

Voimalaitostuhkan hyötykäyttökohteiden esiselvitys ja kustannusarviointi

Marko Järvinen

Opinnäytetyö

Toukokuu 2020

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Järvinen, Marko	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2020
	Sivumäärä 57	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Voimalaitostuhkan hyötykäyttökohteiden esiselvitys ja kustannusarviointi		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Hytönen Kari, Honkanen Hannariina		
Toimeksiantaja(t) Alva-yhtiöt Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Voimalaitostuhkien korkeat jätteenkäsittelymaksut sekä hyötykäytön korkeat kustannukset ovat saaneet voimalaitostoimijat kehittämään kustannustehokkaampia ratkaisuja voimalaitostuhkien hyötykäyttöön. Tuhkien ominaisuudet vaikuttavat suuresti niiden käytettävyyteen. Erityisesti korkeat haitta-aineiden liukoisuudet vaikeuttavat niiden hyödyntämistä. Tätä voidaan vähentää erilaisilla käsittelymenetelmillä.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä esiselvitys Alva-yhtiöt Oy:n voimalaitostuhkien uusista hyötykäyttökohteista sekä kustannusarviointi. Hyötykäyttökohteiden selvityksissä tuli pyrkiä kiertotalousteeman toteuttamiseen.</p> <p>Uusien hyötykäyttökohteiden kartoitus toteutettiin laitteistotoimittajien, kuljetusyhtiöiden ja tuhkan hyödyntäjien kanssa pidettyjen palaverien ja haastattelujen sekä aiempien tutkimusaineistojen perusteella. Vaihtoehtojen kartoituksessa kerättiin tietoa myös muiden voimalaitosten tuhkan hyödyntämisestä kyselylomakkeella ja puhelinhaastatteluilla. Hyötykäyttökohteiden soveltuvuutta ja riskejä arviointiin SWOT-analyyseillä.</p> <p>Esiselvitysvaiheen tuloksina saatiin arviot uusien hyötykäyttökohteiden taloudellisesta kannattavuudesta sekä ehdotukset jatkoselvityksiä varten tehtävistä tutkimuksista. Esiselvitysvaiheessa saatiin myös tärkeää tietoa tuhkien laadusta, lakien ja asetusten vaikutuksista, tuotteistuksen ja omavalvonnan toimenpiteistä sekä käsittelyn vaikutuksista tuhkan laatuun.</p> <p>Investointeja vaativien vaihtoehtojen takaisinmaksuajat ovat lyhimmillään 2 - 3 vuotta, koska säästöpotentiaalia on paljon. Muissakin vaihtoehtoissa havaittiin huomattavaa säästöpotentiaalia. Pitkät kuljetusmatkat vaikuttavat huomattavasti kustannusrakenteeseen.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Lentotuhka, MARA-asetus, hyötykäyttö		
<p>Muut tiedot</p> <p>Liitteet 2, 3, 4, 5, 6 ja 7 ovat salassa pidettäviä, ja ne on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon peruste Julkisuuslain 621/1999 24§, kohta 17, yrityksen liike- tai ammattisalaisuus. Salassapitoaika kymmenen (10) vuotta, salassapito päättyy 6.2.2030.</p>		

Author(s) Järvinen, Marko	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2020
	Number of pages 57	Language of publication: Finnish
		Permission for web publication: x
Title of publication Preliminary survey and cost estimate for power plant ash utilization solutions		
Degree programme Bachelor's, Degree programme in energy and environmental technology		
Supervisor(s) Hytönen Kari, Honkanen Hannariina		
Assigned by Alva-yhtiöt Ltd.		
<p>Abstract</p> <p>Power plant companies have started to develop new cost-effective ways to utilize power plant ash due to increased waste treatment and utilization expenses. The properties of the ash greatly affect the utilization of power plant ash. Especially high solubility of environmentally hazardous chemicals make utilization difficult. This can be reduced with various processing methods.</p> <p>The target of thesis was to make a preliminary survey of new utilization solutions for Alva-yhtiöt Ltd. power plants ashes and of cost estimates. The new utilization solutions had to follow the principles of circular economy.</p> <p>The survey of new utilization solutions was based on meetings and interviews with the device supplier, transport companies and ash utilization companies, as well as previous research data. To survey the solutions, information on the utilization of ash from other power plants was also collected through a survey and phone interviews. SWOT analysis was used to assess the usability and risks of the utilization solutions.</p> <p>The results of the preliminary survey phase provided estimates of the economic viability of the new solutions, as well as proposals for further research. The preliminary survey phase also provided important information on the quality of the ashes, the effects of laws and regulations, productization and self-monitoring measures, and the effects of process on the quality of the ashes.</p> <p>The solutions that require investments have payback periods of about 2 to 3 years due to high savings potential. Significant savings potential was also found in other solutions. Long transport distances have a significant impact on the cost structure.</p>		
Keywords (subjects) Fly ash, MARA regulation, utilization		
Miscellaneous <i>Appendixes 2, 3, 4, 5, 6 and 7 are confidential and they have been removed from the public thesis. Grounds for secrecy: Act on the Openness of Government Activities 621/1999, Section 24, 17: business or professional secret. Period of secrecy is ten years and it ends 6.2.2030.</i>		

Sisältö

1	Opinnäytetyön lähtökohdat.....	3
1.1	Toimeksianto ja tavoitteet.....	3
1.2	Tutkimusmenetelmät ja aineistonkeruu	3
2	Alva-yhtiöt Oy	4
3	Leijukerrosoltto	5
4	Tuhkan käyttöön vaikuttavat lait ja asetukset	6
4.1	Ympäristönsuojelulaki ja -asetus	7
4.2	Jätelaki, jäteasetus ja jäteverolaki	7
4.3	REACH-asetus ja CLP-asetus	8
4.4	MARA-asetus	9
4.5	Lannoitevalmistelaki ja MMM-asetus	10
4.6	Ympäristöluvan hakeminen ja ilmoitusmenettely	12
4.7	Rakennustuotelainsäädäntö.....	13
5	Tuhkan käyttö lannoitteena	13
5.1	Tuhkan ominaisuudet ja laatuvaatimukset lannoitekäytössä.....	13
5.2	Tuhkalannoitteen vaikutukset.....	15
5.3	Tuhkalannoitteen tuotteistus.....	16
5.4	Valmistus ja varastointi	18
5.5	Tuhkalannoitteen käyttö ja levitys	18
6	Tuhkan käyttö maarakennuskohteissa	19
6.1	Tekniset ominaisuudet ja laatuvaatimukset	19
6.2	Tuhkan tuotteistaminen ja käsittely maarakennukseen.....	20
6.3	Ympäristökelpoisuuden laadunhallinta MARA-asetuksen mukaisesti.....	21
6.4	Tuhkan varastointi ja käyttö.....	24
7	Tuhkan muut käyttökohteet	26
8	Tuhkan käsittely	28
8.1	Stabilointi	28
8.2	Rakeistusmenetelmät.....	29
9	Työn toteutus	32
9.1	Nykytilanteen kartoitus	32
9.2	Haastattelut muille voimalaitoksille.....	34
9.3	Keljonlahden ja Rauhalahden tuhkien ominaisuudet	35
9.3.1	Pohjatuhka	35
9.3.2	Lentotuhka	35
10	Hyötykäyttökohteet ja kustannusarviot	37

10.1 Lentotuhkan rakeistaminen maarakennuskäyttöön.....	37
10.2 Lentotuhka maarakennukseen Yritys X:n rakennuskohteeseen.....	40
10.3 Metsäteollisuuden sivuvirran stabilointi.....	42
10.4 Nykyisen toimintamallin jatkaminen	43
10.5 Pohjatuhkan tuotteistaminen maarakennukseen	45
11 Johtopäätökset.....	46
12 Pohdinta.....	48
Lähteet	51
Liitteet.....	54
Liite 1. Kyselylomake	54
Liite 2. Takaisinmaksulaskelma vaihtoehtomalli yksi (salassa pidettävä).....	55
Liite 3. Takaisinmaksulaskelma vaihtoehtomalli kaksi (salassa pidettävä).....	55
Liite 4. Kustannuslaskelma vaihtoehtomalli kolme (salassa pidettävä).....	56
Liite 5. Kustannuslaskelma vaihtoehtomalli neljä (salassa pidettävä).....	56
Liite 6. Kustannuslaskelma vaihtoehtomalli viisi (salassa pidettävä).....	57
Liite 7. Kustannuslaskelma pohjatuhkan tuotteistus (salassa pidettävä)	57

Kuviot

Kuvio 1. Esimerkki päällysrakenne MARA-materiaaleilla ja esimerkki väylä- ja kenttärakenteesta	25
Kuvio 2. Lautasrakeistimen havainnekuva	30
Kuvio 3. Rumpurakeistuslaitteiston havainnekuva.....	31
Kuvio 4. SWOT-analyysi rakeistamisvaihtoehdoista	40
Kuvio 5. SWOT-analyysi tuhkan viemisestä Yritys X:n teollisuustonttien rakentamiseen.....	42
Kuvio 6. SWOT-analyysi lentotuhkan käytöstä metsäteollisuuden sivuvirran stabiloinnissa	43
Kuvio 7. SWOT-analyysi nykyisen toimintamallin jatkamisesta.....	44
Kuvio 8. SWOT-analyysi pohjatuhkan tuotteistuksesta	45

Taulukot

Taulukko 1. MARA-asetuksen haitallisten aineiden raja-arvot ja laatuvaatimukset	9
Taulukko 2. Haitallisten aineiden enimmäispitoisuudet epäorgaanisissa lannoitteissa	11
Taulukko 3. Lento- ja pohjatuhkan määrät vuonna 2019	32

1 Opinnäytetyön lähtökohdat

1.1 Toimeksianto ja tavoitteet

Rauhalahden ja Keljonlahden voimalaitoksilla Jyväskylässä syntyy vuosittain noin 20 000 tonnia pohja- ja lentotuhkaa, joiden käyttö ja käsittely nykyisillä menetelmillä aiheuttaa korkeita kustannuksia. Voimalaitoksien polttoaineina käytetään puuta ja turvetta sekä kattiloiden ylösajossa öljyä. Keljonlahden voimalaitoksessa voidaan myös häiriötilanteessa, esimerkiksi kiinteänpolttoaineen syöttölaitteen rikkoontuessa, käyttää kivihiiltä.

Opinnäytetyö toteutettiin Alva-yhtiöt Oy:n konsernipalveluiden hankinnalle. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä esiselvitys ja kannattavuuslaskenta uusille voimalaitostuhkan hyötykäyttökohteille. Nykytilanteessa lentotuhkaa kuljetetaan yhteistyökumppaneille käsiteltäväksi pitkiä matkoja. Tuhkan käsittely- ja kuljetuskustannuksien noustua tuli tarve selvittää kustannustehokkaampia keinoja voimalaitoksien tuhkien hyötykäyttöön kiertotalousnäkökulmasta. Tavoitteena oli selvittää millaiseen käyttötarkoitukseen tuhkat soveltuvat ja voidaanko niiden käytettävyyttä parantaa esimerkiksi polton aikaisella lisäaineistuksella tai jälkikäsittelemällä sitä vanhentamalla. Tavoitteena oli myös selvittää keinoja tuhkan käsittelyyn liittyvien kustannusten minimoimiseksi ja myöhemmin mahdollisesti saada tuhkasta taloudellista hyötyä.

Henkilökohtaisina tavoitteina oli saada lisää tietoa voimalaitoksien tuhkien koostumuksista ja polttoaineiden vaikutuksista tuhkaan. Toisena tavoitteena oli kerätä tietoa tuhkan käsittelyyn käytettävistä menetelmistä ja tekniikoista sekä käsittelyn vaikutuksista tuhkan ominaisuuksiin ja käytettävyyteen. Näiden aiheiden hallinta auttaa ymmärtämään, miksi tuhkan uusia hyötykäyttökohteita tutkitaan.

1.2 Tutkimusmenetelmät ja aineistonkeruu

Voimalaitostuhkien hyötykäytön mahdollisuuksia kartoitettiin aiempien tutkimuksien, haastattelujen sekä asiantuntijoiden avulla. Aineistoa kerättiin kvalitatiivisen kyselylomakkeen avulla muilta samantyyppistä polttoainetta käyttäviltä voimalaitok-

silta, jotta niiden toimintaa voitiin verrata toimeksiantajan voimalaitoksiin. Kyselylomake on esitelty liitteessä 1. Tuhkankäsittelytekniikoista kerättiin tietoa laitetoimittajien dokumenteista ja aikaisemmista tutkimusaineistoista.

Kustannusarviointiin kerättiin tietoa nykytilanteesta Alva-yhtiön omista tietojärjestelmistä. Uusien hyötykäyttökohteiden kustannusarvioinnissa käytettiin laitetoimittajien sekä kuljetusyhtiöiden kanssa pidettyjen palaverien ja haastattelujen perusteella saatuja tarjouksia. Hyötykäyttökohteiden sisäisten vahvuuksien ja heikkouksien sekä ulkoisten mahdollisuuksien ja uhkien arvioinnissa käytettiin SWOT (Strength, Weakness, Opportunity, Threat) -analyysia. SWOT-analyysilla saatiin vaihtoehtomallien arviointia selkeämmäksi.

Opinnäytetyö toteutettiin case-tutkimuksena. Työssä käytettiin laadullista eli kvalitatiivista sekä määrällistä eli kvantitatiivista tutkimusmenetelmää. Tällöin voidaan Kanasen (2013, 33-36) mukaan puhua triangulaation käyttämisestä, eli tutkimusongelman ratkaisemiseksi käytetään useampaa eri tutkimusmenetelmää. Tutkimusongelman ratkaisussa pyrittiin käyttämään monistrategista lähestymistapaa, jossa Kanasen (2013, 33-35) mukaan toisesta lähteestä saatua tietoa voidaan täydentää erilaisesta aineistosta saadulla tiedolla. Työssä kerättiin tietoa kyselylomakkeella, haastatteleamalla ja aikaisemmista tutkimuksista sekä toimeksiantajan omista tietojärjestelmistä, jolloin Kanasen (2013, 35-36) mukaan voidaan puhua aineistotriangulaatiosta.

Teoria- ja tutkimusaineiston keräämisessä käytettiin niin kotimaisia kuin ulkomaisiaakin lähteitä. Tietoa kerättiin kirjallisuudesta, tutkimuksista, internetsivustoilta sekä asiantuntijoilta. Työssä tarvittavia tietoja kerättiin myös Alva-yhtiöiden omiin tietojärjestelmiin tallennetusta datasta.

2 Alva-yhtiöt Oy

Opinnäytetyön toimeksiantaja Alva-yhtiöt Oy on valtakunnallinen vesi- ja energiapalvelujen tuottaja. Alva-yhtiöt toimii sähköntuotannon ja -jakelun parissa ja veden ja lämmön tuotannossa sekä jakelussa. Vuoden 2019 lokakuuhun saakka Alva-yhtiöt Oy oli Jyväskylän Energia Oy. Yhtiössä työskentelee kaikkiaan 257 henkilöä. (Yhtiö 2019.)

Alva-yhtiöt Oy:n omistajana toimii Jyväskylän kaupunki. Alvan tytäryhtiöitä ovat Alva Sähköverkot Oy, Jyväskylän energiantuotanto Oy, JE-Hulevesi Oy ja Wiitaseudun Energia Oy, jotka Alva omistaa 100-prosenttisesti. Jyväskylän Voima Oy:stä Alvan omistusosuus on 81,4 %. (Yhteiskuntavastuureportti 2018 2019.)

Sähkön ja lämmön tuotannosta vastaa Jyväskylän Voima Oy:n omistama Keljonlahden voimalaitos ja Jyväskylän Energiantuotanto Oy:n omistamat Rauhanlahden ja Savelan voimalaitokset sekä kymmenen muuta aluelämpökeskusta. (Tytär- ja osakkuusyhtiöt n.d)

Alvan liikevaihto vuonna 2018 oli n. 210 miljoonaa euroa. Kaikkiaan Alva tuottaa sähköä n. 800 GWh, joka käytetään pääasiassa sen omassa jakeluverkossaan, sekä lämpöä n. 1200 GWh, joka toimitetaan Alva-yhtiöt Oy:n ja Elenia Oy:n kaukolämpöverkoihin. Energiantuotannon polttoainejakauma vuonna 2018 sähköntuotannon osalta oli seuraavanlainen: puu 50,2 %, turve 46,4 %, hiili 2,4 %, biokaasu 0,6 % ja öljy 0,3 %. Kaukolämmöntuotannon osalta polttoainejakauma vuonna 2018 oli puu 48,1 %, turve 47,9 %, öljy 2,0 %, hiili n. 2,0 % ja biokaasu n. 0,1 %. (Tytär- ja osakkuusyhtiöt n.d.; Yhteiskuntavastuureportti 2018 2019.)

3 Leijukerros poltto

Leijukerros poltto on yksi käytetyimmistä polttotavoista nykyaikaisissa isoissa kattilalaitoksissa. Leijukerroskattilatyyppit jaetaan kahteen eri tyyppiin, leijupetikattiloihin ja kiertopetikattiloihin. Näiden erona on se, että kiertopetikattilan leijutusnopeus on huomattavasti suurempi kuin leijupetikattilan, tästä syystä myös leijutushiekka on hienompaa. Kiertopetikattilassa savukaasun mukaan lähtevät partikkelit, kuten hiekka ja palamattomat aineet, palautuvat kattilaan syklonin kautta. Tulipesässä leijutetaan hiekkaa alhaaltapäin puhallettavalla ilmalla, jota kutsutaan primääri-ilmaksi. Polttoaine syötetään leijupetimateriaalin eli hiekan sekaan, polttoaine kuivuu hiekan seassa ja syttyy palamaan. Leijukerros poltossa voidaan käyttää kosteampiakin polttoaineita, sillä polttoaine kuivaa nopeasti tulipesässä. Leijukerros polttoa käytetään biopohjaisten polttoaineiden, turpeen, kivihiilen ja jätteiden poltossa. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2013, 36.)

Tulipesän palamistila muodostuu leijutussuuttimista koostuvasta arinasta, petimateriaalista ja muurauksista. Ennen kiinteän polttoaineen syöttöä on leiju- tai kiertopedin lämpötila saatava riittävän korkeaksi. Pedin lämpötila on polttoaineesta riippuen 700 - 900 °C. Polttoainetta syötetään tulipesään yleensä useammasta kohdasta. Polttoaineen pienemmät hiukkaset palavat nopeasti, mutta isommat partikkelit kuivavat ja kaasuuntuvat petihiekan seassa. Kaasuuntuvat aineet palavat pedissä ja sen yläpuolella. Leijukerrokseen kertyy karkeaa petimateriaalia eli leijutushiekkaa ja tuhkaa, jotka poistetaan tietyin väliajoin pohjatuhkasuppiloitapitkin pohjatuhkaruuveihin, joita pitkin pohjatuhka puolestaan kuljetetaan pohjatuhkasiiloon tai suoraan vaihtolavoille. Savukaasuja puhdistetaan sähkösuodattimilla, joihin kertyy lentotuhkaa. Lentotuhkaa poistetaan myös suoraan savukaasukanavan vedoista. Lentotuhka kuljetetaan pneumaattisesti putkistoa pitkin lentotuhkasiiloon. (Huhtinen ym. 2013, 36-37.)

