



LÄMPÖVOIMALAITOKSEN LENTO- JA POHJATUHKAN KUSTANNUS- TEHOKAS HYÖTYKÄYTTÖ

Jenni Mäkinen

Opinnäytetyö
Helmikuu 2015
Liiketalouden koulutusohjelma

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Liiketalouden koulutusohjelma

JENNI MÄKINEN:

Lämpövoimalaitoksen lento- ja pohjatuhkan kustannustehokas hyötykäyttö

Opinnäytetyö 52 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Helmikuu 2015

Opinnäytetyön toimeksiantajia ovat kolme lämpövoimalaitosta: Mäntän Energia Oy, Äänevoima Oy ja Kumpuniemen Voima Oy. Lämpövoimalaitoksien energian tuotannon yhteydessä syntyy jatkuvasti sivutuotteina lento- ja pohjatuhkaa. Tuhkat aiheuttavat suuria kustannuksia voimalaitoksille, sillä ilman sopivaa hyötykäyttökohdetta, niistä tulee maksaa käsittely- ja kuljetuskustannuksien lisäksi jätevero.

Opinnäytetyössä tutkittiin kolmen erilaisen lämpövoimalaitoksen lento- ja pohjatuhkien kustannuksia sekä hyötykäyttömahdollisuuksia. Tarkoituksena oli laatia toimeksiantajille kustannuslaskentamallit sekä löytää tuhkielle kustannustehokkain hyötykäyttömahdollisuus.

Kustannuslaskentamallit luotiin Excel- tiedostoon. Niitä varten kerättiin tietoja haastatteluiden avulla. Kustannuslaskentamalleja laadittaessa selvisi, että lämpövoimalaitosten tuhkien kustannusrakenteet eroavat toisistaan. Tämän vuoksi kustannuslaskentamallit räätälöitiin jokaiselle toimeksiantajalle erikseen. Syntyvien tuhkien laaduissa oli eroja, minkä vuoksi kaikki hyötykäyttökohteet eivät sopineet jokaiselle toimeksiantajalle.

Toimeksiantajille luovutettavaa Excel -tiedostoa ei julkaista opinnäytetyössä, koska se sisältää toimeksiantajien luottamuksellisia tietoja. Opinnäytetyössä julkaistaan viitteelliset yhteenvedot kustannuksista sekä liitteinä olevat esimerkit kustannuslaskentamalleista.

Asiasanat: lämpövoimalaitoksen sivutuotteet, lentotuhka, pohjatuhka, kustannukset, hyötykäyttö

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree programme in Business Administration

JENNI MÄKINEN:

Cost-Efficient Utilization of the Fly and Bottom Ash of the Combined Heat and Power Plant

Bachelor's thesis 52 pages, appendices 2 pages
February 2015

This thesis was done as a commission for three combined heat and power plants: Mäntän Energia Oy, Äänevoima Oy and Kumpuniemen Voima Oy. The energy production process of combined heat and power plants continuously produces fly and bottom ash as by-products. If these by-products cannot be utilized, they create large costs for the combined heat and power plants in the form of handling and transportation costs, in addition to incurring waste tax.

The aim of this thesis was to investigate the fly and bottom ash costs incurred by three different combined heat and power plants. In addition, potential ways for utilizing the fly and bottom ash were investigated. Another aim was to find the most cost-efficient way to utilize the fly and bottom ash and to create a costing model for each of the plants involved.

The costing models were created in an Excel file. The data for the costing models were gathered by interviewing employees. The findings show that the fly and bottom ash cost structures differ for each of the three combined heat and power plants. The costing models were therefore tailored for each plant. None of the utilization possibilities were suitable for all three plants because the quality of the fly and bottom ash varied from plant to plant.

The Excel file that was made for the three combined heat and power plants contains confidential information and is therefore not included in the public version of this thesis. The examples of costs and costing models are published in this thesis.

Key words: the by-products of combined heat and power plant, fly ash, bottom ash, costs, utilization

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
1.1	Opinnäytetyön tausta.....	6
1.2	Tavoitteet.....	7
1.3	Tutkimusmenetelmä ja lähdeaineisto	7
1.4	Opinnäytetyön rakenne.....	8
2	TOIMEKSIANTAJAT	9
2.1	Mäntän Energia Oy	9
2.2	Äänevoima Oy	10
2.3	Kumpuniemen Voima Oy.....	11
3	POLTTOTEKNIKAT	12
3.1	Leijukerrospoltto.....	12
3.2	Arinapoltto.....	15
4	KIINTEÄT POLTTOAINEET JA TUHKAN OMINAISUUDET	17
4.1	Puun ja turpeen koostumus.....	17
4.2	Turvepolttoaineet	19
4.3	Puupolttoaineet	19
4.4	Turpeen ja puun tuhkien ominaisuudet	20
4.5	Turpeen ja puun seospoltto.....	21
4.6	REF- polttoaineet	21
4.7	Lietepolttoaineet	22
5	TUHKKA	23
5.1	Pohja- ja lentotuhka.....	23
5.2	Tuhkan stabiloiminen.....	24
5.2.1	Itsekovetus.....	24
5.2.2	Rakeistus	24
5.3	Tuhkan kuljetus.....	25
5.4	Tuhkan varastointi.....	28
5.5	Ympäristönsuojelu-, jäte- ja jäteverolaki	30
6	TUHKAN HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUDET	32
6.1	Lannoituskäyttö.....	32
6.1.1	Metsä- ja peltolannoitus	32
6.2	Maarakentaminen.....	36
6.2.1	MARA-asetus	36
6.2.2	Ympäristölupa	39
6.3	Tuhkan tuotteistus	39
6.4	Kuitutuhka	40

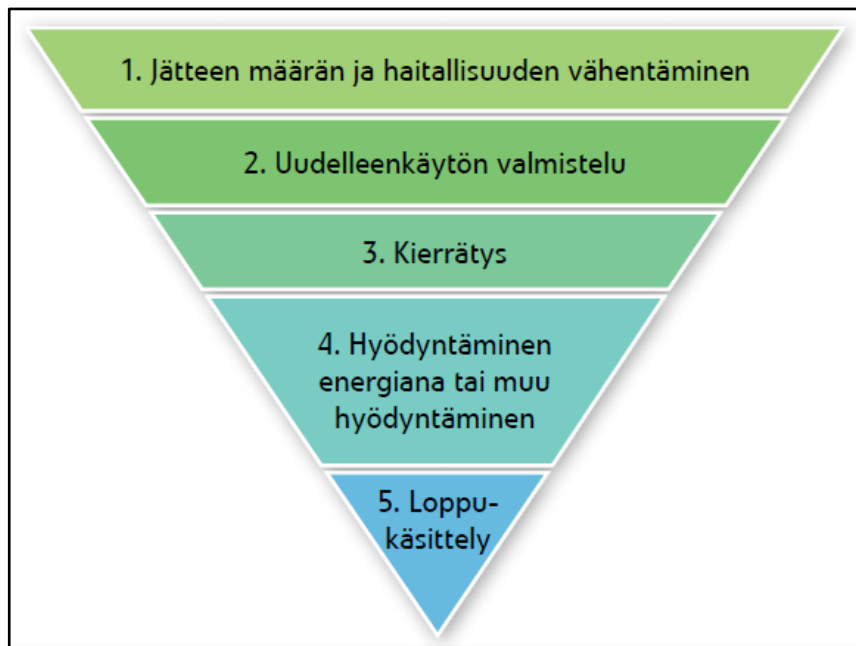
7	TUHKIEN HYÖTYKÄYTÖN KUSTANNUKSET	42
7.1	Jako- ja lisäyslaskenta	42
7.2	Lentotuhkan kustannukset	42
7.3	Pohjatuhkan kustannukset	44
8	POHDINTA	46
	LÄHTEET	48
	LIITTEET	51
	Liite 1. Lentotuhkan kustannuslaskentamalli	51
	Liite 2. Pohjatuhkan kustannuslaskentamalli.....	52

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön tausta

Voimalaitoksilla syntyy polttoprosessin sivutuotteina lento- ja pohjatuhkaa, joiden kuljetus ja loppusijoittaminen ovat kallista. Tuhkat ovat siis suuri kustannuskysymys voimalaitoksille. Vuonna 2008 Euroopan Unioni julkaisi uuden jätedirektiivin, jolla veloitetaan jäsenmaita parantamaan jätteiden kierrätystä. Tämän jälkeen jätelainsäädäntöä on uudistettu. Jäte- ja jäteverolaki ovat kannustaneet tuhkan tuottajia etsimään jätteille hyödyntämismahdollisuuksia, sillä tuhkan viemisestä kaatopaikalle tulee maksaa pelkästään jäteveroa 55,00 €/tonni. Jäteveron lisäksi tuhkasta tulee käsittely- ja kuljetuskustannuksia voimalaitoksesta riippuen. Energiateollisuus Ry:n mukaan pääosin puupohjaisia polttoaineita tai turpeen ja puun seosta käyttävistä laitoksista syntyy tuhkaa vuosittain noin 400 000 tonnia (Energiateollisuus Ry).

Uusi jätelainsäädäntö velvoittaa ja kannustaa vastuulliseen jätehuoltoon. Sen periaatteena on etusijajärjestys, jota on kuvattu kuviossa 1. Etusijajärjestys velvoittaa ammattimaisia toimijoita kuten jätteen tuottajia, kerääjiä ja muita käsittelijöitä. Jätteen synnyn ehkäisy on etusijalla ja on huomioitava jätteen elinkaarivaikutukset, ympäristönsuojelu, mutta myös toimijan taloudelliset ja tekniset valmiudet noudattaa etusijajärjestystä. Etusija järjestyksen mukaan ensin on pyrittävä ehkäisemään jätteen syntyä. Mikäli jätteen syntyä ei voida ehkäistä, on pyrittävä käyttämään jäte uudelleen. Jos jätettä ei voida käyttää uudelleen, on se kierrätettävä. Mikäli kierrätyskään ei tule kyseeseen, jäte tulee hyödyntää energiana. Mikäli jätettä ei voida käyttää energiana, on se loppukäsiteltävä. (Ajankohtaista jätelain uudistuksesta 2012, 2.)



KUVIO 1. Etusijajärjestys (Ajankohtaista jätelain uudistuksesta 2012, 2)

Opinnäytetyön toimeksiantajia ovat Mäntän Energia Oy Mäntässä, Äänevoima Oy Äänekoskella ja Kumpuniemen Voima Oy Suolahdessa. Kaikki kolme toimeksiantajaa tuottavat energiaa pääasiassa teollisuuden käyttöön sekä kaukolämpöön. Tuhkia syntyy sivutuotteina ympäri vuoden melko tasaisesti ja ne ovat laadultaan erilaisia kaikilla kolmella toimeksiantajalla.

1.2 Tavoitteet

Opinnäytetyössä tutkitaan kolmen erilaisen lämpövoimalaitoksen lento- ja pohjatuhkien kustannuksia sekä hyötykäyttömahdollisuuksia. Opinnäytetyön tarkoituksena on laatia kaikille kolmelle toimeksiantajalle kustannuslaskentamallit sekä löytää tuhkille kustannustehokkain hyötykäyttömahdollisuus.

1.3 Tutkimusmenetelmä ja lähdeaineisto

Opinnäytetyössä käytettävä tutkimusmenetelmä on kvalitatiivinen eli tapaustutkimus, jota varten on tehty haastatteluita voimalaitosten työntekijöiden kanssa. Teoreettinen osuus on kirjoitettu voimalaitoksen tekniikkaan, metsäteollisuuteen ja laskentatoimeen

liittyvistä lähdeaineistoista. Lähdeaineistoina on käytetty kirjallisuutta, alan artikkeleita, toimeksiantajien omia materiaaleja, haastatteluita sekä internet-lähteitä.

1.4 Opinnäytetyön rakenne

Opinnäytetyön alussa on esiteltyinä toimeksiantajat ja heidän käyttämänsä kattilatyypit sekä polttoaineet. Toimeksiantajien jälkeen on teoriaa polttotekniikoista. Polttotekniikalla on vaikutus syntyvän tuhkan määrään ja laatuun. Polttotekniikoiden jälkeen on teoriaa polttoaineista, sillä käytettävillä polttoaineilla on vaikutus tuhkan laatuun. Tuhkasta on teoriaa sen käsittelemisestä, kuljetuksesta, varastoinnista sekä siihen liittyvistä ympäristöasioista ja laeista.

Tuhkan hyödyntämismahdollisuuksia on selvitetty keskittyen opinnäytetyön kolmen toimeksiantajan tuottamiin tuhkalaatuihin. Näin ollen opinnäytetyöstä on rajattu ulkopuolelle hyötykäyttömahdollisuutena betonin valmistus. Turpeen ja puun polton seos-tuhkan käyttöä on tutkittu kokeiluina betonin valmistuksessa. Vakiintunutta käytäntöä ei ole, sillä tutkimuksessa huomattiin tuhkan laadun vaihtelevan niin suuresti eri vuodenaikoina, että laadun tasalaatuisuuden parantamiseen ei ainakaan vielä ole panostettu. Asfaltin valmistukseen on käytetty kivihiilen poltosta syntyvää tuhkaa, joten myös tämä hyötykäyttömahdollisuus on rajattu opinnäytetyöstä ulkopuolelle.

Viimeisenä on laskentatoimen teoriaa kustannuksien laskemisesta. Kustannuslaskennasta on rajattu opinnäytetyön ulkopuolelle sivutuotemenetelmä, joka on jakolaskennan sovellus. Sivutuotemenetelmässä tulisi analysoida päätuotteen ja sivutuotteen kustannukset ja tuotot. Tässä tapauksessa tuhkasta ei saa myyntituloja, jolloin myyntivoittojen vähentäminen päätuotteen kustannuksista ei ole mahdollista. Lopuksi toimeksiantajille luovutetuista laskelmista on koottu viitteelliset yhteenvedot ja analysoitu tulokset.

