



**Aalto-yliopisto  
Kemian tekniikan  
korkeakoulu**

**Tiia Merenheimo**

**BIOLÄMPÖLAITOKSEN      LENTOTUHKAN      HYÖDYNTÄMISEN  
RATKAISUT JA LIIKETOIMINTAVERKOSTOT**

Kemian, bio- ja materiaalitekniikan maisteriohjelma  
Pääaine: Ympäristöasioiden hallinta

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin  
tutkintoa varten Espoossa 24.7.2017.

Valvoja

Professori Olli Dahl

Ohjaaja

Dosentti Ari Serkkola  
Diplomi-insinööri Eeva Lillman

---

**Tekijä** Tiia Merenheimo

---

**Työn nimi** Biolämpölaitoksen lentotuhkan hyödyntämisen ratkaisut ja liiketoimintaverkostot

---

**Koulutusohjelma** Kemian, bio- ja materiaalitekniikan maisteriohjelma

---

**Pääaine** Ympäristöasioiden hallinta

---

**Työn valvoja** Professori Olli Dahl

---

**Työn ohjaaja(t)/Työn tarkastaja(t)** Dosentti Ari Serkkola, DI Eeva Lillman

---

**Päivämäärä** 24.07.2017

**Sivumäärä** 92+3

**Kieli** suomi

---

## Tiivistelmä

Tämän tutkimuksen tarkoitus oli kartoittaa hyödyntämisvaihtoehtoja Lahti Energian Kymijärvi III -biolämpölaitoksen lentotuhkalle. Tavoitteena oli selvittää, mitkä ovat mahdolliset hyödyntämiskohteet ja millaisia liiketoimintamalleja ja -verkostoja niiden toteuttaminen vaatii, sekä vertailla vaihtoehtojen soveltuvuutta Lahti Energian tarpeisiin. Tutkimus koostui kirjallisuuskatsauksesta, haastattelututkimuksesta ja SWOT-analyysistä.

Kirjallisuudesta selvitettiin hyödyntämiseen liittyvät lainsäädännön kriteerit ja hyödyntämisen tekniset ratkaisut. Yleisimpiä tuhkan hyötykäyttökohteita ovat maarakentaminen ja metsälannoitus. Lisäksi tuhkan hyödyntämisen toimijakentän ja liiketoimintaratkaisujen nykytila kartoitettiin. Haastattelututkimuksessa selvitettiin tuhkan tuottajien hyödyntämiskäytäntöjä ja niiden toteutukseen liittyviä liiketoimintaverkostoja. Lahti Energian sidosryhmiä haastateltiin kiinnostuksesta ja mahdollisuuksista yhteistyöhön tuhkan hyödyntämisessä.

Haastatteluiden perusteella tuhkan hyödyntämisessä liiketoimintaverkostolla ja siinä toimivilla yhteistyökumppaneilla on suuri merkitys hyödyntämisen onnistumisen kannalta. Lahti Energian ratkaisuvaihtoehdot voidaan luokitella tuhkan hyödyntämisen ulkoistamiseen ja liiketoiminnan kehittämiseen itse tai yhteistyökumppanien kanssa. Ulkoistamiseen perustuvat vaihtoehdot ovat yksinkertaisempia ja vaativat vähemmän resursseja Lahti Energialta. Keskeistä mahdollisen oman liiketoiminnan kehittämisessä olisi ratkaista, kuinka tuhkalannoitteet saadaan kivennäismaille soveltuviksi. Maarakennuskäyttö on todennäköinen tuhkan käyttökohde lannoituskäytön rinnalla. Lopulliset päätökset hyötykäyttökohteista on mahdollista tehdä vasta, kun tuhkan laatu ja ympäristökelpoisuus ovat selvillä.

