuuksista ja liukoisuuksista, kelpaavat käytettäväksi ilmoitusmenettelyn kautta. Jos kriteerit eivät täyty tai rakennuskohde ei kuulu MARA-asetuksen piiriin, on hankkeelle haettava erillinen ympäristölupa kunnan ympäristöviranomaiselta tai aluehallintoviranomaiselta.

Taulukko 13. Karhulan biolämpölaitoksen lentotuhkasta mitatut alkuaineiden pitoisuudet verrattuna MARA-asetuksen (403 / 2009) raja-arvoihin. Määrittelyt on tehnyt Ramboll Analytics. Yksikkönä mg/kg kuiva-ainetta.

Alkuaine	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Toukokuu	Raja-arvo
Arseeni (As)	9,6	28	2,8	6,0	50
Barium (Ba)	1900	3500	4900	2800	3000
Kadmium (Cd)	26	20	17	36	15
Kromi (Cr)	26	24	10	21	400
Kupari (Cu)	190	150	140	230	400
Lyijy (Pb)	86	73	61	100	300
Molybdeeni (Mo)	22	15	22	31	50
Sinkki (Zn)	13 000	6400	6100	12 000	2000
Vanadiini (V)	13	31	10	15	400

Kuukausittaisen määrittelyn perusteella kadmium ja sinkki ylittävät raja-arvon jokaisella tutkimuskerralla. Myös bariumin pitoisuus ylittää sallitun arvon helmi- ja maaliskuussa, mutta on toukokuussa laskenut hyväksytyyn määrään. Näiden kolmen aineen lisäksi minkään muun raskasmetallin pitoisuudet eivät käy lähelläkään raja-arvoja koko seurannan aikana. Yleisesti pitoisuudet ovat matalimmillaan maaliskuussa.

Taulukko 14. Karhulan biolämpölaitoksen lentotuhkasta mitatut liukoisuusarvot verrattuna MARA-asetuksen (403 / 2009) raja-arvoihin peitetylle ja päällystetylle rakenteelle. Määrittelyt on tehnyt Ramboll Analytics. Yksikkönä on mg/kg kuiva-ainetta.

Liukoisuusmäärittely	Helmikuu L/S = 10	Maaliskuu L/S = 10	Toukokuu L/S = 10	Raja-arvo (peitetty rakenne)	Raja-arvo (päällystetty rakenne)
DOC	180	140	470	500	500
Kloridi (Cl)	12 000	7200	6100	800	2400
Fluoridi (F)	27	8,0	19	10	50
Sulfaatti (SO ₄ ²⁻)	52 000	31 000	33 000	1000	10 000
Antimoni (Sb)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,06	0,18
Arseeni (As)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,5	1,5
Barium (Ba)	4,9	4,6	5,3	20	60
Elohopea (Hg)	< 0,003	< 0,003	< 0,003	0,01	0,01
Kadmium (Cd)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,04	0,04
Kromi (Cr)	1,3	0,81	1,8	0,5	3
Kupari (Cu)	0,19	0,076	0,23	2	6
Lyijy (Pb)	2,5	1,0	3,7	0,5	1,5
Molybdeeni (Mo)	7,4	8,3	14	0,5	6
Nikkeli (Ni)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,4	1,2
Seleen (Se)	1,1	0,54	0,77	0,1	0,5
Sinkki (Zn)	400	110	330	4	12
Vanadiini (V)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	2	3

Tuloksista havaitaan että peitetyn rakenteen kloridin, sulfaatin, kromin, lyijyn, molybdeenin, seleenin ja sinkin liukoisuusarvo ylittyy jokaisena tarkastelukuukautena. Lisäksi fluoridin raja ylittyy helmi- ja toukokuussa. Päälystetyn rakenteen kloridin, sulfaatin, molybdeenin, seleenin ja sinkin enimmäispitoisuus ylittyy jokaisena tarkastelukuukautena. Lisäksi lyijyn raja ylittyy helmi- ja toukokuussa. DOC tarkoittaa liuenneen orgaanisen hiilen osuutta näytteessä (dissolved organic carbon).

9.3 Polttoaineanalyysin tulokset

Tulosten perusteella kuoren sisältämät haitta-aineet ovat olleet pääosin vähäisiä (taulukko 15). Mangaania ja sinkkiä on kuitenkin selvästi muita aineita enemmän: mangaania näyte on sisältänyt 440 mg / kg ja sinkkiä 130 mg / kg.

Taulukko 15. Ramboll Analyticsin määrittämät alkuainepitoisuudet Karhulan biolämpölaitokselle toimitetusta kuoresta.

Alkuaine	Yksikkö	Pitoisuus
Antimoni (Sb)	mg/kg ka	< 0,50
Arseeni (As)	mg/kg ka	< 1,0
Elohopea (Hg)	mg/kg ka	< 0,10
Kadmium (Cd)	mg/kg ka	0,31
Koboltti (Co)	mg/kg ka	< 1,0
Kromi (Cr)	mg/kg ka	< 1,0
Kupari (Cu)	mg/kg ka	< 10
Lyijy (Pb)	mg/kg ka	< 1,0
Mangaani (Mn)	mg/kg ka	440
Nikkeli (Ni)	mg/kg ka	< 2,0
Sinkki (Zn)	mg/kg ka	130
Tallium (Tl)	mg/kg ka	< 1,0
Tina (Sn)	mg/kg ka	< 1,0
Vanadiini (V)	mg/kg ka	< 1,0
Kalium (K)	m-% ka	0,26
Natrium (Na)	m-% ka	< 0,005
Rikki (S)	m-% ka	0,044
Kloridi (Cl)	m-% ka	0,027
Vety (H)	m-% ka	6,0
Typpi (N)	m-% ka	0,34
Tuhka	m-% ka	3,3

9.4 Ilmaluokittelun tulokset

Ekokem Oy:n maalaboratorio suoritti toukokuun lentotuhkan luokittelun kolmella eri jaottelusäädöllä. Ensimmäisessä karkean ja hienon aineksen osuus oli 50:50, toisessa karkean osuus oli 25 % erästä ja kolmannessa 75 %. Jokaisen luokittelun jälkeen sekä

hienon että karkean jakeen lannoitevalmisteasetukseen kuuluvat haitta-aineet ja ravinteet tutkittiin. Luokittelun tulokset on esitetty taulukossa 16.

Taulukko 16. Ekokem Oy:n suorittaman ilmaluokittelun tulokset. Yksikkönä on mg/kg.

	Karkea	Hieno	Karkea	Hieno	Karkea	Hieno
Painosuhte	50	50	25	75	75	25
Arseeni (As)	2,7	5,4	1,6	4,6	3,1	6
Elohopea (Hg)	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Fosfori (P)	20 000	16 000	19 000	17 000	19 000	15 000
Kadmium (Cd)	12	32	11	24	17	39
Kalium (K)	51 000	140 000	51 000	120 000	77 000	180 000
Kalsium (Ca)	370 000	320 000	310 000	340 000	370 000	250 000
Kromi (Cr)	29	41	21	20	27	41
Kupari (Cu)	95	200	90	170	130	230
Lyijy (Pb)	22	80	18	64	37	98
Nikkeli (Ni)	38	47	30	31	37	46
Sinkki (Zn)	3000	13 000	2300	10 000	5900	17 000

Myös Ekokem Oy:n määrittämät pitoisuudet osoittavat kadmiumin ja sinkin korkean pitoisuuden lentotuhkassa. Tuloksista havaitaan, että jokaisella luokittelukerralla haitta-ainepitoisuudet ovat korkeammat hienomman jakeen joukossa, mikä on luokittelun tarkoituskin. Peltolannoitteen raja-arvoihin ei kuitenkaan päästä karkeassa lajitteessa millään luokitussäädöllä, sillä kadmiumin raja (1,5 mg/kg) ja sinkin raja (1 500 mg/kg) ylittyvät. Karkean lajitteen osuuden ollessa 25 % ja 50 % erä kelpaisi metsälannoituskäyttöön. Kun karkean lajitteen osuutta nostetaan 75 %:iin, sinkin pitoisuus ylittää metsäkäytön rajan (4 500 mg/kg). Hienon jakeen kadmium- ja sinkkipitoisuudet ylittävät metsäkäytön rajan lähes joka säädöllä. Ravinteista ilmaluokittelu näyttää vaikuttavan merkittävästi vain kaliumin pitoisuuksiin.

9.5 Tuhkan hyödyntäjät

Haastattelujen perusteella tuhkan lannoitekäyttö Kaakkois-Suomessa on vähäistä, eikä esimerkiksi metsänhoitoyhdistys Kymenlaakso tai Kaakkois-Suomen metsäkeskus ole tuhkalannoittanut metsiä. Metsäkeskukselle on kuitenkin toisinaan tullut kyselyjä tuhkalannoituksesta metsänomistajilta. (Ursin ja Bamberg 2013.)

ProAgria Kymenlaaksolla on hieman tuhkanhyödynnyskokemusta peltolannoituksessa, mutta viimeisistä tuhkahankkeista on kulunut aikaa jo kymmeniä vuosia. Aiemmissä peltolannoituskokeiluissa etenkin kadmiumin pitoisuus koettiin puutuhkissa ongelmalliseksi. (Mallinen 2013.)

UPM käyttää tuhkaa turvemaiden lannoitukseen ja aikoo tulevaisuudessa lisätä tuhkan hyödyntämistä metsäteiden perusparannuksissa. Lisäksi voimalaitostuhkalle etsitään jatkuvasti uusia käyttökohteita. UPM kuitenkin saa hankkeissaan tarvitsemansa tuhkan omilta voimalaitoksiltaan, eikä ulkopuolisten toimijoiden materiaalille ole ainaakaan lähitulevaisuudessa tarvetta. (Schildt 2013.)

Ekokem Oy:llä on meneillään hanke tuhkien esikäsittelymenetelmien parantamiseksi, jotta ne kelpaisivat nykyistä paremmin peltolannoitekäyttöön. Hankkeessa ovat mukana myös suurimmat metsäyhtiöt. Ekokem Oy:llä on myös suunnitelmissa aloittaa Kouvolan Keltakankaalla lannoitteiden valmistus, ja yhtiö on jättänyt Eviralle laitoshyväksyntähakemuksen toimintaan liittyen. Tulevat käytännöt ja prosessit sekä varsinaisen toiminnan aloitusajankohta ovat kuitenkin vielä epävarmoja. (Österbacka 2013.)

Ekokem Oy oli myös urakoitsijana vuonna 2006, kun Kotkan Satama Oy:n (nykyinen HaminaKotka Satama Oy) Hietasen autokenttää rakennettiin eri tuhkalajikkeita hyödyntäen. Rakennettava alue oli alaltaan noin 20 ha. (Kärki 2013.)