2 TOIMEKSIANTAJAT

Toimeksiantajat kuuluvat Metsä Group -konserniin. Metsä Group Oyj on metsäteollisuuskonserni, jonka liiketoimintaan kuuluvat pehmo- ja ruoanlaittopaperit, sellu, puutuotteet, kartonki, puunhankinta ja metsäpalvelut. Metsä Group Oyj:llä on liiketoimintaa 30 maassa ja tuotantoa 9 maassa. Metsä Group muodostuu emoyhtiö Metsäliitto Osuuskunnasta. Metsäliitto Osuuskuntaan kuuluvat Metsä Wood ja Metsä Forest sekä tytäryhtiöt Metsä Tissue, Metsä Fibre ja Metsä Board. Metsäliitto Osuuskuntaan kuuluu noin 123 000 metsänomistajaa. Metsä Group Oyj:n liikevaihto vuonna 2013 oli hieman alle 5 miljardia euroa. (www.metsagroup.fi)

2.1 Mäntän Energia Oy

Mäntän Energia Oy on lämpövoimalaitos, joka perustettiin vuonna 1992. Tällöin voimalaitos eriytettiin omaksi yritykseksi Metsä Serla Oy:stä. Yrityksen päätehtävänä on tuottaa sähköä ja höyryä. Vuonna 2013 yrityksellä oli 27 työntekijää ja sen liikevaihto oli 15 miljoonaa euroa. Liikevaihto koostuu höyryn, kaukolämmön ja sähkön myynnistä. Mäntän Energia Oy kuuluu Metsä Group -konserniin. Yhtiön omistavat Metsä Tissue Oyj (70 %) ja Mäntän Kaukolämpö Oy (30 %).

Voimalaitos toimii 1935 valmistuneen lämpövoimalaitoksen tiloissa, jonka tunnistaa 112 metriä korkeasta savupiipusta. Savupiippu on alkuperäinen ja edelleen pääkattilan käytössä. Voimalaitoksen yhteydessä toimii vesivoimalaitos, joka on valmistunut Mäntänkoskeen vuonna 1933. Putoamiskorkeus on 6 metriä ja virtaama vaihtelee 0-30 m³/s. Vesivoimalaitoksessa käytetään alkuperäistä Tampellan valmistamaa Kaplan-turbiinia.

Yrityksellä on kaksi käytössä olevaa kattilaa. Pääkattila (kattila 4) on leijukerroskattila, jonka polttoaineena käytetään pääasiassa turvetta ja puuta. Turve on pääpolttoaine ja sitä poltetaan eniten. Puupolttoaineista eniten käytetään pohjapurua. Muita puupolttoaineita kuten havuvalitetta (havupuun seulan alite, joka syntyy vaneriteollisuuden sivutuotteena), metsätähdehaketta ja kuorta käytetään saatavuuden mukaisesti. Näiden lisäksi polttoaineena käytetään jonkin verran puhdistamolietettä ja muita sivutuotteita. Pääkattilassa on mahdollista polttaa tarvittaessa raskasta polttoöljyä (POR). Varakattilana (kat-

tila 5) on öljykattila, jonka polttoaineena on ainoastaan raskas polttoöljy. Lentotuhkaa muodostuu vuodessa noin 7000 tonnia, joka käy pääsääntöisesti maarakennushyötykäyttöön. Pohjatuhkaa muodostuu vuodessa noin 650 tonnia. Mäntän Energia Oy näkyy kuvassa 1.



KUVA 1. Mäntän Energia Oy (Kuva: Jenni Mäkinen 2014)

2.2 Äänevoima Oy

Äänevoima Oy on perustettu vuonna 2000. Vuonna 2002 valmistui uusi biovoimalaitos, joka on edelleen käytössä. Äänevoima Oy:n omistavat Metsä Board Oy (45 %), Metsä Group Oy (20 %), CP Kelco Oy (20 %) ja Äänekosken Energia Oy (15 %). Vuonna 2013 Äänevoimalla oli töissä 18 työntekijää. (Tourunen A. Haastattelu 20.10.2014.) Yrityksen liikevaihto oli vuonna 2013 noin 22 miljoonaa euroa (www.kauppalehti.fi).

Voimalaitos sijaitsee Äänekoskella tehdasintegraatissa, jossa sijaitsevat myös yritykset Metsä Board Oy ja Metsä Fibre Oy sekä karboksyyylimetyyliselluloosaa (CMC) valmistava CP Kelco Oy. Yritys tuottaa pääasiassa höyryä ja sähköä tehdasintegraatissa sijaitseville yrityksille sekä lisäksi kaukolämpöä ja sähköä Äänekosken Energialle. Osa käytettävistä polttoaineista ostetaan Metsä Fibre Oy:ltä ja loput ulkopuolisilta markkinoilta. (Tolppanen, R. ÄVO esittelydiat 2013.)

Äänevoima Oy:n pääkattila on leijukerroskattila ja varakattiloina kaksi öljykattilaa (POR). Pääkattilan polttoaineena käytetään kuorta, kuori- lieteseosta, puusivutuotteita, metsäenergiaa ja jonkin verran kierrätyspolttoaineita. Käynnistys- ja tukipolttoaineina käytetään raskasta polttoöljyä. Lentotuhkaa muodostuu vuodessa noin 5000 tonnia. Äänevoima Oy:n pääkattila tuottaa pääsääntöisesti metsälannoitteeksi sopivaa tuhkaa. Pohjatuhkaa muodostuu vuoden aikana noin 3000 tonnia. (Tourunen A. Haastattelu 20.10.2014.)

2.3 Kumpuniemen Voima Oy

Kumpuniemen Voima Oy on perustettu vuonna 1991. Yrityksellä on käytössä kolme kattilaa. Vuonna 1992 otettiin käyttöön Pyroflow- kattila ja vuonna 1999 arinakattila. Molemmat kattilat ovat edelleen käytössä. Kevytpolttoöljykattila tuli varakattilaksi vuonna 1996. Kumpuniemen Voima Oy:n omistavat Metsä Group Oyj (54 %) ja Äänekosken Energia Oy (46 %). (Lustig, T. Haastattelu 15.10.2014.)

Kumpuniemen Voima Oy tuottaa kahden kattilan voimin sähköä ja höyryä sekä kaukolämpöä. Sähkö ja höyry ohjataan voimalaitoksen vieressä sijaitseville koivu- ja havu- vaneritehtaille. Polttoaineina käytetään koivun kuorta ja haketta, havun kuorta ja pölyä, vanerin reunahaketta, hakettua puujätettä sekä koivun purua. Kumpuniemen Voima Oy:n kattiloiden sivutuotteena syntyy puutuhkaa noin 1 000 tonnia vuodessa ja sitä hyödynnetään metsälannoitteena ja maarakennuksessa. Pyroflow- kattilan pohjatuhkaa muodostuu noin 200 tonnia vuoden aikana. (Lustig, T. 2014. KVO pa ja tuhka lyhyt.)

3 POLTTOTEKNIIKAT

3.1 Leijukerros poltto

Leijukerros poltossa polttoaine poltetaan leijutettavan hiekan seassa kattilassa. Hiekkaa leijutetaan alhaaltapäin puhallettavalla ilmalla. Leijukerroskattilat jaetaan kahteen ryhmään: kiertopeti- ja kerrosleijukattiloihin. Kattiloiden periaatteellinen ero on käytössä leijutusnopeudessa. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2011, 36.)

Leijukerros poltossa palaminen tapahtuu pedissä, joka muodostuu kiinteästä petimateriaalista, syötettävästä polttoaineesta, ilmasta ja mahdollisesta kalkkikivestä sekä savukaasuista, jotka syntyvät palamisesta. Petimateriaalina käytetään yleensä hiekkaa. (Jalovaara, Aho & Hietämäki 2003, 33.)

Leijuva hiekka muodostaa leijukerroskattilan pohjalle 0,4-0,8 metriä paksun kerroksen, jossa kattilaan syötetty polttoaine aluksi kuivuu ja lopulta syttyy palamaan. Kattilan polttila muodostuu leijusuutinarinasta, muurauksista ja petihiekkakerroksesta. Muurauksilla pyritään suojamaan tulipesän alaosa ja seinäputkia eroosiolta ja se auttaa kostean polttoaineen palamista. Kiinteää polttoainetta syötetään pedin päälle. Pienet ainesosat palavat leijukerroksen yläpuolella, kun taas suuremmat kulkeutuvat petiin. Pedin päällä suuremmat partikkelit kuivuvat ja kaasuuntuvat. Haihtuvat ainesosat palavat pedissä ja sen yllä, mutta jäännöshiili palaa pääasiassa leijupedissä. Kerrosleijukattilat sopivat hyvin kosteille polttoaineille, koska kosteusvaihteluilla ei ole negatiivista vaikutusta palamiseen. (Huhtinen ym. 2011, 36–37.) Polttoainetta ei tarvitse esikäsitellä ennen polttamista muuten kuin erottamalla siitä raudan ja tarvittaessa murskaamalla ja seulomalla sen (Jalovaara ym. 2003, 34).

Leijukerros poltossa leijukerrokseen kertyy karkeaa petimateriaalia, jota poistetaan säännöllisin väliajoin. Poistaminen tapahtuu pohjatuhkasuppiloiden lävitse vesijäähdytetyille pohjatuhkaruuveille. Lentotuhka kerätään savukaasuista sähkösuodattimilla sekä savukaasukanavan vedoista. Lentotuhka kuljetetaan pneumaattisesti eli paineilman avulla savukaasuvetojen ja sähkösuodattimien tuhkasuppiloista lentotuhkasiiloon. (Huhtinen ym. 2011, 37.)

Leijukattila on yleensä varustettu öljy- tai maakaasukäyttöisillä käynnistyspolttimilla ylösajoa varten. Kattila saattaa olla varustettuna myös kuormapolttimilla. Kuormapolttimet voivat olla kevytöljy- tai maakaasukäyttöisiä ja niiden tarkoituksena on auttaa saavuttamaan riittävä kattilateho myös poltettaessa huonolaatuista kiinteää polttoainetta. (Huhtinen ym. 2011, 37.)

Kiertopetikattilassa käytetään suurempaa leijutusnopeutta ja kooltaan hienompaa petihiekkaa. Tällöin hiekka ja palamattomat hiilipartikkelit poistuvat kaasuvirran mukana tulipesästä. Syklonissa erotetaan savukaasujen mukana kulkeva mahdollinen polttoaine ja hiukkaset savukaasuista ja ne palautetaan takaisin tulipesään. Kiertopetikattilassa palamattoman polttoaineen häviöt ovat pienempiä. (Huhtinen ym. 2011, 36; Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2000, 155.)

Kumpuniemen Voima Oy:n Pyroflow- kattila on kiertopetikattila, jonka tuottama höyry ohjataan paineen alennusaseman kautta pääjakotukille. Pääjakotukilta höyry ohjataan havu- ja koivuvaneritehtaille. Ennen paineen alennusasemaa höyry on 480 celsiusastetta ja sen käyttöpaine on 40 baaria (bar). Paineen alennusaseman jälkeen höyry on 220 celsiusastetta ja käyttöpaine 16 baaria. Vaihtoehtoisesti Pyroflow- kattilan höyry voidaan ajaa turbiinille. Tällainen tilanne voi tulla kyseeseen esimerkiksi arinakattilan ollessa alhaalla. (Lustig, T. 2014. KVO pa ja tuhka lyhyt.)

Leijukerrospolton onnistumisen edellytyksenä on, että leijutuskaasu jakautuu tasaisesti arinan lävitse, pedin lämpötila pidetään polttoaineen laadusta riippuen 700-900 °C alueella, polttoaine hienontuu ja sekoittuu tehokkaasti, polttoaineen laatu ja syöttö on tasaista. Lisäksi edellytyksenä on, että palamisnopeus on suuri, lähes kaikki tuhka poistuu lentotuhkana, petimateriaalin raekoko ja pedin korkeus on sopiva sekä polttoaineen ja ilman suhde on hyvä. (Huhtinen ym. 2011, 37.)

Mäntän Energia Oy:n pääkattila on leijukerroskattila, jonka tuottama höyry (80 bar/ 510 °C) ajetaan pääsääntöisesti höyryturbiinille. Höyryturbiini tuottaa sen kautta ajetusta höyrystä sähköä ja samalla se alentaa höyryn käyttöpainetta ja lämpötilaa (18 bar/ 250 °C, 9 bar/ 200 °C ja 2,5 bar/ 180 °C). Höyryturbiinin kautta höyry ohjataan paperitehtaalle ja kaukolämpöön. Sähköä tuotetaan omaan käyttöön voimalaitokselle ja paperitehtaalle. Vaihtoehtoisesti höyry voidaan ohjata reduktioaseman kautta paperitehtaalle esimerkiksi turbiinin ollessa alhaalla. (Tourunen A. Haastattelu 20.10.2014.)

Mäntän Energia Oy:n leijukerroskattilan pohjatuhka poistuu petihiekan seassa hiekkabunkkeriin (kuva 2). Lentotuhka erotetaan savukaasuista multisyklonilla ja sähkösuodattimella, joista se ohjataan pneumaattisesti lentotuhkasiiloon. (Tourunen A. Haastattelu 20.10.2014.)



KUVA 2. Mäntän Energia Oy:n hiekkabunkkeri (Kuva: Jenni Mäkinen 2014)

Äänevoima Oy:n pääkattila on leijukerroskattila, jonka höyry (105 bar/ 535 °C) ohjataan pääsääntöisesti höyryturbiinille, joka tuottaa sähköä ja alentaa höyryn käyttöpainetta ja lämpötilaa (11 bar/ 200 °C ja 3,3 bar/ 170 °C). Turbiinin jälkeen höyry ohjataan kartonkitehtaalle, CMC- tehtaalle ja kaukolämpöön sekä varalämpönä sellutehtaalle. Vaihtoehtoisesti esimerkiksi turbiinin ollessa alhaalla höyry voidaan ohjata reductioaseman kautta samoille asiakkaille. (Tourunen A. Haastattelu 20.10.2014.)