---

**Avainsanat** lentotuhka, biopolttoaineet, sivutuote, maarakennus, metsälannoitus, liiketoimintaverkostot, SWOT-analyysi

---

---

**Author** Tiia Merenheimo

---

**Title of thesis** Utilization solutions and business networks for biofuel heat plant fly ash

---

**Degree Programme** Master’s Programme in Chemical, Biochemical and Materials Engineering

---

**Major** Environmental Management

---

**Thesis supervisor** Professor Olli Dahl

---

**Thesis advisor(s) / Thesis examiner(s)** Docent Ari Serkkola, M.Sc. Eeva Lillman

---

**Date** 21.06.2017

**Number of pages** 92+3

**Language** Finnish

---

## Abstract

The purpose of this study was finding utilization possibilities for the fly ash from the Kymijärvi III heat plant of Lahti Energia. The aim was to find out what are the possible utilization solutions and business models and networks are required to realize them, and to compare the alternatives in terms of applicability in the case of Lahti Energia. The study included a literature review, interviews and a SWOT analysis.

In the literature, the legal criteria and technical solutions of ash utilization were investigated. Most common uses of fly ash include earthworks and forest fertilization. Also the current situation of the actors in ash utilization and business solutions available was summarized. In the interviews, information was collected about the utilization solutions and business networks of different ash producers. Stakeholders of Lahti Energia were interviewed about their interest and possibilities to co-operate in ash utilization.

Based on the interviews, the business network and the partners included in it have a major role in successful ash utilization. The solutions available for Lahti Energia can be divided into outsourcing of ash utilization and business development within the company or in co-operation with different partners. The solutions based on outsourcing are simpler and require fewer resources from Lahti Energia. In the business development options, it is central to find a solution for making ash fertilizers suitable for mineral soils. Utilization in earthworks remains a probable utilization solution in addition to forest fertilizing. A final decision on the utilization can be made only after the ash quality and environmental properties are known.

---

**Keywords** fly ash, biofuels, side product, earthworks, forest fertilizing, business networks, SWOT analysis

---

## Esipuhe

Tämä diplomityö on kirjoitettu Lahti Energialla tammi- ja kesäkuun 2017 välisenä aikana ja se liittyy osittain Aalto-yliopiston Rakennetun ympäristön laitoksen Puu ja tuhka -hankkeeseen. Yhteistyötä on myös tehty Lahden seudun Kiertoliike-hankkeen kanssa. Haluan kiittää kaikkia niitä henkilöitä, jotka ovat edesauttaneet tämän diplomityön valmistumista.

Esitän kiitokseni Lahti Energian väelle, jotka ovat antaneet aikaansa, jakaneet tietämystään ja vastailleet kysymyksiini tämän työn aikana. Erityiset kiitokset kuuluvat ohjaajalleni Eeva Lillmanille sekä Eetu Loikkaselle ja Hemmo Takalalle. Lisäksi kiitän kaikkia haastateltaviani heidän ajastaan ja näkökulmistaan.

Osoitan kiitokseni myös toiselle ohjaajalleni, dosentti Ari Serkkolalle tämän mielenkiintoisen diplomityöaiheen mahdollistamisesta ja johdattamisestani tuhkan hyödyntämisen kysymysten pariin. Lisäksi kiitän työni valvojaa professori Olli Dahlia hyödyllisistä, tarkkaan osuvista kommentteista ratkaisevissa vaiheissa työtä.

Haluan kiittää myös perhettäni ja ystäviäni. Kiitos veljelleni menetelmäkonsultaatiosta ja kirjaston dippakerholle kaikesta vertaistuesta ja puurtamiseurasta. Kiitos Antti, että olet tukenani, haastat ajattelemaan ja vakuutat, että riitän.

Kiitos vanhempani, jotka olette antaneet minulle uskoa itseeni ja tukeneet minua kaikissa päätöksissäni.