FA Forest Oy vastaanottaa teollisuuden tuhkia, valmistaa Ecolan-tuhkalannoitteita ja toteuttaa lannoitushankkeita. Yhtiö on perustettu vuonna 1995, ja sen pääkonttori sijaitsee Kuopiossa ja tehtaat Pohjois-Karjalan Liperissä ja Keski-Suomen Viitasaarella. Energiantuottajille yhtiö tarjoaa tuhkan noutokuljetuspalvelun ja logistiikan ja tuhka-laadun asiantuntijapalveluita. (FA Forest Oy 2013.)

FA Forest Oy voisi hyödyntää Kotkan Energia Oy:n lentotuhkaa toimissaan, mutta ehtoina on, että lentotuhka olisi täysin kuivaa ja lannoitevalmisteasetuksen kaikki raja-arvot täyttyvät. FA Forest Oy voisi vuokrata tai myydä Karbion lentotuhkaa varten 30 m³:n kontteja, joissa tuhka säilyisi kuivana. Kontteja mahtuu kolme yhteen autokuormaun, joten kuljetuskustannukset tuhkatonna kohden jäävät pienemmiksi. (Väättäinen ja Mäkinen 2013.)

Pälkäneellä sijaitseva Humuspehtoori Oy on kehittänyt metsäteollisuuden sivutuotteista maanparannusaineita 1980-luvulta lähtien (Humuspehtoori Oy 2013 b). Lannoitteita tehdään pelloille sekä bioenergian kasvatukseen ja yhdessä Uusiomaa Oy:n kanssa tuhkia käytetään mm. kenttien, pihojen ja teiden rakenteisiin. Lisäksi Humuspehtoori Oy:llä on meneillään useita kehityshankkeita sivutuotevirtojen hyödyntämisen tehostamiseksi. (Humuspehtoori Oy 2013 a.)

Humuspehtoori Oy:n lannoitekäyttöön tulevien lentotuhkien on täytettävä peltolannoitteiden raja-arvot, mutta maanrakennuskohteille hankitaan joka kerralla ympäristölupa. Rakennustöissä käytetään kapseloidun rakenteen menetelmää, mikä vähentää aineiden liukoisuuksia ja routivuutta. Tarvittaessa Humuspehtoori Oy:ltä löytyy kuljetuskalustoa, jolla tuhka voidaan käydä noutamassa. Tuhkan tuottajan on osoitettava analysein, että tuhka täyttää esimerkiksi peltolannoitekelpoisuuden rajat, mutta yhtiö kontrolloi materiaalia myös omatoimisesti. Lentotuhkan on oltava ehdottomasti myös kostutettua, jotta pölyämishaitoilta välttyttäisiin hyödyntämiskohteella. (Mantsinen 2013.)

E18 Koskenkylä – Kotka-hankkeeseen kuuluu Koskenkylän ja Loviisan välisen moottoriliikennetien täydentäminen moottoritieksi (17 km) sekä moottoritien rakentaminen Loviisasta Kotkaan (36 km). Rakennustyöt on aloitettu marraskuussa 2011, ja tiejärjestelyt ovat valmiit vuoden 2015 loppuun mennessä. (Liikennevirasto 2013.)

Destia Oy tekee rakennussuunnitelmaa valtatie meluvallien rakentamiseksi välille Kymnlinna – Rantahaka. Meluvalleja rakennettaessa on tarkoitus hyödyntää lentotuhkaa yhteensä 59 000 tonnia ja pohjakuonaa 9 000 tonnia. Lentotuhkia käytettäisiin kolmen meluvallin rakentamiseen ja kahden jo aiemmin rakennetun korottamiseen. Meluvallien ohella hankkeeseen kuuluu mm. kevyenliikenteenväylien rakentamista. Tuhkia hankitaan 4 – 5 energialaitokselta, joista Kotkan Energia Oy on yksi. Destia Oy:n rakennussuunnitelma valmistuu kuluvan vuoden marraskuun loppuun mennessä, minkä jälkeen alkaa urakkatarjousten pyytäminen. Varsinainen rakentaminen tapahtuu vuosina 2014 ja 2015. Meluvallien rakentaminen ei kuulu MARA-asetuksen piiriin, joten hankkeelle on anottu ympäristölupaa, mikä on tarkoitus saada marraskuun loppuun mennessä. (Vallius 2013.)

Finnsementti Oy on ainoa suomalainen sementinvalmistaja, ja sen sementtitehtaat sijaitsevat Lappeenrannassa ja Paraisilla. Tuotteisiin kuuluu myös erilaisia betonin seos-

ja lisäaineita sekä kivirouheita. (Finnsementti 2013) Finnsementti Oy voisi sementtitehtaillaan hyödyntää puun polton lentotuhkaa sementtiklinkkerin raaka-aineena, mikäli tuhkan kloori- ja alkalipitoisuudet ovat alhaiset. Jotta tuhkan lisääminen valmistusprosessiin olisi järkevää, tulisi vuodessa toimitettavan tuhkan määrän olla vähintään 5 000 tonnia. (Ojanperä 2013.)

Rudus Oy näkee biopolttoaineiden tuhkien hyödyntämisen suurimmiksi ongelmiksi tuhkan laadunvaihtelun polttoaineiden seossuhteiden mukaan ja tuhkan syntymisen pääosin talviaikaan. Usein myös yhdestä laitoksesta saatava tuhkamäärä on varsin pieni. Betonin sideaineena tai asfalttifillerinä käytettävän lentotuhkan täytyy olla CE – merkittyä, eli tuhkan tulee täyttää standardien EN 450-1 (betonituhka) ja EN 13043 (asfalttifilleri) vaatimukset. Nyt standardeihin sisältyy vain kivihiilen polton lentotuhka, joskin seassa saa olla seospolttoaineita tietty määrä. Tämä rajaa biopolttoaineet pois kyseisistä käyttötarkoituksista. (Lehtonen 2013.)

Euroopan ja Venäjän rakennusalalla toimivalla YIT:llä on kokemusta tuhkien käytöstä täyttömateriaalina ja stabiloinnin sideaineena, tosin tarkkaa tietoa kivihiilen- ja puunpolton tuhkien käyttömääristä ei ollut saatavilla. Tuhkan on oltava täysin kuivaa, jotta sitä voidaan käyttää stabiloinnin sideaineena. Yleensä joukkoon on täytynyt myös sekoittaa sementtiä tarvittavan lujuuden saavuttamiseksi, mikä on lisännyt työmäärää. Tuhkan käyttöä täytöissä ovat rajoittaneet sateiset sääolosuhteet, varastointiongelmat ja rakenteen toimivuuteen liittyvät seikat. Toisinaan tuhkan käytöstä on luovuttu aikataulusyistä, sillä ympäristölupamenettely ei monessakaan hankkeessa ole ehtinyt rakennusaikatauluun. (Kallio 2013.)

Metso-konserniin kuuluva MW Power Oy toimitti Karhulan biolämpölaitoksen Kotkan Energia Oy:lle. Haastattelin yhtiön tuotepäällikköä, sillä yhtenä selityksenä tuhkan korkeille sinkkipitoisuuksille saattaisi olla vasta käyttöön otettu laitos, jonka kattilan, kuljettimien ym. pinnoista irtoaa alussa pitoisuuksia nostavia partikkeleita. Haastattelun perusteella eräiden alkuaineiden, muun muassa sinkin, korkeista pitoisuuksista on tullut yhtiölle aiemminkin yhteydenottoja. Selitys on kuitenkin yleensä saatu tutkimalla koko polttoainevirta, sillä pelkillä biopolttoaineillakin tuhkan pitoisuudet saattavat nousta yllättävän korkeiksi. (Hatunen 2013.)

10 TULOSEN TARKASTELU

Käyttöönottokevään tuhkanäytteiden perusteella Karhulan lentotuhka ei sovellu lannoitekäyttöön sinällään, sillä erityisesti korkeat kadmiumin ja sinkin pitoisuudet ylittävät MMM:n asetuksen raja-arvot tuhkalannoitteille jokaisella tutkimuskerralla.

Kadmiumin pitoisuus ylittää myös metsäkäytön rajan kahdesti kahdesti ja sinkki jokaisella tutkimuskerralla. Korkeista haitta-ainepitoisuuksista huolimatta lentotuhka sisältää kiitettävästi tärkeitä ravinteita, eli kaliumia, fosforia ja kalsiumia, ja sen neutraloimiskyky on hyvä. Fosforin määrä vaihteli välillä 15 – 24 grammaa kilossa, eli sen pitoisuus oli 1,5 – 2,4 %. Kaliumin määrä vaihteli 67 – 150 grammaa kilossa, eli sen pitoisuus oli 6,7 – 15 %. Tulosten perusteella voidaan todeta, että MMM asetuksen 24/11 vaatimus fosforin ja kaliumin vähintään 2 %:n yhteenlasketusta pitoisuudesta täyttyy.

Kalsiumin määrä vaihteli 240 – 450 grammaa kilossa, eli sen pitoisuus oli 24 – 45 %. MMM:n asetuksen (24/11) vaatimus kalsiumin vähintään 6 %:n pitoisuudesta täyttyy. Kalsiumiksi laskettu neutralointikyky täyttää helposti myös puutarha- ja peltoviljelykäyttöä varten asetetun 10 %:n edellytyksen. Jos korkeat haitta-ainepitoisuudet laskevat tulevaisuudessa, lentotuhkalla on olemassa hyvät edellytykset lannoitteeksi.

Ekokem Oy:n teettämällä ilmaluokittelulla oli selvästi vaikutusta lentotuhkan haitta-ainepitoisuuksiin. Erottamalla toukokuun lentotuhkanäytteestä raekooltaan hienoin 50 %, saatiin jäljelle jäävän tuhkan raskasmetallipitoisuudet laskemaan metsäkäyttöön sopiville tasoille. Jos tuhkan sinkkipitoisuus laskee tulevaisuudessa, on mahdollista että metsäkäytön rajoihin pääsemiseksi riittää vain hienoimman 25 % raekoon erottelu. Menetelmän huonoina puolina kalium näyttäisi rikastuvan haitta-aineiden mukana hienojakeeseen, mikä vähentää jäljelle jäävän tuhkaerän lannoitetehoa. Lisäksi luokittelu pienentää hyötykäyttöön soveltuvan tuhkan kokonaismäärää hienon ja karkean raekoon erottelusuhteen mukaan.