Leijukerrospoltoissa muodostuvan tuhkan laatuun ja ominaisuuksiin vaikuttavat käytettävän polttoaineen ominaisuudet ja karkeus. Tuhkan laatuun vaikuttavat myös käytettävä polttotekniikka ja -lämpötila. Leijukerrospoltoissa käytettävä leijutushiekka voi osaltaan myös vaikuttaa tuhkan ominaisuuksiin. (Laine-Ylijoki, J. Wahlström, M. Peltola, K. Pihlajaniemi, M. & Mäkelä, E 2002, 11.)

4 Tuhkan käyttöön vaikuttavat lait ja asetukset

Tuhkan hyötykäyttöä säätelevät monet lait ja asetukset, joiden tarkoituksena on suojella ympäristöä ja terveyttä, kuten ympäristönsuojelulaki (527/2014) ja -asetus (713/2014) sekä jätelaki (646/2011), -asetus (179/2012) ja jäteverolaki (1126/2010). Näillä pyritään myös edistämään luonnonvarojen kestävästä käyttöä ja jätejakeiden hyödyntämistä esimerkiksi MARA-asetuksella (843/2017) maarakennuskohteissa. Lannoitetuotantoa ja käyttöä säätelevät lannoitevalmistelaki (539/2006) sekä maa- ja metsätalousministeriön asetus (24/11). Tuhkan hyödyntäminen esimerkiksi maarakennuksessa ympäristöluvalla tai MARA-asetuksella määräytyy näiden lakien ja asetusten perusteella.

Jätteestä voidaan jalostaa myöskin uusiomateriaaleja rakentamiseen. Kun tuhkaa halutaan hyötykäyttää ja saattaa markkinoille, tulee se rekisteröidä REACH-asetuksen (1907/2006) mukaisesti. REACH-rekisteröidyn tuotteen markkinoille saattaminen

vaatii CLP-asetuksen (1272/2008) mukaisen tuotteen luokituksen, merkinnän ja pakkaamisen. Rakennustuotelainsäädäntö asettaa vaatimukset hyötykäytettävän sivuvirran ominaisuuksille sekä laadunvarmistukselle.

4.1 Ympäristönsuojelulaki ja -asetus

Ympäristönsuojelulakia (527/2014) ja ympäristönsuojeluasetusta (713/2014) sovelletaan teolliseen ja sellaiseen toimintaan, joka johtaa tai voi johtaa ympäristön pilaantumiseen. Sovellusalueeseen kuuluu myös toiminta, jossa syntyy tai käsitellään jätettä. Ympäristönsuojelulla- ja asetuksella säädetään toimintojen lupamenettelyistä, ympäristöluvan tarpeesta ja lupaan sisällytettävistä tiedoista. Ympäristönsuojeluasetuksella on pyritty tarkentamaan lupaprosesseja, kuten missä tilanteessa lupa haetaan valtion ympäristöviranomaiselta ja milloin kunnan omalta ympäristönsuojeluviranomaiselta. (L 27.6.2014/527, 2§; A 4.9.2014/713, 1-2§.)

Jätteiksi luokiteltujen sivuvirtojen, kuten tuhkan, hyödyntämistä on pyritty helpottamaan MARA-asetuksella (VNa 843/2017) ja lannoitevalmistelailailla (539/2016), mikäli tuhkan haitta-aineiden liukoisuudet alittavat raja-arvot. Raja-arvojen alittuessa tuhkaa voitaisiin hyödyntää ilman ympäristölupaa.

4.2 Jätelaki, jäteasetus ja jäteverolaki

Jätelakia (646/2011) sovelletaan mm. tuotteisiin ja toimintaan, jossa syntyy jätettä. Jätelaila pyritään edistämään luonnonvarojen kestävästä käyttästä ja ehkäisemään jätteistä tai niiden käsittelystä aiheutuva vaara terveydelle ja ympäristölle. (L 646/2011, 1-2§.) Jätteeksi määritellään aine tai esine, jonka haltija on poistanut, poistaa tai on velvollinen poistamaan käytöstä. Aine tai esine voidaan määrittää sivutuotteeksi, mikäli jatkokäyttökohde on varma, tuote voidaan käyttää sellaisenaan tai muunnettuna tavanomaisen teollisen prosessin avulla, tuote syntyy tuotantoprosessin olennaisena osana tai mikäli tuote ei aiheuta vaaraa tai haittaa terveydelle ja ympäristölle sekä täyttää suunniteltuun käyttöön liittyvät vaatimukset. (L 646/2011, 5§.)

Jäteasetuksella (179/2012) on tarkennettu jätteiden hyödyntämis- ja loppukäsittelytoimia sekä luetteloitu yleisimmät jätteet. Jäteasetus koskee myös termisessä prosessissa syntyviä jätteitä eli voimalaitoksissa ja muissa polttolaitoksissa syntyviä jätteitä, kuten tuhkia. (A 19.4.2012/179, 2, 4§.)

Jäteverolakia (1126/2010) sovelletaan kaatopaikalle toimitettuihin jätteisiin, jotka on selvitetty jätelain jäteluettelossa. Jäteverolaki koskee esimerkiksi termisissä prosesseissa syntyviä jätteitä, kuten voimalaitoksissa syntyviä tuhkia. Kaatopaikalle toimitetuista jätteistä, kaatopaikan pitäjä joutuu maksamaan jäteveroa, joka on 70 euroa tonnilta jätettä. (L 1126/2010, 1,3-5§.)

4.3 REACH-asetus ja CLP-asetus

REACH (Registration, Evaluation, Authorization and restriction of Chemicals) -asetus (1907/2006) on Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus, joka säätelee kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelyistä ja rajoituksista. REACH-asetus koskee mm. hyötykäyttöön ja markkinoille saatettavaa kemiallista ainetta sellaisenaan tai seostettuna. Teollisen prosessin sivutuotteen markkinointi EU:n alueella edellyttää REACH-asetuksen rekisteröintivelvoitteiden vaatimusten täyttämistä. Mikäli teollisen prosessin jätteeksi luokiteltu sivuvirta mm. tuhka hyväksytään ympäristöluvassa sivutuotteeksi tai se on hyväksytty End of Waste -menettelyn avulla tuotteeksi. (Ympäristö ja lupaprosessi 2020.)

CLP (Classification, Labelling and Packaging of substances and mixtures) -asetuksella (1272/2008) säädetään EU:n alueella kemikaalien luokituksista, merkinnöistä ja pakkaamisesta. CLP-asetuksen mukaisessa luokittelussa kemikaalin ominaisuuksia verrataan lainsäädännön kriteereihin. Mikäli kemikaali määritetään luokittelussa vaaralliseksi, tulee se merkitä ja pakata lainsäädännön säädösten mukaisesti. Markkinoille saatettujen kemikaalien luokituksista vastaavat tuotteen valmistaja, maahantuojat sekä tuotteen käyttäjät. Tuotteen toimittajilla on vastuu pakkaamisen ja merkintöjen CLP-asetuksen mukaisuudesta. (Ympäristö ja lupaprosessi 2020.)

4.4 MARA-asetus

MARA-asetus (843/2017) on Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. Tällä pyritään helpottamaan jätteiden ammattimaista ja laitosmaista hyötykäyttöä. Mikäli käytettävä jäte alittaa asetuksen raja-arvot (ks. taulukko 1), ei sille tarvitse hakea erikseen ympäristölupaa. MARA-asetusta voidaan soveltaa suunnitelmallisessa maarakentamisessa, kuten väylä-, kenttä- ja vallirakenteissa. Kivihiili-, turve- ja puupohjaisten lento- ja pohjatuhkien laadunvalvonnassa tuhka tutkitaan liukoisten aineiden ja PAH-yhdisteiden osalta. (Soveltamisohje 2019, 1-4, 36.)

Taulukko 1. MARA-asetuksen haitallisten aineiden raja-arvot ja laatuvaatimukset (Soveltamisohje 2019, 21-22)

Haitallinen aine Liukoisuus (mg/kg LS = 10l/kg)	Väylä Jätteen kerrospaksuus <1,5m		Kenttä Jätteen kerrospaksuus <1,5m		Valli Jätteen kerrospaksuus <5,0m	Teollisuus- ja varastorakennuksen pohjarakenne Jätteen kerrospaksuus <1,5m	Tuhkamursketie Jätteen kerrospaksuus <0,2m
	Peitetty	Päällystetty	Peitetty	Päällystetty	Peitetty		
Antimoni	0,7	0,7	0,3	0,7	0,7	0,7	0,7
Arseeni	1	2	0,5	1,5	0,5	2	2
Barium	40	100	20	60	20	100	80
Kadmium	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04	0,06	0,06
Kromi	2	10	0,5	5	1	10	5
Kupari	10	10	2	10	10	10	10
Lyijy	0,5	2	0,5	2	0,5	2	1
Molybdeeni	1,5	6	0,5	6	1	6	2
Nikkeli	2	2	0,4	1,2	1,2	2	2
Seleen	1	1	0,4	1	1	1	1
Sinkki	15	15	4	12	15	15	15
Vanadiini	2	3	2	3	2	3	3
Elohopea	0,03	0,03	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03
Kloridi	3200	11000	800	2400	1800	11000	4700
Sulfaatti	5900	18000	1200	10000	3400	18000	6500
Fluoridi	50	150	10	50	30	150	100
Liuennot orgaaninen hiili (DOC)	500	500	500	500	500	500	500
Pitoisuus (mg/kg ka)							
Bentseeni	0,2	0,2	0,2	0,2	0,06	0,2	0,2
TEX	25	25	25	25	25	10	25
Naftaleeni	5	5	5	5	5	5	5
PAH-Yhdisteet	30	30	30	30	30	30	30
Fenoliset yhdisteet	10	10	5	10	10	10	10
PCB-yhdisteet	1	1	1	1	1	1	1
Öljyhiilivedyt C10-C40	500	500	500	500	500	300	500

Turpeen, puun ja hiilenpoltosta syntyvä pohja- ja lentotuhka luetaan kuuluvaksi MARA-asetuksen hyödynnettäviin jätteisiin. Tuhkaa voidaan hyödyntää enintään 1,5 metrin kerroksessa teollisuus- ja varistorakennuksien pohjarakenteissa sekä väylä- ja kenttärakenteissa peittämällä se maa- tai kiviaineksesta tehdyllä sitomattomalla pintakerroksella, avoimella asfalttipäällysteellä tai muulla pintarakenteella tai päällystämällä asfalttipäällysteellä. Pintakerroksen on tarkoitus estää jätteen leviäminen ympäristöön mm. tuulen tai eroosion vaikutuksesta, eristää jäte suoralta kosketukselta sekä heikentää veden imeytymistä jätekerrokseen. Vallirakenteessa jätteen kerrospaksuus voi olla enimmillään 5 metriä peitettynä ja tuhkamursketiellä, jonka pintarakenne koostuu murskeen ja tuhkan seoksesta kerrospaksuus voi olla enintään 20 cm. Peittämisessä ja päällystämässä on huomioitava pintarakenteen käytönaikainen kuluminen, tämä voi edellyttää paksumpaa pintakerrosta. (Soveltamisohje 2019, 5-7.)

4.5 Lannoitevalmistelaki ja MMM-asetus

Lannoitevalmistelaila (539/2006) on tarkoitus edistää turvallisten, hyvänlaatuisten ja kasvintuotantoon soveltuvien lannoitevalmisteiden ja lannoitteiksi soveltuvien sivuvirtojen hyötykäyttöä. Lannoitevalmistelakia sovelletaan lannoitevalmisteiden ja niiden raaka-aineiden valmistukseen, markkinointiin, käyttöön ja kuljetukseen sekä maastavientiin ja maahantuontiin. (L 29.6.2006/539, 1-2§.)

Lannoitevalmistelain piiriin kuuluu myös sellaisenaan käytettävä polttoprosessissa syntyvä sivutuote, kuten tuhka. Laki velvoittaa myös lannoitteen valmistus menetelmiä, kuten rakeistamista, kuivaamista, pakkaamista ja sekoittamista muiden aineiden kanssa. (L 29.6.2006/539, 4§.)

Lannoitevalmisteen tulee täyttää lannoitevalmistelain sekä lannoiteasetuksen vaatimukset. Lannoitteen on oltava tasalaatuista ja turvallista käyttää käyttöohjeenmukaisessa käytössä. Lannoitteen valmistajalla on oltava asianmukaiset tilat ja laitteisto lannoitteen varastointiin, käyttöön ja kuljetukseen. Lannoitteen saattaminen kotimaan markkinoille vaatii tyyppinimen kansalliseen lannoitevalmisteiden tyyppinimiluetteloon. Tyyppinimiluetteloon voidaan lisätä uusi tyyppinimi, mikäli lannoite on

todettu sisältävän kasveille hyödyllisen määrän ravinteita tai se parantaa huomattavasti kasvuolosuhteita, mikäli lannoitevalmiste voidaan analysoida EU:n lainsäädännön mukaisilla menetelmillä tai muulla lannoitevalmisteiden analysointiin ja näytteenottoon validoidulla menetelmällä, mikäli tyyppinimi on asiallinen eikä ole harhaanjohtava. (L 29.6.2006/539, 5-6§.)

Maa- ja metsätalousministeriön lannoiteasetuksella (24/11) säädetään lannoitevalmisteiden tyyppinimiryhmistä ja -ryhmäkohtaisista vaatimuksista, tyypeistä, laadun-, merkintöjen, pakkaamisen, kuljetuksen ja varastoinnin sekä käytön vaatimuksista ja raaka-aineista. (A 24/11:2011, 1§) Tuhkalannoitteen käyttöä rajoitetaan epäorgaanisten lannoitteiden enimmäispitoisuusrajoilla. Metsätaloudessa käytettävien lannoitteiden pitoisuudet voivat olla hieman korkeammat (ks. taulukko 2.).

Taulukko 2. Haitallisten aineiden enimmäispitoisuudet epäorgaanisissa lannoitteissa (A 24/11:2011, 24)

Haitta-aineiden enimmäispitoisuudet epäorgaanisissa lannoitteissa (mg/kg kuiva-ainetta)		
Alkuaine	Epäorgaanisten lannoitteiden enimmäispitoisuus	Metsätaloudessa käytettävien tuhkalan- noitteiden tai niiden raaka-aineena käytettävien tuhkien enimmäispitoisuudet
Arseeni (As)	25	40
Elohopea (Hg)	1	1
Kadmium (Cd)	1,5	25
Kromi (Cr)	300	300
Kupari (Cu)	600	700
Lyijy (Pb)	100	150
Nikkeli (Ni)	100	150
Sinkki (Zn)	1500	4500

Uutta lannoitevalmisteasetusta (2019/1009) aletaan soveltamaan vuoden 2022 heinäkuusta alkaen. Uudella lannoitevalmisteasetuksella pyritään helpottamaan mm. nykyisten jätteiksi luokiteltavien kuten tuhkien hyödyntämistä lannoitevalmisteina.

Esimerkiksi tuhkan jätemäärittelystä voitaisiin luopua, mikäli tuhka täyttää asetuksessa määritetyt raja-arvot ja muut epäorgaanisille lannoitteille asetetut vaatimukset. (A 2019/1009, 4 & 36.)

4.6 Ympäristöluvan hakeminen ja ilmoitusmenettely

Jätteitä voidaan hyödyntää ammattimaisesti hakemalla ympäristölupaa kunnan ympäristöviranomaiselta tai aluehallintoviraston ympäristöviranomaiselta. Ympäristölupa määrittää, kuinka jätteiden hyödyntäminen voidaan tehdä. Määräykset voi koskea materiaalien kelpoisuuden todistamista ennen käyttöä, välivarastointia, rakenteita ja työskentelytapoja tai ympäristönsuojeluun liittyviä asioita. Kunnan ympäristöviranomaisen voi myöntää ympäristöluvan, mikäli jätteiden hyödynnettävä määrä on alle 20 000 tonnia vuodessa. Suurempien jätteiden hyödyntämiseen ympäristöluvan myöntää aluehallintovirasto. (Infra 062-710191:2018, 3.)

Jätteiksi määritellyjä sivuvirtoja voidaan hyödyntää myös ilman ympäristölupaa, mikäli jätteiden hyödyntämisestä on säädetty valtioneuvostonasetus ympäristönsuojelulain (527/2014) ja jätelain (646/2011) nojalla. MARA-asetus on valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maanrakennuksessa (843/2017). Asetus on tehty helpottamaan jätteiden hyötykäyttöä. Polttoprosessissa syntyviä tuhkia voidaan hyödyntää MARA-asetuksen mukaisesti ilmoitusmenettelyllä (ns. rekisteröintimenetelmä) tällöin, kun tuhkien ominaisuudet täyttävät asetuksessa määritetyt vaatimukset ja käyttökohde on asetuksen vaatimusten mukainen. Alueellinen ELY-keskus ottaa vastaan ilmoituksen ja antaa luvan jätteiden hyödyntämiseen. Asetuksessa on määritetty, mitä tietoja ilmoitukseen tarvitaan. Jätteiden hyödyntäminen voidaan aloittaa heti, kun viranomaisen on hyväksynyt ilmoituksen ja merkinnyt hyödyntämiskohteen ympäristönsuojelutietojärjestelmään. Ilmoitusmenettelyn mukaisessa jätteiden hyödyntämisessä ei ole määritetty ylä- tai alarajaa hyödynnettävän jätteen määrälle, rajoittavina tekijöinä ovat asetuksessa määritellyt kerrospaksuudet ja laatuvaatimukset. Jätteiden hyödyntämisen asianmukaisuutta valvoo ELY-keskus ja kunnalliset ympäristönsuojeluviranomaiset. (Infra 062-710191:2018, 3.)

4.7 Rakennustuotelainsäädäntö

Rakennustuotelainsäädännöllä on tarkoitus varmistaa rakennustuotteiden luotettavuus ja vertailukelpoisuus, jotta suunnittelijat ja rakentajat voivat arvioida materiaalien soveltuvuutta rakennuskohteissaan. Rakennustuotteiden säädökset tulevat EU:n rakennustuoteasetuksesta (N:o 305/2011). Rakennustuoteasetuksessa määritellään tuotteen ominaisuudet ja millä edellytyksillä tuote voidaan CE-merkitä. Mikäli tuotteille ei ole määritetty eurooppalaista tuotestandardia tai teknistä arviointia, voidaan tuote hyväksyä kansallisella hyväksymismenettelyllä. Kansallista hyväksymismenettelyä käytetään rakennustuotteille, joille ei ole sovellettavaa tuotestandardia tai teknistä arviointia, tällöin CE-merkintää ei voida tehdä. (Infra 062-710191:2018, 2.)