Tiia Merenheimo

13.7.2017, Espoo

## Sisältö

KÄSITTEET .....	6
1 Johdanto .....	7
2 Menetelmä.....	9
2.1 Konstrukttiivinen menetelmä .....	9
2.2 Kirjallisuuskatsaus.....	10
2.3 Empiirisen datan kokoaminen .....	10
2.3.1 Esihaastattelut.....	10
2.3.2 Seminaari.....	11
2.3.3 Haastattelut.....	11
2.3 Datan analyysi.....	13
3 Tuhkan hyödyntämisen lähtökohdat .....	14
3.1 Tuhkan muodostuminen ja laatu .....	14
3.1.1 Tuhkan laatuun vaikuttavat tekijät .....	16
3.2 Lainsäädäntö tuhkan hyödyntämisen lähtökohtana.....	17
3.2.2 Ympäristönsuojelulaki ja -asetus .....	17
3.2.3 Jätelaki, jätevero ja kaatopaikkakelpoisuus.....	18
3.2.4 Lannoitevalmistelaki ja -asetus .....	19
3.2.5 MARA-asetus.....	21
4 Tuhkan hyödyntämisen tekniset ratkaisut .....	23
4.1 Tuhkien käsittely hyötykäyttöä varten .....	23
4.2 Lannoitekäyttö.....	24
4.2.1 Tuhkan käsittely lannoituskäyttöä varten.....	25
4.2.2 Tuhkalannoituksen toteuttaminen .....	26
4.3 Maarakennuskäyttö.....	27
4.3.1 Tuhkarakentamisen toteutus.....	28
4.4 Muut käyttökohteet .....	30
5 Tuhkan hyödyntämisen liiketoimintamallit .....	31
5.1 Liiketoimintaverkosto sivuvirtojen hyödyntämisessä .....	31
5.2 Tuhkan hyötykäytön sidosryhmät ja liiketoiminta Suomessa.....	35
5.3 Hyötykäytön liiketoimintamallit tuhkan tuottajan näkökulmasta .....	38
EMPIIRINEN OSA .....	40
6 Lahti Energia ja aiempi tuhkan hyödyntäminen .....	40

6.1 Kymijärvi III .....	40
6.2 Aiempi tuhkan hyödyntäminen .....	41
6.3 Hyödyntämiskohteen valinta ja reunaehdot.....	43
6.4 Ulkoisen toimintaympäristön reunaehdot hyödyntämiskäytölle .....	44
7 Tuhkan hyödyntämisen liiketoimintamallit .....	46
7.1 Puu ja tuhka -seminaarin johtopäätökset .....	46
7.2 Tuhkan tuottajien ratkaisut ja liiketoimintaverkostot .....	47
7.3 Mahdolliset yhteistyökumppanit ja näiden roolit.....	54
7.3.1 Lannoituskäytön sidosryhmät .....	54
7.3.2 Maarakennuskäytön sidosryhmät .....	55
7.3.3 Alueellinen kiertotalousyhteistyö .....	56
7.3.4 Polttoainetoimittajat.....	57
7.4 Hyödyntämiskäytösuunnitelmien onnistumisen kriteerit.....	58
8 Vaihtoehtoisten liiketoimintaratkaisujen vertailu .....	59
8.1 Liiketoimintaverkoston muodostaminen ja erilaiset toimitusketjut.....	59
8.2 Vaihtoehtoiset liiketoimintaratkaisut Lahti Energialle.....	61
8.2.1 Tuhkan luovuttaminen lannoitevalmistajalle .....	61
8.2.2 Maarakennuskäyttö .....	62
8.2.3 Itsekovetettu tuhka lannoituskäyttöön .....	62
8.2.4 Voimalaitosrakeistamo - rakeistusyrityksen kokonaispalvelu .....	63
8.2.5 Voimalaitosrakeistamo – laiteinvestointi ja oma liiketoiminta .....	63
8.2.6 Polttoainetoimittaja yhteistyökumppanina.....	64
8.2.7 Alueellinen kiertotaloushanke .....	64
8.3 Vaihtoehtojen vertailu SWOT-analyysillä.....	65
8.3.1 Tuhkan hyödyntämisen ulkoistaminen .....	66
8.3.2 Maarakennuskäyttö .....	69
8.3.3 Oma tuhkan lannoituskäytön kehittäminen ja liiketoiminta .....	70
9 Pohdinta ja johtopäätökset .....	72
9.1 Ratkaisuvaihtoehdot ja suositukset Lahti Energialle.....	72
9.2 Tulosten laajempi merkitys ja sovellettavuus .....	77
9.3 Tutkimuksen luotettavuuden arviointi.....	78
10 Yhteenveto.....	80
Lähteet .....	82
LIITTEET .....	92

## KÄSITTEET

**Biopolttoaine** on fotosynteesin kautta syntyneestä eloperäisestä kasvimassasta tuotettua polttoainetta.

**Biotuhka** on biopolttoaineiden poltosta syntyvää tuhkaa.

**Haitta-aine** on tuhkan sisältämä ihmisen terveydelle tai ympäristölle haitallinen aine.

**Kiertotalous** on malli, joka pyrkii maksimoimaan tuotteiden ja materiaalien arvon säilymistä ja minimoimaan tuotannosta ja kulutuksesta syntyvää jätettä ja hukkaa.