Karhulan lentotuhkan maanrakennuskäyttö on kevään tuhkanäytteiden perusteella ympäristöluvanvaraista. Kuten lannoitekäytössä, myös maanrakennuskäytön ongelmaksi osoittautuvat kadmium ja sinkki, joiden pitoisuudet ylittävät MARA-asetuksen raja-arvot jokaisella tutkimuskerralla. Niiden lisäksi bariumin pitoisuus ylittyy kahdesti. Kloridin, sulfaatin ja sinkin liukoisuusarvot peitetylle ja päällystetylle rakenteel-

le ylittyvät huomattavasti jokaisella tutkimuskerralla. Lisäksi lyijyn, molybdeenin ja seleenin liukoisuudet ovat jatkuvasti yli sallittujen rajojen. Kromin liukoisuus ylittää peitetyn rakenteen raja-arvon.

Teknologian tutkimuskeskus VTT on listannut havupuun kuoren ominaisuuksia Euroopassa raportissaan *Käytöstä poistetun puun luokittelu ja hyvien käytäntöjen kuvaus* (Alakangas ja Wiik 2008, 31). VTT:n toisessa raportissa *Kierrätyspolttoaineiden ominaisuudet ja käyttö – Selvitys kierrätyspolttoaineiden laatuominaisuuksista ja soveltuvuudesta leijupolttoon* (Vesanto, Hiltunen, Moilanen, Kaartinen, Laine-Ylijoki, Sipilä ja Wilén 2007, 24) on listattu puhtaan, luonnosta korjatun puun haitta-ainepitoisuuksien vaihteluvälin yläraja-arvoja. Taulukossa 17 on vertailtu Ramboll Analyticsin määrittämiä alkuainepitoisuuksia biolämpölaitoksella poltettavasta kuusen kuoresta VTT:n arvoihin.

Taulukko 17. Kuoren sisältämien alkuainepitoisuuksien vertailu. Havupuun kuoren tyypillinen arvo on merkitty sulkeisiin (Alakangas ja Wiik 2008).

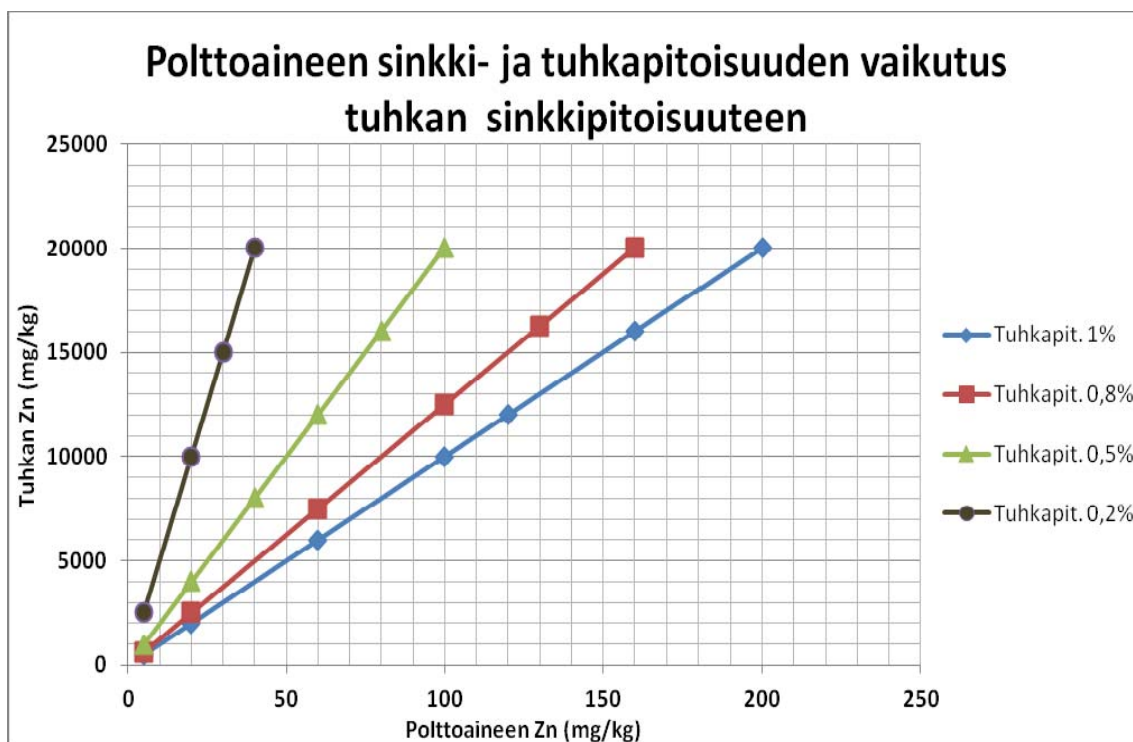
Alkuaine	Yksikkö	Karbion kuori (Ramboll)	Havupuun kuori (Alakangas ja Wiik 2008)	Puhdas puu (Vesanto ym. 2007)
Antimoni (Sb)	mg/kg	< 0,50		4,0
Arseeni (As)	mg/kg	< 1,0	< 0,1 – 1,0 (1,0)	1,0
Elohopea (Hg)	mg/kg	< 0,10	< 0,01 – 0,1 (0,05)	0,05
Kadmium (Cd)	mg/kg	0,31	< 0,2 - 1,0 (0,5)	0,5
Koboltti (Co)	mg/kg	< 1,0		1,2
Kromi (Cr)	mg/kg	< 1,0	1 – 10 (5,0)	10
Kupari (Cu)	mg/kg	< 10	3 – 30 (5,0)	10
Lyijy (Pb)	mg/kg	< 1,0	1 – 30 (4,0)	10
Mangaani (Mn)	mg/kg	440	9 – 840 (500)	100
Nikkeli (Ni)	mg/kg	< 2,0	2 – 20 (10)	10
Sinkki (Zn)	mg/kg	130	70 – 200 (100)	100
Tallium (Tl)	mg/kg	< 1,0		0,6
Tina (Sn)	mg/kg	< 1,0		
Vanadiini (V)	mg/kg	< 1,0	0,7 – 2,0 (< 1,0)	2,0
Natrium (Na)	mg/kg	< 50	70 – 2000 (300)	1100
Kalium (K)	mg/kg	2600	1000 – 4000 (2000)	
Vety (H)	m-%	6,0	5,5 – 6,4 (5,9)	
Kloridi (Cl)	m-%	0,027		0,03
Rikki (S)	m-%	0,044	< 0,02 – 0,2 (0,10)	0,05
Typpi (N)	m-%	0,34	< 0,3 – 1,2 (0,5)	0,50
Tuhka	m-%	3,3	2 – 6 (4)	

Polttoaineena käytettävän puun kuoren alkuaineanalyysi ei osoita poikkeavia raskasmetallipitoisuuksia, kun tuloksia verrataan kuoren ja puhtaan puun tyypillisiin arvoihin. Kaikki alkuaineanalyysin tulokset menevät tavanomaisten arvojen sisälle, usein jopa niiden alle. Sinkkiä kuori sisältää 130 mg/kg, mikä ei ole merkittävästi enemmän kuin havupuun kuorelle tyypillinen 100 mg/kg.

Puun palaessa siitä haihtuvat ainesosat kuten typpi ja happi, mutta sen sisältämät raskasmetallit jäävät tuhkaan. Tuhkan raskasmetallipitoisuudet kiloa kohden ovat siis suuremmat kuin käytetyssä polttoaineessa. Mikäli polttoaineen tuhkapitoisuus on pieni, jo vähäiset raskasmetallipitoisuudet nostavat syntyvän tuhkan pitoisuutta kiloa

kohden huomattavasti. Karhulaan viedyn kuoren alkuaineanalyysin mukaan kuoren tuhkapitoisuus oli 3,3 m - %, sinkin pitoisuus 130 mg/kg ja kadmiumin 0,31 mg/kg. Pelkkä kuoren polton tuhka sisältää sinkkiä siis noin 3 939 mg/kg ja kadmiumia noin 9,4 mg/kg. Tuhka ylittää sinkin (1 500 mg/kg) ja kadmiumin (1,5 mg/kg) peltokäytön rajat.

Valtaosa Karhulassa käytetystä polttoaineesta on kuitenkin metsähaketta, jota tässä tutkimuksessa ei ole tarkemmin analysoitu. Lentotuhkan sinkkipitoisuudeksi on keväällä 2013 mitattu korkeimmillaan 13 000 mg / kg, joten sinkkiä on tultava kuoren lisäksi muualtakin. Alakankaan ja Wiikin raportissa (2008) kuorettoman havu- ja lehtipuun tuhkapitoisuudeksi on määritetty 0,2 – 0,5 % ja sinkkipitoisuudeksi 5 – 100 mg / kg. Kyseisten lukujen pohjalta laskin polttoaineen sinkki- ja tuhkapitoisuuden vaikutusta syntyvän tuhkan sinkkipitoisuuteen (kuva 3). On kuitenkin muistettava, ettei kaikki raskasmetalli siirry lentotuhkaan, vaan pieni osa voi rikastua myös pohjatuhkaan.



Kuva 3. Polttoaineen sinkki- ja tuhkapitoisuuden vaikutus tuhkan sinkkipitoisuuteen

Kuvaajasta nähdään, että polttoaineen tuhkapitoisuuden ollessa 0,2 % ja sinkkipitoisuuden päälle 20 mg/kg tuhkan pitoisuus nousee jo yli 10 000 mg/kg. Tuhkapitoisuus-

den ollessa 0,5 % täytyy polttoaineen sisältää sinkkiä 50 mg/kg, jotta tuhkan pitoisuus olisi 10 000 mg/kg.

Taulukon 18 kokosin osin MW Power Oy:n tuotepäällikkö T. Hatuselta saamieni tietojen pohjalta, ja ne havainnollistavat BGU – arinapoltossa mitattuja lentotuhkan alkuainepitoisuuksia kahdella eri polttoainesuhteella.

Taulukko 18. BGU – arinapolton lentotuhkan pitoisuuksia polttoainesuhteen ollessa metsähake ja palaturve 50:50 sekä metsähake 100 %. Taulukossa on lisäksi Karhulan biolämpölaitoksen kuukausittaisten lentotuhkanäytteiden pitoisuuksien keskiarvo ja tuhkan lannoitekäytön raja-arvot.