Rakennustuote voidaan hyväksyä käytettäväksi varmennustodistuksella, valmistuksen laadunvalvonnalla tai varmistamalla rakennustyömaakohtaisesti. Rakennustuoteasetuksella pyritään varmistamaan, että tuote soveltuu kyseiseen käyttötarkoitukseen. Kun tuhkaa käytetään kiviaineksen korvaajana, koskee sitä samat vaatimukset kuin luonnon kiviainesta. Rakennustuotteen toimittajan on ilmoitettava materiaalin ominaisuudet suoritustasoilmoituksella ja CE-merkinnällä. Mikäli tämä ei ole mahdollista voidaan ominaisuudet ilmoittaa myös tuoteselosteella. Uusiorakennusmateriaaleilla ei ole useinkaan tarvittavaa käyttöhistoriatietoa, joten se edellyttää testaamaan uusiomateriaalin materiaali- ja rakennekohtaista soveltuvuutta. Uusiomateriaalin testausmenetelmien vertausarvoina käytetään luonnon kiviainekselle asetettuja raja-arvoja. (Infra 062-710191:2018, 2-3.)

5 Tuhkan käyttö lannoitteena

5.1 Tuhkan ominaisuudet ja laatuvaatimukset lannoitekäytössä

Tuhkaa käytetään lannoitekäytössä maa- ja metsätaloudessa. Puunpoltosta muodostuva tuhka on ravinnepitoisuuksiltaan hyvää metsälannoitteeksi, ainoastaan typpipitoisuus on matala ja sitä voidaan lisätä parantamaan lannoitevaikutusta etenkin kangasmetsissä. Tuhkaan voidaan lisätä myös maaperän pitoisuuksien mukaan mm. booria, fosforia tai kaliumia. Booria voidaan lisätä helposti rakeistettaessa tuhkan sekaan

boorisuolan tai -hapon muodossa ja kaliumia voidaan lisätä biotiitin muodossa. Fosforia voitaisiin lisätä tuhkarakeen sekaan esimerkiksi biolietteen tai yhdyskuntajätevesilietteen muodossa helposti, mutta tälle vaihtoehdolle ei vielä ole lannoitevalmistelain (539/2006) mukaista tyyppinimeä, joten tällaista lannoiteseosta ei voida markkinoida lannoitekäyttöön. (Huotari 2012, 6, 11-12.)

Puhtaassa puun tuhkassa ravinnepitoisuudet vaihtelevat käytettävien puulajien ja puunosien mukaan. Puutuhka sisältää keskimäärin fosforia 0,2 - 3 %, kaliumia 0,5 - 10 %, kalsiumia 5 - 40 % ja booria alle 0,1 %. Puhdasta puutuhkaa on kuitenkin vähän saatavilla, sillä suuri osa suomessa syntyvästä voimalaitostuhkasta tulee seospolttolaitoksilta, joissa poltetaan puun ja turpeen seosta. Turvetuhka on ravinteiltaan niukempaa. Turvetuhka sisältää keskimäärin fosforia 0,5 - 2 %, kaliumia 0,2 - 0,4 %, kalsiumia 5 - 10 % ja booria alle 0,1 %. Turvetuhkan ravinne- ja haitta-ainepitoisuuksiin vaikuttaa turpeenostopaikan sijainti, näissä on suuriakin alueellisia eroja. Seostuhkiin rikastuu myös pieniä määriä raskasmetalleja, mm. kadmiumia, arseenia, kromia ja nikkeliä, näistä suuri osa tulee biopohjaisten polttoaineiden poltosta. Raskasmetalleista kuten kupari, mangaani ja sinkki, saadaan kasveille tarpeellisia hivenaineita. Haitallisia raskasmetalleja kasvun kannalta ovat mm. kadmium ja lyijy. (Huotari 2012, 6-7.)

Tuhkalannoitteiden laatuvaatimukset perustuvat lannoitevalmistelaisissa (539/2006) ja mmm-asetuksessa (24/11) asetettuihin vaatimuksiin. Laissa ja asetuksessa säädetään laatuvaatimuksien lisäksi mm. tuottajan vastuista ja velvollisuuksista, tuoteselosteen sisällöstä sekä tuotteen tasalaatuisuudesta, turvallisuudesta ja sopivuudesta käyttötarkoitukseen. Elintarvikekäytön lannoitteiden valvonnasta on vastuussa Ruokavirasto eli entinen Elintarviketurvallisuusvirasto Evira. (Huotari 2012, 9.)

Lannoitevalmisteen tyyppinimiryhmä määritellään lannoiteasetuksessa säädettyjen tyyppinimiryhmien vaatimusten ja lannoitevalmisteiden sivu- ja hivenaineiden vähimmäispitoisuuksien mukaan. Tuhkalannoitteen tyyppiryhmätunnus on 1A7, tyyppiryhmä määrittää ravinnepitoisuuksien vähimmäispitoisuudet kaliumin ja fosforin osalta 2 % sekä kalsiumin osalta 6 %, muista pitoisuuksista täytyy ilmoittaa tuoteselosteessa, mikäli pitoisuudet ylittävät 0,3 % kuiva-aine massasta. Mikäli tuhkaa käytetään lannoitteena muualla kuin metsässä on sen kalsium pitoisuus oltava 10 %.

Tuhka on oltava puu-, turve-, peltobiomassa- tai eläinperäisestä polttoprosessista, jotta se soveltuu lannoitekäyttöön. Epäorgaaniseen tuhkalannoitteeseen voidaan lisätä orgaanisista aineista ainoastaan aminohappoja, betaiinia, entsyymiä, humusainetta, sokeria tai muuta kemiallisesti tunnettua ainetta. (A 24/11:2011, 7-9.)

5.2 Tuhkalannoitteen vaikutukset

Tuhkalannoite on pH-arvoltaan emäksistä ainetta, joten tuhkalla on neutraloiva vaikutus happamalle maaperälle. Puutuhka on usein emäksisempää kuin turvetuhka, joten sillä on paremmin maaperää neutraloiva vaikutus. Erityisesti turvepohjaisilla metsämailla tuhkassa olevan fosforin heikko liukoisuuskyky sitoo vapautuvaa fosforia ja muuntaa sen kasveille paremmin käytettävään muotoon. Tuhka saa aikaan mikrobien hajotustoimintaa maaperässä, mikä vapauttaa orgaanisessa muodossa olevaa typpeä kasveille hyödynnettävään muotoon. Kangasmetsät kärsivät yleensä typen puutteesta, joten pelkällä tuhkalannoitteella ei saada typpeä vapautumaan kasvien käyttöön. Kangasmetsien tuhkalannoitteisiin lisätäänkin ravinneainetilanteen parantamiseksi typpeä. (Huotari 2012, 14-15.)

Erityisesti puuntuhkasta tehtävä lannoite sisältää raskasmetalleja, kuten kadmiumia. Tuhkalannoitus lisää maaperän raskasmetalli pitoisuuksia. Tämä voi aiheuttaa rajoituksia lannoitteen levitysmääriin. Raskasmetallien liukoisuudet vaihtelevat, sillä mm. kadmium ja lyijy liukenevat hitaasti tuhkan pH-arvon ollessa korkea. Mikäli maaperä alkaa happamoitumaan, tuhkalannoitteen raskasmetallit muuttuvat liukoisempaan muotoon ja voi näin ollen aiheuttaa raskasmetallien liiallista kertymistä paikallisesti. Erityisesti turvemaidilla tuhkalannoituksen on todettu vähentävän metaanipäästöjä, tuhkalannoitus nopeuttaa orgaanisen aineen hajoamista ja vapauttaa hiiltä ilmakehään muodostaen hiilidioksidia. Tuhkalannoitus nopeuttaa puuston kasvua, joka taas sitoo hiilidioksidia, joten hiilidioksidi päästöt eivät ainakaan isosti kasva. (Huotari 2012, 15-17.)

5.3 Tuhkalannoitteen tuotteistus

Lannoitteen tuottajan tulee liittyä ruokaviraston valvontarekisteriin, mikäli tuottaja valmistaa lannoitetta myyntiä tai luovuttamista varten, saattaa lannoitteen markkinoille, maahantuo lannoitteita tai käsittelee eläimistä saatavan sivutuotteen lannoitteeksi omaan käyttöön. Lannoitevalmisteina käytettävien teollisuuden sivuvirtojen kuten tuhkien käsittely luetaan myös valmistamiseksi. Rekisteröitymistä ei vaadita lannoitevalmisteiden varastojilta, kuljettajilta eikä jälleenmyyjiltä. Lannoitevalmisteiden tuotantotoiminta edellyttää ilmoittautumista kirjallisesti valvontarekisteriin, kirjanpitoa, vuosi-ilmoituksen ja omavalvontaa sekä joitakin orgaanista lannoitetta valmistavien tulee hakea laitoshyväksyntä ja tehdä omavalvontaraportointia. (Toiminta n.d.)

Valvontarekisteri ilmoituksessa on oltava kuvaus toiminnan järjestämisestä, tuotteen tiedot ja omavalvonnan toteutus suunnitelma. Toiminnan aloittamisesta, muuttumisesta ja lopettamisesta on tehtävä ilmoitus valvontarekisteriin. Ilmoitus suoritetaan kirjallisesti Ruokaviraston julkaisemilla lomakkeilla. Toimijan tulee kirjata lannoitevalmisteiden ja raaka-aineiden ostot ja niiden alkuperä, tuotteen valmistettu kokonaismäärä, tuotteiden luovutukset ja varastointipaikat. Mikäli tarve vaatii maahantuontia tai vientiä, tulee näistä määristä pitää kirjaa tuotteiden ja raaka-aineiden osalta. (Ilmoitukset ja kirjanpito n.d.)

Toiminnanharjoittajan on tehtävä kerran vuodessa kirjallinen ilmoitus Ruokavirastolle sen ohjeistuksen mukaan. Kirjallisessa ilmoituksessa on oltava tiedot lannoitevalmisteiden tuotantomääristä, tyyppi- ja kauppanimikkeistä, lannoitevalmisteiden raaka-aineista ja niiden alkuperistä sekä markkinoille saatetuista, maahantuotavista ja maasta vietävistä lannoitevalmisteista ja määristä sekä käyttökohteista. (L 29.6.2006/539, 11§)

Omavalvontasuunnitelma tulee olla sellainen, että sitä voidaan käyttää toimintaohjeena omavalvontaohjelman tekemisessä. Omavalvontasuunnitelmaan tulee sisällyttää

- toiminnasta vastuussa olevien henkilöiden tiedot ja perehdytys suunnitelma

- lannoitevalmisteen tuotekohtaiset tiedot raaka-aineista, niiden alkuperästä ja laadusta
- toimenpiteet, joilla voidaan jäljittää tuotteet eräkohtaisesti
- tuotannon ja toiminnan prosessien kuvaukset, joita ovat
 - kriittiset toimenpiderajat ja valvontakohdat
 - suunnitelma korjaustoimenpiteistä toimenpiderajan ylittyessä
 - tiedot toimitiloista, laitteista ja koneista sekä kunnossapidosta, mittausvälineiden puhdistusmenetelmät, kalibroinnit ja näiden suoritustiheys sekä tuholaiseläinten torjunnasta
- ohjeet häiriötilanteessa toimimiseen
- raaka-aineiden, tuotannon ja lopputuotteen näytteenotto- ja laadunvalvontasuunnitelma
- toimenpidesuunnitelma mikäli lannoitevalmisteen laatu ei täytä vaatimuksia tai se on vanhentunut
- toimintakuvaus lannoitevalmisteiden ja raaka-aineiden toimintajärjestelyistä maahantuonnin, varastoinnin, säilyttämisen ja kuljetuksen osalta sekä näistä kertovien dokumenttien sisällöstä ja arkistoinnista.

Omaohjelmointasuunnitelmaan on otettava huomioon myös tuotteiden ja raaka-aineiden valvonnan lisäksi prosessissa tapahtuvat muuttujat. Omaohjelmoinnin suorittamisesta tulee tehdä kirjanpitoa. Kirjanpitoon tulee lisätä mm. raaka-aineiden ja lannoitevalmisteiden laatuanalyysit, maahantuontiin, valmistukseen ja käsittelyyn liittyvien tuloksien ja todistusten asiakirjat. (Omaohjelmointa n.d.)

Lannoitevalmistepakkaukseen tulee merkitä tuoteselosteeseen lannoitevalmisteen

- tyyppi- ja kauppanimi
- lannoitteen ominaisuudet, ravinnemäärät, pH-arvo ja johtokyky riippuen lannoitetyypistä
- koostumus (esimerkiksi rakeistettu)
- käyttöohjeet
- valmistajan tai maahantuojan tiedot.

Mikäli lannoitevalmiste toimitetaan irtotavarana, voidaan tuoteseloste toimittaa kuormakirjan yhteydessä. Jos tuotteet ovat pakattuna tulee jokaisessa pakkauksessa olla oma tuoteselosteensa, tuoteselosteen merkinnät tulee olla suomeksi ja ruotsiksi. (Lannoitevalmisteiden pakkausmerkinnät ja tuoteselosteet n.d.)

5.4 Valmistus ja varastointi

Lannoituskäyttöön tuhka on käsiteltävä niin, että tuhkan hienojakoinen pölyäminen saadaan vähäiseksi. Lannoitevalmisteeksi tuhka onkin järkevintä rakeistaa. Rakeistetessa tuhkalannoitteeseen voidaan lisätä helposti muita epäorgaanisia lannoitevalmisteita ravinnepitoisuuksien nostamiseksi, jotta tuhkalannoite saadaan käyttökohteeseen käyttökelpoiseksi. (A 24/11, 9.)

Lannoitevalmiste voidaan pakata enimmillään 1000 kg:n pakkaukseen. Pakkauksen on sulkeuduttava tiiviisti, pakkausta avatessa pakkauksen on mentävä käyttökelvottomaksi. Pakkauksessa voidaan käyttää myös venttiilillä varustettuja säkkejä. Lannoitevalmisteen varastoinnissa on huomioitava, ettei lannoitevalmisteeestä pääse liukenemaan ravinteita ympäristöön eikä tuotteen koostumus pääse muuttumaan. Pakkaamaton lannoitevalmiste tulee kuljettaa ja varastoida peitettynä, ettei siitä aiheudu vaaraa tai ravinneliukenemia ympäristöön. (A 24/11, 9-10§.)

5.5 Tuhkalannoitteen käyttö ja levitys

Tuhkalannoitetta käytetään enimmäkseen metsälannoitteena, sillä voimalaitoksien tuhka soveltuu haitta-aineliukoisuuksien perusteella helpommin metsälannoitteeksi. Lannoitus voidaan suorittaa maa- tai lentolevityksenä. Maalevityksessä levitys suoritetaan useimmiten metsäkoneella. Maalevityksessä on huomioitava maaperän kantavuus, joten maalevitystä suoritetaan useimmiten talvella maan ollessa jäässä. Helikopterilla tehtävä lentolevitys ei ole sidottu tiettyyn vuodenaikaan, joten se voidaan suorittaa milloin tahansa vuodenajasta tai metsän kasvuvaiheesta riippumatta. (Huotari 2012, 43-44.)

Tuhkalannoitus on arvioitava aina tapauskohtaisesti mm. ravinnepuutosten mukaisesti. Tuhkalannoitetta levitetään tyypillisesti 3000 - 5000 kg/ha riippuen ravinnepitoisuuksista. Maalevityksen kustannukset ovat n. 300 e/ha ja lentolevityksessä n. 450 - 500 e/ha riippuen lentoetäisyyksistä. Lentolevitys kannattaakin sopia useampien metsänomistajien kesken, jolloin kustannukset saadaan pienemmiksi, minimi alue lentolannoitukseen on 30 ha. Tuhkalannoitetta ei levitetä 50 metriä lähemmäs järviä, puroihin tulee jättää 10 - 15 metrin suojaetäisyys sekä lannoitteen liukeneminen ojiin

olisi vältettävä. Tuhkalannoitukseen sopivia kohteita ovat turvepohjaiset metsämaat, kaliumin ja fosforin puutteesta typpirikkaat metsät, vanhojen turvesoiden metsitys ja ensiharvennus vaiheessa olevat metsät. (Tuhkalannoitus pähkinänkuoressa, 2016.)

6 Tuhkan käyttö maarakennuskohteissa

6.1 Tekniset ominaisuudet ja laatuvaatimukset

Maarakennuksessa käytettäessä tuhkan ominaisuuksia verrataan soveltuvilta osin luonnon kivilajien ominaisuuksiin. Tuhkien ominaisuudet on tarkasteltava aina rakennusosien teknisten ja toiminnallisten vaatimusten mukaan. Kelpoisuus rakennuskohteeseen varmistetaan tuhkan tuottajan teettämien tutkimustulosten perusteella. Rakeisuusominaisuuksiltaan pohjatuhka vastaa hiekkaa tai hienoa soraa ja lentotuhka vastaa pääosin silttiä tai hiekkaista silttiä. Lentotuhka on kuivana hyvin hienoainepitoista ja raekoko on noin 0,02 - 0,05mm välillä. Lentotuhkaa varastoidaankin usein kostutettuna, tällöin tuhka paakkuuntuu ja vastaa rakeisuudeltaan paremminkin hiekkaa. (Infra 062-710191, 3-4.)

Lentotuhkille optimaalinen vesipitoisuus riippuu suuresti tuhkan laadusta, yleisimmin optimaalinen vesipitoisuus lentotuhkilla on 20 - 50 % sekä pohjatuhkilla 15 - 25 %. Vedenläpäisevyyttä testataan optimivesipitoisuudessa, lentotuhkien vedenläpäisevyys on yleensä 10^{-7} - 10^{-6} m/s ja pohjatuhkilla 10^{-6} - 10^{-5} m/s. Kapillaarinen nousukorkeus vaikuttaa erityisesti lentotuhkan käyttöön suodatinkerroksessa. Kapillaarinen nousukorkeus vaihtelee suuresti riippuen tiiveydestä, rakeisuudesta ja lujittumiso-minaisuuksista. Lujuusominaisuuksista lentotuhkan puristuslujuus on tyypillisimmin 0,5 - 5 MPa, ilman sideainelisäystä. Sideainelisäyksellä voidaan saada parannettua lujuusominaisuuksia, sideaineina voidaan käyttää sementtiä, lujuusominaisuuksia voidaan parantaa myös polttovaiheessa lisäaineilla. (Infra 062-710191, 6.)