**Liiketoimintaverkosto** on useiden eri yritysten muodostama systeemi, jossa eri toimijat pyrkivät arvon luomiseen samalle palvelulle tai tuotteelle.

**Maarakennus** on esimerkiksi teiden, kenttien ja vallien rakentamista, johon liittyy maan pinnanmuotojen muokkaamista, massojen louhintaa ja siirtämistä.

**Metsälannoitus** tarkoittaa ravinteiden lisäämistä metsään puiden kasvun tehostamiseksi tai ravinnepuutosten aiheuttamien kasvuhäiriöiden ehkäisemiseksi.

**MARA-asetus** eli Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 591/2006 määrittelee ehdot, joilla tiettyjä jätejakeita voidaan hyödyntää maarakentamisessa ilmoitusmenettelyllä ilman ympäristölupaa.

**Sidosryhmä** on mikä tahansa taho, jonka kanssa yritys on tekemisissä, johon yrityksen toiminta vaikuttaa tai joka vaikuttaa yrityksen toimintaan.

**Sivutuote** syntyy prosessista, jonka pääasiallinen tarkoitus on tuottaa jotakin muuta.

**SWOT-analyysi** eli nelikenttäänalyysi on liiketoiminnan arviointimenetelmä, jolla tunnistetaan yrityksen toiminnan vahvuuksia, heikkouksia, mahdollisuuksia ja uhkia.

**Tuhka** on palaneesta polttoaineesta jäljelle jäävää palamatonta epäorgaanista ainesta. Tässä tutkimuksessa keskitytään tarkastelemaan lentotuhkaa, johon tuhka-sanalla viitataan, ellei toisin mainita.

**Tuhkan laatu** tarkoittaa tuhkan soveltuvuutta tiettyyn hyötykäyttökohteeseen esimerkiksi haitta-ainepitoisuuksiensa ja teknisten ominaisuuksiensa puolesta.

## 1 Johdanto

Tuhka on merkittävä energiantuotannon jätejäte, jota syntyy Suomessa vuosittain yli 1,3 miljoonaa tonnia. Tästä määrästä puun ja turpeen tuhkia on noin 500 000–600 000 tonnia. (Pohjala, 2015) Tuhkat eivät ole yhtenäinen materiaalivirta vaan niiden laatu ja ominaisuudet vaihtelevat huomattavasti riippuen muun muassa polttoaineesta, polttotekniikasta ja -olosuhteista sekä savukaasujen puhdistusmenetelmästä. (Demeyer ym., 2001; Korpilahti, 2004; Pitman, 2006; Steenari ym., 1999; Österbacka, 2001). Tuhka luokitellaan kaatopaikkaveronalaiseksi jätteeksi, eli sen kaatopaikkasijoituksesta on maksettava jäteveroa (Jäteverolaki 1126/2010). Jäteveron nousun sekä kiertotalousnäkökulman merkityksen kasvun myötä kiinnostus tuhkan hyödyntämiskäytännön kohtaan on kasvanut (Tuovinen, 2015).

Tässä tutkimuksessa keskitytään tarkastelemaan puun ja turpeen lentotuhkaa, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi metsälannoitukseen ja maarakentamiseen (Vesterinen, 2003; Korpijärvi, 2009). Tuhkan hyödyntämistä voi rajoittaa esimerkiksi sen raskasmetallipitoisuus. Lainsäädännössä on asetettu erilaisia rajoja eri käyttökohteisiin hyödynnettävän tuhkan sisältämien haitta-aineiden pitoisuuksille. Tuhkaa on mahdollista käsitellä eri tavoin, esimerkiksi itsekovettamalla tai rakeistamalla, hyötykäyttömahdollisuuksien parantamiseksi. (Huotari, 2012)