Alkuaine	Karbion keskiarvo (kevät 2013)	Metsähake ja palaturve 50:50	Metsähake 100 %	Raja-arvo (pelto)	Raja-arvo (metsä)
Antimoni (Sb)		2,7	1,2		
Arseeni (As)	12	87	32	25	40
Barium (Ba)	3 275	1 500	2 000		
Elohopea (Hg)	< 0,10	1,5	0,33	1,0	1,0
Kadmium (Cd)	25	15	55	1,5	25
Kromi (Cr)	20	52	24	300	300
Kupari (Cu)	176	140	220	600	700
Lyijy (Pb)	80	160	150	100	150
Molybdeeni (Mo)	22,5	16	7,2		
Nikkeli (Ni)	38	48	31	100	150
Seleen (Se)		16	5,4		
Sinkki (Zn)	9 375	2 600	16 000	1 500	4 500
Vanadiini (V)	17	88	12		
PCB-yhdisteet		< 0,1	< 0,1		
PAH-yhdisteet		3,1	39		

Esimerkkitulokset BGU – arinapolton lentotuhkien pitoisuuksista osoittavat haitta-aineiden voivan olla määrältään suuria, vaikka polttoaineina käytettäisiin vain haketta ja turvetta. Hakkeen ja turpeen poltossa 50:50-suhteella lannoitevalmisteasetuksen raja-arvot lannoitevalmisteille ylittyvät arseenilla, elohopealla, kadmiumilla, lyijyllä ja sinkillä. Metsälannoitteen raja ylittyy arseenilla, elohopealla ja lyijyllä. Myös pelkän metsähakkeen polton tuhkan em. alkuaineet ylittävät lannoitevalmisteille asetetut rajat. Metsälannoiterajojen kohdalla ylittyvät kadmium ja sinkki, jota on ollut peräti 16 000 mg / kg ka.

11 PÄÄTELMÄT

Kevään 2013 näytteiden perusteella Karhulan biovoimalan lentotuhkaa ei voida käyttää lannoitteena, sillä erityisesti kadmium- ja sinkkipitoisuudet ylittävät MMM:n asetuksen (24/11) raja-arvot. Pitoisuudet estävät toistaiseksi myös metsälannoitekäytön, vaikka tällöin sallitaankin korkeammat haitta-ainemäärät. Korkeista raskasmetallipitoisuuksista huolimatta lentotuhka sisältää paljon puuston kasvulle tärkeitä ravinteita, joten sen lannoitevaikutus olisi merkittävä. Karhulasta vuoden aikana saatava lentotuhkan määrä on noin 120 tonnia, mikä riittäisi noin 24 – 30 hehtaarin metsälannoitukseen tavanomaisella 4 – 5 tonnia/hehtaari levitysmäärällä.

Karbion lentotuhkan käyttö maanrakennuksessa vaatii ympäristöluvan, sillä valtioneuvoston asetuksen 591/2006 mukaiset raja-arvot kadmiumin, sinkin ja bariumin pitoisuuksille ylittyvät. Lisäksi tuhkasta liukenee klorideja, sulfaatteja, lyijyä, molybdeenia, seleeniä ja sinkkiä sallittua enemmän.

Keväällä Karhulasta saatu tuhka on varastoituna Heinsuon polttoainekentälle aumaan, joten myöhemmin syksyllä tai vuoden 2014 keväällä olisi hyvä ottaa lentotuhkasta uusi näyte. Silloin nähtäisiin, onko varastoinnilla ollut vaikutusta tuhkan raskasmetallien pitoisuuksiin ja liukoisuuksiin. Pohjatuhkan analysoinnilla saataisiin selville, millaisia määriä raskasmetalleja siihen rikastuu.

Ilmaluokittelun avulla Ekokem Oy onnistui parantamaan toukokuun tuhkaerän metsäkäyttöön sopivaksi. Karhulan lentotuhkan jatkuva ilmaluokittelu vaatisi varsinaisen ilmaluokittelulaitteiston lisäksi kaksi tuhkakonttia, joista toiseen jäisi karkeampi ja puhtaampi lentotuhka ja toiseen siirtyisi hienempi, eroteltava aines. Selvitettäviä asioita olisivat ainakin ilmaluokittelun nopeus ja tehokkuus suhteessa syntyvän tuhkan määrään sekä saavutettava taloudellinen hyöty. Mikkelin ammattikorkeakoulun tutkimuksen perusteella sähkösuodattimella suoritettu luokittelu alentaa lentotuhkan pitoisuuksia merkittävästi (Soininen ym. 2010). Myös kadmium ja sinkki, jotka ovat pitoisuuksiltaan merkittävän korkeita Karbiolla, ovat vähentyneet parhaimmillaan 60 %. Koska Karbiolla jo hyödynnetään sähkösuodatinta savukaasujen puhdistamisessa, voisi jatkossa selvittää, millaisia eroja eri keräinlevyille tarttuneen lentotuhkan pitoisuuksissa on. Lisäksi olisi selvitettävä, kuinka keräinlevyt saataisiin puhdistettua eri aikaan. Tässäkin menetelmässä tarvittaisiin kaksi tuhkakonttia pitämään erillään karkea ja hieno tuhkaerä.

Jatkoselvitykselle on tilaa myös Karbion lentotuhkan sisältämien korkeiden pitoisuuksien lähteistä. Sinkkiä oli tammikuun tuhkanäytteessä 13 000 mg/kg, ja se laski maaliskuuhun mennessä arvoon 6 100 mg/kg. Kuitenkin laitoksen huhtikuisen alasajon ja käynnistämisen jälkeen sinkkiä oli toukokuun näytteessä jälleen 12 000 mg/kg. Verrattuna puutuhkan tyypilliseen sinkkipitoisuuteen 40 – 700 mg/kg määrä on huomattavan suuri. Korkeat pitoisuudet ovat oletettavasti peräisin joko polttoaineesta tai lämpölaitoksen sisältä. Puun kuori sisältää tavallisesti suurempia pitoisuuksia ravinteita ja haitta-aineita kuin runkopuu, joten valitsimme Karbiolle kuljetettavan kuusen kuoren alkuaineanalyysiin. Kuorierät olivat myös tasalaatuisempia kuin metsähake, mikä vaikutti valintaan. Alkuaineanalyysi osoitti, etteivät tutkitun kuoren alkuaineet juurikaan poikkea tyypillisistä havupuun kuoren arvoista. Kuori sisältää kuitenkin sinkkiä 130 mg/kg, mikä nostaa tuhkan sinkkipitoisuuden noin 3 939 mg/kg. Arvo ei yksin selitä tuhkasta mitattuja korkeimpia pitoisuuksia, mutta jatkossa voisi tutkia, voisiko sinkkipitoisuutta vähentää pienentämällä kuoren osuutta polttoaineessa.

Metsähakkeen sisältämien alkuaineiden määrään vaikuttaa paljon, mitä puun osia on haketettu. Puun eri osien sisältämien alkuainepitoisuuksien perusteella esimerkiksi sinkkiä on havupuun kuoressa ja neulasissa yli viisinkertainen määrä runkopuuhun verrattuna. Jos siis hakkeen seassa lämpölaitokselle kulkeutuu paljon neulasia, lehtiä tai oksia, ovat syntyvän tuhkan pitoisuudetkin oletettavasti korkeammat. Jotta voitaisiin tehdä varmoja päätelmiä tuhkan haitta-aineiden lähteistä, olisi Karbiolle kuljetettava metsähake ehdottomasti analysoitava. Tätä tukevat myös MW Powerin tuotepäällikkö T. Hatuselta saamani tutkimustulokset arinapolton lentotuhkasta, joissa pelkän metsähakkeen poltolla sinkin määräksi tuhkassa oli muodostunut 16 000 mg/kg.

Jollei tuhkan sinkki ole peräisin polttoaineesta, on mahdollista, että se tulee laitoksen kuljettimista tai kattilan pinnoista. Sinkkiä käytetään paljon korroosionestoaineena joko kuumasinkittämällä tai sähkösinkittämällä teräsrakenteita, joissa se suojaa rautaosia hapettumalla niiden puolesta. (Lehtonen & Lehtonen 2008, 198.) Saattaisi olla mahdollista että uuden, vastakäynnistyneen laitoksen sisältä irtoaa sinkkiä sisältäviä partikkeleita, kun koneistot ja kuljettimet hioutuvat alussa kohdilleen. Maaliskuun ja toukokuun lentotuhkanäytteiden perusteella sinkin pitoisuus tuhkassa kaksinkertaistui, kun laitos ajettiin alas ja käynnistettiin näytteenottojaksojen välillä, mikä sopisi tähän teoriaan. Sinkki on myös helposti liukeneva metalli, jota laimeatkin hapot liuottavat (Lehtonen & Lehtonen 2008, 198). Suolahappoa (HCl) voi periaatteessa muodostua

Karbion polttoprosessissa kloridin palaessa ja reagoiessa savukaasuissa olevan veden kanssa. Kloori on voimakas hapetin, joka syövyttää tehokkaasti metalleja reagoiessaan veden kanssa. (Peltonen 1982, 143) Kloridien pitoisuutta tuhkassa ei ole tässä tutkimuksessa selvitetty, mutta MARA-asetukseen kuuluvien liukoisuustutkimusten perusteella lentotuhkasta liukenee kloridia selvästi sallittua enemmän. Kloori, joka esiintyy luonnossa aina kloridi-ioniyhdisteinä, voi olla peräisin PVC-muoveista, suo-
lasta, neulasista ja lehdistä tai käsitellyn puun kemikaaleista.

Jos polttokattilan sisällä on tapahtunut syöpymistä, siitä saattaisi olla merkkejä havaittavissa laitoksen tarkastuksen ja huollon yhteydessä. Jos sinkki on peräisin uuden laitoksen rakenteista, irtoavan määrän voisi ajatella laskevan ennen pitkää. Tässä tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella ei kuitenkaan voida tehdä varmoja päätelmiä haitta-aineiden lähteistä.

Kloridin lisäksi lentotuhkassa on huomattavan paljon liukoista sulfaattia (SO_4^{2-}). Sulfaattia syntyy, kun polttoaineen seassa oleva rikki palaa (Peltonen 1982, 141). Puussa on rikkiä keskimäärin 0,05 m - % kuiva-aineesta. Karbiolle kuljetetun kuoren alkuaineanalyysin perusteella se sisältää rikkiä 0,044 m - %.

Tuhkan hyötykäyttöön liittyvän kyselyn perusteella Kaakkois-Suomessa olisi tilaa toimijalle, joka hyödyntäisi puutuhkaa lannoitevalmisteena. Suuri syy lannoitehyödyntäjien puutteelle on varmasti Kaakkois-Suomessa sijaitsevien, puutuhkalannoitukselle otollisten turvemaiden vähyys. Koriolla toimiva LT Tuhkimo Oy joutui lopettamaan toimintansa vuonna 2010, mikä ei kannusta uusia tahoja jatkamaan vastaavaa toimintaa.