Äänevoima Oy:n pääkattilan pohjatuhka poistuu petihiekan seassa vaihtolavalle. Lentotuhka erotetaan savukaasuista sähkösuodattimella, josta se ohjataan pneumaattisesti lentotuhkasiiloon. (Tourunen A. Haastattelu 20.10.2014.)

3.2 Arinapoltto

Arinapoltossa palaminen tapahtuu arinalla, joka on joko kiinteä tai liikkuva. Mekaanista eli liikkuvaa arinaa sekä automaattista tuhkapoistoa ja polttoaineen syöttöä käytetään isoimmissa kattiloissa. Arinassa on eri vyöhykkeet, joissa tapahtuu polttoaineen kuivuminen ja lämpeneminen, polttoaineen kaasuuntuminen sekä kiinteän polttoaineen palaminen. (Huhtinen ym. 2011, 35–36.)

Arinapoltossa on tärkeää, että polttoaine syötetään koko arinan leveydeltä tasaisena kerroksena. Suuremmissa arinoissa polttoaineen syöttö tapahtuu painovoiman avulla koko arinan leveydeltä. Liikkuvissa arinoissa voidaan osaa arinaraudoista liikuttaa hydraulisesti, jolloin polttoaine saadaan sekoitettua ja hallitaan sen siirtymistä vaiheesta toiseen. Pääsääntöisesti suurissa arinoissa on vesijäähdytys, joka on yhdistetty kattilan vesikiertoon. (Jalovaara ym. 2003, 29–30.)

Tuhka poistuu arinapoltossa pääosin arinan lävitse. Tuhka sisältää usein vielä palamiskelpoista polttoainetta. Arinapoltossa tuhkan hehkutushäviö on suurempi kuin leijukerrosoltossa. Tuhkan hehkutushäviö tarkoittaa tuhkan sisältämän palamiskelpoisen polttoaineen osuutta. Polttoainekerroksen pinnasta lähtee savukaasujen mukana lentoon polttoaine- ja tuhkahiukkasia. (Jalovaara ym. 2003, 31–32.)

Kumpuniemen Voima Oy:n arinakattila on mekaaninen arinakattila eli siinä on liikkuva arina. Kattila tuottaa 480 celsiusasteista höyryä, jonka käyttöpaine on 43 baaria. Pääsääntöisesti arinakattilan tuottama höyry ohjataan turbiinille, jonka avulla tuotetaan sähköä ja kaukolämpöä. Osa höyrystä ohjataan turbiinin väliotosta pääjakotukille, josta se ohjataan vaneritehtaalle. Kaukolämpö tuotetaan turbiinin lauhduttimella ja lauhdevaihtimella. Pohjatuhka poistuu arinan lävitse ja se kerätään märkänä arinakattilan alla olevalle vaihtolavalle (kuva 3). Lentotuhka erotetaan savukaasuista sähkösuodattimella ja se kerätään kuivana umpinaiseen konttiin kattilan alle. (Lustig, T. 2014. KVO pa ja tuhka lyhyt; Lustig, T. Haastattelu 15.10.2014.)



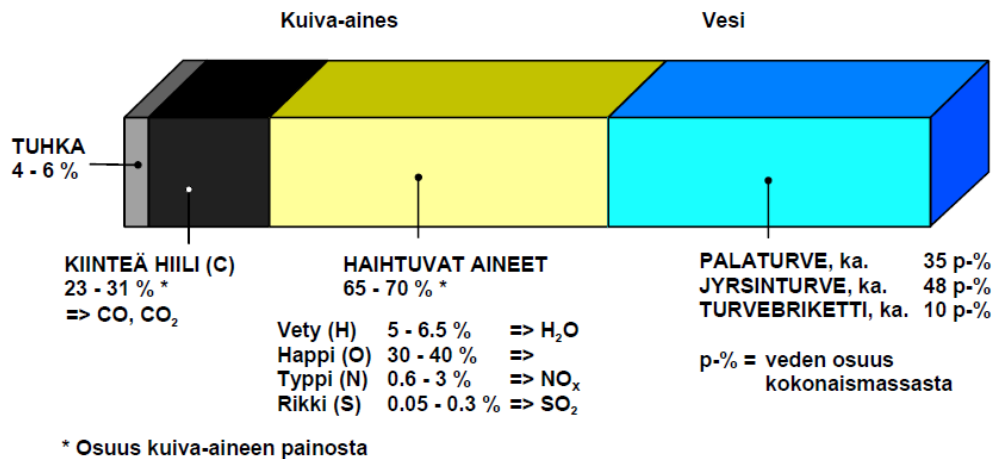
KUVA 3. Arinakattilan pohjatuhka (Kuva: Jenni Mäkinen 2014)

4 KIINTEÄT POLTTOAINEET JA TUHKAN OMINAISUUDET

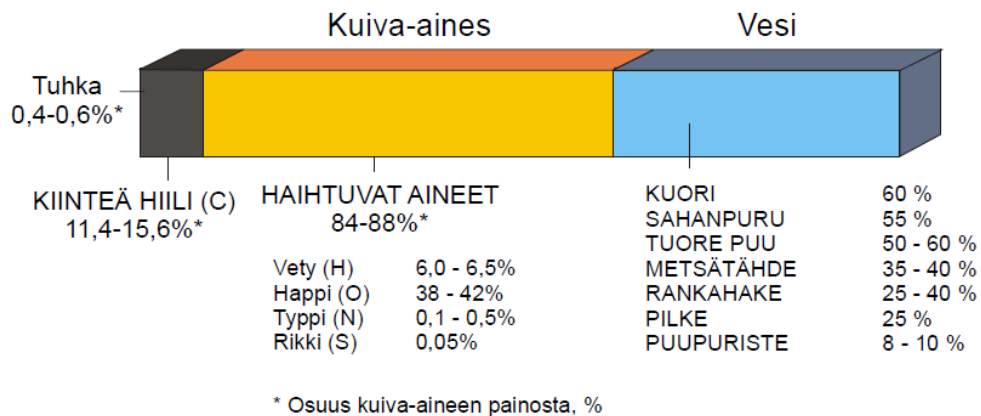
Kiinteät polttoaineet voidaan jakaa kahteen ryhmään: Fossiilisiin ja uusiutuviin polttoaineisiin. Fossiilisia polttoaineita ovat turve ja kivihiili. Uusiutuviin polttoaineisiin kuuluu esimerkiksi puu. Turve on maatunutta kasviainesta kun taas kivihiili on geologisessa prosessissa ”hiiltynyttä” turvetta. Biomassapohjaisiin polttoaineisiin kuuluvat esimerkiksi maa- ja metsätalouden tuotteet kuten metsätähteet, puu ja energiakäyttöä varten viljellyt kasvit. (Jalovaara ym. 2003, 25.)

4.1 Puun ja turpeen koostumus

Palava aines, epäorgaaninen eli tuhkaa muodostava aines ja vesi ovat kiinteän polttoaineen koostumuksen kolme osaa. Palavan aineksen pääkomponentit ovat hiili (C), vety (H), happi (O), typpi (N) ja rikki (S). Hiili ja vety ovat tärkeimmät alkuaineet palamisessa vapautuvan lämmön kannalta. Vesi ja epäorgaaninen aines ovat polttoaineen laatua heikentäviä ainesosia. (Raiko, Kurki-Suonio, Saastamoinen & Hupa 1995, 94.) Rikki ja typpi muodostavat palaessaan ympäristölle haitallisia oksideja. Rikistä syntyy rikkioksidia, kun taas osa tuestä reagoi kattilan tulipesässä hapen kanssa muodostaen tyypen oksideja. Polttoaineessa oleva vesi pienentää sen lämpöarvoa, koska se vaatii suuren höyrystymislämmön, jota ei ole yleensä mahdollista saada talteen kattilasta. (Huhtinen ym. 2000, 37–38.) Alakangas (2000, 35, 87–88) on kuvannut turpeen keskimääräistä koostumusta kuviossa 2 ja puun koostumusta kuviossa 3. Turpeen rakenne ja koostumus vaihtelevat kuitenkin suuresti johtuen esimerkiksi maatumisasteesta ja turpeen kasvilajikoostumuksesta. (Von Post 1922.)



KUVIO 2. Turpeen keskimääräinen koostumus (Alakangas 2000, 88; Alakangas ym. 1987)



KUVIO 3. Puun koostumus (Alakangas 2000, 35; Alakangas ym. 1987)

Alakankaan (2000, 35) mukaan puupolttoaineet ovat pitkäliekkisiä ja tarvitsevat suuren palotilan. Tämä johtuu siitä, että puussa on paljon haihtuvia aineita. (Kytö ym. 1983.) Turpeessa ei ole vettä ja haihtuvia aineita niin paljon kuin puussa ja turpeen kiinteän hiilen osuus on myös suurempi kuin puulla. Tuhkaa muodostavaa ainesta on puussa (0,4-0,6 %) vähemmän kuin turpeessa (4,0-6,0 %). Raikon ym. (1995, 92) mukaan poltossa syntyvän tuhkan määrä ei vastaa suoraan polttoaineessa olevaa epäorgaanisen aineksen määrää, koska esimerkiksi useat mineraalit voivat hapettua tai hajota poltossa (Raiko ym. 1995, 92).

4.2 Turvepolttoaineet

Turve muodostuu kuolleista kasvien osista maatumalla hyvin kosteissa olosuhteissa. Kasvava turvekerrostuma syntyy kasvien jäänteistä, jotka eivät hajoa kunnolla hapen puutteen ja runsaan veden vuoksi. Käytettäessä turvetta polttoaineena energian tuotannossa, on hyvä tietää sen kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet kuten esimerkiksi kosteus ja lämpöarvo sekä tiheys ja palakoko. Energiaturpeen kauppanimikkeitä ovat esimerkiksi pala- ja jyrshinturve. Turvemuodot eroavat toisistaan koon ja muodon perusteella, mitkä vaikuttavat niiden palamisominaisuuksiin sekä käsittelytapoihin. Jyrshinturveturpeen osuus energiaturpeen tuotannosta on yli 90 prosenttia. Jyrshinturvetta käytetään teollisuuden ja yhdyskuntien voimalaitoksissa sekä kaukolämpölaitoksissa. (Alakangas, Hölttä, Juntunen & Vesisenaho 2011, 62–63; Alakangas 2000, 85–86.)

Mäntän Energia Oy käyttää polttoaineena jyrshinturvetta, joka kuljetetaan täyspe rävaunuyhdistelmillä voimalaitokseen läheisiltä soilta. Turpeen osuus poltossa kaikista polttoaineista on 60 %.

4.3 Puupolttoaineet

Pohjapuru, kuori ja vanerihake eli havualite ovat teollisuudessa syntyneitä sivutuotteita. Energiateollisuus.fi- sivuston mukaan näitä sivutuotteita on jo melko kauan hyödynnetty energialähteinä voimalaitoksissa. Teollisuuden sivutuotteiden lisäksi saadaan metsästä energialähteeksi metsähaketta, joka tuotetaan pääasiassa päätehakkuiden sivutuotteista eli oksista, latvuksista ja kannoista. (www.energiateollisuus.fi)

Äänevoima Oy, Mäntän Energia Oy ja Kumpuniemen Voima Oy käyttävät teollisuuden sivutuotteita ja metsäenergiaa polttoaineina. Polttoaineiden seossuhteet riippuvat vuodenajasta ja saatavuudesta. Toimeksiantajien käyttämät puupolttoaineet ovat koottuna taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Puupolttoaineet voimalaitoksittain

Mäntän Energia Oy	Äänevoima Oy	Kumpuniemen Voima Oy
pohjapuru	kuori	koivun kuori, hake ja puru
kuori	kuori-lieteseos	havun kuori ja pöly
vanerihake/ havualite	puusivutuotteet	vanerin reunahake
metsätähdehake	metsätähdehake	haketettu puujäte

Kuvassa 4 on Mäntän Energia Oy:n polttoainekenttä, jossa on kuvaus hetkellä ollut turvetta, havualitetta ja kuorta kasoissa (kuva 4).



KUVA 4. Turvetta, havualitetta ja kuorta polttoainekentällä Mäntässä (Kuva: Jenni Mäkinen 2014)

4.4 Turpeen ja puun tuhkien ominaisuudet

Puun tuhka sisältää metsästä lähtöisin olevia ravinteita ja hivenaineita. Typpi poistuu poltossa savukaasujen mukana, joten puun tuhka ei sisällä typpeä. Puun tuhka sisältää noin 1 % fosforia (P), noin 2 % kaliumia (K) ja magnesiumia (Mg) sekä 10-30 % kalsiumia (Ca). Puun tuhkassa on myös jonkin verran puun sisältämiä raskasmetalleja kuten lyijyä (Pb), nikkeliä (Ni), kadmiumia (Cd), arseenia (As) ja kromia (Cr). Puun tuhkan pH- arvo on 9-13. (Isännäinen, Rinne, Järvelä & Lindh 2003-2006, 6–7.)

Puupolttoaineiden laaduissa ja tuhkapitoisuuksissa on paljon vaihtelua. Tuhkan laatuun vaikuttaa esimerkiksi puun kasvupaikka ja puunosat, jotka poltetaan. Tuhkapitoisuudet vaihtelevat esimerkiksi runkopuun, kuoren ja hakkuutähteen välillä. Tuhkapitoisuus on suurin puun kasvavissa osissa. Turpeen tuhka sisältää vähemmän ravinteita kuin puun tuhka ja erityisesti kaliumia on vähemmän. Raskasmetallipitoisuudet ovat arseenia lukuun ottamatta pienempiä kuin puun tuhalla. Turpeen tuhkan rakeistuvuusominaisuudet ovat huonommat kuin puuntuhkalla. (Isännäinen, Rinne, Järvelä & Lindh 2003-2006, 6–7.)