Lentotuhkien kemiallinen koostumus on joko silikaattipitoinen tai kalkkipitoinen, näille ominaista on kovettuminen veden ja hiilidioksidin vaikutuksesta. Kalkkipitoinen tuhka koostuu pääasiassa piistä, alumiinista, kalsiumoksidoista ja sulfaateista. Kalkkipitoinen tuhka voi kovettua myös hydraulisten reaktiivisuus ominaisuuksien avulla, jolloin kovettuminen tapahtuu veden vaikutuksesta. Lentotuhkat ovat pääasiassa

emäksisiä. Lentotuhkien käyttöä rajoittaa yleensä haitta-aineiden liukoisuudet. Lentotuhkilla on yleensä hyvät jäykkyysominaisuudet, sillä lujittuessaan se muodostaa sitovan rakenteen. Erityisesti lentotuhkilla on alhaisempi lämmönjohtavuus luonnon maa-aineksiin verrattuna, näin ollen tuhka toimii eristävänä materiaalina. Lentotuhkan lämmönjohtokyky on tavallisesti 0,5 - 0,7 W/mK. Hyvin lujittuvilla ja paremmin jäätymis-sulamissyklejä kestäville lentotuhkilla on yleensä parempi routakestävyys, kuin huonosti lujittuvilla ja heikommin jäätymis-sulamissyklejä kestäville. Routakestävyyttä voidaan parantaa sideainelisäyksellä. Varastoitaessa lentotuhkaa on kiinnitettävä huomiota tuhkan vesipitoisuuteen, kuivana varastoitaessa tuhkan sitoutumiskyky säilyy parempana kuin kosteana varastoidun. Kosteana kasavarastoituna tuhka tulee karkeampaa, joka hankaloittaa maarakennusvaiheessa optimivesipitoisuuteen pääsyä. (Infra 062-710191, 6-7.)

Lentotuhkan teknisten ominaisuuksien määritykset kiintotiheyden, maksimi kuivairtotiheyden, vedenläpäisevyyden, 1-akiaalisen puristuslujuuden, jäädytys-sulatuskestävyyden ja routivuuden osalta tulisi tehdä materiaalintoimittajan toimesta kerran vuodessa tai 10 000 tonnin välein. Raekokojakauma ja optimaalinen vesipitoisuus tulisi määrittää kahdesti vuodessa tai 5000 tonnin välein. Lämmönjohtavuuden määrittäminen voidaan tehdä kerran vuodessa tai 20 000 tonnin välein sekä lentotuhkan tiiveysaste tulisi tutkia aina tuhkalaaduittain. (Infra 062-710191, 15.)

6.2 Tuhkan tuotteistaminen ja käsittely maarakennukseen

Tuhkamateriaalin tuottaja on vastuussa toimittamastaan materiaalista. Tuottajalla on oltava laadunhallintajärjestelmä sekä vaatimusten mukainen laadunvalvonta, jolla voidaan osoittaa tuhkamateriaalin tekninen soveltuvuus ja ympäristökelpoisuus. Tuhkamateriaalin soveltuvuus rakennettavaan kohteeseen tai käyttökohteeseen tulee osoittaa käyttötarkoitukseen soveltuvan standardin mukaisella CE-merkinnällä sekä tuoteselosteella tai suoritustasoilmoituksella. Tuhkien maarakennuskäytössä on huomioitava myös mm. tuhkien radioaktiivisuus. Tällöin tulee tehdä laajempi tutkimus eli gamma-analyysi radioaktiivisuuden selvittämiseksi (Rakennustuotteet ja tuhka 2020). Tuoteselosteella on ilmoitettavat oleelliset tiedot materiaalista:

- soveltuva laatuluokka lentotuhkan osalta LT I, LT II tai LT IV ja pohjatuhkan osalta PT I ja PT II
- 1-aksiaalinen puristuslujuus 28 vrk vanhennettuna
- e-moduuli (kantavuusmitoituksessa käytettävä)
- routivuus, lämmönjohtokyky ja routaturpoama
- materiaalin vastaavuus eristävyiden kannalta
- lentotuhkakerroksen minimipaksuus
- lentotuhkakerroksen yläpuolisten sitomattomien murskekerrosten minimipaksuus
- lentotuhkakerroksen alapuoliset rakennekerrokset
- muut huomioitavat asiat lentotuhkarakenteissa.

Rakennekohtaiset suunnitelmat voivat vaatia täydentäviä teknisiä tutkimuksia. Ympäristökelpoisuus tulee osoittaa tutkimustuloksilla, joita verrataan asetettuihin haitta-aine raja-arvoihin. Esimerkiksi MARA-asetuksen mukaisella ilmoitusmenetelystä hyödynnettäessä tuhkaa maarakennuksessa, haitta-aineiden raja-arvot määrittävät käyttökohteen ja rakenteen enimmäiskerrospaksuuden. Tekniset ominaisuudet määritetään Infra 062-710191 tuhkaohjekortin mukaan. (Infra 062-710191, 8; Soveltamisohje 2019, 21.)

CE-merkintä ja suoritustasoilmoitus voidaan tehdä mm. maa- ja vesirakentamisessa ja tierakenteissa käytettävien sitomattomien ja hydraulisesti sidottujen kiviainesten standardin SFS-EN 13242 tai kevytkiviaineksien standardin SFS-EN 13055-2 mukaisesti. Mikäli tuhkasta valmistettaisiin esimerkiksi rakeistettua kevytkiviainesta, käytettäisiin standardia SFS-EN 13055-2, tällöin kevytkiviaineksen irtotiheyden tulee olla alle 1200 kg/m^3 tai kevyt kiviainesmateriaalin hiukkastiheys on enintään 2000 kg/m^3 . (Infra 062-710191, 8; SFS-EN 13055:2016, 7)

6.3 Ympäristökelpoisuuden laadunhallinta MARA-asetuksen mukaisesti

Jätteen hyötykäyttöön luovuttaja on vastuussa jätteen MARA-asetuksen mukaisuudesta. Jätteen luovuttajan tulee ylläpitää laadunvarmistusjärjestelmää, sillä jätteet tulee olla yksilöitävissä ja jäljitettävissä eräkohtaisesti sekä jätteen tulee täyttää ase-

tuksessa määritetyt vaatimukset. Laadunvarmistusjärjestelmällä pyritään varmistamaan jätteen säännöllinen ja suunnitelmallinen laadunvalvonta. Laadunvarmistusjärjestelmässä on oltava seuraavat tiedot:

- jätteen nimestä ja nimikkeestä sekä syntyvä määrä vuositasolla
- laadunvalvontatutkimukset, joissa on erittelyt näytteenotto paikasta ja -ajankohdasta, näytteenottomenetelmistä, koonti- ja osanäytteiden määristä ja kokoluokista sekä näytteenoton laadunvarmennus
- jätteen varastointi- ja käsittelyohjeet sekä vastaanotosta, jos esim. toisen laitoksen tuhkaa käsitellään samalla alueella
- vastuuhenkilöt ja pätevyudet
- arviointi- ja auditointisuunnitelma
- seuranta, raportointi ja tutkimustulosten dokumentointi. (Soveltamisohje 2019, 26.)

Laitosmaisessa tuotannossa tuhkan ympäristökelpoisuutta tarkastellaan säännöllisesti, esimerkiksi ottamalla tuoreesta jatkuvasta jätevirrasta näytteet tai esimerkiksi vanhennetusta tuhkasta otetuilla näytteillä. Jätteen sisältämät haitta-aine pitoisuudet ja liukoisuudet tulee määrittää ennen hyötykäyttöön luovuttamista vähintään yhdestä kokoomanäytteestä. Jos tuhka ei täytä MARA-asetuksessa annettuja raja-arvoja, voidaan sitä käsitellä esimerkiksi vanhentamalla. Käsittelyn jälkeen vanhennetusta tuhkasta otetaan uudet osanäytteet, joista tehdään kokoomanäyte. (Soveltamisohje 2019, 28.)

Näytteenoton tulee olla SFS-EN 14899 standardissa määritellyn näytteenottosuunnitelman mukainen. Näytteenottosuunnitelmaan on sisällyttävä ainakin

- näytteenoton tavoitteet
- tutkittava jäte-erä
- näytteenotto paikka ja -ajankohta
- näytteiden määrät ja koot
- näytteenottovälineet, näytteiden esikäsittely menetelmät ja toimitus laboratorioon
- näytteenoton laadunvarmennus ja dokumentointi.

Kaikki näytteenotossa tapahtuneet poikkeamat dokumentoidaan ja poikkeamien vaikutukset näytteiden laatuun arvioidaan sekä liitetään rekisteröinti-ilmoitukseen liitettävään laadunvarmistusraporttiin. Mikäli jätettä käsitellään ennen luovuttamista hyötykäyttöön, tulee käsittelystä jätteestä ottaa näytteet, joista koostetaan kokoomanäyte. Tuhkaa voidaan vanhentaa esimerkiksi kostutettuna kasassa tai aumassa. Kasavarastoidusta jätteestä näytteenottoa on kerrottu mm. SFS-ISO10381-8 standardissa. Jätettä käsiteltäessä on hyvä ottaa näytteet aina tuoreesta sekä käsittelystä jätteestä, jotta voidaan verrata käsittelyn vaikutuksia haitta-ainepitoisuuksiin ja -liukoisuuksiin. (Soveltamisohje 2019, 29.)

Kivihillen-, turpeen- ja puuperäisen aineen poltosta muodostuvilla tuhkillä suurin massamäärä, joka voidaan tutkia yhdellä kokoomanäytteellä, on 5000 tonnia. Kokoomanäyte tulee koostua vähintään 50 osanäytteestä. Ympäristökelpoisuuden arvioinnissa kokoomanäytteen koko on yleensä noin 20 kg. Mikäli säännöllisiä laadunvalvontatuloksia ei ole vähintään 10 kappaletta tai haitta-ainepitoisuudet ovat lähellä raja-arvoja tai ylittävät ne joissain tutkimuksissa, tulee jokainen jäte-erä tutkia eräkohtaisesti rippumatta jätteen määrästä. Kun laadunvalvontatutkimuksissa todetaan jätteen laatu yhdenmukaiseksi ja tuloksia on riittävästi, voidaan laatu todentaa kokoomanäytteellä. (Soveltamisohje 2019, 30-31, 33.)

Laadunhallintaraportilla todennetaan näytteenoton laadunvarmennus. Laadunhallintaraportissa kuvataan suunnittelu, toteutus ja oikeaoppinen työskentely näytteiden kanssa ja näytteenotossa. Laaduntarkkailunäytteillä mm. rinnakkaisnäytteillä osoitetaan näytteenoton luotettavuus ja toistettavuus sekä laboratorion luotettavuus. Laadunhallintaraportti on koontiraportti laadunvalvontatutkimuksista. Laadunhallintaraportti sisältää

- näytteenottosuunnitelman
- kuvauksen näytteenotosta
- poikkeamat näytteenottosuunnitelmasta ja arvioinnin niiden vaikutuksista tulosten luotettavuuteen
- tutkimustulokset ja tulosten vertailu MARA-asetuksen raja-arvoihin

- laboratorion tutkimustodistukset, joissa on tiedot pätevyysalueesta, tutkimuksen viitemenetelmistä, menetelmien akkreditoinnista ja mittausepävarmuuksista.

Laadunhallintaraportti tulee toimittaa MARA-asetuksen rekisteröinti-ilmoituksen liitteenä. (Soveltamisohje 2019, 32.)

6.4 Tuhkan varastointi ja käyttö

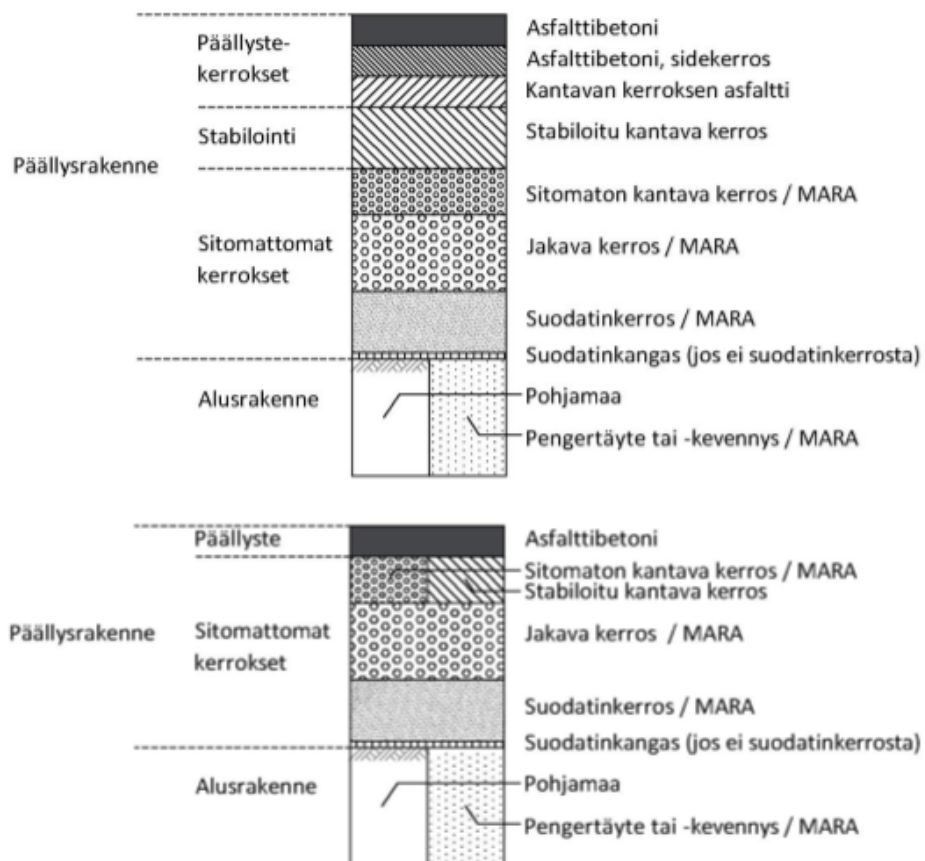
Tuhkan ammatti- tai laitospäiväiseen varastointiin ja käsittelyyn tarvitaan ympäristölupa. Jätteen käsittelyalueelle haetaan ympäristölupaa kunnan ympäristönsuojeluviranomaiselta, mikäli käsiteltävä tuhka määrä jää alle 20 000 tonnin vuodessa. Jos tuhkan käsiteltävä määrä nousee yli 20 000 tonnin vuodessa, haetaan ympäristölupaa valtion ympäristölupaviranomaiselta. (A 4.9.2014/713, 1-2§.)

Jätettä kuten tuhkaa voidaan säilyttää välivarastoinnissa muista jätteistä erillään alle kolmen vuoden ajan ilman verovelvollisuutta (L 17.12.2010/1126, 3§). Mikäli jätettä ei hyödynnetä kolmen vuoden kuluessa, maksetaan jätevero koko varastokapasiteetista (L 17.12.2010/1126, 7§).

Maarakennuskohteisiin hyödynnettäessä yleensä taloudellisin tapa varastoida tuhkaa on kostuttaa tuhka. Kostutettuna tuhkaa voidaan varastoida läjitettynä tai varastoauomoissa. Läjittäminen sopii paremmin tilanteisiin, joissa lentotuhka on tarkoitus käyttää sellaisenaan tai se on jo käsitelty. Mikäli lentotuhkaan on tarkoitus lisätä sideaineita, tällöin aumavarastointi mahdollistaa sideaineiden yksinkertaisen sekoittamisen tuhkaan aumasekoittimen avulla. Varastointi on suositeltavinta suorittaa päällystetyllä kenttärakenteella. Aumavarastoinnissa hehtaarin kokoiselle päällystetylle kentälle voidaan varastoida noin 5400 m³ lentotuhkaa. Varastoitaessa lentotuhkia läjittämällä tai aumana olisi ne hyvä suojata suojamuovilla ylä- ja alapuolelta tai muutoin hallirakennuksella, jottei lentotuhka pääse liettymään. (Tuhkarakentamisen käsikirja 2012, 49-50.)

MARA-asetuksen mukaisissa hyötykäyttökohteissa välivarastointi voidaan aloittaa 4 viikkoa ennen käyttöä tai enimmillään vuosi ennen käyttöä, mikäli tuhka varastoidaan suojattuna (Soveltamisohje 2019, 9-10).

MARA-asetuksen rekisteröinti-ilmoituksessa on esitettävä selkeästi poikkileikkauspiirustuksena rakennusosien kerroksittainen rakenne ja missä kerroksissa asetuksen mukaisia jätemateriaaleja aiotaan hyödyntää (Soveltamisohje 2019, 40). Tuhkaa voidaan hyödyntää väylä- ja kenttärakenteissa peitettynä tai päällystettynä enintään 1,5 metrin kerrospaksuudella, vallirakenteessa enintään 5 metrin kerroksena peitettynä sekä teollisuus- ja varastorakennuksien pohjarakenteissa enintään 1,5 metrin kerrospaksuudella ja tuhkamursketeissä enintään 0,2 metrin kerrospaksuudella. Mara-asetuksen mukaan tuhkaa voidaan käyttää mm. pengertäytöissä, suodatinkerroksessa, jakavassa kerroksessa tai kantavissa kerroksissa sekä kaivantojen lopputäytöissä (ks. kuvio 1). (Soveltamisohje 2019, 21.)



Kuvio 1. Esimerkki päällysrakenne MARA-materiaaleilla ja esimerkki väylä- ja kenttärakenteesta (Soveltamisohje 2019, 38)

MARA-materiaaleja voidaan hyödyntää eri työvaiheissa, tällöin tulee huomioida kerrospaksuus rajoitus. Kerrospaksuus rajoitus koskee ainoastaan MARA-materiaaleista koostuvia kerroksia, tähän ei lasketa mukaan puhtaista maa-aineksista koostuvia välikerroksia. (Soveltamisohje 2019, 40.)

7 Tuhkan muut käyttökohteet

Jätevesien puhdistus

Tuhkan hyötykäyttöä jätevesien puhdistuksessa on tutkittu aktivoimalla tuhkaa hapolla tai alkalisella menetelmällä sekä pinnoittamalla tuhkaa polymeerillä tai rakeistamalla. Haptoaktivointi tehdään suola- tai rikkihapolla, jotka saavat tuhkassa olevat alumiinin, kalsiumin, raudan ja magnesiumin liukoisemmaksi, jolloin nämä alkavat muodostaa klorideja ja sulfaatteja. Käsitelty tuhka lisätään puhdistettavan veteen, jolloin metalli-ionit saostavat fosforia tai humusta pois. (Antikainen 2014, 20.)

Alkalisella aktivoinnilla tuhkaan lisätään emäksistä ainetta mm. natrium- ja kaliumhydroksidi, joka voidaan tehdä kuumentamalla seosta kymmeniä tunteja n. 100 asteen lämpötilassa tai sulattamalla tuhkaa kiinteän emäksisen aineen kanssa muutama tunti korkeassa lämpötilassa n. 600 - 1000 asteessa. Näistä muodostuvilla zeoliiteilla on mahdollista puhdistaa ionimuodossa olevia epäpuhtauksia. Tuhkasta muodostuneita zeoliitteja voidaan pinnoittaa polymeerillä, joka tehostaa humushapon ja fosfaattien poistoa. Rakeistetulla tuhalla tehdyissä vedenpuhdistus tutkimuksissa, tuhkarakeen pienempi pinta-ala vähentää tuhkan alkuaineiden reaktiivisuutta. Pienempi reaktiivisuus vähentää puhdistettavan veden haitta-aineiden reaktiota tuhkan kanssa, jolloin fosforin poisto kyky heikkenee. (Antikainen 2014, 21-23, 25.)