FA Forest Oy:n rakeistamot sijaitsevat Liperissä ja Viitasaarella, joihin Kotkasta on matkaa noin 340 km. Pitkät kuljetusmatkat vähentävät tuhkan hyötykäytöstä saatavaa taloudellista hyötyä, etenkin jos paluumatka ajetaan tyhjällä autolla. Paluukuorman järjestäminen vaatii suunnittelua jo tuhkan kuormausvaiheessa: kuljetetaanko tuhka sille tarkoitetuissa konteissa vai onko mahdollista hyödyntää esimerkiksi suursäkkejä, jolloin ajoneuvon malli saattaisi sopia paremmin myös paluukuorman tuomiseen? FA Forest Oy:n tuhkapalvelujen käyttö edellyttää metsäkäytön haitta-ainerajojen täytty-
misen lisäksi, että lentotuhka olisi täysin kuivaa vastaanotto paikalle saapuessaan. Tämän vuoksi nykyinen tuhkan varastointimenetelmä Heinsuolla ei riittäisi, vaan tuhka

olisi saatava heti syntyessään varastoitua tiiviiseen konttiin. Täyttyneitä kontteja voisi varastoida polttoainekentällä, kunnes yksi autokuormallinen on saatu kokoon.

Humuspehtoori Oy:n toimialue on Pälkäneellä ja sen lähialueilla. Kotkasta kuljetusmatkaa tulisi noin 211 km, hyödyntämiskohteen sijainnin mukaan. Jotta tuhka kelpaisi lannoitekäyttöön, siltä edellytettäisiin tiukempien, peltolannoitteille sovellettavien raja-arvojen täyttämistä. Kyseisiin arvoihin ei ainakaan kevään tuhkanäytteiden perusteella Karbiolla päästä. Tämän lisäksi Humuspehtoori Oy:llä on maanrakennustoimintaa, jonka hankkeisiin yhtiö hankkii joka kerta ympäristöluvan. Hyödynnettävän lentotuhkan tulee olla valmiiksi kustutettua ympäristöhaittojen estämiseksi kuorman purkuvaiheessa. Tällöin tulisi suunnitella, mikä olisi paras menetelmä tuhkan kastelemiseksi ennen kuljetusta.

Sekä FA Forest Oy:llä että Humuspehtoori Oy:llä on käytettävissään omaa kuljetuskalustoa, jolla hyötykäyttöön soveltuva tuhka voitaisiin käydä noutamassa.

Mikäli Ekokem Oy päättää aloittaa Kouvolan Keltakankaalla lannoitevalmistetoiminnan, se olisi selvästi lähin tuhkan lannoitekäyttäjä. Kuljetusmatkaa kertyisi Kotkasta vain reilu 40 km yhteen suuntaan. Kotkan Energia Oy:n lisäksi tuhkaa syntyy mm. Lappeenrannassa UPM:n Kaukaan biovoimalaitoksella ja Stora Enso Oyj:n Imatran tehtailla, joten tuhkamateriaalia lähialueilla on tarjolla. Mikäli Keltakankaalla hyödynnetään ainoastaan peltolannoitekelpoista tuhkaa, on Karbion tuhkan haitta-aineiden vähentämiseen vielä panostettava. Ekokem Oy:n toiminnan aloittamisen aikataulu on kuitenkin vielä avoin, ja tilannetta kartoitetaan investointilaskelmia varten.

Mikäli Karhulan lentotuhka saadaan tulevaisuudessa metsälannoitekelpoiseksi, sitä voisi hyödyntää turvetuotannosta poistuvien suopohjien lannoitukseen. Suopohjien energiapuuviljelmien kasvua auttaa fosforin ja kaliumin lisäys. Kotkan Energia Oy omistaa omia turvesoita, mutta tuhkalannoitteesta saattaisivat olla kiinnostuneita myös lähialueen turvetoimittajat.

Karbion tuhkien kannattavaa hyötykäyttöä rajaa myös vuodessa syntyvän tuhkan vähäinen määrä. Lentotuhkaa muodostuu vuoden aikana arviolta 120 tonnia ja pohjatuhkaa 250 tonnia. Vertailun vuoksi mainittakoon, että Hovinsaaren voimalaitos tuottaa lentotuhkaa vuodessa noin 5 000 tonnia. Tuhkan pieni määrä rajaa käyttömahdollisuuksia maanrakennuspuolella, joissa tarvittavat tuhkamäärät ovat usein suuria. Esi-

merkiksi Finnsementti Oy tarvitsisi puutuhkaa vähintään 5 000 tonnia vuodessa, jotta se alkaisi hyödyntää sitä sementtiklinkkerin raaka-aineena tuotannossaan. Tämä tarkoittaisi, että puutuhkaa olisi tuotava Karbion lisäksi myös muilta voimaloilta tai tehtailta, jotta vuotuiseen määrään päästäisiin. Jos Kotkan Energia Oy rakentaa biopolttoaineita käyttäviä voimaloita tulevaisuudessa lisää ja puutuhkan vuotuinen määrä kasvaa, maanrakennuspuolen toimijat saattaisivat kiinnostua enemmän tuhkan hyödyntämisestä.

Todennäköisin käyttökohde Karbion tuhkille on valtatie 7 meluvallien rakentaminen Kymnlinna – Rantahaka-välillä, mikä suunnitellaan toteutettavaksi tuhkia hyödyntäen. Meluvallien rakentaminen ei kuulu MARA-asetuksen piiriin, mutta Liikennevirasto edellyttää tuhkamateriaalin tarkkaa seurantaan analyysien. Haitta-aineiden liukoisuuksille on myös olemassa raja-arvot. Tuhkantoimittajan vastuulla on suotovesien seuranta useamman vuoden ajan rakentamisen jälkeen. Hyödynnettävän tuhkamäärän on arvioitu olevan yhteensä 59 000 tonnia, joten tuhkia hankitaan useilta eri voimaloilta. Kotkan Energia Oy:n hyödynnettävät tuhkat ovat Hovinsaaren voimalaitoksen lentotuhkaa, joiden ohella Karbion lentotuhka saataisiin hyödynnettyä myös.

Tutkimuksen tavoitteina oli selvittää Karhulan biolämpölaitoksen lentotuhkan soveltuvuus hyötykäyttöön ja etsiä tuhkalle jatkokäyttäjiä. Tavoitteisiin myös päästiin. Karbion lentotuhka ei toistaiseksi kelpaa lannoitevalmisteksi, ja sen käyttö maanrakennuksessa edellyttää ympäristöluvan saamista. Eri tuhkan hyötykäyttövaihtoehtoja löytyi tutkimuksen aikana, vaikka aivan kaikkiin edellytykset eivät vielä täytykään.

Jatkotutkimuksin tulisi selvittää Karbion tuhkan korkeiden haitta-aineiden lähde tutkimalla koko laitokselle menevä polttoainevirta. Jolleivät kaikki raskasmetallipitoisuudet selity polttoaineen ominaisuuksilla, saattavat kyseessä olla lämpölaitoksen kattilasta tai kuljettimista peräisin olevat partikkelit. Varastoinnin vaikutusta Karbion lentotuhkan ominaisuuksiin on syytä selvittää näytetutkimuksin viimeistään keväällä 2014, jolloin tämän kevään tuhkat ovat saaneet olla aumassa noin vuoden ajan. Pohjatuhkan analysointi selvittäisi, missä määrin siihen kertyy raskasmetalleja. Tuhkan laadun parantamiseksi tulisi selvittää mahdollisuudet sähkösuodattimen tai ilmaluokitte-lulaitteiston avulla tapahtuvan fraktioinnin toteuttamiseksi ja siitä saatavat hyödyt.

12 LÄHTEET

Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT. Espoo: Otamedia Oy. Sivut 35 - 36. Saatavissa:

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf> [viitattu 20.8.2013].

Alakangas, E., Erkkilä, A., Heikkinen, A. 2013. SolidStandards – Enhancing the implementation of quality and sustainability standards and certification schemes for solid biofuels (EIE/11/218). VTT. Jyväskylä. Sivu 8.

Alakangas E, Wiik C. 2008. Käytöstä poistetun puun luokittelu ja hyvien käytäntöjen kuvaus. VTT. Jyväskylä. sivu 31. Saatavissa:

http://energia.fi/sites/default/files/puujateraportti_r04989_08_final_suojattu.pdf [viitattu 6.8.2013].

Evira. 2011. Kansallinen lannoitevalmisteiden tyyppinimiluettelo. Saatavissa:

http://www.evira.fi/files/attachments/fi/kasvit/lannoitevalmisteet/raportit/kansallinen_lannoitevalmisteiden_tyyppinimiluettelo_id316528.pdf [viitattu 18.5.2013].

Evira. 2012. Omavalvontaohje lannoitevalmistealan toimijoille. Sivut 3 - 6. Saatavissa:

http://www.evira.fi/files/attachments/fi/kasvit/lannoitevalmisteet/ohjeet/lava_12501_3_omavalvontaohje.pdf [viitattu 30.5.2013].

Evira. 2013 a. Lannoitevalmisteiden kansallinen tyyppinimiluettelo. Saatavissa:

http://www.evira.fi/portal/fi/kasvit/viljely_ja_tuotanto/lannoitevalmisteet/lainsaadanto/tyyppinimiluettelo [viitattu 18.5.2013].

Evira. 2013 b. Lannoitevalmisteiden lainsäädäntö. Saatavissa:

<http://www.evira.fi/portal/fi/kasvit/viljely+ja+tuotanto/lannoitevalmisteet/lainsaadanto/> [viitattu 17.5.2013].

FA Forest Oy. 2013. Voimalaitospalvelut. Saatavissa:

<http://www.ecolan.fi/fi/energiantuottajille/> [viitattu 17.8.2013]

FA Forest Oy. 2013. Yritys. Saatavissa: http://www.ecolan.fi/fi/fa_forest_oy/ [viitattu 17.8.2013].

FINBIO ry. 2010 a. Biopolttoaineet. Saatavissa:

<http://www.finbioenergy.fi/default.asp?SivuID=9166> [viitattu: 15.5.2013].

FINBIO ry.2010 b. Bioenergiassa on myönteisyyttä. Saatavissa:

<http://www.finbioenergy.fi/default.asp?sivuID=9164> [viitattu 17.5.2013].

Finnsementti. 2013. Yritys. Saatavissa: <http://www.finnsementti.fi/yritys> [viitattu 17.8.2013].

Hakkila, P., Kalaja, H. 1983. Puu- ja kuorituhkan palauttaminen -tekniikka. Helsinki: Folia Forestalia 552.

Humuspehtoori Oy. 2013 a. Kehityshankkeet. Saatavissa:

http://www.humuspehtoori.fi/index.php?p=1_12_Etusivu [viitattu 19.8.2013]

Humuspehtoori Oy. 2013 b. Yritys. Saatavissa:

http://www.humuspehtoori.fi/index.php?p=1_4_Yritys [viitattu 19.8.2013].

Huotari, N. 2012. Tuhkan käyttö metsälannoitteena. 2. painos. Vammalan kirjapaino Oy. Metsäntutkimuslaitos. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/isbn/978-951-40-2403-0/Tuhkaopas-2012-2painos.pdf> [viitattu 20.8.2013].