4.5 Turpeen ja puun seospoltto

Turpeen ja puun seospoltolla on positiivisia polttoteknisiä vaikutuksia. Seospoltossa puu ja turve palavat yhdessä puhtaammin ja samalla kuluttavat vähemmän kattilaa. Puupolttoaineet sitovat turpeessa olevaa rikkiä, kun taas turve torjuu puun aiheuttamia syövyttäviä vaikutuksia. Turpeessa oleva rikki sitoo puupolttoaineissa olevaa klooria, joka aiheuttaa korroosioita lämmönsiirtopinnoille. Turpeen ja puun seospoltto vähentää petimateriaalin ja tuhkan paakkuuntumisesta aiheutuvia käyttöhäiriöitä. (www.turveinfo.fi)

4.6 REF- polttoaineet

Alakankaan (2000, 19) mukaan kierrätyspolttoaineet ovat valmistettu yhdyskuntien ja yritysten polttokelpoisista, syntypaikalla lajitelluista kuivista ja kiinteistä jätteistä (Alakangas 2000, 19). Vuodesta 2000 lähtien Suomessa on ollut käytössä kierrätyspolttoaineiden laadunvalvontaa ja luokitusta määrittelevä standardi SFS 5875. Kierrätyspolttoaineille on määritelty standardissa kolme laatuluokkaa, jotka ovat REF I-III sekä laadunvalvonnan perusmenettelyt. Hyvänlaatuisen kierrätyspolttoaineen luokka on yleensä REF I/II, mikä tarkoittaa, että polttoaineen laatu vaihtelee molemmissa luokissa. Kierrätyspolttoaineen laadunvalvonnassa tarkastellaan esimerkiksi polttoaineen kloori-, rikki-, typpi- ja kaliumpitoisuuksia kuiva-aineessa. (Vesanto ym. 2007, 15; SFS 5875, 10.)

Kierrätyspolttoainetta valittaessa huomioidaan myös kosteus, raskasmetallipitoisuudet ja tiheys (Jalovaara ym. 2003, 28). Palakokoa 50 x 50 mm käytetään yleisesti, sillä tä-

män kokoiset palat menevät vielä polttoainevastaanoton seuloista lävitse. Isommat kappaleet saattavat tulla repaleina seulan ylitse. Toimeksiantajista Äänevoima Oy käyttää osaksi kierrätyspolttoaineita tuotannossaan. (Tourunen A. Haastattelu 20.10.2014.)

4.7 Lietepolttoaineet

Alakankaan (2000, 20) mukaan bioliete syntyy jäteveden biologisessa puhdistamisessa. Metsäteollisuuden biolietteessä on yhdyskuntien puhdistamolietteen tavoin mikrobimassaa, mutta lisäksi myös puun uuteaineita, absorboituneita klooriorgaanisia yhdisteitä ja ligniiniyhdisteitä. (Alakangas 2000, 20.) Mäntän Energia Oy käyttää polttoaineena biolietettä, jossa on sekoitettuna paperitehtaan tuotannossa syntyvää lietettä sekä jäteveden puhdistamon lietettä. Äänevoima Oy polttaa sellutehtaan biologisen puhdistamon kuitu- ja biolietettä.

5 TUHKA

Tuhka on pölymäinen, kiinteä epäorgaaninen jäännöstuote, jota syntyy poltossa. Suurin osa polttoaineiden epäorgaanisista aineista jää tuhkaan. Metsäteollisuuden polttolaitosten tuhka on usein puuperäistä, kun taas muiden voimalaitosten tuhka on pääsääntöisesti syntynyt turpeen ja puun seospoltosta. Puhdasta puun tuhkaa syntyy vain harvoin. (Isännäinen ym. 2003-2006, 6; Tuhkalannoitus 2008, 8.)

Tuhkan ominaisuuksiin (fysikaaliset ja kemialliset) vaikuttavat polttoaineiden laatu ja koostumus, tuhkan talteenottomenetelmä, käytettävä kattilatyyppe ja polttotekniikka. Tästä johtuen tuhkien laatu vaihtelee eri voimalaitosten välillä. Suomessa tuhkalaadut luokitellaan keräyspaikan sekä polttoprosessin polttoainekoostumuksen mukaan. Taulukosta 2 nähdään, miten tuhkalaadut on määritelty Suomessa. (Alakangas ym. 2011, 71; Kiviniemi ym. 2010, 8.)

TAULUKKO 2. Suomessa käytettävät määritelmät (Kiviniemi ym. 2010, 8)

	Nimike	Määritelmä
Keräyspaikka	Pohjatuhka	Kattilan pohjalle kerääntyvä tai poistettavan leijupeti-materiaalin mukana poistuva tuhka
	Lentotuhka	Savukaasuista erotettava tuhka
Polttoaine-koostumus	Kivihiilen poltto	Kivihiilen polton lentotuhka
	Seospoltto	Tavanomaisten polttoaineiden seospoltto
	Rinnakkaispoltto	Jätteiden ja tavanomaisten polttoaineiden rinnakkaispoltto

5.1 Pohja- ja lentotuhka

Polttotekniikalla on vaikutus siihen, kuinka paljon lento- ja pohjatuhkaa syntyy prosessissa. Kiviniemi ym. (2010, 9) ovat kuvanneet polttoprosessityypin vaikutusta tuhkamääriin taulukossa 3 (Kiviniemi ym. 2010, 9). Taulukosta 3 nähdään, että leijupoltossa syntyy lentotuhkaa noin 80-100 %, kun taas pohjatuhkan määrä on 0-20 %. Arinapoltoissa suhteet ovat päinvastaiset eli lentotuhkaa syntyy 5-40 % ja pohjatuhkaa 60-95 %.

TAULUKKO 3. Polttoprosessityypin vaikutus tuhkamääriin (Kiviniemi ym. 2010, 9)

	Leijukerros poltto	Arinapoltto
Lentotuhkan osuus	80–100 %	5–40 %
Pohjatuhkan osuus	0–20 %	60–95 %
Erityistä	-rikinpoistoprosessi -mahdollista polttaa hyvin erilaisia polttoaineita -pohjatuhkassa leijukerros materiaalia eli luonnonhiekkaa -syötetään mahdollisesti kalkkia	-hehikutushäviö usein keskimääräistä suurempi

Leijupoltossa syntyvässä pohjatuhkassa on mukana petihiekkaa. Arinapolton pohjatuhka on partikkelijakaumaltaan suurempaa kuin leijupolton pohjatuhka, mutta se sisältää myös hienompaa tuhka-ainetta. (Kiviniemi ym. 2010, 9.)

5.2 Tuhkan stabiloiminen

Käsittlemättömänä tuhka pölyää paljon ja se on hienojakoista. Tämän vuoksi tuhka on stabiloitava eli sen hienojakoisuutta on vähennettävä. Tuhkaa voidaan stabiloida useilla eri menetelmillä, mutta pääperiaate niissä kaikissa on tuhkan kostuttaminen vedellä. Kostuttamisessa perusreaktio on hidaskäyttö, vaikka yksittäiset rakeet muodostuvat minuuteissa. Kostuttamisen jälkeen kovettuminen jatkuu vielä useiden viikkojen ajan. (Tuhkalannoitus 2008, 8–9.)

5.2.1 Itsekovetus

Itsekovetus on yksinkertaisin menetelmä stabiloida tuhkaa. Tuhkaan sekoitetaan vettä, minkä jälkeen se ajetaan kasaan. Tuhkan annetaan kovettua kasassa. Itsekovetettu tuhka pölisee huomattavasti vähemmän levityksen yhteydessä kuin kovettamaton tuhka. (Tuhkalannoitus 2008, 9.)

5.2.2 Rakeistus

Rakeistus on tehokkain menetelmä stabiloida tuhkaa. Rakeistusmenetelmiä on useita, mutta perusidea on, että kostutettu tuhka sekoitetaan, jotta se muodostaisi rakeita. Ta-

voitteena on saada halkaisijaltaan hieman alle senttimetrin kokoisia rakeita. Rakeistukseen vaikuttaa tuhkan ominaisuudet. Tuhkan tulee olla lämmintä ja se ei saa olla seissyt ulkona. Parhaimpia rakeita saadaan puhtaasta puuntuhkasta. (Tuhkalannoitus 2008, 9–10.)

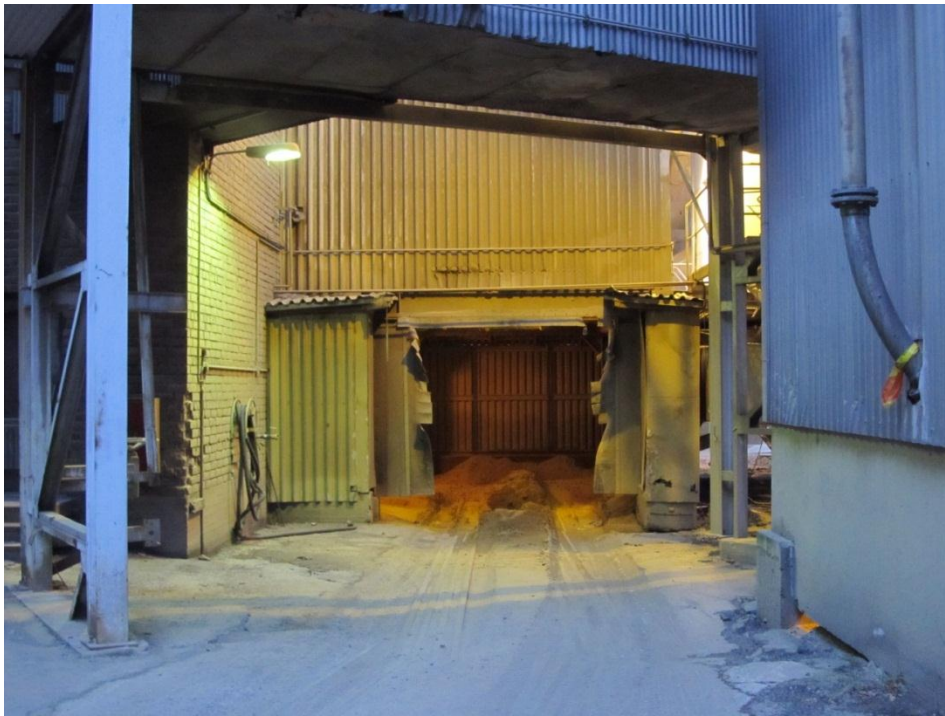
Rakeistettu tuhka kovettuu nopeammin ja pölyää vähemmän kuin itsekovetettu tuhka. Lisäksi rakeistetun tuhkan loppukosteus on yleensä pienempi. Tämän vuoksi sen kuljetus ja levitys on edullisempaa. Rakeistaminen on kalliimpaa kuin itsekovetus, mutta muoto on käyttäjäystävällisempi. (Tuhkalannoitus 2008, 10.)

5.3 Tuhkan kuljetus

Tuhkan kuljetuksessa tulee ottaa huomioon tuhkatyyppi sekä onko tuhkaa käsitelty jotenkin. Nämä lähtökohdat kuljetusta ja käsittelyä suunniteltaessa ovat pohjatuhka, täysin kuiva lentotuhka, kostutettu lentotuhka sekä sideaineella jalostettu lentotuhka. Tuhkan käsittely-, varastointi- ja kuljetusmenetelmät tulee valita hyötykäyttökohteen mukaan, sillä lentotuhkan ympäristölliset ja tekniset ominaisuudet saattavat muuttua logistisen ketjun aikana. Tämän vuoksi laadunvalvonnalla on suuri merkitys jokaisessa ketjun vaiheessa. Keskeisessä asemassa on vesipitoisuuden hallinta, jolla voidaan vaikuttaa materiaalin laatuun sekä käsittelyn ja kuljetuksen taloudellisuuteen. (Kiviniemi ym. 2010, 46.)

Kuiva lentotuhka pölyää herkästi. Kuivan lentotuhkan siirtäminen tapahtuu pneumaattisesti säiliöstä toiseen ja sitä kuljetetaan joko tiiviskonteissa tai säiliöautoilla. Pölyämättömäksi kostutettua lentotuhkaa voi kuljettaa tiiviisti peitettynä kiviaineksen kuljetukseen soveltuvalla kalustolla. Ennen käsittelyä on suositeltavaa kastella varaston pintaa, sillä lentotuhka kuivuu nopeasti lämpimässä ja tuulisessa paikassa. Leijukerros-poltossa syntyvää pohjatuhkaa voi käsitellä kuten luonnonhiekkää. (Kiviniemi ym. 2010, 47.)

Mäntän Energia Oy:n lentotuhka kostutetaan tuhkanpoistoruuvilla ja se puretaan suoraan kuorma-auton vaihtolavalle, jossa se kuljetetaan varastoalueelle. Pohjatuhka ajetaan pyöräkuormaajalla hiekkabunkkerista varastoalueelle. Mäntän Energia Oy:n tuhkanpoistopaikka on kuvattuna alla (kuva 5).



KUVA 5. Tuhkan purkupaikka Mäntässä (Kuva: Jenni Mäkinen 2014)

Äänevoima Oy:n lentotuhka voidaan purkaa tuhkapurkupaikan (kuva 6) siilosta kuivana tai tuhkanpoistoruuvien avulla kostutettuna. Mikäli lentotuhka puretaan kuivana, se kuljetetaan säiliöautolla suoraan hyötykäyttöön. Kostutettuna lentotuhka kuljetetaan vaihtolavalla välivarastointialueelle, josta se kuljetetaan hyötykäyttöön. Vaihtoehtoisesti lentotuhka voidaan kuljettaa myös kostutettuna suoraan hyötykäyttöön. Äänevoima Oy:n pohjatuhka kerätään vaihtolavalle, millä se kuljetetaan hyötykäyttöön.