Tuhkan käyttöä veden puhdistuksessa vaikeuttaa tuhkasta liukenevat raskasmetallit. Raskasmetallit voivat myös tarttua tiukasti humuspitoisiin aineisiin ja päätyä näin ollen vesistöön. Mikäli tuhkaa käytetään veden puhdistuksessa humuksen poistossa, tulee sitä aktivoida hapolla tai alkalisesti. Rakeistettu tuhka soveltuu heikosti veden puhdistukseen, sillä humuksen poistossa tarvittavat liukoiset metallit ovat huonosti liukenevassa muodossa. (Antikainen 2014, 35-37.)

Betonin ja sementin valmistus

Kivihiiilen poltosta muodostuvaa lentotuhkaa on käytetty sementin raaka-aineena sementtiteollisuudessa. Kivihiiilen lentotuhkaa käytetään sementin valmistuksessa, sillä siitä saadaan alumiinia ja piitä sementtiin. Kuivalla lentotuhkalla voidaan korvata myös kiviaineslajikkeita betonissa. Turpeen poltossa syntyvä tuhka on saman tyyppistä kuin kivihiiilen tuhka, joten sekin sopisi betonin ja sementin valmistukseen. Puh- taassa puu tuhkassa ei ole betonin ja sementin tuotantoon soveltuvia ominaisuuksia. (Joensuu n.d.)

Lentotuhkan käyttöä betoniteollisuudessa ohjaa lentotuhkastandardi SFS-EN 450-1, joka ohjaa pääasiassa kivihiiilen poltosta muodostuneen lentotuhkan vaatimuksia (SFS-EN 450-1:2013, 4). Hiilen ja esimerkiksi puun seospoltosta syntynyttä tuhkaa voidaan myös hyödyntää betonin valmistuksessa. Oheispolttoaineesta muodostuvan tuhkan määrä saa olla enintään 30 % kuivapainosta. (SFS-EN 450-1:2013, 7.)

Maametallien talteenotto

Turve ja biopohjaisissa tuhkissa voi olla enimmillään jopa 560 mg/kg harvinaisia maametalteja. Rikkihapolla tehtävässä uutossa on mahdollista saada noin 70 prosenttia tuhkan sisältävistä maametalteista talteen. Talteenottoa on tutkittu neste - neste uutto menetelmällä ja saostamalla. Kevyempien maametallien uutamisessa käytetään korkeampi pitoisuuksista uuttoliuosta, kun taas raskaampien maametallien uutamisessa laimeampi uuttoliuos on tehokkaampi. (Perämäki 2014, 77-78.)

Tuhka geopolymeerien raaka-aineena

Teollisuuden sivuvirroista kuten tuhkasta voidaan valmistaa rakennusteollisuuteen geopolymeereja, jotka vastaavat ominaisuuksiltaan betonia. Geopolymeereja voidaan valmistaa mm. lisäämällä tuhkaan reaktiivista lisäainetta, joka saa näistä muodostuvan geopolymeerin kovettumaan. Kovettumisaikaa ja materiaalin ominaisuuksia voidaan säädellä muuttamalla raaka-aineiden sekoitussuhteita tai lisäaineistamalla geopolymeeria lisäaineella. Suomessa Betolar on kehittänyt esimerkiksi kivihii- lituhkasta valmistettavia pihakiviä. Geopolymeeripohjaisessa aineessa muodostuu lu- jasidoksinen rakenne sekä kemiallisilta ominaisuuksiltaan stabiilimpi. Stabiilimpien ominaisuuksien myötä haitta-aineiden liukoisuus vähenee. (Salminen 2020, 16-17.)

8 Tuhkan käsittely

8.1 Stabilointi

Lentotuhka on hyvin hienojakoista ja pölyävää, joten se täytyy stabiloida eli esikäsitellä ennen kuljetusta ja lopullista käyttöä. Tuhkaa voidaan stabiloida itsekovettamalla, rakeistamalla tai pelleteimalla. Näissä menetelmissä tuhkaan lisätään vettä noin 30 - 35 % kokonaismassasta. Biopohjaiset tuhkat sisältävät paljon kalsium-, alumiini- ja sulfaattiyhdisteitä. Näistä muodostuu kostutettaessa sementtimäistä ainetta, joka saa aikaan tuhkan tiivistymisen. Tiivistynyt tuhka kovettuu muutamassa viikossa. (Huotari 2012, 10.)

Rakeistamalla saadaan hidastettua tuhkan liukoisuutta, jolla saadaan esimerkiksi lannoitekäytössä ravinteet liukenemaan tasaisemmin. Rakeistettu tuhka on helpompaa käsitellä, kuin itsekovetettu, sillä se on juoksevammassa olomuodossa, eikä paakkuunnu yhtä helposti. (Pihkala 2003, 21.)

Itsekovettamisessa tuhkaan lisätään vettä ja annetaan sen kovettua kasassa, näin ollen itsekovettaminen on yksinkertainen ja edullinen tapa stabiloida tuhkaa. Itsekovetettu tuhka täytyy kuitenkin murskata ennen käyttöä sopivaan raekokoon, jolloin muodostuu paljon pölyävää hienoainesta. Rakeistamisessa kostutettua tuhkaa sekoitetaan, jolloin siitä syntyy pallomaisia rakeita. Rakeistus on huomattavasti tehokkaampi menetelmä tuhkan stabilointiin, sillä rakeistettu tuhka kovettuu nopeammin ja pölyää vähemmän. Rakeistuksen sekoitusvaiheessa tuhkaan voidaan lisätä esimerkiksi ravinteita parantamaan lannoitusominaisuuksia tai sideaineita tehostamaan kovettumista. (Huotari 2012, 10-12.)

Tuhkan tai tuhkarakeen kovettumisprosessi saa alkunsa veden, tuhkassa olevien alkuaineiden ja hiilidioksidin reagoiessa. Kovettumiseen vaikuttaa mm. tuhkan pH-arvo, kemiallinen koostumus, lämpötila sekä partikkelien koko. Bioperäisten polttoainetuhkassa on kalsiumoksidia, joka reagoi veden kanssa aiheuttaen hydratoitumisreaktion, jossa muodostuu lämpöä. Tuhka alkaa kovettua, kun siinä muodostuu karbonaattia, joka reagoi hiilidioksidin kanssa. Kovettumisreaktio alkaa nopeasti ja

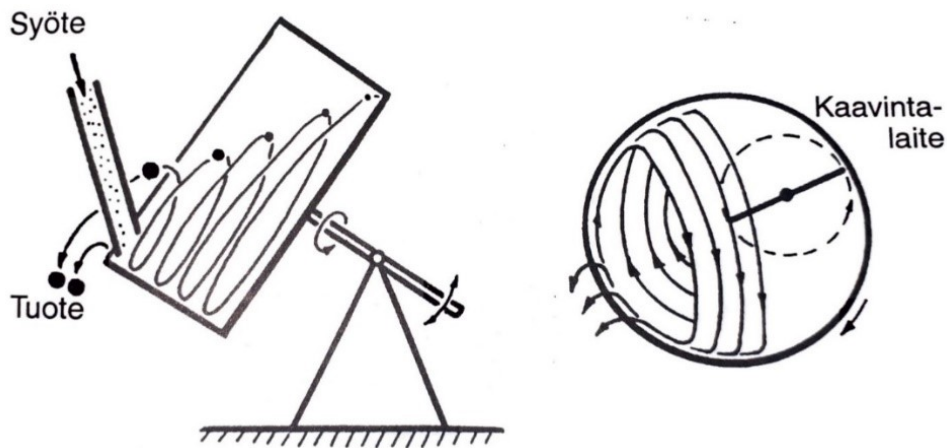
tuhka kovettuukin jo 1 - 3 päivässä. (Isännäinen, S., Huotari, H. & Mursunen, H 1997, 5-6.)

Tuhkia vanhentamalla, sidosainelisäyksellä, tiivistämällä tai käyttämällä tuhkaa kerros- tai massastabiloinneissa voidaan vähentää haitta-aineiden liukoisuuksia. Tutkimuksissa on havaittu haitta-aineiden liukoisuuden vähentymistä mm. kloridin, sulfaatin, kalsiumin, molybdeenin, seleenin ja kromin osalta puu ja turve pohjaisilla tuhkillä, vanhentamalla niitä 2,5 kuukautta. Tiivistämisellä haitta-aine liukoisuus on pienentynyt mm. fluoridin, sulfaatin, lyijyn, kalsiumin ja kromin osalta, mutta osalla testatuista tuhista haitta-aineiden liukoisuudet ovat kasvaneet mm. molybdeenin, antimonin ja arseenin osalta. Tutkimuksessa on käytetty eri voimalaitosten tuhkia, joissa poltetaan polttoaineita eri suhteilla. Polttosuhteet ja käytettävän polttoaineen laatu vaikuttavat tuhkien käyttäytymiseen. (Lindroos, Ronkainen & Järvinen, 2016, 10, 20-28.)

Sideainelisäyksen vaikutukset tuhkan liukoisuuteen massiivituhkakerroksessa ovat pienentäneet fluoridin, sulfaatin, seleenin, lyijyn ja kloridin liukoisuuksia, mutta molybdeenin, kromin ja bariumin osalta joillain testatuilla tuhkillä liukoisuudet ovat kasvaneet. Massastabiloinnissa sementillä seostettua tuhkaa on käytetty saven tai siltin stabiloinnissa. Kerrosstabiloinneissa sementillä seostettua tuhkaa on käytetty vanhan murske kerroksen stabiloinnissa. Liukoisuudet ovat testattujen haitta-aineiden osalta vähentyneet, jokaisella tuhkanäytteellä. (Lindroos ym, 2016, 28-30 38-47.)

8.2 Rakeistusmenetelmät

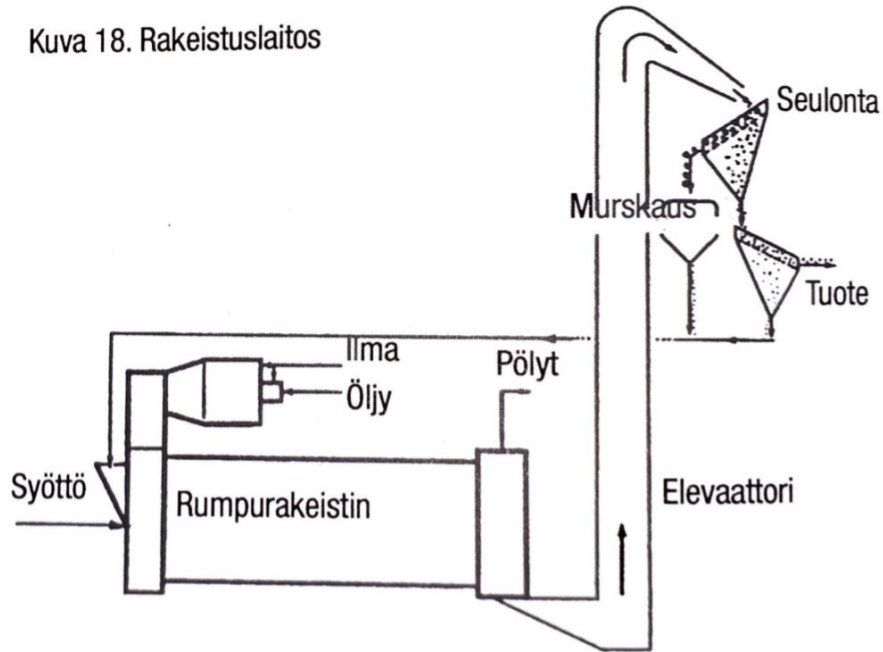
Rakeistamista voidaan suorittaa lautasrakeistimella, rumpurakeistimella sekä puritusrakeistimilla. Lautasrakeistin (ks. kuvio 2) pyörii noin 45 °:n kulmassa, lautasen halkaisijalla ja kierrosnopeudella voidaan vaikuttaa rakeiden kokoon, tiiveyteen ja kovuuteen. (Pihkala 2003, 22-23) Lautasrakeistimen tuotantokapasiteetti riippuu rakeistuslautasen koosta. Lautasrakeistimella rakeesta saadaan hieman tasalaatuisempia ja kovempia rakeita, rakeiden koko noin 5 - 15 mm. (Muistio rakeistuslaitteisto 28.2.2020)



Kuvio 2. Lautasrakeistimen havainnekuva (Pihkala 2003, 23)

Rakeistusrummun (ks. kuvio 3) yläpäähän syötetään rakeistettavaa jauhetta ja sidostavana aineena vettä. Rakeistusrumpu pyörii sopivalla kierrosnopeudella saaden rakeet nousemaan rummun seinämällä ja vyörymään alas, tämä saa aikaa ns. lumipalloefektin ja rakeet tiivistymään. Rumpu on hieman kalteva, joka saa rakeet liikkuman eteenpäin rummussa. Rummun seinämille voidaan kiinnittää kaapimia, jotka tehostavat rakeistumista. Rakeiden kokoon voidaan vaikuttaa kierrosnopeudella ja kosteuspitoisuuden muutoksilla. Rakeistuksen jälkeen rakeet seulotaan, näistä hienoaines palautetaan takaisin rakeistukseen ja ylisuuret rakeet murskataan. (Pihkala 2003, 22.)

Kuva 18. Rakeistuslaitos



Kuvio 3. Rumpurakeistuslaitteiston havainnekuva (Pihkala 2003, 22)

Rakeistuslaitteistosta voidaan tehdä moduulimainen tai kiinteä yksikkö. Mikäli tuhka-
raetta halutaan käyttää lannoitteena, rakeistuslaitteistoon tarvitaan tuhksiilo, lau-
tas- tai rumpurakeistin, sekoitussäiliö, lisäainesiilot alkuaineiden lisäämiseksi mm.
boori tai muita sidosaineita, ruuvikuljettimet siiloilta rakeistimelle ja varastointi-
paikka, jossa rakeet stabiloituvat 1 - 2 päivää, josta ne ajetaan isompaan katettuun
varastoon tai käyttökohteeseen. Rumpurakeistin asennetaan hieman kaltevaan kul-
maan, jotta rakeet liikkuvat tasaisesti eteenpäin, rummun pituudella voidaan vaikut-
taa rakeiden tasalaatuisuuteen. Maanrakennuskäyttöön rakeistettaessa ei välttä-
mättä tarvita lisäainesiiloja, sillä tuhkasta muodostuu veden kanssa rakeita ja ne ko-
vettuvat kuivuessaan. (Muistio rakeistuslaitteisto 6.3.2020.)

9 Työn toteutus

9.1 Nykytilanteen kartoitus

Keljonlahden voimalaitoksella kiertopetikattilassa poltetaan puuta ja turvetta, puun osuus poltossa on 60 % ja turpeen osuus 40 %. Rauhalahden voimalaitoksella leijupe-tikattilassa poltetaan puuta ja turvetta, puun osuus poltossa on 50 % ja turpeen osuus 50 %. Voimalaitoksien käyntiajat ovat jakaantuneet siten, että Keljonlahden voimalaitoksella ajetaan talven lämmityskausi ja Rauhalahden voimalaitoksella kesä-kausi. Voimalaitokset käyvät yhtä aikaa vain lämmityskauden huipputehon aikana.

Vuonna 2019 Keljonlahden ja Rauhalahden voimalaitoksilla syntyi yhteensä 15901 tonnia lentotuhkaa ja 5188 tonnia pohjatuhkaa. Lentotuhkasta suurin osa meni hyö-tykäyttöön lannoitteeksi ja maanrakennukseen, mutta lentotuhkaa jouduttiin vie-mään jonkin verran jätteenkäsittelylaitokselle kivihiilenpolton vuoksi. Pohjatuhkan osalta kaikki saatiin hyötykäytettyä maarakennukseen (ks. taulukko 3).

Taulukko 3. Lento- ja pohjatuhkan määrät vuonna 2019

	2019	Keljonlahti	Rauhalahti	Yhteensä
Pohjatuhka massa, tonnia	Hyötykäyttö	2446	2742	5188
	Jätteenkäsittely	0	0	0
Lentotuhka massa, tonnia	Hyötykäyttö	8728	5337	14065
	Jätteenkäsittely	522	1314	1836

Alva-yhtiöt Oy:n tavoitteena on saada biopohjaisten polttoaineiden osuus poltossa 80 %:n vuonna 2025. Biopohjaisten puupolttoaineiden osuutta kasvatetaan vuosit-tain. Rauhalahdella puun osuus on tarkoitus nostaa 60 %:n kesän 2020 aikana. Tämä pienentää turpeen osuuden 40 %:n. Keljonlahdella syksyllä lämmityskauden alkaessa puun osuus nostetaan 65 %:n. Tämä pienentää turpeen osuuden 35 %:n. Polttosuh-teiden muuttuessa muodostuvan tuhkan määrä tulee vähenemään, koska turvepolt-

toaineissa on noin kaksinkertainen määrä tuhkaa puupolttoaineisiin verrattuna. Polttosuhteiden muutos vaikuttaa myös tuhkan teknisiin ominaisuuksiin ja ympäristökelepoisuuteen. Esimerkiksi Keljonlahdella bion osuuden kasvaessa, kattilaan syötetään alkuainerikkiä estämään kuumakorroosion aiheuttamia vaurioita. Syötetty rikki näkyy tuhkassa korkean sulfaattipitoisuuden myötä.

Keljonlahden voimalaitoksella lentotuhka menee 900 m³ siiloon, josta se voidaan purkaa kuivapurkuna säiliöautoon tai märkäpurkuna ruuvikuljettimella erikoisvalmistiselle kuorma-auton hiekkalavalle. Lentotuhkan kuljetuksesta ja hyötykäytöstä vastaa ulkopuolinen urakoitsija. Pohjatuhka menee suoraan suljetuille vaihtolavoille, joista urakoitsija huolehtii tyhjennyksen ja hyötykäytön. Rauhalahden voimalaitoksella voidaan myös purkaa lentotuhka kuivana sekä kostutettuna, Rauhalahden lentotuhkasiilo on kooltaan 500 m³. Pohjatuhka puretaan kasalle, josta se lastataan pyöräkuormaajalla urakoitsijan yhdistelmäajoneuvoon. Molemmilla laitoksilla lentotuhka puretaan pääasiassa kuivapurkuna säiliöautoon.

Rauhalahden voimalaitoksella syntyi huomattavasti vähemmän tuhkaa kuin Keljonlahdella, mutta kustannukset kohosivat kuitenkin suuremmiksi. Suuremmat kustannukset selittyvät pääasiassa jätteenkäsittelyyn kuljetetun lentotuhkan määrästä. Jätteenkäsittelyyn vietäessä vuonna 2019 vastaanottomaksu sisälsi 70 e/tn jäteveron ja kokonaiskustannukseksi muodostui 140 e/tn. Hyötykäytön kustannuksetkin ovat melko korkeat, nämä johtuvat pitkistä kuljetusmatkoista ja tuhkien heikosta soveltuvuudesta lannoitekäyttöön niukkojen ravintoainepitoisuuksien vuoksi.