Isännäinen, S., Rinne, S., Järvelä, E., Lindh, T. 2006. Tuhkan käyttö metsälannoitevalmisteena. VTT. Saatavissa:

[http://www.skogsstyrelsen.se/Global/myndigheten/Projekt/RecAsh/Handb%C3%B6cker%20Handbooks/RecAsh%20handbok%20\(finska\).pdf](http://www.skogsstyrelsen.se/Global/myndigheten/Projekt/RecAsh/Handb%C3%B6cker%20Handbooks/RecAsh%20handbok%20(finska).pdf) [viitattu 6.6.2013].

Jutila, T. 2012. Tuhkan rakeistaminen Pohjois-Pohjanmaalla. Saatavissa:

http://www.metla.fi/hanke/7464/pdf/Tuhkan-rakeistaminen-P-Pohjanmaalla-15082012_Valmis.pdf [viitattu 27.8.2013].

Jätelaki (646/2011) Saatavissa:

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110646#Pid1901186> [viitattu 27.5.2013].

Jäteverolaki (1126/2010). Saatavissa:<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2010/20101126> [viitattu 27.5.2013].

Karvonen, L., Pesonen, J., Kuokkanen, V., Kuokkanen, T. 2012. Tuhkien jakeistus, niiden kemialliset ominaisuudet ja hyödyntämispotentiaali. Oulun yliopisto. Oulu: Uniprint Oulu – Suomen yliopistopaino Oy. Saatavissa:

<http://www.metla.fi/hanke/7464/pdf/Loppuraportti-060812.pdf> [viitattu 15.6.2013].

Kiviniemi, E., Tamminiemi, M., Niemelä, H., Kuusisto, M., Hjelm, V., Väkevä, J., Strandström, M., Suuriniemi, S., Säteri, L. Metsäteho Oy 2001. Metsätieohjeisto. Ensimmäinen painos. Helsinki. Sivut 2. Saatavissa:

http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Opas/Tieohjeisto_osa_1_Tekstiosa.pdf [viitattu 22.8.2013].

Kiviniemi, O., Sikiö, J., Jyrävä, H., Ollila, S., Autiola, M., Ronkainen, M., Lindroos, N., Lahtinen, P., Forsman, J. Ramboll Finland Oy 2012. Tuhkarakentamisen käsikirja. Saatavissa: http://energia.fi/sites/default/files/tuhkarakentamisen_kasikirja.pdf [viitattu 25.8.2013].

Korpijärvi, K., Mroueh, U-M., Merta, E., Laine-Ylijoki, J., Kivikoski, H., Järvelä, E., Wahlström, M., Mäkelä, E. 2009. Energiantuotannon tuhkien jalostaminen maarakennuskäyttöön. VTT. Helsinki: Edita Prima Oy. Sivut 11, 13, 16, 18, 22 - 24. Saatavissa:

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2499.pdf> [viitattu 26.8.2013].

Kotkan Energia Oy. 2013 a. Hyötyvoimalaitos. Saatavissa:

<http://www.kotkanenergia.fi/hyotyvoimalaitos> [viitattu 25.5.2013].

Kotkan Energia Oy. 2013 b. Karhulan biolämpökeskuksen ensitulet. Saatavissa:

http://www.kotkanenergia.fi/uutiset/karhulan_biolampokeskuksen_ensitulet [viitattu 25.5.2013].

Kotkan Energia Oy. 2013 c. Kotkan Energia Oy 2012. s. 5, 15, 30. Saatavissa:

http://www.kotkanenergia.fi/sites/default/files/tiedostot/kotkanenergia_vuosikertomus_2012.pdf [viitattu 25.5.2013].

Kotkan Energia Oy. 2013 d. Mussalon tuulipuistoon kaksi uutta tuulivoimalaa. Saatavissa:

http://www.kotkanenergia.fi/uutiset/mussalon_tuulipuistoon_kaksi_uutta_tuulivoimalaa [viitattu 25.5.2013].

Kouvolan Sanomat. 2010. LT-Tuhkimo Oy ajautui konkurssiin. Saatavissa:

<http://www.kouvolansanomat.fi/Online/2010/10/26/LT-Tuhkimo+Oy+ajautui+konkurssiin/201029919008/4> [viitattu 12.8.2013].

Lannoitevalmistelaki (539/2006). Saatavissa:

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060539> [viitattu 18.5.2013].

Lehtonen, P., Lehtonen, P. Teknisten alojen kemia. 2008. Helsinki: WSOY. Sivun 198.

Liikennevirasto. 2013. E18 Koskenkylä – Kotka. Saatavissa:

http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/hankkeet/kaynnissa/koskenkyla_loviisa_kotka [viitattu 17.8.2013].

Maaskola, T. 2002. Puun ja turpeen sekapolton vaikutus leijukerroskattilan hiukkas-
päästöihin. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. Vantaa. Saatavil-

la:<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/35019/nbnfi-fe20021410.pdf?sequence=1> [viitattu 21.5.2013].

Makkonen, T. (toim.), Hynönen, T., Moilanen, M., Äijälä, O., Häggman, B. 2008.

Tuhkalannoitus. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Porvoo: Painotalo tt-urex Oy.

Saatavissa:

http://www.metsavastaa.net/files/metsavastaa/Metsatietostandardi/tuhkalannoitusopas_fin.pdf [viitattu 5.6.2013].

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 2013. Tuhka on nousemassa ratkaisuksi met-
säautoteiden kunnostamisessa. Saatavissa:

<http://www.tapio.fi/lehdistotiedotteet?id=32102125> [viitattu 19.8.2013].

Metsätilastollinen vuosikirja 2012. 2012. Metsäntutkimuslaitos. Sastamala: Vamma-
lan Kirjapaino Oy. sivu 276. Verkkojulkaisu saatavis-

sa:http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/vsk/2012/vsk12_09.pdf [viitattu
22.8.2013]

Metsätilastollinen vuosikirja 2012. 2012. Metsäntutkimuslaitos. Vantaa: Vammalan
kirjapaino Oy. Sivut 49 – 52. Saatavissa:

http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/vsk/2012/vsk12_01.pdf [viitattu 17.8.2013].

MMM. 2012. Hakkuutähteistä ja metsäteollisuuden sivutuotteista saadaan energiaa. Saatavissa:

http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/metsat/ilmasto_energia/puun_energiakaytto.html [viitattu: 19.5.2013].

MMM. 2013. Lannoitevalmisteet. Saatavissa:

http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/maatalous/maataloustuotanto/siemenettaimaineis_totlannoitevalmisteetjakasvinsuojelu/lannoitevalmisteet.html [viitattu 30.5.2013].

MMM:n asetus 24/11 lannoitevalmisteista. Saatavissa:

http://www.mmm.fi/attachments/elo/newfolder/lannoiteaineet/61fA18BFZ/MMMMa_24_11_lannoitevalmisteista_FI.PDF [viitattu 30.5.2013].

Motiva Oy. 2012. Puun polttotekniikat. Saatavissa:

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/metsapolttoaineet/puun_polttotekniikat [viitattu 10.6.2013].

Motiva Oy.2013. Uusiutuva energia. Saatavissa:

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia [viitattu 15.5.2013].

MW Power. 2013. BioGrate -polttotekniikka. Saatavissa:

http://www.mwpower.fi/mwpower/fi/mwpower_pages_fi.nsf/WebWID/WTB-090422-22575-

[F2C82?OpenDocument&mid=FFCD8DB23A9DBD2CC22575A000499593](http://www.mwpower.fi/mwpower/fi/mwpower_pages_fi.nsf/WebWID/WTB-090422-22575-F2C82?OpenDocument&mid=FFCD8DB23A9DBD2CC22575A000499593) [viitattu 10.6.2013].

Mäkelä, H. 2013. Vuosiraportti 2012. Kotkan Energia Oy.

Mälkönen, E. 2003. Metsämaan ravinteisuuden hoito. Teoksessa E. Mälkönen (toim.) Metsämaa ja sen hoito. Hämeenlinna: Karisto.

Peltonen, E. 1982. Kemiaa insinööreille. Juva: WSOY.

Pesonen, J. 2012. Oulun biotuhkien fraktiointi, kemialliset ominaisuudet ja hyötykäyttöpotentiaali. Oulun yliopisto. Saatavissa: <http://www.metla.fi/hanke/7464/pdf/Janne-Pesonen-pro-gradu.pdf> [viitattu 14.6.2013].

Rudus Oy lentotuhkaohje. 2008. Sivu 6. Saatavissa: www.rudus.fi/Download/24255/Lentotuhka-ohje.pdf [viitattu 28.7.2013].

Rudus Oy pohjatuhkaohje. 2008. Sivu 7. Saatavissa: www.rudus.fi/Download/24256/Pohjatuhkaohje.pdf [viitattu 28.7.2013].

Soininen, H., Mäkelä, L., Kyyhkynen, A., Muukkonen, E. 2010. Biopolttoaineita käyttävien energiantuotantolaitosten tuhkien hyötykäyttö- ja logistiikkavirrat Itä-Suomessa. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Mikkeli: Kopijyvä Oy. Saatavissa: http://www.mamk.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/mamk/embeds/mamkwwwstructure/14235_1473-URNISBN9789515883049.pdf [viitattu 29.8.2013].

Suomen ympäristökeskus. 2011. Metsätalouden vesiensuojelu. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=12949&lan=fi> [viitattu 9.6.2013].

Suomen ympäristökeskus. 2011. Vesistöjen kuormitus. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=393808&lan=fi&clan=fi> [viitattu 9.6.2013].

Taipale, R. 1996. Kiinteiden polttoaineiden ominaisuudet. Jyväskylän yliopisto. Jyväskylä. Sivu 138.

Tapion vuositilastot 2011. 2012. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Saatavissa: http://www.metsavastaa.net/files/metsavastaa/Tilastot/Vuositilastot_2011_netti2.pdf. [viitattu 17.8.2013].

Tilastokeskus. 2013. Energian kokonaiskulutus polttoaineittain 2011 ja 2012. Saatavissa: http://www.tilastokeskus.fi/til/ehk/2012/04/ehk_2012_04_2013-03-22_kuv_007_fi.html [viitattu 2.8.2013].

Vallius, P. 2011. Meluvallin ME222 rakentaminen lentotuhkasta. GeoPex Oy. Kouvola. Saatavissa: <http://kas-koerakentami->

nen.info/vt6meluvalli/Meluvallin_rakentaminen_lentotuhkasta_15.3.2011.pdf [viitattu 30.7.2013].

Valtion ympäristöhallinto. 2012. Jäteverot ja -maksut. Saatavissa:

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=408577&lan=FI> [viitattu 27.5.2013].

Valtion ympäristöhallinto. 2013. Ympäristönsuojelulainsäädäntö. Saatavissa:

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=22939&lan=fi> [viitattu 28.5.2013].