KUVA 6. Äänevoima Oy:n tuhkan purkupaikka (Kuva: Jenni Mäkinen 2014)

Kumpuniemen Voima Oy:n lentotuhka kerätään molemmista kattiloista (Pyroflow- ja arinakattila) kuivana umpinaiisiin siloihin, joilla se kuljetetaan voimalaitoksen alueella olevalle varastointikentälle. Pyroflow- kattilan tuhkan keräyssilo on kuvassa 7. Arinakattilan pohjatuhka kerätään märkänä vaihtolavalle, millä se kuljetetaan varastoalueelle. Pyroflow- kattilan pohjatuhka viedään vaihtolavalla omalle varastoalueelle voimalaitoksella, jonka jälkeen se käytetään hyödyksi maarakentamisessa.



KUVA 7. Kumpuniemen Voima Oy:n lentotuhkasiilo (Kuva: Jenni Mäkinen 2014)

5.4 Tuhkan varastointi

Tuhkan varastoinnin suunnittelu on erityisen tärkeää, sillä varastointimuoto ja aika vaikuttavat tuhkan laatuun. Tuhkan varastoinnin, käsittelyn ja kuljetuksen suunnittelu tulee lähteä käyttötarkoituksesta. Vesipitoisuuden hallinta on niissä keskeisessä roolissa, koska se vaikuttaa tuhkan laatuun ja logistiikan taloudellisuuteen ja toimivuuteen. (Kiviniemi ym. 2010, 46.)

Tuhkien varastointi on luvanvaraista toimintaa. Tuhkaa voi varastoida kuivana siiloissa tai hienojakoisen materiaalin varastointiin soveltuvissa halleissa. Kuivavarastoinnissa keskeisin asia on purkutekniikka. Purkulaitteisiin yhdistämällä sekoittimen voi tuhkan sekaan lisätä vettä tai sideainetta purkamisen yhteydessä. (Kiviniemi ym. 2010, 48, 50.)

Vesi heikentää tuhkan ominaisuuksia varastoinnin aikana, mutta joissain tapauksissa kostutettuna varastointi on ainoa taloudellinen tapa varastoida tuhkaa. Tuhkan varastointi kostutettuna on taloudellista esimerkiksi tie- tai kenttärakentamishankkeessa, jossa tarvitaan tuhkaa suuria määriä. Kostutettuna tuhkaa voi varastoida hallitusti suuriin kasoihin läjitettynä tai varastoauomoissa. (Kiviniemi ym. 2010, 49.)

Läjittäminen on yksinkertainen varastointimenetelmä, joka vaatii vähemmän tilaa. Läjittäminen sopii varastointitavaksi, kun tuhka käytetään sellaisenaan. Lentotuhkan varastointi aumassa mahdollistaa suurempien määrien sekoittamisen eli veden tai sideaineen lisäys käy helpommin. Tällöin säästyy ylimääräiseltä tuhkan siirtämiseltä. Läjittämisen tai aumaamisen aikana tuhkaa ei saa tiivistää millään tavalla, sillä kasojen tulee olla löyhiä. Tiivistyessään tuhka alkaa lujittua. Tuhkien varastoalueiksi sopii periaatteessa kaikki kenttäalueet, jotka eivät ole pohjavesialueella. Pohjatuhkan voi varastoida opti-
mikosteudessa, koska vedellä ei ole heikentävää vaikutusta sen laatuun. (Kiviniemi ym. 2010, 49–50.)

Mäntän Energia Oy:n lentotuhka varastoidaan läjittämällä varastoalueelle (kuva 8) voimalaitoksen läheisyyteen. Tuhkaa stabiloidaan tarpeen mukaan kostuttamalla. Pohjatuhka varastoidaan voimalaitoksen alueelle. Äänevoima Oy:n lentotuhka varastoidaan varastoalueelle, joka sijaitsee tehdasintegraatissa. Kumpuniemen Voima Oy:n tuhkat (Pyroflow- ja arinakattilan lentotuhkat sekä arinakattilan pohjatuhka) ajetaan voimalaitoksen alueella olevalle varastoalueelle, jossa ne sekoitetaan keskenään. Sekoitettut tuhkat ajetaan vuokratulle varastoalueelle, josta tuhkat lähtevät hyötykäyttöön. Pyroflow-kattilan pohjatuhka varastoidaan voimalaitoksen alueelle, jossa se hyödynnetään maarakennuksissa.



KUVA 8. Mäntän Energia Oy:n lentotuhkan varastoalue (Kuva: Jenni Mäkinen 2014)

5.5 Ympäristönsuojelu-, jäte- ja jäteverolaki

Tuhkan käsittelyyn liittyy useita eri lakeja ja säädöksiä. Kiviniemen ym. (2010, 8) mukaan tuhka luokitellaan lähtökohtaisesti jätteeksi. Tämän vuoksi tuhkan hyötykäyttöä säätelee ympäristönsuojelu- ja jätelaki sekä niiden alaisissa asetuksissa asetetut säädökset. (Kiviniemi ym. 2010, 8.) Ympäristönsuojelulakia (527/2014) on uudistettu ja se on tullut voimaan pääosin 1.9.2014 alkaen. Ympäristönsuojelulain tavoitteena on esimerkiksi ehkäistä ympäristön pilaantumista, ehkäistä ja vähentää päästöjä, torjua ympäristövahinkoja, torjua jätteiden määrää ja niistä aiheutuvia haitallisia vaikutuksia. Lisäksi ympäristölain tavoitteena on tehostaa arviointia ympäristöä pilaavan toiminnan vaikutuksista. Ympäristölupa on oltava silloin, kun toiminta aiheuttaa ympäristön pilaantumisen vaaran ja toimintaa säädetään ympäristönsuojelulain liitteen taulukossa 1 tai 2. Ympäristölupaa ja sen valvontaa käsitellään Valtioneuvoston asetuksessa ympäristönsuojelusta. (Ympäristönsuojelulaki 527/2014; Valtioneuvoston asetus ympäristönsuojelusta 713/2014.)

Jätelain (646/2011) tarkoituksena on ehkäistä terveydelle ja ympäristölle koituvaa vaaraa tai haittaa, joka johtuu jätteistä tai jätehuollosta. Lisäksi sen tarkoitus on vähentää jätteiden määrää ja haitallisuutta, ehkäistä roskaantumista, varmistaa jätehuollon toimivuus sekä edistää luonnonvarojen kestävästä käyttöä. Jäte on aine tai esine, jonka haltija on poistanut tai on velvollinen poistamaan käytöstä. Jätelain mukaan ainetta tai esinettä ei luokitella jätteeksi vaan sivutuotteeksi, mikäli tuotantoprosessin ensisijaisena tarkoituksena ei ole tuottaa kyseistä tuotetta ja tuote täyttää jätelain mukaiset kriteerit sivutuotteesta eli sillä on esimerkiksi varmuus jatkokäytöstä. Jätelaki velvoittaa ensisijaisesti vähentämään syntyvän jätteen määrää. Mikäli jätettä kuitenkin syntyy, jätteen haltijan on ensisijaisesti valmistettava se uudelleen käyttöä varten tai toissijaisesti jäte on kierrätettävä. Mikäli kierrätystä ei ole mahdollista tehdä, on jäte hyödynnettävä muulla tavoin. Jäte on loppukäsiteltävä, mikäli sen hyödyntäminen ei ole mahdollista. (Jätelaki 646/2011.)

Uusi jäteverolaki tuli voimaan vuonna 2010. Jäteverolain (1126/2010) mukaan jätevero tulee maksaa jätelaissa ja jätehuoltoa koskevassa maakuntalaissa mainitusta aineesta tai esineestä, joka löytyy jäteverolain liitteenä olevasta verotaulukosta. Laki jäteveron muuttamisesta (1072/2014) astui voimaan 1.1.2015 ja sen mukaan jätevero maksetaan valtiolle 55,00€/ tonni, kun jäte toimitetaan kaatopaikalle. Kaatopaikkana ei kuitenkaan

pidetä sellaista aluetta, jossa jäte säilytetään muista jätteistä eroteltuna väliaikaisesti alle kolme vuotta ennen sen käsittelyä tai hyödyntämistä. Verotuksen valvonnasta ja toimitamisesta huolehtii Tulli. (Jäteverolaki 1126/2010; Laki jäteveron muuttamisesta 1072/2014.)

6 TUHKAN HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUDET

6.1 Lannoituskäyttö

Lannoitevalmistelaki (539/2006) ja asetukset lannoitevalmisteista (nro 12/07, 12/08 sekä 09/08) säätelevät tuhkan valmistusta, kuljetusta ja käyttöä. Laissa ja asetuksissa määritellään metsälannoitukseen käytettävien tuhkien tuotannon omavalvonnasta, tuhkien laatuvaatimuksista sekä tuhkille tehtävistä tuoteselostuksista. Tuotannon omavalvonnalla varmistetaan tuotteen laatu ja turvallisuus. (Tuhkalannoitus 2008, 6.)

Puun tuhka soveltuu parhaiten lannoitteeksi turvemaille, joissa on puutetta ravinteista (kalium ja fosfori), mutta luontaisesti riittävästi typpeä. Puun tuhkalla pyritään luonnollisesti palauttamaan puussa olevat ravinteet takaisin luontoon, ravinnehäiriöiden korjaamiseen sekä pH:n nostamiseen metsämaassa. Tuhkaa tarvitaan keinolannoitteeseen verrattuna kymmenen kertaa isompi määrä, mutta vaikutusjakso on pitkä eli vähintään 30 vuotta. (Isännäinen ym. 2003-2006, 6–8.)

Leijukerroskattilan pohjatuhka ei sovellu lannoitekäyttöön siinä olevan petimateriaalin vuoksi, kun taas arinapolton pohjatuhka soveltuu, mikäli se on hyvin palanutta. Arinapolton pohjatuhka sisältää lentotuhkaa vähemmän raskasmetalleja. Leijukerroskattilan lentotuhkalla on hyvät ominaisuudet lannoitekäyttöön. (Isännäinen ym. 2003-2006, 7.)

6.1.1 Metsä- ja peltolannoitus

Lannoitevalmisteena voidaan käyttää puhtaan turpeen, puun tai peltobiomassojen (olki, ruokohelpi, vilja, papu, öljykasvit ja järviruoko) tuhkaa. Tässä yhteydessä tarkoitetaan puhtaalla puulla kuorijätettä, käsitlemätöntä puujätettä, puuhaketta ja kuituainetta sisältävää kasviperäistä jätettä, joka syntyy massasta valmistettavan paperin tuotannon tai ensiömassan tuotannon yhteydessä. Metsälannoitteena voidaan myös käyttää puun ja turpeen seospoltosta syntyvää tuhkaa. Polttoaineissa ei kuitenkaan saa olla epäpuhtauksia kuten maalattua tai kyllästettyä puuta. Luomutuotannon lannoittamiseen soveltuu vain puhdas puun tuhka. (Isännäinen ym. 2003-2006, 5; Suoniitty 2009, 1.)

Elintarviketurvallisuusvirasto Eviran mukaan tuhka tai tuhkatuote, jota tuodaan maahan, valmistetaan markkinoille saattamista varten tai saatetaan markkinoille, on kuuluttava kansalliseen lannoitevalmisteiden tyyppinimiluetteloon. Tuhkan tyyppinimet ovat puun ja turpeen tuhka sekä eläinperäinen tuhka. Puun ja turpeen tuhka- tyyppinimen alta löytyvät metsäkäyttö ja muu käyttö. Muulla käytöllä tarkoitetaan puutarha- ja peltokäyttöä sekä viherrakentamista ja maisemointia. Tuhkan tyyppinimet ja niiden vaatimukset löytyvät Eviran internetsivuilta ja ne on kuvattuna taulukossa 4. (Suoniitty 2009, 1; www.evira.fi)

TAULUKKO 4. Tuhkan tyyppinimet ja tyyppinimikohtaiset vaatimukset
(www.evira.fi)

Tyyppinimi	Vaatimukset
Puun ja turpeen tuhka	<ul style="list-style-type: none"> • Metsäkäytössä P+K vähintään 2,0 %, Ca 6,0 % • Muussa käytössä neutraloiva kyky vähintään 10 % (Ca)
Eläinperäinen tuhka	<ul style="list-style-type: none"> • muodostuu poltettaessa tuotantoeläinten lantaa • P+K vähintään 5,0 %

Taulukkoon 5 on analysoituna toteutuuko puun ja turpeen tuhka- tyyppinimen vaatimukset toimeksiantajien kohdalla. Taulukosta nähdään, että Mäntän Energia Oy:n kohdalla mikään vaatimuksista ei täyty. Mäntän Energia Oy:n lentotuhkaa voidaan tulevaisuudessa mahdollisesti käyttää metsälannoitukseen, jos tyyppinimen vaatimukset täyttyvät. Fosforin ja kaliumin osuutta tuhkassa voi lisätä polttamalla enemmän puuta. Kalsiumin osuutta voi lisätä käyttämällä polttoaineena siistauslietettä tai lisäämällä polttoaineen joukkoon kalkkia. Edellä mainituilla tavoilla on kuitenkin positiivisia ja negatiivisia vaikutuksia, joita täytyy tarkastella ennen kuin niitä on mahdollista käyttää. Opinnäytetyön yhteydessä esille tulleiden asioiden perusteella Mäntän Energia Oy:n lentotuhkan kalsium ja fosfori+kalium -pitoisuuksien parantamiseen kiinnitetään huomiota tulevaisuudessa ja aiheesta saisi tehtyä jatkotutkimuksen. Kumpuniemen Voima Oy:n ja Äänevoima Oy:n lentotuhkat täyttävät tyyppinimen vaatimukset sekä muussa että metsäkäytössä.