Keljonlahden lentotuhkasta on tehty metsälannoitetta, mutta vähäisten ravintoainepitoisuuksien vuoksi tuhkaan joudutaan lisäämään paljon ravinteita mm. fosforia ja kaliumia, mitkä nostavat kustannuksia. Lannoitekäyttöön soveltumatonta tuhkaa on viety myös hyötykäyttöön maarakennukseen. Rauhalahden lentotuhka soveltuu tällä hetkellä maarakennuskäyttöön ympäristöluvallisella alueella. Lannoitekäyttöön tuhka ei sovellu niukkojen ravintoainepitoisuuksien vuoksi. Lentotuhkan hyötykäytön kustannukset ovat n. 30 - 50 e/tn hyötykäyttökohteen ja kuljetusmatkan mukaan. Pohjatuhkan hyödyntämisen maarakennukseen MARA-asetuksen mukaisella ilmoitusmenettelyllä tekee ulkopuolinen urakoitsija. Pohjatuhkan hyötykäyttökustannukset ovat 16 - 24 e/tn.

9.2 Haastattelut muille voimalaitoksille

Esiselvitysprojektin osana kerättiin haastatteluin tietoa eri voimalaitosten toimintatavoista tuhkan hyötykäytössä. Haastattelut toteutettiin vuoden 2020 maaliskuun aikana. Haastattelupyynnöt lähetettiin 12:lle voimalaitostoimijalle, joista yhdeksältä saatiin vastaukset puhelimitse ja sähköpostitse. Haastattelut painotettiin isompiin leijukerrospoltto tekniikalla toimiviin voimalaitoksiin, jotka käyttävät polttoaineina pääasiassa puuta ja turvetta samantyyppisillä polttosuhteilla kuin Keljonlahden ja Rauhalahden voimalaitokset. Samankaltaisilla polttoaineilla ja -suhteilla toimivien voimalaitosten tuhkien ominaisuudet ovat lähimpänä Keljonlahden ja Rauhalahden tuhkien ominaisuuksia, jolloin haastateltavien voimalaitosten hyötykäyttömuotoja voidaan käyttää apuna uusien hyötykäyttökohteiden selvittämisessä. Haastattelun kysymykset on esitelty liitteessä 1.

Haastatteluun osallistuneista kuudella toimijalla lento- ja pohjatuhka käytetään pääasiassa maarakennukseen. Maarakennuksessa tuhka hyödynnettiin ympäristöluvallisilla alueilla tai MARA-asetuksen mukaisilla alueilla. Maarakennuksessa hyötykäyttöön vaikuttaa suuresti haitta-aineiden liukoisuus, joka rajoittaa MARA-asetuksen mukaista hyödyntämismenettelyä. Haitta-ainepitoisuuksien ylittyessä tuhkaa käytetään ympäristöluvallisissa kohteissa tai, mikäli näitä ei ole saatavissa, joudutaan tuhka viemään korkeilla kustannuksilla jätteenkäsittelylaitokselle. Ongelmallisimpia haitta-aineita liukoisuuksien osalta ovat mm. sulfaatit, molybdeeni ja arseeni.

Kolmella haastatelluista toimijoista lentotuhkaa hyödynnettiin lannoitteen valmistuksessa. Toimijoilla oli joko itsellään lannoitteen valmistukseen sopiva rakeistuslaitteisto tai lannoitteeksi rakeistamisen huolehti ulkopuolinen yritys. Suurimmaksi ongelmaksi tuhkan hyödyntämiseksi lannoitteena on osoittautunut tuhkalannoitteen myynti ja markkinointi. Parhaita tuloksia tuhkalannoitteen markkinoinnissa on saatu, kun markkinoinnin ja myynnin on suorittanut ulkopuolinen lannoitemyyjä.

Haastattelujen perusteella korkeampi biopolttoaineenpitoisuus poltossa parantaa tuhkan ravinnearvoja ja näin ollen vähentää lisäravinteiden tarvetta. Tällainen tuhka soveltuu paremmin lannoitekäyttöön. Mikäli turpeen osuus poltossa on yli 40 %, jou-

dutaan lisäämään enemmän lisäravinteita, mikä taas nostaa lannoitteen kustannuksia. Korkeampi turpeenosuus poltossa saa tuhkasta reaktiivisempaa ja näin se soveltuu paremmin maarakennukseen.

9.3 Keljonlahden ja Rauhalahden tuhkien ominaisuudet

Keljonlahden ja Rauhalahden lento- ja pohjatuhkille on tehty MARA-asetuksen mukaiset maarakennuskelpoisuustutkimukset kaksivaiheisella ravistelutestillä kokoomanäytteiden sekä yksittäisten ylimääräisten näytteiden perusteella. Lentotuhkille on tehty myös molempien voimalaitosten osalta Infra 062-710191- tuhkaohjekortin mukaiset teknisen soveltuvuuden tutkimukset.

9.3.1 Pohjatuhka

Laboratoriossa tehtyjen maarakennuskelpoisuustutkimuksien perusteella Keljonlahden ja Rauhalahden voimalaitosten pohjatuhkat sopivat suoraan sellaisenaan maarakennuskäyttöön MARA-asetuksen mukaisella ilmoitusmenettelyllä. Pohjatuhkaa voidaan hyödyntää väylä- ja kenttärakenteissa päällystettynä tai peitettynä, vallirakenteissa peitettynä, teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteissa ja tuhka- mursketeissä.

Yleisesti pohjatuhkien rakeisuus vastaa hiekkaa tai hienoa soraa, joten niitä voitaisiin hyödyntää tuhkaohjekortin mukaan tekniset ominaisuudet huomioiden mm. väyliä, liikuntapaikkojen tai meluvalliä maapenkereissä, vastapenkereissä, kaivantojen lopputäytöissä, massanvaihtojen yhteydessä täytöissä ja maavallikatsomoissa. Soveltuvilta osin pohjatuhkaa voidaan hyödyntää myös suodatinkerroksissa ja jakavissa kerroksissa, tämä vaatii pohjatuhkalle PT I - luokittelun. (Infra 062-710191, 9)

Pohjatuhkan osalta olisi myös tehtävä teknisten ominaisuuksien tutkimukset, eli olisi selvitettävä kuuluuko pohjatuhka luokkaan PT I vai PT II. Pohjatuhkien osalta luokittelu perustuu pääasiassa rakeisuuden muutoksiin (Infra 062-710191, 7).

9.3.2 Lentotuhka

Keljonlahden osalta vuosien 2019-2020 aikana tehdyissä MARA-asetuksen mukaisissa maarakennuskelpoisuustutkimuksissa sulfaatin korkea liukoisuus estää kaikissa ta-

pauksissa tuoreen tuhkan hyötykäytön maarakennuksessa MARA-asetuksen rekisteröinti-ilmoitusmenettelyllä. Käyttökohteita rajoittavat myös kloridin, molybdeenin ja kromin korkeat liukoisuudet. Molybdeenin korkea liukoisuus estää käytön peitettyissä väylä-, kenttä- ja vallirakenteissa sekä tuhkamursketeillä. Kromin liukoisuus ylittää peitetyn kenttä- ja vallirakenteen raja-arvot. Kloridin liukoisuus ylittää ainoastaan peitetyn kenttärakenteen raja-arvon.

Rauhalahden vuosien 2019-2020 aikana otetuissa maarakennuskelpoisuustutkimuksissa puolestaan molybdeeni tai barium ovat estäneet MARA-asetuksen mukaisen tuoreen tuhkan hyödyntämisen rekisteröinti-ilmoitusmenettelyllä. Myös sulfaatin ja fluoridin liukoisuudet ylittävät peitetyn kenttärakenteen raja-arvot. Rauhalahden lentotuhka on kuitenkin lähempänä MARA-kelpoisuutta kuin Keljonlahden.

Keljonlahden ja Rauhalahden lentotuhkille on tehty maarakennushyötykäyttöön teknisten soveltuvuuksien laboratoriotutkimukset lentotuhkien soveltuvuudesta massiivirakennekäyttöön tie-, katu- ja kenttärakenteissa. Tutkimukset on tehty Infra 062-710191 tuhkaohjekortin mukaan, yhteistyökumppanin laboratoriossa. Tutkimuksissa tuhkia vanhennettiin noin seitsemän vuorokautta, jotta voitiin paremmin verrata tutkimustuloksia tuleviin käyttötarkoituksiin, sillä tuhkia joudutaan todennäköisesti varastoimaan kustutettuna ennen käyttöä. Keljonlahden lentotuhka on tutkimuksissa todettu melko heikosti lujittuvaksi. Routivuuden vuoksi sideainelisäyksilläkään ei saatu käytettävyyssaluetta laajennettua. Keljonlahden lentotuhka soveltuu näin ainoastaan tuhkaohjekortin Infra 062-710191 mukaisesti LT4 - luokkaan, jolloin lentotuhkaa voidaan hyödyntää pengerryksissä ja täytöissä routarajan alapuolella. (Tulosraportti 2020.)

Rauhalahden lentotuhkalla on paremmat tekniset ominaisuudet maarakentamiseen kuin Keljonlahden lentotuhkalla. Rauhalahden lentotuhka on todettu vähemmän routtivaksi ja sideainelisäyksellä tuhcaseos saadaan routimattomaksi. Tuhkaohjekortin mukaisessa teknisessä luokittelussa Rauhalahden tuhka sellaisenaan kuuluu luokkaan LT4 ja voidaan hyödyntää pengerryksissä ja täytöissä, mutta sideainelisäyksellä lentotuhka saadaan routimattomaksi ja luokitus nousemaan LT2 - luokkaan eli sitä voidaan hyödyntää myös jakavissa kerroksissa ja suodatinkerroksissa. (Tulosraportti 2020.)

10 Hyötykäyttökohteet ja kustannusarviot

Opinnäytetyön tarkoituksena oli löytää uusia kustannustehokkaita hyötykäyttöratkaisuja kiertotalousnäkökulmasta Jyväskylän voimalaitoksien tuhkiille. Esiselvityksessä nousi esiin kuusi potentiaalista vaihtoehtomallia tuhkien uusiksi hyötykäyttökohteiksi, joista yhdessä ehdotuksia pohjatuhkan säätöpotentiaalista.

10.1 Lentotuhkan rakeistaminen maarakennuskäyttöön

Lentotuhkan rakeistamisella on mahdollista vähentää haitta-aineiden liukoisuuksia. Rakeistettaessa partikkelikoko kasvaa ja veden lisääminen käynnistää vanhenemisprosessin (Lindroos ym. 2016, 23). Mikäli rakeistaminen ei itsessään pelkästään riitä, voidaan haitta-aineiden liukoisuutta vähentää myös pienellä sideainelisäyksellä (Lindroos ym. 2016, 30). Rakeistamisen, vanhentamisen ja sideainelisäyksen vaikutukset tulee todentaa laboratoriotutkimuksilla akkreditoidussa tutkimuslaitoksessa teknisien ominaisuuksien ja ympäristökelpoisuuksien osalta.

Vaihtoehtomallissa 1 rakeistuslaitos sijoitettaisiin Keljonlahden voimalaitoksen lentotuhkasiilon viereen. Lentotuhkasiilosta tuhka kuljetettaisiin ruuvikuljettimella sekoitussäiliöön kostutettavaksi, johon voidaan lisätä myös sideaineita. Sekoitussäiliöltä kostutettu tuhkaseos syötetään rakeistusrumpuun ja rakeistuksen lopuksi rakeet puutoavat kuljettimelle tai suoraan lavalle tai kasaan. Rakeistuslaitos on rakennettu merikonttiin, joten se voidaan rakentaa tukirakenteilla korkeammalle. Tällöin ei tarvittaisi erillistä kuljetinta välivarastointiin, vaan tuhkarakeet voisivat pudota suoraan kasaan. Rakeiden tulee kuivua katetulla kasalla n. 1 - 2 vuorokautta, minkä jälkeen ne voidaan kuljettaa varastointiin. Varastointi voisi tapahtua esimerkiksi yhteistyökumppanin omistamalla ympäristöluvallisella asfaltoidulla varastointialueella. Tällöin tuhkarakeet kuljetettaisiin kasettiyhdistelmällä varastointiin. Tuhkarakeet tulisi myös peittää varastoitaessa joko suojapeitteellä tai hallirakenteella liettymisen estämiseksi.

Voimalaitokset käyvät pääsääntöisesti eri aikoina, jolloin yhden rakeistuslaitoksen kapasiteetti on riittävä. Lämmityskaudella huipputehon aikana molempien voimalaitoksien käydessä yhtä aikaa yhden rakeistuslaitoksen kapasiteetti ei riitä molempien

tuhkien rakeistamiseen. Tällöin Rauhalahden lentotuhkalle olisi oltava välivarastointipaikka, mikäli ylimääräisen tuhksiilon kapasiteetti ei riitä.

Tässä ratkaisumallissa olisi tärkeintä löytää yhteistyökumppani, jolla on isoja maarakennuskohteita lähialueilla. Voimalaitosten jätteiksi luokitellut tuhkat jalostettaisiin näin uusiomaarakennusaineeksi ja saataisiin hyötykäytettyä lähialueen maarakennuskohteissa. Tästä saataisiin alueellisesti imagollista hyötyä energiayhtiölle sekä yhteistyökumppaneille kiertotalousajattelun näkökulmasta. Laitteisto- ja kuljetuskustannuslaskelmissa on käytetty laitetoimittajalta sekä kuljetusyhtiöiltä saatuja hinta-arvioita.

Projektin hankintakustannukset muodostuvat rakeistuslaitteiston hankinnasta ja rakentamisesta. Laitteiston arvioitu rakennusaika asennuksineen ja käyttöönottoineen on noin neljä kuukautta. Rauhalahden tuhkien rakeistaminen samalla laitteistolla edellyttää uuden tuhksiilon rakentamista helpottamaan lentotuhkan vastaanottoa.

Rakennusprojektin aikaisten kulujen lisäksi rakeistuslaitteistosta ja toiminnasta muodostuu käyttö-, kunnossapito- ja kuljetuskustannuksia. Kuljetuskustannukset koostuvat Rauhalahden tuhkien siirrosta Keljonlahdelle sekä tuhkarakeiden kuljetuksesta varastointiin noin 15 kilometrin säteellä tuotantopaikasta. Tuhkarakeen valmistuskustannukset ovat halvimmillaan noin 2 €/tonni. Kustannus koostuu veden- ja sähkönkulutuksesta. Tuhka muodostaa jo pelkästään veden kanssa rakeita pyöriessään rummussa. Rakeistuslaitteistolla voidaan helposti lisätä sideaineita tuhkarakeeseen, mikäli lujuudet tai ympäristöominaisuudet eivät täytä vaatimuksia. Sideaineet kuitenkin nostavat valmistushintaa sitä enemmän, mitä enemmän niitä käytetään. Rakeistuslaitteistolle on haettava erillinen ympäristölupa. Rakeistuslaitteisto kytketään jatkuvaan prosessiin, jossa ainoa välipuskurina toimiva vaihe on tuhksiilo. Rakeistuslaitteisto tulee asentaa niin, että tuhksiilo voidaan tyhjentää nykyiselläkin mallilla säiliöautoon. Mikäli varatyhjennysvaihtoehtoa ei ole, pahimmassa tapauksessa rakeistuslaitteiston vikaantuessa tuhksiilo täyttyy ja pysäyttää prosessin.

Takaisinmaksulaskennassa on huomioitu muodostuvat säästöt edellisvuosien toteutuneiden kulujen perusteella sekä arvioitu myyntitulo tuhkarakeesta. Tuhkarakeen hinta maarakennuskäyttöön tulisi olla noin 5 €/tonni, jotta se on kilpailukykyinen

neitseellisten maa-ainesten hintojen kanssa. Suurien säästöjen vuoksi takaisinmaksuajaksi saadaan kaksi vuotta. Takaisinmaksulaskelma on liitteessä 2.

Vaihtoehtomallissa 2 rakeistuslaitokset hankittaisiin molemmille voimalaitoksille. Tällä tavoin välttyttäisiin ylimääräisiltä kuljetuskustannuksilta ennen käsittelyvaihetta. Tässä vaihtoehtomallissa investointikustannukset kasvavat lähes kaksinkertaisiksi. Investointivaiheen kustannuksia nostavat myös ympäristölupien haku molemmille laitoksille. Voimalaitoksien käydessä pääsääntöisesti eriaikoina, toinen rakeistuslaitoksesta on myös käyttämättömänä osan aikaa vuodesta. Lämmityskauden huipputehon aikana rakeistuskapasiteetti riittää kattamaan Keljonlahden ja Rauhalahden lentotuhkien rakeistamisen. Esimerkiksi kesäaikana Keljonlahden laitoksen ollessa vuosihuollossa, rakeistuslaitoksella olisi mahdollista rakeistaa muiden voimalaitosten tuhkia.

Investointikustannusten lisäksi käytönaikaiset kustannukset kasvavat kunnossapito- ja huoltokustannusten osalta kaksinkertaisiksi. Vuosittaiset kuljetuskustannukset pienentyvät Rauhalahden ja Keljonlahden välisen tuhkan siirron osalta. Muuten kahden rakeistuslaitteiston malli toimii samalla tavalla kuin yhden rakeistuslaitteiston mallissa. Suurien säästöjen vuoksi tässäkin vaihtoehtomallissa takaisinmaksuaika on vain noin kolme vuotta. Takaisinmaksulaskelma on liitteessä 3.

Lentotuhkan rakeistamista sekä vaihtoehtomallin 1 ja vaihtoehtomallin 2 vahvuuksia ja heikkouksia sekä ulkoisia mahdollisuuksia ja uhkia arvioitu SWOT-analyysillä kuviossa 4.