Vesanto P, Hiltunen M, Moilanen A, Kaartinen T, Laine - Ylijoki J, Sipilä K, Wilén C. 2007. Kierrätyspolttoaineiden ominaisuudet ja käyttö – Selvitys kierrätyspolttoaineiden laatuominaisuuksista ja soveltuvuudesta leijupolttoon. VTT. Helsinki: Edita Prima Oy. Sivua 24. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2416.pdf> [viitattu 6.8.2013].

Vetikko, V., Valmari, T., Oksanen, M., Rantavaara, A., Klemola, S., Hänninen, R. 2004. Energiateollisuudessa syntyvän puuntuhkan radioaktiivisuus ja sen säteilyvaikutukset. STUK. Vantaa: Dark Oy. Saatavissa: <http://www.stuk.fi/julkaisut/stuk-a/stuk-a200.pdf> [viitattu: 5.6.2013]

Vna (403/2009). Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090403> [viitattu 15.5.2013].

Vna (591/2006). Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060591> [viitattu 15.5.2013].

Vornanen, C., Penttala, V. 2008. Puuperäisestä lentotuhkasta uusi betonin seosaine. Betoni-lehti 4/2008. Saatavissa: www.betoni.com/Download/22238/BET0804_s_72-77.pdf [viitattu 28.7.2013].

Ympäristönsuojelulaki (86/2000). Saatavissa:

<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2000/20000086> [28.5.2013].

Haastattelut:

Bamberg, M. Metsäkeskus Kaakkois-Suomen metsäpalvelupäällikkö. 21.8.2013.

Hatunen, T. MW Power Oy:n tuotepäällikkö. 16.8.2013.

Kallio, J. YIT Rakennus Oy:n työpäällikkö. 4.4. - 22.5.2013.

Kärki, S. HaminaKotka Satama Oy:n työmaainsinööri. 22.5.2013.

Lehtonen, K. Rudus Oy:n kehityspäällikkö. 19.2.2013.

Mallinen, T. ProAgria Etelä-Suomen palvelupäällikkö. 27.5.2013.

Mantsinen, R. Humuspehtoori Oy:n ja Uusiomaa Oy:n toimitusjohtaja. 23.7.2013.

Ojanperä, T. Finnsementti Oy:n projektipäällikkö. 13.8.2013.

Schildt, J. UPM:n metsänhoitopäällikkö. 12.3.2013.

Ursin, J. Metsänhoitoyhdistys Kymenlaakson toiminnanjohtaja. 20.7.2013.

Vallius, P. GeoPex Oy. 5.7.2013.

Väätäinen, T. ja Mäkinen, P. FA Forest Oy. 22.3. – 3.6.2013.

Österbacka, J. Ekokem Oy:n T & K päällikkö. 23.5. – 15.8.2013.

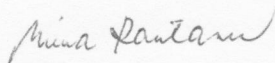
Kotkan Energia Oy
Noora Koivu
PL 232
48101 KOTKA

Tutkimuksen nimi:	Kotkan Energia Oy, KarBio, lentotuhka 29.1.2013, kokonaiset		
Asiakkaan viite:	022742004004	Näytteenottopvm:	29.1.2013
Näytteenottopiste:	Lentotuhkakokooma	Näyte saapui:	31.1.2013
Näytteenottaja:		Analysointi aloitettu:	31.1.2013

Tuhkat

Määrittys	13KA00002	Yksikkö	Menetelmä
Kuiva-aine	98	m-%	RA4016
Esikäsitteily, mikroaaltohajotus, kuningasvesi	ok		RA3007
Metallit 1	ok		
Antimoni (Sb)	2,2	mg/kg ka	RA3000*
Arseeni (As)	9,6	mg/kg ka	RA3000*
Barium (Ba)	1900	mg/kg ka	RA3000
Bromi (Br)	<50	mg/kg ka	RA3000
Elohopea (Hg)	<0,10	mg/kg ka	RA3000*
Kadmium (Cd)	26	mg/kg ka	RA3000*
Koboltti (Co)	16	mg/kg ka	RA3000*
Kromi (Cr)	26	mg/kg ka	RA3000*
Kupari (Cu)	190	mg/kg ka	RA3000*
Lyijy (Pb)	86	mg/kg ka	RA3000*
Molybdeeni (Mo)	22	mg/kg ka	RA3000
Nikkeli (Ni)	29	mg/kg ka	RA3000*
Seleeni (Se)	1,9	mg/kg ka	RA3000*
Sinkki (Zn)	13000	mg/kg ka	RA3000*
Vanadiini (V)	13	mg/kg ka	RA3000*

* FINAS -akkreditoitu menetelmä. Mittausepävarmuus ilmoitetaan tarvittaessa. Akkreditointi ei koske lausuntoa.

Ramboll Analytics


Minna Rantanen
tutkimusinsinööri, ins. AMK, +358 20 755 7958

Tämä tutkimustodistus on allekirjoitettu sähköisesti.

Jakelu analyysit@kotkanenergia.fi; noora.koivu@kotkanenergia.fi; helena.yrjola@ramboll.fi

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Kotkan Energia Oy
Noora Koivu
PL 232
48101 KOTKA

Tutkimuksen nimi:	Kotkan Energia Oy, KarBio, lentotuhka, helmikuu 2013, kokonaiset	Näytteenottopvm:	
Näytteenottopiste:	Lentotuhkakokooma	Näyte saapui:	4.4.2013
Näytteenottaja:		Analysointi aloitettu:	4.4.2013

Tuhkat

Määrittys	13KA00003	Yksikkö	Menetelmä
Kaatopaikkakelpoisuus, kokonaispitoisuudet	ok		
Kuiva-aine	100	m-%	RA4016
pH	13,1		ISO 10523, SFS3021
Orgaaninen hiili, vedetön TOC	1,1	m-%	ISO 10694/SFS-EN 13137
Haponneutralointikapasiteetti (ANC)	ok		CEN/TS 15364
ANC, pH 6 +	13	mol H+/kg	CEN/TS 15364
ANC, pH 7 +	11	mol H+/kg	CEN/TS 15364
ANC, pH 8 +	9,5	mol H+/kg	CEN/TS 15364
ANC, pH 9 +	8,4	mol H+/kg	CEN/TS 15364
ANC, pH 10 +	8,0	mol H+/kg	CEN/TS 15364
ANC, pH 11 +	7,6	mol H+/kg	CEN/TS 15364
ANC, pH 12 +	6,9	mol H+/kg	CEN/TS 15364
Neutralointikyky	41	% Ca	SFS-EN 12945
Esikäsittely, mikroaaltohajotus, kuningasvesi	ok		RA3007
Metallit 1	ok		
Arseeni (As)	28	mg/kg ka	RA3000*
Barium (Ba)	3500	mg/kg ka	RA3000
Elohopea (Hg)	<0,10	mg/kg ka	RA3000*
Fosfori (P)	15000	mg/kg ka	RA3000
Kadmium (Cd)	20	mg/kg ka	RA3000*
Kalium (K)	71000	mg/kg ka	RA3000
Kalsium (Ca)	240000	mg/kg ka	RA3000
Kromi (Cr)	24	mg/kg ka	RA3000*
Kupari (Cu)	150	mg/kg ka	RA3000*
Lyijy (Pb)	73	mg/kg ka	RA3000*
Molybdeeni (Mo)	15	mg/kg ka	RA3000
Nikkeli (Ni)	38	mg/kg ka	RA3000*
Sinkki (Zn)	6400	mg/kg ka	RA3000*
Vanadiini (V)	31	mg/kg ka	RA3000*

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Kotkan Energia Oy
Noora Koivu
PL 232
48101 KOTKA

Tutkimuksen nimi: Kotkan Energia Oy, KarBio, lentotuhka, helmikuu 2013, liukoiset
Näytteenottopvm: 4.4.2013
Näyte saapui: 4.4.2013
Näytteenottaja: Analysointi aloitettu: 4.4.2013

Tuhkat

			Yksikkö	Menetelmä
Näytteenottopisteet	Lento- tuhka- kokoo- ma L/S=2	Lento- tuhka- kokoo- ma L/S=10		
Näyttenumero	13KA 00004	13KA 00005		
MÄÄRITYKSET				
Esikäsittely, ravistelu L/S 10		ok		RA2066
Esikäsittely, ravistelu L/S 2	ok			RA2066
pH-alku	12,3	12,9		
pH-loppu	13,9	13,3		
Sähkönjohtavuus	17000	2900	mS/m	RA2013*
DOC	180	180	mg/kg ka	RA2007
Kloridi	11000	12000	mg Cl/kg ka	RA2018
Fluoridi	30	27	mg F/kg ka	RA2018
Sulfaatti	61000	52000	mg SO4/kg ka	RA2018
Metallit 1	ok	ok		
Antimoni (Sb)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000*
Arseeni (As)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000*
Barium (Ba)	1,7	4,9	mg/kg ka	RA3000
Elohopea (Hg)	<0,003	<0,003	mg/kg ka	RA3000*
Fosfori (P)	<100	<100	mg/kg ka	RA3000
Kadmium (Cd)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000*
Kromi (Cr)	1,3	1,3	mg/kg ka	RA3000*
Kupari (Cu)	0,24	0,19	mg/kg ka	RA3000*
Lyijy (Pb)	2,6	2,5	mg/kg ka	RA3000*
Molybdeeni (Mo)	7,9	7,4	mg/kg ka	RA3000
Nikkeli (Ni)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000*
Seleen (Se)	1,2	1,1	mg/kg ka	RA3000*
Sinkki (Zn)	620	400	mg/kg ka	RA3000*
Vanadiini (V)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000*

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Kotkan Energia Oy
Noora Koivu
PL 232
48101 KOTKA

Tutkimuksen nimi:	Kotkan Energia Oy, KarBio, lentotuhka, maaliskuu 2013, kokonaiset	Näytteenottopvm:	
Näytteenottopiste:	Lentotuhkakokooma	Näyte saapui:	4.4.2013
Näytteenottaja:		Analysointi aloitettu:	4.4.2013