TAULUKKO 5. Puun ja turpeen tuhka -tyyppinimen vaatimukset analysoituna voimalaitoksittain

Muu käyttö	Mäntän Energia Oy	Kumpuniemen Voima Oy	Äänevoima Oy
Neutraloiva kyky väh. 10 % (Ca)	ei	kyllä	kyllä
Metsäkäyttö			
P+K vähintään 2 %	ei	kyllä	kyllä
Ca vähintään 6 %	ei	kyllä	kyllä

Lannoitevalmisteen haitalliset metallipitoisuudet eivät saa ylittää annettuja enimmäispitoisuus määriä. Haitallisten metallien enimmäispitoisuudet ovat kuvattuna taulukossa 6. Taulukon 6 raja-arvot eivät koske yleisöltä suljettujen alueiden kuten kaatopaikkojen ja teollisuusalueiden maisemoinnissa käytettäviä tuhkia. (www.evira.fi)

TAULUKKO 6. Haitallisten metallien enimmäispitoisuudet (mg/kg ka) tuhkassa käyttökohteittain (www.evira.fi)

Alkuaine	Metsäkäyttö	Muu käyttö
Arseeni (As)	40	25
Elohopea (Hg)	1,0	1,0
Kadmium (Cd)	25	2,5
Kromi (Cr)	300	300
Kupari (Cu)	700	600
Lyijy (Pb)	150	100
Nikkeli (Ni)	150	100
Sinkki (Zn)	4500	1500

Taulukossa 7 on kuvattuna täyttääkö tarkasteltujen voimalaitoksien lentotuhka haitta-ainepitoisuus- rajat. Taulukosta nähdään, että Mäntän Energia Oy:n lentotuhkan haitta-ainepitoisuudet (mg/kg kuiva-aineessa) alittavat sallitut rajat sekä muussa että metsäkäytössä. Mäntän Energia Oy:n lentotuhkaa ei kuitenkaan voida käyttää metsälannoitteena, koska tyyppinimen vaatimukset eivät täyty tällä hetkellä. Peltolannoituksessa Mäntän Energia Oy:n lentotuhkaa ei voida käyttää, vaikka tyyppinimen vaatimukset täytyisivät, sillä polttoaineena käytetään biolietettä. Kumpuniemen Voima Oy:n ja Äänevoima Oy:n lentotuhkan haitta-ainepitoisuudet alittavat metsäkäytön rajat, mutta eivät

alita muun käytön rajoja kadmiumin (Cd) ja sinkin (Zn) osalta. Myöskään Kumpuniemen Voima Oy:n ja Äänevoima Oy:n lentotuhkaa ei voida käyttää peltolannoituksessa käytettävien polttoaineiden vuoksi, vaikka haitta-ainepitoisuudet alittaisivat sallitut rajat. Toimeksiantajille luovutetaan puun ja turpeen tuhkatyyppinimen vaatimukset ja haitta-ainepitoisuus –taulukot sisältäen lasketut prosentit sekä pitoisuudet (mg/kg kuiva-aineessa). Tiedot on laskettu tuhista tehtyjen analyysien perusteella.

TAULUKKO 7. Haitta-ainepitoisuus vaatimukset voimalaitoksittain (mg/kg kuiva-aineessa)

Haitta-aine	Muu käyttö	Metsäkäyttö	Mäntän Energia Oy	Kumpuniemen Voima Oy	Äänevoima Oy
Arseeni (As)	25	40	kyllä	kyllä	kyllä
Elohopea (Hg)	1	1	kyllä	kyllä	kyllä
Kadmium (Cd)	2,5	25	kyllä	vain metsä-käyttö	vain metsä-käyttö
Kromi (Cr)	300	300	kyllä	kyllä	kyllä
Kupari (Cu)	600	700	kyllä	kyllä	kyllä
Lyijy (Pb)	100	150	kyllä	kyllä	kyllä
Nikkeli (Ni)	100	150	kyllä	kyllä	kyllä
Sinkki (Zn)	1500	4500	kyllä	vain metsä-käyttö	vain metsä-käyttö

Tuhkan tuottajan tulee tehdä ilmoitus elinkeinotoiminnan aloittamisesta Elintarviketurvallisuusvirasto Eviralle ennen lannoitevalmisteen tai sen raaka-aineen markkinoille saattamista. Eviralle tehtävään ilmoitukseen on lisättävä kirjallinen omavalvontasuunnitelma, kuvaus toiminnan järjestämisestä sekä tuotteiden tuoteselosteet. Suomessa lannoitevalmistaja on vastuussa siitä, että tuote esimerkiksi tuhka täyttää lannoitevalmistelaissa määrättyt laatuvaatimukset. Tuoteseloste on luovutettava aina myynnin yhteydessä tuotteen ostajalle tai käyttäjälle. Alla oleva Suoniityn tekemä tuoteselostemalli (kuva 9) löytyy Eviran Tuhkan käyttö lannoitevalmisteenä -ohjeesta. (Isännäinen ym. 2003-2006, 8; Suoniitty 2009, 2–4.)

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

KUVA 9. Tuoteselostemalli tuhkalannoitteelle (Suoniitty 2009, 4)

6.2 Maarakentaminen

6.2.1 MARA-asetus

Tuhkaa voi käyttää maarakentamisessa hyödyksi sellaisenaan, seostettuna toisen apuaineen kanssa, tiivistettynä tai sideainemaisesti. Koska tuhkat ovat luokiteltu jätteiksi, tulee niiden ympäristökelpoisuus osoittaa, jotta niitä voidaan käyttää hyödyksi maarakentamisessa. Ympäristökelpoisuutta arvioidaan haitta-aineiden pitoisuuksilla ja liukoisuuksilla. Tuotteistamattomien tuhkien hyötykäyttö on mahdollista kahdella eri menetelyllä: Ilmoitusmenetelmällä tai ympäristöluvalla. (Kiviniemi ym. 2010, 10, 22, 40.)

Mikäli tuhka alittaa MARA- asetuksessa olevat raja-arvot, tuhka soveltuu hyötykäyttöön ilmoitusperusteella asetuksessa mainittuihin sovelluksiin. Ilmoitus tehdään alueen ELY- keskuksen ja tuhkan hyödyntäminen voidaan aloittaa vasta, kun ilmoitus on rekisteröity. Ilmoituksen tekijä on hyödyntämispaikan haltija tai tuhkan tuottaja hyödyntämispaikan haltijan valtuutuksella. Valtioneuvoston asetuksessa (591/2006) mainittuja soveltamisaloja ovat yleiset tiet, kadut, pyörätiet ja jalkakäytävät, pysäköintialueet, urheilukentät, urheilualueiden ja virkistysalueiden reitit, ratapihat, teollisuus-, jätteenkäsittely- ja lentoliikenteenalueiden varastointikentät ja tiet. Hyödyntämiskohteen tulee olla asetuksen mukainen sekä peitetty tai päällystetty. Tuhkarakenteen paksuus saa olla enintään 150 cm. Jätteen laatua selvitetään perustutkimuksella ja laadunvalvontatutkimuksella. Raja-arvot ovat esitettynä taulukossa 8 asetuksen 403/2009 mukaan. (Kiviniemi ym. 2010, 10, 40; Valtioneuvoston asetukset 403/2009 ja 591/2006.) Mäntän Energia Oy:n lentotuhka sopii käytettäväksi maarakentamisessa.

TAULUKKO 8. Kivihiilen, turpeen ja puuperäisen aineksen polton lento- ja pohjatuhkat sekä leijupetihiekka (Valtioneuvoston asetus 403/2009)

Haitallinen aine	Raja-arvo, mg/kg kuivaainetta	Raja-arvo, mg/kg kuivaainetta				
	Perustutkimukset ¹	Laadunvalvontatutkimukset				
	Pitoisuus	Liukoisuus (L/S = 10 l/kg)	Liukoisuus (L/S = 10 l/kg)	Pitoisuus	Liukoisuus (L/S = 10 l/kg)	Liukoisuus (L/S = 10 l/kg)
		Peitetty rakenne	Päällystetty rakenne	Peitetty rakenne	Päällystetty rakenne	Päällystetty rakenne
PCB ²	1,0					
PAH ³	20/40 ⁴					
DOC ⁵		500	500			
Antimoni (Sb)		0,06	0,18			
Arseeni (As)	50	0,5	1,5	50		
Barium (Ba)	3 000	20	60	3 000		
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			
Vanadiini (V)	400	2,0	3,0	400	2,0	3,0
Sinkki (Zn)	2 000	4,0	12	2 000		
Seleeni (Se)		0,1	0,5		0,1	0,5
Fluoridi (F ⁻)		10	50		10	50
Sulfaatti (SO ₄ ²⁻)		1 000	10 000		1 000	10 000
Kloridi (Cl ⁻)		800	2 400		800	2 400

¹ Katso liitteessä 2 oleva kohta 2.

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

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

⁴ Peitetty rakenne/päällystetty rakenne.

⁵ Liuennut orgaaninen hiili.

Haitta-aineiden liukoisuuksia voi muuttaa lentotuhkassa erilaisilla käsittelyillä, kuten stabiloimalla tai seostamalla. Tällöin lentotuhkan joukkoon lisätään side- tai seosainetta. Toinen tapa on lentotuhkan vanhentaminen, jolloin se varastoidaan kostutettuna. Tällöin tapahtuu mineralisoitumista, joka tarkoittaa, että tietyt haitta-aineet kuten barium ja fluoridi menevät niukkaliukoiseen muotoon. Kolmas tapa on lentotuhkan tiivistäminen, jolloin lentotuhkan lujittuminen ja tiivistyminen vaikuttaa haitta-aineiden liukoisuusiin. On kuitenkin huomioitavaa, että edellä mainitut käsittelyt saattavat parantaa lentotuhkan ympäristökelpoisuutta, mutta vaikutus voi olla myös toisinpäin eli joidenkin haitta-aineiden liukoisuudet saattavat kasvaa käsittelyn jälkeen. (Kiviniemi ym. 2010, 10.)

6.2.2 Ympäristölupa

Ympäristölupia käsittelevät kuntien ympäristölupaviranomaiset ja aluehallintovirasto riippuen yrityksen vuosittain hyödynnettävästä tuhkan määrästä. Mikäli tuotteistamaton tuhka ei täytä MARA- asetuksen vaatimuksia tai mikäli käyttökohde tai tuhkalaatu ei kuulu MARA- asetuksen piiriin, on sen käyttämiseen haettava ympäristölupa. Ympäristöluvan hakemisen käsittelyyn kannattaa varata aikaa 4-10 kuukautta riippuen käsittelevästä viranomaisesta ja esimerkiksi lupien käsittelyruuhkista. (Kiviniemi ym. 2010, 40–41.)

Hyödyntämiskohteelle tulee tehdä työsuunnitelma ympäristölupahakemusta varten. Työsuunnitelmasta tulee ilmetä kuinka paljon ja millä tavoin tuhkaa käytetään hyödyntämiskohteessa. Määrien ja menetelmien lisäksi työsuunnitelmasta tulee käydä ilmi esimerkiksi miten tuhka varastoidaan, mitä menetelmiä käytetään sekä hyödyntämiskohteen tiedot. (Kiviniemi ym. 2010, 41.)

6.3 Tuhkan tuotteistus

Tuhkan tuotteistamisella tarkoitetaan, että tuhka pyritään saamaan jätelainsäädännön ulkopuolelle. Tämän mahdollistaa uusi Euroopan Unionin jätedirektiivi, jossa on niin sanottu sivutuote määritelmä ja End of waste- kriteerit. End of waste- kriteerit tarkoitta-

vat jätteeksi luokittelun päättymiskriteereitä. Tuhkien tuotteistamista on vaikeuttanut se, että sille ei ole selkeää menettelyä. (Kiviniemi ym. 2010, 9.)

Tuotteistamisprosessin jälkeen tuhka tulee tuotesäätelyynpiiriin, mikä tarkoittaa, että sen valmistukseen ja käyttöön sovelletaan kemikaalilainsäädäntöä ja REACH- asetusta. REACH- asetusta (N:o 1907/2006) on Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus, joka säätää kemikaalien lupamenettelyä, rekisteröintiä ja arviointia. REACH- asetusta koskee kaikkia aineita, vaikka se on kemikaaliasetus. Mikäli tuhka on tuotteistettu ja sitä tullaan käyttämään maarakentamisessa, on selvitettävä tuhkan tekniset ominaisuudet. Käytettävä polttoainekoostumus vaikuttaa tuhkan teknisiin ominaisuuksiin. Tärkeimpiä selvitettäviä ominaisuuksia maarakentamisen kannalta ovat lämmönjohtavuus, routivuus, lujittumispotentiaali, maksimikuivairtoisuus, jäätymis-sulamisrasituskestävyys sekä optimivesipitoisuus. Näiden ominaisuuksien lisäksi tulee myös selvittää haitta-ainepitoisuudet ja liukoisuudet. (Kiviniemi ym. 2010, 9; Punta & Tolvanen 2011, 38.)

Tulevaisuudessa saattaa olla mahdollisuus osoittaa tuotteistamisprosessin läpikäyneiden tuotetuhkien vaatimusten mukaisuus CE- merkinnällä, joka on EU- direktiiveihin perustuva vaatimustenmukaisuusmerkintä (Kiviniemi ym. 2010, 9).

6.4 Kuitutuhka

Kuitusavea ja tuhkaa sekoittamalla saadaan kuitutuhkaa. Seossuhde vaihtelee 1:2-2:1 välillä. Kuitusavi tarkoittaa primäärilietettä, joka syntyy paperitehtaan jätevedenkäsittelystä. Primääriliete sisältää kuituja sekä päällystetystä täytepigmenttien seosta. Lisäksi kuitusavea syntyy uusiomassan valmistuksessa syntyvästä siistausjätteestä. Siistausjäte sisältää painovärejä, kuitumateriaalia sekä paperintäyteainetta eli kaoliinisavea. Kuitusaven hyödyntämisessä tulee ottaa huomioon, että se sisältää orgaanista ainesta eli siitä liukenee orgaanista hiiltä. (Kiviniemi ym. 2010, 19.)