<u>Vahvuudet</u>	<u>Heikkoudet</u>
Rakeistaminen <ul style="list-style-type: none"> • Yksinkertainen ja itseohjautuva prosessi • Soveltuu maarakennukseen sellaisenaan, lisäainemuutoksilla -> mm. lannoitetta • Moduulimainen rakenne, siirrettävissä ja muunneltavissa • Prosessin ajo voimalaitoksen miehityksellä 	Rakeistaminen <ul style="list-style-type: none"> • Varastointi ja vanhentaminen • Tuotevastuu ja valvonta, sitoo resursseja • Laitteistoinvestoinnit • Ympäristölupa laitteistolle
Rakeistaminen yhdellä laitoksella <ul style="list-style-type: none"> • Lyhyt takaisinmaksuaika investointiin nähden 	Rakeistaminen yhdellä laitoksella <ul style="list-style-type: none"> • Rakeistuskapasiteetin riittävyys suuren lämmitystarpeen aikana • Tuhkan siirto Rauhalahdi->Keljonlahti
Rakeistaminen kahdella laitoksella <ul style="list-style-type: none"> • Rakeistuskapasiteetti riittävä • Kuljetuskustannukset vain varastointiin siirrosta 	Rakeistaminen kahdella laitoksella <ul style="list-style-type: none"> • Investointikustannukset kaksinkertaiset • Useampi ympäristölupa • Huolto- ja kunnossapitotarve kaksinkertainen • Kausiluontoinen tarve
<u>Mahdollisuudet</u>	<u>Uhkat</u>
Rakeistaminen <ul style="list-style-type: none"> • Positiivinen imago • Kysynnän kasvu -> arvon nousu • Neitseellisiä kiviaineita säästy • Tuotteistaminen • Kiertotalous, kestävän kehityksen edistäminen 	Rakeistaminen <ul style="list-style-type: none"> • Asenteet (mielletään jätteeksi) • Tuotteen markkinointi • Tulevaisuuden energiantuotantoratkaisut • Vähäinen käyttökokemus uusiomaarakennusmateriaaleilla
Rakeistaminen yhdellä laitoksella <ul style="list-style-type: none"> • Moduulimainen siirrettävissä tarpeen mukaan 	Rakeistaminen yhdellä laitoksella <ul style="list-style-type: none"> • Laitteiston vikaantuessa tuhka siilot täyttyvät
Rakeistaminen kahdella laitoksella <ul style="list-style-type: none"> • Muiden voimalaitosten lentotuhkien rakeistus • Laitteiston rikkoantuessa voidaan esim. Keljonlahden tuhka rakeistaa Rauhalahdessa 	Rakeistaminen kahdella laitoksella <ul style="list-style-type: none"> • Toisen rakeistuslaitoksen tarve loppuu, energiantuotantoratkaisujen muuttuessa

Kuvio 4. SWOT-analyysi rakeistamisvaihtoehdoista

10.2 Lentotuhka maarakennukseen Yritys X:n rakennuskohteeseen

Vaihtoehtomallissa 3 Rauhalahden ja Keljonlahden lentotuhkat kuljetettaisiin maarakennushyötykäyttöön Yritys X:n teollisuusalueen kenttärakenteisiin. Yritys X:lle on tulossa ympäristöluvallinen maarakennuskohde syksyllä 2020, jonne olisi mahdollista

hyödyntää Rauhalahden ja Keljonlahden lentotuhkia. Tässä ratkaisumallissa lentotuhka purettaisiin kuivana säiliöautoyhdistelmään ja kuljetettaisiin yli 100 kilometrin päähän Yritys X:n rakennuskohteeseen, missä tuhka kostutettaisiin varastointiin purettaessa.

Yritys X:n vaihtoehtomallia varten tulisi selvittää myös vanhentamisen vaikutukset lentotuhkien haitta-aineiden liukoisuuksiin. Mikäli vanhentamalla haitta-aineiden liukoisuudet saataisiin MARA-asetuksen raja-arvoihin, hyödyntäminen onnistuisi helpommin. Tällöin lentotuhkille tarvittaisiin ympäristöluvallinen varastointialue, jossa vanhentaminen voitaisiin suorittaa. MARA-asetuksen mukaisuuden todentamiseen tarvittaisiin laadunvarmistusjärjestelmän dokumentointi ja laadunhallintaraportti.

Yritys X:llä on rakenteilla yli 100 hehtaarin teollisuustonttialue, jonka rakentamisessa hyödynnetään kiertotalousmateriaaleja. Alueelle on tulossa jätteenkäsittelyyn ja varastointiin erikoistuneita yrityksiä. Tonttien, teiden sekä suojarakenteiden maarakennustöissä hyödynnetään kiertotalousmateriaaleja kuten voimalaitosten tuhkia. Suuri rakennusprojekti mahdollistaa pitkäaikaisen yhteistyön, sillä kohteeseen tarvitaan paljon maarakennusainesta. Yritys X:n alueella käytetään tällä hetkellä puhtaiden maa-ainesten lisäksi, MARA-asetuksen mukaisia materiaaleja sekä lievästi pilaantuneita maa-aineksia. Teollisuusalueen valmistuttua alueelle tulevista kiertotalousyrityksistä on mahdollista saada yhteistyökumppaneita tulevaisuutta ajatellen.

Kustannuksiltaan vaihtoehtomalli 3 on huomattavasti edullisempi, nykyisiin menetelmiin verrattuna. Kustannusarvioinnissa vaihtoehtomallin 3 kustannuksia verrattiin edellisvuosien kustannuksiin, kustannusarviointi on liitteessä 4. Vaihtoehtomallin 3 vahvuuksia ja heikkouksia sekä ulkoisia mahdollisuuksia ja uhkia on arvioitu SWOT-analyysillä kuviossa 5.

<u>Vahvuudet</u>	<u>Heikkoudet</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Ei investointeja • Säästöpotentiaali nykyisiin verrattuna • Ei sido omia resursseja • Ei tuotevastuuta 	<ul style="list-style-type: none"> • Kohde kaukana -> korkeat kuljetuskustannukset • Ei kehitä omaa toimintaa • Ei mahdollisuutta pienentää kustannuksia omilla toimilla • Pitkäaikainen yhteistyö • Varastointi
<u>Mahdollisuudet</u>	<u>Uhkat</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Yhteistyöt kiertotalousalueen yritysten kanssa, alueen valmistuttua • Hyödyntäminen MARA-asetuksella polttosuhteiden ja tuhkan ominaisuuksien muuttuessa • Kestävän kehityksen edistäminen, kiertotalous 	<ul style="list-style-type: none"> • Ympäristöluovallisen alueen vastaanottokapasiteetti • Vastaanotto- ja kuljetuskustannusten kasvu

Kuvio 5. SWOT-analyysi tuhkan viemisestä Yritys X:n teollisuustonttien rakentamiseen

10.3 Metsäteollisuuden sivuvirran stabilointi

Vaihtoehtomallissa 4 Keljonlahden ja Rauhalahden lentotuhkat hyödynnettäisiin metsäteollisuuden sivuvirran stabiloinnissa maarakennuskohteissa. Nykyistä metsäteollisuuden jätejätettä syntyy noin 15 000 tonnia. Stabiloinnissa jätejakeeseen sekoitetaan 50/50 suhteella lentotuhkaa, tällöin lentotuhkan tarve olisi noin 15 000 tonnia. Tämä vaihtoehto ei vaatisi investointeja eikä sido omia resursseja. Kustannukset koostuisivat kuljetuskustannuksista, vastaanottajan huolehtiessa maarakennustöistä. Lentotuhkan kuljetuskustannukset olisi mahdollista jakaa yhteistyökumppanin kanssa, tällöin kuljetuskustannukset jäisivät pienemmiksi. Stabilointi käyttöön tuhka

tulisi olla tuoreena ja sitä täytyisi olla maarakennuskohteeseen varastoinnissa yli 5000 tn. Varastoinnin toteutus tulee sopia yhteistyökumppanin kanssa.

Metsäteollisuuden sivuvirran stabilointi menetelmällä ei ole pitkäaikaista käyttökoke-
musta, mutta menetelmää on tutkittu paljon ja näissä on saatu hyviä lopputuloksia.
Menetelmä vaatii lisäselvityksiä Keljonlahden ja Rauhalahden tuhkien soveltuvuu-
desta stabilointikäyttöön ympäristökelpoisuuden sekä teknistenvaatimusten osalta.
Kustannuksiltaan vaihtoehtomalli 4 on kaikista edullisin, nykyisiin menetelmiin sekä
muihin vaihtoehtoihin verrattuna. Kustannusarvioinnissa vaihtoehtomallin 4 kustan-
nuksia verrattiin edellisvuosien kustannuksiin, kustannusarviointi on liitteessä 5.
Vaihtoehtomallin 4 vahvuuksia ja heikkouksia on arvioitu SWOT-analyysillä kuviossa
6.

<u>Vahvuudet</u>	<u>Heikkoudet</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Ei investointeja • Sijaitsee lähialueella, pienet kuljetuskustannukset • Ei sido omia resursseja 	<ul style="list-style-type: none"> • Ei kehitä omaa toimintaa • Ei pitkäaikaista käyttökoke- musta • Varastointi kuivana
<u>Mahdollisuudet</u>	<u>Uhat</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Pitkäaikainen yhteistyö • Positiivinen imago molemmille osapuolille 	<ul style="list-style-type: none"> • Uusi menetelmä • Tuhkan soveltuvuus stabilointiin polttoainesuhteen muuttuessa

Kuvio 6. SWOT-analyysi lentotuhkan käytöstä metsäteollisuuden sivuvirran stabiloinnissa

10.4 Nykyisen toimintamallin jatkaminen

Vaihtoehtomallissa 5 toimintoja jatkettaisiin nykyisellä toimintamallilla. Rauhalahden lentotuhka käytettäisiin maarakennuksessa maanstabilointiin. Hyödyntämiskohteet sijaitsisivat kaukana, jolloin kuljetuskustannukset muodostavat suuren osan korkeista kokonaiskustannuksista. Kokonaiskustannukset olisivat näin ollen samalla tasolla kuin

aiemmin. Keljonlahden lentotuhkan heikkojen lannoiteominaisuuksien vuoksi, tuhkaa hyödynnettäisiin sideaineena maarakennuksessa. Tuhkan ominaisuuksien parantaminen tapahtuisi polttoprosessissa lisääineistamalla, jolloin tuhkasta tulisi reaktiivisempaa.

Polton lisääineistus kasvattaa muodostuvan tuhkan määrää sekä voi vaikuttaa kattilan ajettavuuteen. Kustannukset tulisivat nousemaan lisääineistuksesta johtuvan kasvaneen tuhkamäärän vuoksi, vaikka hinta pysyykin entisellä tasolla. Kustannuksiltaan vaihtoehtomalli 5 eroaa nykyisistä ainoastaan vähentyneiden jätteenkäsittelykulujen osalta. Kustannusarvioinnissa vaihtoehtomallin 5 kustannuksia verrattiin edellisvuosien kustannuksiin, kustannusarviointi on liitteessä 6. Vaihtoehtomallin 5 vahvuuksia ja heikkouksia on arvioitu SWOT-analyysillä kuviossa 7.

<u>Vahvuudet</u>	<u>Heikkoudet</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Tutut yhteistyökumppanit, hyvin toiminut yhteistyö • Ei sido omia resursseja • Vastuu tuhkasta yhteistyökumppaneilla 	<ul style="list-style-type: none"> • Korkeat kustannukset • Vaatii selvityksiä lisääineistuksen vaikutuksista kattilan ajettavuuteen • Uuden tuotteen markkinointi
<u>Mahdollisuudet</u>	<u>Uhkat</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Pitkäaikainen yhteistyö • Uusiomaarakennusmateriaalin kysynnän kasvu -> materiaalin arvon nousu 	<ul style="list-style-type: none"> • Kattilan ajettavuus ongelmat polton lisääineistuksen vuoksi • Polttoainesuhteiden muutos

Kuvio 7. SWOT-analyysi nykyisen toimintamallin jatkamisesta

10.5 Pohjatuhkan tuotteistaminen maarakennukseen

Pohjatuhkan kustannukset muodostuvat tällä hetkellä pääasiassa kuljetuskustannuksista. Keljonlahden ja Rauhalahden pohjatuhkat ovat Mara-asetuksen mukaisia, jolloin niitä voitaisiin hyödyntää suoraan Mara-asetuksen ilmoitusmenettelyllä. Pohjatuhkan arvoa voisi nostaa tuotteistamalla pohjatuhkasta uusiomaarakennusmateriaalia. Pohjatuhkan hinta voisi enimmillään olla noin 5 e/tonni, jotta se on kilpailukykyinen neitseellisiin maa-aineksiin verrattuna.

Tuotteistetulle pohjatuhkalle tulisi olla myös varastointipaikka lähellä voimalaitoksia sekä yhteistyökumppani, joka hyödyntää pohjatuhkan maarakennuksessa. Pohjatuhkan tuotteistamisella olisi mahdollista saada pohjatuhkasta myyntituloa, joka kompensoisi kuljetuskustannuksia. Pohjatuhkan tuotteistuksen kustannusarviointi on liitteessä 7. Pohjatuhkan tuotteistamisen vaikutuksia on arvioitu SWOT-analyysillä kuviossa 8.

<u>Vahvuudet</u>	<u>Heikkoudet</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Soveltuu hyvin maarakennukseen • Tuotteistuksella laadunvarmistus • Tuotteistuksen avulla markkinointi helpottuu • Hyvä ympäristökelpoisuus 	<ul style="list-style-type: none"> • Asenteet, mielletään jätteeksi • Ympäristöluvallinen varastointipaikka
<u>Mahdollisuudet</u>	<u>Uhat</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Myyntitulo pohjatuhkasta • Neitseellisten maa-aineksien hinnan nousu -> myyntitulon kasvu uusiomateriaaleille 	<ul style="list-style-type: none"> • Kustannukset koostuvat pääosin kuljetuskustannuksista -> altis kuljetushintojen muutoksille • Polttosuhteiden muutos

Kuvio 8. SWOT-analyysi pohjatuhkan tuotteistuksesta

11 Johtopäätökset

Opinnäytetyön tarkoituksena oli löytää uusia kustannustehokkaita hyötykäyttökohteita Jyväskylän voimalaitoksien lento- ja pohjatuhkille. Lentotuhkan nykyiset hyötykäyttökohteet sijaitsevat kaukana, jolloin kuljetuskustannuksista muodostuu suuri osa kokonaiskustannuksista. Kustannustehokkaan hyödyntämisen lähtökohtana voitaisiin pitää hyödyntämisen toteuttamista lähialueilla. Tällöin kuljetuskustannukset muodostuisivat vain välttämättömistä siirroista varastointiin ja rakennuskohteisiin.

Tavoitteena oli myös selvittää millaiseen käyttötarkoitukseen tuhkat soveltuvat tällä hetkellä ja voidaanko tuhkien ominaisuuksiin vaikuttaa käsittelemällä. Esiselvitysvaiheessa pidetyissä palavereissa tuhkan hyödyntäjien, asiantuntijoiden sekä tutkimustulosten perusteella päädyttiin keskittymään maarakennusvaihtoehtoihin lentotuhkien niukkojen ravintoainepitoisuuksien vuoksi. Lentotuhkasta valmistettavan metsälannoitteen tuotantokustannukset nousevat korkeiksi, sillä siihen lisätään maaperän tarpeiden mukaan booria ja kaliumia sekä tarpeen mukaan typpeä. Metsälannoite on myös haastattelujen perusteella äärimmäisen haastavaa saada markkinoitua. Tuhkat soveltuvat tällä hetkellä kohtalaisesti maarakennuskäyttöön. Erityisesti Rauhalahden lentotuhkan ominaisuuksia voidaan parantaa maarakennuskäyttöön seostamalla sitä sementillä. Aikaisempien tutkimuksien perusteella tuhkia vanhentamalla on saatu haitta-aineiden liukoisuuksia putoamaan. Tämä tulee tutkia myös erityisesti Keljonlahden voimalaitoksen osalta, sillä haitta-aineliukoisuudet estävät tällä hetkellä hyödyntämisen MARA-asetuksen mukaisissa kohteissa.

Vaihtoehtoista ainoastaan rakeistukseen liittyvät vaihtoehdot 1 ja 2 vaativat huomattavia investointeja. Takaisinmaksulaskelmien perusteella kuitenkin verrattaessa edellisvuosien kustannuksiin investoinnit maksavat itsensä takaisin noin 2 - 3 vuoden kuluessa hankinnasta korkean säästöpotentiaalini vuoksi. Jatkotutkimuksina rakeistusvaihtoehtojen selvityksissä olisi analysoitava rakeistuksen vaikutukset Rauhalahden ja Keljonlahden lentotuhkien teknisiin ominaisuuksiin sekä ympäristökelpoisuuteen. Uusiomaarakennusaineen valmistukseen tulee selvittää millaisia toimenpiteitä valmistaminen, käyttö ja markkinointi vaativat tuotteistuksen sekä laadunvalvonnan ja -hallinnan osalta. Tärkeimpänä jatkoselvityskohteena olisi löytää myös iso yhteis-

työkumppani rakeistetun uusiomaarakennusmateriaalin käyttäjäksi. Yhteistyökumppanilla tulisi olla lähialueilla isoja maarakennuskohteita, jotta tuotettu maarakennusmateriaali saadaan vuosittain hyötykäytettyä. Rakeistulaitokselle tulee myös aloittaa ympäristöluvan hakuprosessi hyvissä ajoin.

Vaihtoehtomallissa 3 lentotuhka hyödynnettäisiin ympäristöluvallisella alueella. Samalla alueella on myös MARA-asetuksen mukaisia maarakennuskohteita, joissa MARA-asetuksen mukaista tuhkaa voitaisiin hyödyntää. Tuhkan haitta-aine liukoisuutta on mahdollista vähentää vanhentamalla. Rauhalahden ja Keljonlahden lentotuhkista olisikin hyvä tehdä jatkotutkimuksia vanhentamisen vaikutuksista haitta-aineiden liukoisuuteen. Tuhkien vanhentaminen vaatii kuitenkin ympäristöluvallisen varastointialueen. Tällöin vanhentaminen kuitenkin osaltaan lisää kustannuksia lisääntyneiden kuljetus- ja varastointikustannusten myötä, joten tällä ei välttämättä ole suurta merkitystä kokonaiskustannusten kannalta.

Vaihtoehtomallissa 4 hyödyntäminen tapahtuisi lähialueella, jolloin kuljetuskustannukset eivät kohoaisi niin korkeiksi. Tuhkan vastaanottaja käyttää tuhkaa oman jättejakeensa stabiloinnissa maarakennukseen. Tällainen ratkaisu olisi erittäin järkevä molemmille osapuolille. Kustannukset muodostuisivat ainoastaan kuljetuskustannuksista vastaanottajan huolehtiessa maarakennustöistä. Kaikista vaihtoehdoista vaihtoehtomalli 4 olisi kustannustehokkain sekä kiertotalousnäkökulmasta molemmille osapuolille kehittävää toimintaa. Jatkotoimenpiteinä olisi selvitettävä Keljonlahden ja Rauhalahden lentotuhkien soveltuvuus kyseisen sivuvirran stabiloinnissa. Mikäli tuhka ei sellaisenaan sovellu stabilointiin olisi hyvä selvittää millaisilla toimenpiteillä tuhka saataisiin soveltuvaksi. Saisiko esimerkiksi poltonlisäaineistamisella tuhkan soveltumaan paremmin stabilointiin.

Vaihtoehtomallissa 5 yhteistyötä jatkettaisiin nykyisten yhteistyökumppaneiden kanssa. Tässä vaihtoehtomallissa kustannukset pysyisivät samalla vuositasolla kuin aiemminkin. Tässäkin vaihtoehtomallissa olisi kuitenkin mahdollista pienentää vuosittaisia kustannuksia, aiemmin jätteenkäsittelyyn sijoitetun tuhkan osalta. Jatkotoimenpiteinä selvitetään jätteenkäsittelyyn sijoitettavan tuhkan ominaisuudet ja yhteistyökumppaneiden vastaanottomahdollisuus näille.