Tuhkat

Määrittys	13KA00006	Yksikkö	Menetelmä
Kaatopaikkakelpoisuus, kokonaispitoisuudet	ok		
Kuiva-aine	100	m-%	RA4016
pH	13,1		ISO 10523, SFS3021
Orgaaninen hiili, vedetön TOC	1,9	m-%	ISO 10694/SFS-EN 13137
Haponneutralointikapasiteetti (ANC)	ok		CEN/TS 15364
ANC, pH 7 +	14	mol H+/kg	CEN/TS 15364
ANC, pH 8 +	13	mol H+/kg	CEN/TS 15364
ANC, pH 9 +	12	mol H+/kg	CEN/TS 15364
ANC, pH 10 +	11	mol H+/kg	CEN/TS 15364
ANC, pH 11 +	11	mol H+/kg	CEN/TS 15364
ANC, pH 12 +	8,7	mol H+/kg	CEN/TS 15364
Neutralointikyky	46	% Ca	SFS-EN 12945
Esikäsitteily, mikroaaltolahotus, kuningasvesi	ok		RA3007
Metallit 1	ok		
Arseeni (As)	2,8	mg/kg ka	RA3000*
Barium (Ba)	4900	mg/kg ka	RA3000
Elohopea (Hg)	<0,10	mg/kg ka	RA3000*
Fosfori (P)	16000	mg/kg ka	RA3000
Kadmium (Cd)	17	mg/kg ka	RA3000*
Kalium (K)	67000	mg/kg ka	RA3000
Kalsium (Ca)	320000	mg/kg ka	RA3000
Kromi (Cr)	10	mg/kg ka	RA3000*
Kupari (Cu)	140	mg/kg ka	RA3000*
Lyijy (Pb)	61	mg/kg ka	RA3000*
Molybdeeni (Mo)	22	mg/kg ka	RA3000
Nikkeli (Ni)	38	mg/kg ka	RA3000*
Sinkki (Zn)	6100	mg/kg ka	RA3000*
Vanadiini (V)	10	mg/kg ka	RA3000*

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Kotkan Energia Oy
Noora Koivu
PL 232
48101 KOTKA

Tutkimuksen nimi:	Kotkan Energia Oy, KarBio, lentotuhka, maaliskuu 2013, liukoiset	Näytteenottopvm:	
		Näyte saapui:	4.4.2013
Näytteenottaja:		Analyysointi aloitettu:	4.4.2013

Tuhkat

			Yksikkö	Menetelmä
Näytteenottopisteet	Lento- tuhka- kokoo- ma L/S=2	Lento- tuhka- kokoo- ma L/S=10		
Näytenumero	13KA 00007	13KA 00008		
MÄÄRITYKSET				
Esikäsittely, ravistelu L/S 10		ok		RA2066
Esikäsittely, ravistelu L/S 2	ok			RA2066
pH-alku	12,5	12,9		
pH-loppu	13,9	13,4		
Sähkönjohtavuus	14000	3100	mS/m	RA2013*
DOC	130	140	mg/kg ka	RA2007
Kloridi	7200	7200	mg Cl/kg ka	RA2018
Fluoridi	7,2	8,0	mg F/kg ka	RA2050
Sulfaatti	40000	31000	mg SO ₄ /kg ka	RA2018
Metallit 1	ok	ok		
Antimoni (Sb)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000*
Arseeni (As)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000*
Barium (Ba)	1,7	4,6	mg/kg ka	RA3000
Elohopea (Hg)	<0,003	<0,003	mg/kg ka	RA3000*
Fosfori (P)	<100	<100	mg/kg ka	RA3000
Kadmium (Cd)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000*
Kromi (Cr)	0,87	0,81	mg/kg ka	RA3000*
Kupari (Cu)	0,086	0,076	mg/kg ka	RA3000*
Lyijy (Pb)	1,1	1,0	mg/kg ka	RA3000*
Molybdeeni (Mo)	9,2	8,3	mg/kg ka	RA3000
Nikkeli (Ni)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000*
Seleeni (Se)	0,57	0,54	mg/kg ka	RA3000*
Sinkki (Zn)	190	110	mg/kg ka	RA3000*
Vanadiini (V)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000*

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Kotkan Energia Oy
Noora Koivu
PL 232
48101 KOTKA

Tutkimuksen nimi:	Kotkan Energia Oy, KarBio, lentotuhka, toukokuu 2013, kokonaiset	Näytteenottopvm:	
Näytteenottopiste:	Lentotuhkakokooma	Näyte saapui:	6.6.2013
Näytteenottaja:		Analysointi aloitettu:	6.6.2013

Tuhat

Määrittys	13KA00022	Yksikkö	Menetelmä
Kaatopaikkakelpoisuus, kokonaispitoisuudet	ok		
Kuiva-aine	99	m-%	RA4016
pH	13,2		ISO 10523, SFS3021
Orgaaninen hiili, vedetön TOC	<0,1	m-%	ISO 10694/SFS-EN 13137
Haponneutralointikapasiteetti (ANC)	ok		CEN/TS 15364
ANC, pH 6 +	14	mol H+/kg	CEN/TS 15364
ANC, pH 7 +	12	mol H+/kg	CEN/TS 15364
ANC, pH 8 +	10	mol H+/kg	CEN/TS 15364
ANC, pH 9 +	9,9	mol H+/kg	CEN/TS 15364
ANC, pH 10 +	9,5	mol H+/kg	CEN/TS 15364
ANC, pH 11 +	9,1	mol H+/kg	CEN/TS 15364
ANC, pH 12 +	8,3	mol H+/kg	CEN/TS 15364
Neutralointikyky	41	% Ca	SFS-EN 12945
Esikäsittely, mikroaltohajotus, kuningasvesi	ok		RA3007
Metallit 1	ok		
Arseeni (As)	6,0	mg/kg ka	RA3000
Barium (Ba)	2800	mg/kg ka	RA3000
Elohopea (Hg)	<0,10	mg/kg ka	RA3000
Fosfori (P)	24000	mg/kg ka	RA3000
Kadmium (Cd)	36	mg/kg ka	RA3000
Kalium (K)	150000	mg/kg ka	RA3000
Kalsium (Ca)	450000	mg/kg ka	RA3000
Kromi (Cr)	21	mg/kg ka	RA3000
Kupari (Cu)	230	mg/kg ka	RA3000
Lyijy (Pb)	100	mg/kg ka	RA3000
Molybdeeni (Mo)	31	mg/kg ka	RA3000
Nikkeli (Ni)	48	mg/kg ka	RA3000
Sinkki (Zn)	12000	mg/kg ka	RA3000
Vanadiini (V)	15	mg/kg ka	RA3000

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Kotkan Energia Oy
 Noora Koivu
 PL 232
 48101 KOTKA

Tutkimuksen nimi: Kotkan Energia Oy, KarBio, lentotuhka, toukokuu 2013, liukoiset
 Näytteenottopvm: 6.6.2013
 Näyte saapui: 6.6.2013
 Näytteenottaja: Analysointi aloitettu: 6.6.2013

Tuhkat

			Yksikkö	Menetelmä
Näytteenottopisteet	Lento- tuhka- kokoo- ma L/S=2	Lento- tuhka- kokoo- ma L/S=10		
Näyttenumero	13KA 00023	13KA 00024		
MÄÄRITYKSET				
Esikäsittely, ravistelu L/S 10		ok		RA2066
Esikäsittely, ravistelu L/S 2	ok			RA2066
pH-alku	10,9	13,2		
pH-loppu	14,0	13,1		
Sähkönjohtavuus	17000	3000	mS/m	RA2013
DOC	420	470	mg/kg ka	RA2007
Kloridi	6200	6100	mg Cl/kg ka	RA2018
Fluoridi		19	mg F/kg ka	RA2018
Fluoridi	24		mg F/kg ka	RA2050
Sulfaatti	37000	33000	mg SO4/kg ka	RA2018
Metallit 1	ok	ok		
Antimoni (Sb)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000
Arseeni (As)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000
Barium (Ba)	1,9	5,3	mg/kg ka	RA3000
Elohopea (Hg)	<0,003	<0,003	mg/kg ka	RA3000
Fosfori (P)	0,22	0,62	mg/kg ka	RA3000
Kadmium (Cd)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000
Kromi (Cr)	1,9	1,8	mg/kg ka	RA3000
Kupari (Cu)	0,27	0,23	mg/kg ka	RA3000
Lyijy (Pb)	4,0	3,7	mg/kg ka	RA3000
Molybdeeni (Mo)	15	14	mg/kg ka	RA3000
Nikkeli (Ni)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000
Seleen (Se)	0,79	0,77	mg/kg ka	RA3000
Sinkki (Zn)	480	330	mg/kg ka	RA3000
Vanadiini (V)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Kotkan Energia Oy
Jari Ukkonen
PL 232
48101 KOTKA

Tutkimuksen nimi: Kotkan Energia, [REDACTED] Hovinsaari, kuori, 1.6.-30.6.2013
Asiakkaan viite: 006842004601 Näytteenottopvm:
Näytteenottopiste: [REDACTED] kuori Näyte saapui: 2.7.2013
Näytteenottaja: Analysointi aloitettu: 2.7.2013

Tutkimustulokset

Määrittys	13SP00094	Yksikkö	Menetelmä
Analyysikosteus	1,5	m-%	SFS-EN 14774-3*
Kokonaiskosteus	53,7	m-%	CEN/TS 14774-2*
Esikäsittely, jauhatus	ok		
Tuhka 550°C, vedetön	3,3	m-%	SFS-EN 14775*
Vety, H vedetön	6,0	m-%	SFS-EN 15104*
Typpi, N vedetön	0,34	m-%	SFS-EN 15104*
Halogeenit happipommihajotuksella	ok		CEN/TS 15289, 15408 modif.*
Kloridi (Cl), vedetön	0,027	m-%	SFS-EN 15289, 15408 modif.*
Rikki (S), vedetön	0,044	m-%	SFS-EN 15289, 15408 modif.*
Esikäsittely, mikroaaltohajotus, HNO3/H2O2/ HF	ok		RA3017
Metallit 2	ok		
Esikäsittely, metallinen alumiini	ok		CEN/TS 15412
Alumiini (Al), metallinen	<0,01	m-% ka	CEN/TS 15412*
Antimoni (Sb)	<0,50	mg/kg ka	RA3000*
Arseeni (As)	<1,0	mg/kg ka	RA3000*
Elohopea (Hg)	<0,10	mg/kg ka	RA3000*
Kadmium (Cd)	0,31	mg/kg ka	RA3000*
Koboltti (Co)	<1,0	mg/kg ka	RA3000*
Kromi (Cr)	<1,0	mg/kg ka	RA3000*
Kupari (Cu)	<10	mg/kg ka	RA3000*
Lyijy (Pb)	<1,0	mg/kg ka	RA3000*
Mangaani (Mn)	440	mg/kg ka	RA3000*
Nikkeli (Ni)	<2,0	mg/kg ka	RA3000*
Sinkki (Zn)	130	mg/kg ka	RA3000*
Tallium (Tl)	<1,0	mg/kg ka	RA3000
Tina (Sn)	<1,0	mg/kg ka	RA3000
Vanadiini (V)	<1,0	mg/kg ka	RA3000*
Kalium (K)	0,26	m-% ka	RA3000
Natrium (Na)	<0,005	m-% ka	RA3000

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.