Metsä Tissue Oyj:n kuitusavi jalostetaan uusiomassaproessin sivutuotteesta. Mäntän kuitusaven ympäristökelpoisuutta ja teknisiä rakenneominaisuuksia on tutkittu standardoitujen tutkimusmenetelmien avulla. Mäntän Kuitusavi on vedenläpäisyiltään joko 1×10^9 m/s tai 1×10^8 m/s. Syntyvän kuitusaven ominaisuudet riippuvat käytettävästä raaka-ainesta. Kuitenkin riippumatta raaka-ainesta syntyvä kuitusavi täyttää maarakennus

ja kaatopaikkakelpoisuusvaatimukset, sillä sen ympäristökelpoisuus on analysoitu. (Mäntän kuitusavi RT- tarviketieto 2013, 1.)

Kuitutuhka sopii hyvin tierakentamiseen. Se on kevyttä routaa eristävää materiaalia, jota on helppo käsitellä ja joka kestää myös hyvin muodonmuutosta. Kuitutuhka hyödynnetään yleensä stabiloituna ja käytettävällä seosaineella voi vaikuttaa kuitutuhkan ominaisuuksiin kuten routakäyttäytymiseen. Myös kuitusaven ja tuhkan osuuksia muuttamalla voi vaikuttaa kuitutuhkan ominaisuuksiin. Kuitusavea lisäämällä kuitutuhkan muodonmuutoskestävyys paranee, kun taas lentotuhkaa lisäämällä voi parantaa materiaalin rakenteen jäykkyyttä ja lujuutta. Kuitutuhka hyödynnetään yleensä tien jakavaan kerrokseen. (Kiviniemi ym. 2010, 19.)

Mäntän Energia Oy:n tuotannossa syntyvän lentotuhkan hyödyntämiseen voisi yhdistää enemmän Metsä Tissue Oyj:n tuotannossa syntyvää kuitusavea. Tähän mennessä Metsä Tissue Oyj:n kuitusavea ja Mäntän Energia Oy:n lentotuhkaa on käytetty jonkin verran yhdessä.

7 TUHKIEN HYÖTYKÄYTÖN KUSTANNUKSET

7.1 Jako- ja lisäyslaskenta

Jakolaskenta (process costing) on peruslaskentajärjestelmä, jossa tietyn kauden aikana syntyneet kustannukset jaetaan saman kauden tuotantomäärällä. Jakolaskenta soveltuu käytettäväksi, kun yhdellä prosessilla tuotetaan yhtä tuotetta. (Suomala, Manninen & Lyly-Yrjänäinen 2011, 106; Neilimo, Uusi-Rauva 2005, 127.) Lisäyslaskennassa eri tuotteisiin kohdistuu eri määrä kokonaiskustannuksista. Jakolaskennan ja lisäyslaskennan ero on juuri tässä eli ei ole sopivaa käyttää jakolaskentaa, jos tuotteisiin ei kohdistu saman verran kustannuksia. (Bhimani & Tianjing 2008, 96.)

Laskentatavaksi on valittu jakolaskenta, koska tarkoituksena on löytää tapa hyödyntää tuhkaa mahdollisimman pienin kustannuksin. Tuhkasta ei saa myyntituloja ellei yritys halua jatkojalostaa sitä. Jatkojalostus lisää kustannuksia ja siihen pitäisi investoida myös laitteita. Koska kyseessä ei ole päätuote vaan sivutuote, jota syntyy päätuotteen ohella, voimalaitoksien pääprioriteettina ei ole panostaminen tuhkan jalostamiseen. Tästä johtuen laskentataulukon tarkoitus on kartoittaa syntyvät kustannukset sekä löytää edullisin vaihtoehto kullekin toimeksiantajalle. Kustannukset on jaettu voimalaitoksittain pohjatuhkan ja lentotuhkan kustannuksiin.

7.2 Lentotuhkan kustannukset

Kustannuksien laskennassa on aluksi selvitetty voimalaitoksilla syntyvät käsittelykustannukset sekä mahdolliset varastointiin liittyvät kustannukset. Tämän jälkeen on laskettu hyötykäyttökohtaisesti vuosittaiset kokonaiskustannukset, jotka on jaettu tonneille. Esimerkki lentotuhkan kustannuslaskentamallista on esitettyä liitteessä 1. Kumpunien Voima Oy:n osalta lentotuhkan kustannukset on jaettu kuivaan ja märkään lentotuhkaan, koska painolla on oleellinen merkitys syntyviin kuljetuskustannuksiin. Kuivan ja märän lentotuhkan vuosittaiset käsittelykustannukset on laskettu yhteen ja yhteenlasketut kustannukset on jaettu tonneille. Lentotuhkan hyötykäytön viitteelliset kustannukset ovat koottuna yhteen taulukossa 9.

TAULUKKO 9. Yhteenveto lentotuhkan hyötykäytön kustannuksista (hinnat ovat viitteellisiä)

lentotuhka ALV 0% €/tonni	Mäntän Energia Oy	Äänevoima Oy	Kumpuniemen Voima Oy
metsälannoitus	-	8,00 €	-
metsälannoitus välivarastosta	-	20,00 €	25,00 €
maarakennus	27,00 €	-	-
maarakennus ilman alihankkijaa	9,00 €	-	-
kaatopaikka	70,00 €	65,00 €	80,00 €
kaatopaikka hyötykäyttö	15,00 €	4,00 €	-

Tuhkien kustannuksia ei voida verrata eri toimeksiantajien kesken, mutta tarkoituksena on löytää kullekin toimeksiantajalle edullisin vaihtoehto tuhkan hyödyntämiseen. Kustannuksia ei voida verrata, koska toimeksiantajat tuottavat erilaisia määriä tuhkaa vuodessa, jolloin käsittelykustannuksien rakenne poikkeaa toisistaan merkittävästi. Lisäksi välimatkat ovat suuret esimerkiksi vietäessä tuhkaa maarakennus- tai metsälannoituskäyttöön tuhkan välitys-/jatkojalostusyritykselle, koska yksi voimalaitoksista on kolminkertaisen matkan päässä jalostustehtaasta verrattuna kahteen muuhun voimalaitokseen. Tuhkat poikkeavat myös ominaisuuksiltaan toisistaan niin, että niitä kaikkia ei voida käyttää jokaiseen hyötykäyttökohteeseen.

Mäntän Energia Oy:n lentotuhkan käsittelykustannukset voimalaitoksella muodostavat suuren osan syntyvistä kustannuksista, koska tuhka tulee ajaa välivarastolle pienissä erissä ennen hyötykäyttöä. Tämä johtuu tuhkan purkupaikasta, josta ei voida hakea tuhkaa kuin kustutettuna vaihtolavalla. Tuhkan purkupaikan uusiminen vaatisi suuren investoinnin. Kuten taulukosta 9 nähdään, tuhkan maarakennuskäytön kustannukset olisivat 27,00 €/tonni, kun tuhka kuljetettaisiin jatkojalostustehtaalle. Tällöin suurin kustannus tulisi kuljetuksesta, koska matka olisi noin 170 kilometriä. Kaatopaikalle hyötykäyttöön toimitettaessa tuhkan kustannukset syntyvät käsittelystä voimalaitoksella sekä kuljetuksesta ja käsittelystä kaatopaikalla. Tuhkan kustannukset olisivat tällöin 15,00 €/tonni. Mikäli tuhka joudutaan kuljettamaan kaatopaikalle verollisena, tuhkasta tulee maksaa edellä mainittujen kustannuksien lisäksi jätevero 55,00 €/tonni.

Mäntän Energia Oy:n edullisin vaihtoehto lentotuhkan hyötykäyttöön on löytää läheltä voimalaitosta maarakennushyötykäyttökohteita, jolloin kuljetuskustannukset pysyvät alhaisina. Kustannukset vaihtelevat hyötykäyttökohteen mukaan. Esimerkkinä taulukossa 9 on laskettu, että kustannuksia syntyisi maarakennushyötykäyttökohteessa 9,00 €/tonni. Mäntän Energia Oy:n toiminnassa syntyvä lentotuhka ei sovellu tällä hetkellä

metsälannoituskäyttöön, koska tuotannossa polttoaineena käytettävän turpeen osuus on liian suuri polttoainesekoituksesta. Tästä johtuen ravinnepitoisuudet ovat liian alhaiset.

Äänevoima Oy:n tuotannossa syntyvä lentotuhka käy metsälannoitukseen, jolloin se on paras hyötykäyttötapa. Kannattavinta olisi purkaa tuhka siilosta suoraan yhdistelmäajoneuvoon ja viedä se jatkojalostukseen, jolloin hinta olisi 8,00 €/tonni. Jos tämä ei kuitenkaan onnistu, hinnaksi tulee välivaraston kautta 20,00 €/tonni. Tällöin kustannuksiin vaikuttavat ylimääräinen kuljetus ja kuormaus (taulukko 9).

Mikäli katsotaan pelkkiä kustannuksia, on metsälannoitusta edullisempaa käyttää Äänevoima Oy:n lentotuhka kaatopaikalla hyödyksi maarakennukseen, jolloin hinta olisi 4,00 €/tonni. Tällöin kustannukset muodostuvat pelkästä kuljetuksesta olettaen, että tuhka ei kävisi välivarastossa. Mikäli tuhka menisi hyötykäyttöön kaatopaikalle välivaraston kautta, olisi hinta 12,00 €/tonni. On kuitenkin otettava huomioon, vaikka kaatopaikalle hyötykäyttöön vieminen on halvinta, ei voida tietää kauanko viranomaiset hyväksyvät sen hyötykäyttömahdollisuutena. Mikäli tuhkaa ei voisi käyttää mitenkään hyödyksi, olisi sen hinta kaatopaikalle verollisena vietäessä 65,00 €/tonni (taulukko 9).

Kumpuniemen Voima Oy:ssä tuhkaa syntyy kahteen muuhun voimalaitokseen verrattuna vähemmän. Tällöin tuhkaa joudutaan ensin siirtämään pienissä erissä sekoituspaikalle, josta se siirretään välivarastoon. Tällöin käsittelykustannukset voimalaitoksella muodostavat suurimman osan kustannuksista. Mikäli tuhkaa voisi hyödyntää pienemmissä erissä ilman sekoitusta ja välivarastointia, olisi se huomattavasti kustannustehokkaampaa. Kumpuniemen Voima Oy:n lentotuhka kelpaa metsälannoitukseen, jolloin se on paras tapa hyödyntää tuhkaa. Metsälannoituksen hinta välivarastoinnin jälkeen on 25,00 €/tonni. Mikäli tuhkaa ei voisi käyttää hyödyksi ja se täytyisi viedä kaatopaikalle, muodostuisi hinnaksi 80,00 €/tonni. Kumpuniemen Voima Oy:n etuna ovat pienet kuljetuskustannukset ja kustannuksia pystyisi alentamaan, mikäli tuhkan käsittelyä saisi vähennettyä voimalaitoksella (taulukko 9).

7.3 Pohjatuhkan kustannukset

Pohjatuhkan kustannuksissa on otettu huomioon sen käsittelykustannukset voimalaitoksella. Tämän lisäksi on toimeksiantajittain otettu huomioon mahdolliset kuljetus-, allo-

kointi- ja levitys- /muokkaukustannukset. Pohjatuhkien hyötykäytön viitteelliset kustannukset ovat koottuna yhteen taulukossa 10. Mikäli pohjatuhkaa ei voisi käyttää hyödyksi maarakentamisessa, tulisi sen kaatopaikalle viemisestä kustannuksia vaihdellen voimalaitoksittain noin 60,00–67,00 €/tonni (taulukko 10). Esimerkki pohjatuhkan kustannuslaskentamallista on esitettyä liitteessä 2.

TAULUKKO 10. Yhteenveto pohjatuhkien hyötykäytön kustannuksista (hinnat ovat viitteellisiä)

pohjatuhka ALV 0% €/tonni	Mäntän Energia Oy	Äänevoima Oy	Kumpuniemen Voima Oy
maarakennus	6,00 €	-	10,00 €
kaatopaikka	63,00 €	60,00 €	67,00 €
kaatopaikka hyötykäyttö	-	5,00 €	-

8 POHDINTA

Opinnäytetyötä tehdessä selvisi, että kaikilla kolmella toimeksiantajalla on erilainen tuhkien kustannusrakenne. Tämä johtuu voimalaitoksien koosta ja sijainnista sekä syntyvien tuhkien laadusta. Voimalaitokset tuottavat erilaisia määriä tuhkaa, mikä vaikuttaa niiden käsittelykustannuksiin. Tuhkien laatu vaihtelee voimalaitoksien välillä käytettävien polttotekniikoiden ja eri polttoaineiden takia. Tämän vuoksi tuhkat eivät sovellu kaikkiin mahdollisiin hyötykäyttökohteisiin. Voimalaitoksien välistä vertailua on vaikea suorittaa edellä mainittujen syiden vuoksi.