Pohjatuhkan vuosittaisiin kustannuksiin voitaisiin vaikuttaa, mikäli varastointipaikka ja hyötykäyttökohteet saataisiin mahdollisimman lähelle voimalaitoksia. Mikäli rakeistetulle uusiomateriaalille haetaan tuotteistusta, olisi samalla myöskin hyvä tehdä tuotteistus pohjatuhkalle. Tuotteistuksen avulla pohjatuhkasta olisi mahdollista saada pientä myyntituloa kuljetuskustannusten kattamiseen.

Ratkaisumalleista vaihtoehtomalli 4 olisi kaikkein kustannustehokkain ja kannattavin eikä se vaatisi erityisiä investointeja. Kustannukset koostuisivat ainoastaan kuljetuskustannuksista. Vaihtoehtoista myös vaihtoehtomalli 1 voisi olla potentiaalinen vaihtoehto, sillä rakeistuslaitoksen muunneltavuuden vuoksi sillä voidaan valmistaa maa-rakennusmateriaalin lisäksi myös lannoitetta. Rakeistaminen olisikin melko turvallinen ratkaisu, sillä tuotettavaa materiaalia voitaisiin muunnella tarpeen mukaan lisäaineistamalla. Uusiomateriaalin markkinointi on kuitenkin todella haastavaa, koska tällaiset tuotteet mielletään usein jätteeksi ja niiden vähäisen käyttökokemuksen vuoksi niitä ei mielellään käytetä.

12 Pohdinta

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä esiselvitys uusista kustannustehokkaista hyötykäyttökohteista Jyväskylän voimalaitoksien tuhille. Kaikilla vaihtoehtomalleilla on mahdollista pienentää tuhkien käsittelyyn liittyviä kustannuksia. Esiselvityksessä löydettiin huomattavaa säästöpotentiaalia, parhaimmillaan vuosikustannukset voisivat pudota noin neljännekseen edellisvuosien kustannuksista. Esiselvitysvaiheen kustannusarviointeja ei kaikilta osin voida pitää täysin tarkkoina, sillä niissä ei ole huomioitu kasvaneita vuosittaisia työtuntimääriä. Jokainen vaihtoehtomalli kuitenkin sitoo Alva-yhtiöiden omiakin resursseja, joten siitä aiheutuneet kustannukset olisi huomioitava ennen lopullisia päätöksiä. Kustannusarvioissa ei ole huomioitu myöskään pienentyvää tuhkamäärää. Tuhkan muodostuminen vähenee puupolttoaineen osuuden kasvassa. Muilta osin tuloksia voidaan kuitenkin pitää riittävän tarkkoina esiselvitysvaiheeseen, jotta saadaan käsitys mahdollisesta säästöpotentiaalista. Tuhkan vastaanotto-, kuljetus- ja investointikustannuksien laskennassa on käytetty yhteistyökumppaneilta saatuja tuoreita hinta-arvioita. Vaihtoehtomallien 1 ja 2 kannattavuuteen

vaikuttaa myös rakeistusvaiheen lisäaineiden käyttö, Mikäli niitä joudutaan lisäämään, parantamaan tuhkan rakeistuvuutta. Laskennassa ei ole huomioitu lisäaineiden aiheuttamia kustannuksia.

Vaihtoehtomallien rakenteet ovat muodostuneet yhteistyökumppaneiden kanssa pidettyjen palaverien perusteella. Näihin liittyvien vahvuuksien ja heikkouksien arviointeihin käytettyjen SWOT-analyysien tietoja on kerätty aiemmista tutkimusmateriaaleista sekä asiantuntijoiden haastatteluista ja tapaamisista. SWOT-analyysseissa on voinut jäädä huomioimatta tärkeitäkin asioita arvioijasta johtuvan epätarkkuuden vuoksi. Jokaisessa vaihtoehtomallissa on suurena epävarmuustekijänä, tuhkan soveltuvuus kyseiseen käyttöön. Tästä syystä kaikki vaihtoehtomallit ei välttämättä ole toteutettavissa, ainakaan sellaisenaan. Esimerkiksi vaihtoehtomallissa 4 Keljonlahden ja Rauhalahden tuhka ei välttämättä sovellu stabilointikäyttöön, korkeiden haitta-aine liukoisuuksien vuoksi.

Ratkaisumalleissa on pyritty huomioimaan kiertotalousteema, jotta jätejäte saataisiin muutettua tuotannon sivuvirraksi ja mahdollisimman käytännölliseen hyötykäyttöön lähialueilla. Tuhkien käsitteleminen lähialueella esimerkiksi suoraan voimalaitosalueella osoittautui myös kannattavaksi. Käsittelemällä esimerkiksi rakeistuslaitteistolla, tuhkan laatuun voitaisiin vaikuttaa lisäaineilla. Tällöin pystyttäisiin kontrolloimaan tuhkan laadunvaihteluita lisäaineiden avulla.

Tietoja lento- ja pohjatuhkien ympäristökelpoisuudesta maarakennus- ja lannoituskäyttöön voidaan pitää erittäin luotettavina. Tuhkien ympäristökelpoisuus on tutkittu akkreditoidussa laboratorioissa. Lentotuhkan teknisiä ominaisuuksia massiivirakennekäyttöön on tutkittu asiantuntijaorganisaation laboratorioissa Infra 062-710191 tuhkaohjekortin mukaan. Tietoja tuhkien tämän hetkisistä ominaisuuksista voidaan siis pitää luotettavina.

Teoriaosuutta voidaan pitää suurimmilta osin luotettavana, sillä erityisesti lakeihin ja asetuksiin perustuvat osiot ovat ajantasaisia. Rakeistamiseen liittyen työhön saatiin tuoretta tietoa asiantuntijoilta. Epävarmuustekijöinä on tuhkan muihin käsittelymenetelmiin liittyvien lähteiden ajantasaisuus.

Tulevaisuudessa Jyväskylän voimalaitoksilla pyritään lisäämään puupohjaisten biopolttoaineiden määrää ja samalla pienentämään turpeen osuutta poltossa. Puun osuutta poltossa tullaan lisäämään asteittain siten että, vuonna 2025 puun osuus poltossa tulee olemaan 80 %. Puun lisääminen poltossa tulee vähentämään muodostuvan tuhkan määrää, sillä turpeessa on keskimäärin noin 2 - 3 kertainen määrä tuhkaa puuhun verrattuna. Puun lisääminen poltossa tulee vaikuttamaan myös huomattavasti tuhkan laatuun ja ominaisuuksiin, mm. Keljonlahden kattilaan joudutaan lisäämään alkuainerikin syöttöä. Rikinsyöttö suojaa kattilaa puussa olevilta alkaliklorideilta, jotka aiheuttavat kuumakorroosiota erityisesti tulistinputkissa. Tämä voi kasvattaa taas tuhkaan muodostuvien liukoisten sulfaattien määrää.

Rakeistuslaitos voisi olla hyvä pitkäntähtäimen ratkaisu, koska sillä voidaan käsitellä tuhkasta maarakennusmateriaalin lisäksi myös lannoitetta. Puun osuuden lisääminen poltossa parantaa myös tuhkan ravintoarvoja. Tällöin se soveltuisi hyvin metsälannoitteeksi. Mikäli metsien tuhkalannoittaminen olisi tulevaisuudessa vielä kannattavampaa metsänomistajille, tällöin tuhkalannoitteen valmistus voisi muodostua kannattavaksi ratkaisuksi. Rakeistuslaitoksella voitaisiin valmistaa esimerkiksi aluksi maarakennusmateriaalia, jonka jälkeen siirryttäisiin lannoitteentuotantoon.

Esiselvitysvaiheen ratkaisumallien tutkiminen jatkuu, koska kustannusarviointien perusteella kaikilla vaihtoehdoilla on mahdollisuus suuriin säästöihin. Ratkaisumalleista ei suoraan löytynyt toteutettavaa vaihtoehtoa, sillä jokainen näistä vaatii lisäselvityksiä. Lisäselvityksiä vaaditaan mm. vanhentamisen ja rakeistamisen vaikutuksista Keljonlahden ja Rauhalahden tuhkien teknisiin ominaisuuksiin ja ympäristökelpoisuuteen.

Lähteet

A 4.9.2014/713. Valtioneuvoston asetus ympäristönsuojelusta. Annettu 4.9.2014. Viim. muutos 24.1.2019. Viitattu 24.2.2020. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140713>.

A 19.4.2012/179. Valtioneuvoston asetus jätteistä. Annettu 19.4.2012. Viim. muutos 21.11.2019. Viitattu 26.2.2020. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2012/20120179>.

A 2019/1009. EU:n lannoitevalmisteasetus. Annettu 5.6.2019. Soveltaminen alkaa 16.7.2022. Viitattu 16.3.2020. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R1009&from=EN>.

A 24/11. 2011. Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmistelaista. Annettu 13.9.2011. Viim. muutos 1.8.2018. Viitattu 27.2.2020. <http://www.finlex.fi/data/normit/37638-11024fi.pdf>.

Antikainen, J. 2014. Fosforin ja humuksen poisto vedenpuhdistuksessa tuhkapohjaisilla materiaaleilla. Yksityisrahoituksella Oulun energiakonsernille. Pro gradu-tutkielma. Oulun yliopisto, kemian laitos, fysikaalinen kemia. Viitattu 12.3.2020. <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201504291428.pdf>.

Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2013. Voimalaitostekniikka. Helsinki: Opetushallitus.

Huotari, N. 2012. Tuhkan käyttö metsälannoitteena. Julkaisu Luonnonvarakeskuksen verkkosivuilla. Viitattu 17.2.2020. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/504366>.

Ilmoitukset ja kirjanpito. N.d. Lannoitealan toiminnanohjeet Ruokaviraston verkkosivuilla. Viitattu 17.3.2020. <https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/rehu--ja-lannoiteala/lannoitevalmisteet/lannoitelan-toiminta/valmistus/>.

Infra 062-710191. 2018. Tuhkien käyttö maanrakentamisessa. Aihealueet: Metsä- ja energiateollisuuden tuhkamateriaalit. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS. Julkaistu 31.08.2020. Viitattu 27.2.2020. <https://www.janet.finna.fi>, Rakennustiedon verkkopalvelu.

Isännäinen, S., Huotari, H. & Mursunen, H. 1997. Lentotuhkan itsekovetus. Tutkimus- selostus VTT Energiassa tehdyistä laboratoriokeista. Julkaisu Metsätehon verkkosivuilla. Viitattu 10.3.2020. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_030.pdf.

Joensuu, S. N.d. Tuhka. Artikkelit Luonnonvarakeskuksen verkkosivuilla. Viitattu 12.3.2020. <https://www.luke.fi/biomassa-atlas/biomassojen-kuvaukset/tuhka/>.

Kananen, J. 2013. Case-tutkimus opinnäytetyönä. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Kiertotalousalue. N.d. Tarasten kiertotalousalueen esittely Tarasten kiertotalousalue Oy:n verkkosivuilla. Viitattu 14.4.2020. <https://www.taraste.fi/>.

L 17.6.2011/646. Jätelaki. Annettu 17.6.2011. Viim. muutos 19.12.2019. Viitattu 24.2.2020. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110646>.

L 17.12.2010/1126. Jäteverolaki. Annettu 17.12.2010. Viim. muutos 16.12.2016. Viitattu 26.2.2020. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2010/20101126>.

L 27.6.2014/527. Ympäristönsuojelulaki. Annettu 27.6.2014. Viim. muutos 19.12.2019. Viitattu 24.2.2020. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527#L4P27>.

L 29.6.2006/539. Lannoitevalmistelaki. Annettu 29.6.2006. Viim. muutos 18.1.2019. Viitattu 27.2.2020. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2006/20060539>.

Lannoitevalmisteiden pakkausmerkinnät ja tuoteselosteet. N.d. Lannoitealan toiminnanohjeet Ruokaviraston verkkosivuilla. Viitattu 18.3.2020. <https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/rehu--ja-lannoiteala/lannoitevalmisteet/laatuvaatimukset/pakkausmerkinnat/>.

Lindroos, N., Ronkainen, M. & Järvinen, K. 2016. Metsä- ja energiateollisuuden jätejätteiden ympäristökelpoisuus maarakentamisessa. Ympäristöministeriön tutkimusraportti Valtioneuvoston verkkosivuilla. Viitattu 12.3.2020. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/64970/YMra_8_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Muistio rakeistuslaitteisto 28.2.2020. Alva-yhtiöt Oy. Asiakirja Alva-yhtiöiden tietojärjestelmässä.

Muistio rakeistuslaitteisto 6.3.2020. Alva-yhtiöt Oy. Asiakirja Alva-yhtiöiden tietojärjestelmässä.

Omaavalo. N.d. Lannoitealan toiminnanohjeet Ruokaviraston verkkosivuilla. Viitattu 18.3.2020. <https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/rehu--ja-lannoiteala/lannoitevalmisteet/lannoitealan-toiminta/omavalvonta/>.

Pihkala, J. 2003. Prosessitekniikan yksikköprosessit. Helsinki: Opetushallitus.

Perämäki, S. 2014. Method development for determination and recovery of rare earth elements from industrial fly ash. Väitöskirja. Jyväskylän yliopisto, Kemian laitos. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto. Viitattu 16.3.2020. https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/45043/Väitöskirja_verkkojulkaisu.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Rakennustuotteet ja tuhka. 2020. Säteilyturvakeskus STUK:n verkkosivuilla. Viitattu 29.4.2020. <https://www.stuk.fi/palvelut/rakennustuotteet-ja-tuhka>.


Salminen, K. 2020. Teollisuuden sivuvirroista kehitetään sementin korvikkeita. Rakennuslehti, 2, 16-17.

- Laine-Ylijoki, J. Wahlström, M. Peltola, K. Pihlajaniemi, M. & Mäkelä, E. 2002. Seospolton tuhkien koostumus ja ympäristölaadunvarmistusjärjestelmä. VTT Oy:n verkkosivuilla. Viitattu 3.5.2020. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2002/T2141.pdf>.
- SFS-EN 13055:2016. Lightweight aggregates. Aihealueet: Kevytkiviainekset, rakennustuotteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 27.5.2016. Viitattu 1.4.2020. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.
- SFS-EN 450-1:2013. Fly ash for concrete. Aihealueet: Betoni ja betonituotteet, seosaineet ja kuidut. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 21.01.2013. Viitattu 29.4.2020. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.
- Soveltamisohje. 2019. Soveltamisohje Valtioneuvoston asetuksista jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa Ympäristöhallinnon verkkosivuilla. Viitattu 14.2.2020. <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B39D6ABBA-49BE-4620-ACB1-B8A03700AB96%7D/143106>.
- Toiminta. N.d. Lannoitealan toiminnanohjeet Ruokaviraston verkkosivuilla. Viitattu 17.3.2020. <https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/rehu--ja-lannoiteala/lannoitevalmistet/lannoitelan-toiminta/>.
- Tuhkalannoitus pähkinänkuoressa. 2016. Tuhkalannoituksen perustietoja metsäkeskuksen verkkosivuilla. Viitattu 18.3.2020. <https://www.metsakeskus.fi/tuhkalannoitus-materiaalit>.
- Tuhkarakentamisen käsikirja. 2012. Energiantuotannon tuhkat väylä-, kenttä- ja maarakenteissa. Energiateollisuuden verkkosivuilla. Viitattu 1.4.2020. https://energia.fi/files/1137/tuhkarakentamisen_kasikirja.pdf.
- Tulosraportti. 2020. Alva-yhtiöt Oy. Asiakirja Alva-yhtiöiden tietojärjestelmässä.
- Tytär- ja osakkuusyhtiöt. N.d. Tytäryhtiöiden esittely Alva-yhtiöiden verkkosivuilla. Viitattu 12.2.2020. <https://www.alva.fi/alva/yhtio/tytar-ja-osakkuusyhtiot-2/>.
- Yhteiskuntavastuuraportti 2018. 2019. Raportti Alva-yhtiöiden verkkosivuilla. Viitattu 12.2.2020. <https://www.alva.fi/app/uploads/1/2020/01/JE-yhteiskuntavastuuraportti-2018.pdf>.
- Yhtiö. N.d. Yritysesittely Alva-yhtiöiden verkkosivuilla. Viitattu 3.2.2020. <https://www.alva.fi/alva/yhtio/>.
- Ympäristö ja lupaprosessi. 2020. Ympäristö ja lupaprosessien käsikirja UUMA3-hankkeen verkkosivuilla. Viitattu 29.4.2020. <http://www.uusiomaarakentaminen.fi/ymparisto-ja-lupaprosessi-0#3.6> REACH-asetus.

Liitteet

Liite 1. Kyselylomake

Kysymykset muille voimalaitoksille:

1. Mitä polttoaineita käytätte ja millä polttoainesuhteilla?
-
2. Kuinka paljon pohja- ja lentotuhkaa syntyy vuodessa?
-
3. Millaiseen käyttöön lentotuhka menee esim. kaatopaikka, maarakennus, lannoitus, vai jotain muuta, mitä?
-
 - a) Täyttääkö tuhka Mara-asetuksen raja-arvot, jos ei kuinka stabiloitte?
-
 - b) Täyttääkö lannoiteasetuksen raja-arvot, jos ei kuinka stabiloitte?
-
4. Millaiseen käyttöön pohjatuhka menee esim. kaatopaikka, maarakennus, vai jotain muuta, mitä?
-
 - a) Täyttääkö tuhka Mara-asetuksen raja-arvot, jos ei kuinka stabiloitte?
-
5. Käsittelettekö pohja- ja lentotuhkaanne esim. rakeistamalla, itsekovettamalla tai muu, mikä?
-
 - a) Käsittelettekö tuhkat itse vai huolehtiiko käsittelyn ulkopuolinen yritys, kuinka laadun vastuut jakaantuvat?
-
6. Millaisia käsittely kustannuksia tuhkillenne muodostuu?
-
7. Millaisia haasteita tuhkien hyötykäytöstä aiheutunut ja kuinka niistä selvitty?
Tulevaisuuden suunnitelmat tuhkien hyötykäytölle?
-
8. Oletteko tuotteistaneet tuhkaanne? Tuotteistuksen omavalvontajärjestelmä  -korttien mukaan vai Mara-asetuksen mukaan? Omavalvonnan laadunseurannan järjestäminen?
-

Liite 2. Takaisinmaksulaskelma vaihtoehtomalli yksi (salassa pidettävä)

Liite 3. Takaisinmaksulaskelma vaihtoehtomalli kaksi (salassa pidettävä)

Liite 4. Kustannuslaskelma vaihtoehtomalli kolme (salassa pidettävä)

Liite 5. Kustannuslaskelma vaihtoehtomalli neljä (salassa pidettävä)

Liite 6. Kustannuslaskelma vaihtoehtomalli viisi (salassa pidettävä)

Liite 7. Kustannuslaskelma pohjatuhkan tuotteistus (salassa pidettävä)