Mäntän Energia Oy:n lentotuhka ei sovellu lannoitekäyttöön tällä hetkellä, joten sille on löydettävä maarakennuskäyttökohde. Kustannuslaskentamallin luomisessa selvisi, että Mäntän Energia Oy:n tuhkien purkuun ja käsittelyyn voisi panostaa, jolloin käsittelykustannuksia saisi alaspäin. Kustannuksien selvityksen jälkeen paras vaihtoehto lentotuhkan hyötykäyttöön on löytää läheltä voimalaitosta maarakennushyötykäyttökohteita, jolloin kuljetuskustannukset pienenevät. Lentotuhkan kuljetus jatkojalostajalle maarakennuskäyttöön ei ole kannattavaa suurien kuljetuskustannuksien vuoksi. Tämä on kuitenkin hyvä vaihtoehto kaatopaikan sijaan, mikäli hyötykäyttökohdetta ei löydy voimalaitoksen läheisyydestä. Panostamalla lentotuhkan purkulaitteistoon ja laatuun, voisi lentotuhkaa käyttää jatkossa mahdollisesti metsälannoitteena. Tällöin on kuitenkin laskeettava kuljetuskustannukset uudelleen.

Äänevoima Oy:n lentotuhkan kustannustehokkain hyötykäyttö olisi maarakennuskäyttö kaatopaikalla ilman välivarastointia. Lentotuhka soveltuu kuitenkin usein metsälannoitteeksi, joten tämä käytötapa on ekologisesti parempi. Äänevoima Oy:n tuhkanpurkupaikalta on mahdollista purkaa tuhka suoraan säiliöautoon kuivana, joten tämä olisi taloudellisin tapa toimittaa tuhka hyötykäyttöön. Tällöin tuhkan käsittelykustannukset olisivat alhaisimmat.

Kumpuniemen Voima Oy:n lentotuhkan käsittelykustannuksia saisi pienemmiksi vähentämällä yhden varastoinnin pois eli olisiko mahdollista sekoittaa tuhkat välivarastointipaikalla? Muuten lentotuhkan käsittelyä on hankala vähentää, koska sitä ei ole mahdollista tällä hetkellä kuljettaa suoraan hyötykäyttöön pienien määrien vuoksi.

Pohjatuhkien hyötykäyttö on rajallista, joten toimeksiantajien kustannustehokkain tapa on löytää sille hyötykäyttökohde esimerkiksi tehdasalueelta. Muutoin käsittelykustannukset kuten kuormaus tuo lisää kustannuksia.

Lämpövoimalaitokset tuottavat tuhkaa jatkuvasti myös tulevaisuudessa. Tiukentuvien lakien ja määräysten sekä kestävä kehityksen vuoksi voimalaitosten päättäjien tulisi harkita tuhkien laadun, käsittelylaitteiden ja -menetelmien parantamista. Investoinneilla voisi mahdollisesti vähentää tuhkasta muodostuvia kustannuksia pidemmällä aikavälillä.

LÄHTEET

Ajankohtaista jätelain uudistuksesta. 2012. Ympäristöministeriö. Luettu 12.11.2014.
<http://www.ym.fi/download/noname/%7BD44928EA-92D5-4426-903C-5C4972CA2E39%7D/24315>

Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Luettu 9.9.2014.
http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/33382/JAMKJULKAISUJA1202011_web.pdf?sequence=1

Alakangas, E., Hölttä, P., Juntunen, M. & Vesisenaho, T. 2011. Energiaturpeen tuotantotekniikka. Luettu 8.9.2014.
http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/33382/JAMKJULKAISUJA1202011_web.pdf?sequence=1

Alakangas, E., Kanervirta, M.-L. & Kallio, M. 1987. Kotimaisten polttoaineiden ominaisuudet. Käsikirja. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita 762.

Bhimani, A. & Tianjing, D. 2008. Management and Cost Accounting. 4. Painos. Harlow : Prentice Hall/Financial Times.
<https://www.dawsonera.com/abstract/9781408212127>

Energiateollisuus Ry –kotisivut. Metsäenergia. Luettu 22.10.2014.
<http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet/metsaenergia>

Energiateollisuus Ry –kotisivut. Kiinteät jätteet. Luettu 12.11.2014.
<http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/ymparisto-ja-kestava-kehitys/ymparistovaikutukset/kiinteat-jatteet>

Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2000. Höyrykattilatekniikka. 5. Uusittu painos. Helsinki: Oy Edita Ab.

Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2011. Voimalaitostekniikka. 1-1. painos. Tampere: Juvenes Print.

Isännäinen, S., Rinne, S., Järvelä, E. & Lindh, T. Tuhkan käyttö metsälannoitevalmisteenä. Tiedote on osa RecAsh- projektia 2003-2006. Luettu 4.9.2014.
[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)

Jalovaara, J., Aho, J., Hietämäki, E. & Hyytiä, H. 2003. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) 5-50 MW:n polttolaitoksissa Suomessa. Suomen ympäristökeskus. Luettu 3.9.2014.
https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40560/SY_649.pdf?sequence=1

Jätelaki 17.6.2011/646. Luettu 6.11.2014.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110646?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=j%C3%A4telaki>

Jäteverolaki 17.12.2010/1126. Luettu 6.11.2014.

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2010/20101126?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=j%C3%A4teverolaki>

Kauppalehti- kotisivut. Luettu. 20.10.2014.

<http://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/aanevoima+oy/16340907>

Kiviniemi, O., Sikiö, J., Jyrävä, H., Ollila, S., Autiola, M., Ronkainen, M., Lindroos, N., Lahtinen, P. & Forsman, J. 2010. Tuhkarakentamisen käsikirja. Energiantuotannon tuhkat väylä-, kenttä- ja maarakenteissa. Ramboll. Luettu 16.9.2014.

http://www.infrary.fi/files/3985_Tuhkarakentamisen_kasikirja.pdf

Kytö, M., Äijälä, M. & Panula, E. 1983. Metsäenergian käyttö ja jalostus. Osa 8. Puun ominaisuudet ja energiakäyttö. Kirjallisuustutkimus. Espoo. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tiedotteita 237.

Laki jäteveron muuttamisesta 1072/2014. Luettu 1.2.2015.

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20141072>

Lustig, T. 2014. KVO pa ja tuhka lyhyt- diaesitys. Luettu 20.10.2014.

Lustig, T. Käyttöpäällikkö. 2014. Haastattelu 15.10.2014. Haastattelija Mäkinen, J. Suolahti.

Metsä Group- kotisivut. Luettu 17.10.2014.

<http://www.metsagroup.fi/Metsagroup/Pages/Default.aspx>

<http://www.metsagroup.fi/Taloustietoa/Pages/Default.aspx>

Mäntän kuitusavi- RT-tarviketieto. 2013. Metsä- Tissue Oyj/Finncao Oy. RT 38420. SR/Paino-Arra Oy. Luettu 17.11.2014.

<http://www.rttuotetieto.fi/rakennustuotteet/maa-ja-aluerakennustuotteet/maa-ainekset/savi/tuotekortti/38420/mantan-kuitusavi-finncao-oy-metsa-tissue-oyj>

Neilimo, K. & Uusi-Rauva, E. 2005. Johdon laskentatoimi. 6. uudistettu painos. Helsinki: Edita Prima Oy.

Punta, E. & Tolvanen, H. 2011. Metsäteollisuuden sivutuote- ja jätevirrat teollisena raaka-aineena – lait ja määräykset. Linnunmaa Oy. Luettu 12.11.2014.

<http://www.linnunmaa.fi/binary/file/-/id/40/fid/200/>

Raiko, R., Kurki-Suonio, I., Saastamoinen, J. & Hupa, M. 1995. Poltto ja palaminen. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

SFS 5875. 2000. Suomen Standardisoimisliitto SFS.

Suomala, P., Manninen, O. & Lyly-Yrjänäinen, J. 2011. Laskentatoimi johtamisen tukena. 1. painos. Helsinki: Edita Prima Oy.

Suoniitty, T. 2009. Tuhkan käyttö lannoitevalmisteena. Elintarviketurvallisuusvirasto Evira.

http://www.evira.fi/files/attachments/fi/kasvit/lannoitevalmisteet/ohjeet/12502_02_tuhkan_kaytto_lannoitevalmisteena.pdf

Tolppanen, R. 2013. ÄVO esittelydiat 2013 suomeksi. Luettu 20.10.2014.

Tourunen, A. Käyttöpäällikkö. 2014. Haastattelu 20.10.2014. Haastattelija Mäkinen, J. Mänttä-Vilppula.

Tuhkalannoitus. 2008. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Porvoo: tt-urex.

Turveinfo.fi. Luettu 8.9.2014.

<http://www.turveinfo.fi/kayttotavat/energiakaytto/turve-ja-puu-yhdessa>

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 28.6.2006/591. Luettu 6.11.2014.

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060591?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=591%2F2006>

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa annetun valtioneuvoston asetuksen liitteiden muuttamisesta 403/2009. Luettu 11.11.2014.

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090403?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=403%2F2009>

Valtioneuvoston asetus ympäristönsuojelusta 713/2014. Luettu 6.11.2014.

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140713?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=713%2F2014#Lidp2187328>

Vesanto, P., Hiltunen, M., Moilanen, A., Kaartinen, T., Laine-Ylijoki, J., Sipilä, K. & Wilén, C. 2007. Kierrätyspolttoaineiden ominaisuudet ja käyttö. VTT tiedotteita 2416. Helsinki: Edita Prima Oy.

Von Post, L. 1922. Sveriges Geologiska Undersöknings torv- inventering och några av dess hittills vunna resultat. Svenska Mosskulturföreningens Tidsskrift 1.

Ympäristönsuojelulaki 27.6.2014/527. Luettu 7.11.2014.

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140527>

LIITTEET

Liite 1. Lentotuhkan kustannuslaskentamalli

KUSTANNUSLASKENTAMALLI										
Yritys Oy										
leijukerroskattila										
lentotuhkan kustannukset										
ALV 0 %										
lentotuhka										
0 tonnia/ vuosi										
0 tuntia/ vuosi Kuljetusliike Oy										
METSÄLANNOITEKÄYTTÖ										
0 %										
	kuorma (t)	tunnit (h)/ kuorma	hinta €/t	hinta €/h	hinta €// kuorma	kuormat/ vuosi	tunnit/ vuosi	tonnit /vuosi	yhteensä €/t	kokonaishinta / vuosi
purku ja kuljetus lannoitekäyttöön			- €					0	- €	- €
METSÄLANNOITEKÄYTTÖÖN VÄLIVARASTON KAUTTA										
0 %										
	kuorma (t)	tunnit (h)/ kuorma	hinta €/t	hinta €/h	hinta €// kuorma	kuormat/ vuosi	tunnit/ vuosi	tonnit /vuosi	yhteensä €/t	kokonaishinta / vuosi
purku ja kuljetus välivarastoon			- €	- €			0	0		- €
seulonta ja kuormaus			- €	- €			0	0		- €
kuljetus lannoitekäyttöön			- €					0		- €
Yhteensä									- €	- €
HYÖTYKÄYTTÖÖN KAATOPAIKALLE										
0 %										
	kuorma (t)	tunnit (h)/ kuorma	hinta €/t	hinta €/h	hinta €// kuorma	kuormat/ vuosi	tunnit/ vuosi	tonnit /vuosi	yhteensä €/t	kokonaishinta / vuosi
purku ja kuljetus kaatopaikalle	0	0	- €	- €		0	0	0		- €
Yhteensä									- €	- €
KAATOPAIKKA										
0 %										
	kuorma (t)	tunnit (h)/ kuorma	hinta €/t	hinta €/h	hinta €// kuorma	kuormat/ vuosi	tunnit/ vuosi	tonnit /vuosi	yhteensä €/t	kokonaishinta / vuosi
purku ja kuljetus kaatopaikalle	0	0	- €	- €		0,0	0	0		- €
käsittely kaatopaikalla										
<i>lajitys</i>			- €					0		- €
<i>vaakamaksu</i>			- €					0		- €
jätevero			- €					0		- €
Yhteensä									- €	- €
HUOM! KUSTANNUKSISSA EI OLE OTETTU HUOMIOON KOSTEUDEN LISÄÄNTYMISTÄ VARASTOALUEILLA, MIKÄ VAIKUTTAA TONNIMÄÄRIIN JA SITÄ KAUTTA LISÄÄNTYVÄSTI KUSTANNUKSIIN. KOSTEUDEN MUUTTUMINEN VAIHTELEE VUODENAJASTA RIIPPUEN.										

Liite 2. Pohjatuhkan kustannuslaskentamalli

KUSTANNUSLASKENTAMALLI											
Yritys Oy											
leijukerroskattila	ALV 0%										
pohjatuhkan kustannukset											
kuljetus ja varastointi											
esimerkki maanrakennushyötykäyttö											
	kuorma (t)	tunnit /kuorma	hinta €/t	hinta €/h	hinta €/kuorma	kuormat/vuosi	kiinteät kustannukset /vuosi	tunnit/vuosi	tonnit/vuosi	yhteensä €/t	kokonaishinta /vuosi
kuljetus pyöräkoneella	0	0									
<i>pyöräkoneen vuokra</i>				- €		0		0	0		- €
<i>palkkakustannukset</i>				- €		0		0	0		- €
kuljetus käyttökohteeseen			- €						0		- €
allokointi			- €						0		- €
Yhteensä										- €	- €
KAATOPAIKKA											
	kuorma (t)	tunnit /kuorma	hinta €/t	hinta €/h	hinta €/kuorma	kuormat/vuosi	kiinteät kustannukset /vuosi	tunnit/vuosi	tonnit/vuosi	yhteensä €/t	kokonaishinta /vuosi
käsittely voimalaitoksella											- €
kuljetus kaatopaikalle			- €						0		- €
käsittely kaatopaikalla			- €						0		- €
jätevero			- €						0		- €
Yhteensä										- €	- €
HUOM! KUSTANNUKSISSA EI OLE OTETTU HUOMIOON KOSTEUDEN LISÄÄNTYMISTÄ VARASTOALUEILLA, MIKÄ VAIKUTTAA TONNIMÄÄRIIN JA SITÄ KAUITTA LISÄÄNTYVÄSTI KUSTANNUKSIIN. KOSTEUDEN MUUTTUMINEN VAIHTELEE VUODENAJASTA RIIPPUEN.											