Tutkimuksen tavoitteena oli kartoittaa tuhkan hyödyntämiskohteita ja niihin liittyviä vaihtoehtoisia liiketoimintaratkaisuja Lahti Energian vuonna 2019 käyttöönotettavalle Kymijärvi III -lämpölaitokselle, jossa poltetaan sataprosenttisesti biopolttoaineita. Laitos korvaa vanhan Kymijärvi I -kivihiililaitoksen. Lahti Energia on Lahden kaupungin omistama energiayhtiö, ja kivihiililaitoksen korvaaminen biolämpölaitoksella vähentää merkittävästi Lahden kasvihuonepäästöjä. Uusi laitos on hyvin puhdas polttotekniikaltaan sekä savukaasujen ja lauhdevesien puhdistuksen osalta. Myös tuhkan hyödyntämiselle on tavoitteena löytää mahdollisimman ympäristöystävällinen ratkaisu. (Timonen, 2016)

Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään, mitä ovat tuhkan mahdolliset käyttökohteet sekä niiden toteuttamiseen liittyvät kriteerit ja vaihtoehtoiset liiketoimintamallit. Tavoitteena oli myös analysoida ratkaisuvaihtoehtojen toteutuskelpoisuutta ja soveltuvuutta Lahti Energian tarpeisiin. Tutkimus toteutettiin kirjallisuusselvityksen, sidosryhmäseminaarin ja haastatteluiden avulla.

Kirjallisuusselvityksellä kartoitettiin tuhkan hyödyntämisen mahdollisista käyttökohteista ja niihin liittyvistä lainsäädännön kriteereistä sekä teknisistä ratkaisuista. Myös tuhkan hyödyntämisen toimijakenttä Suomessa kartoitettiin.



Haastatteluiden avulla selvitettiin hyötykäyttöä toteuttaneiden tuhkan tuottajien kokemuksia ja käytössä olevia ratkaisumalleja sekä Lahti Energian sidosryhmien tarjoamia ratkaisuja sekä valmiuksia ja kiinnostusta yhteistyöhön tuhkan hyödyntämisessä. Tarkastelu painottuu liiketoimintaverkostoihin ja eri toimijoiden rooleihin tuhkan hyödyntämiseen toimitusketjussa. Kirjallisuusselvityksen ja haastatteluiden tulosten pohjalta muodostettiin Lahti Energialle ratkaisuvaihtoehdot, joita vertailtiin SWOT-analyysillä.

Tutkimus rajautuu esiselvitysvaiheeseen ja sen tuloksena on katsaus Lahti Energian mahdollisiin ratkaisumalleihin. Vaihtoehdoista esitellään niiden keskeiset kriteerit, yhteistyökumppanit ja mahdolliset sopimusmallit sekä toteutukseen vaadittavat jatkoselvitykset ja toimenpiteet. Vaihtoehtoja vertaillaan SWOT-analyysillä, jonka pohjalta esitetään Lahti Energialle suosituksia ja arvioita eri vaihtoehtojen toteutuskelpoisuudesta. Suosituksissa ei kuitenkaan rajata mitään vaihtoehtoja pois. Lahti Energian on mahdollista tehdä lopulliset päätökset hyötykäyttökohteista ja -ratkaisuista vasta, kun tuhkan laatu ja ympäristökelpoisuus on selvillä.

Työ koostuu neljästä osasta: johdannosta, kirjallisuusosasta, empiirisestä osasta sekä johtopäätöksistä ja yhteenvedosta. Ensimmäinen osa muodostuu luvuista 1–2, joissa esitellään työn tausta ja tarkoitus sekä käytetty tutkimusmenetelmä. Luvut 3–5 kattavat kirjallisuustutkimuksen, jossa tarkastellaan tuhkaa materiaalina ja sen laatuun vaikuttavia tekijöitä, tuhkan hyödyntämiseen vaikuttavaa lainsäädäntöä, olemassa olevia tuhkan hyödyntämisen teknisiä ratkaisuja sekä liiketoimintamalleja sivuvirtojen hyödyntämisessä. Luvut 6–8 taas muodostavat empiirisen osan, jossa käsitellään Lahti Energian tausta ja lähtökohdat tuhkan hyödyntämisen, haastattelututkimuksen tulokset sekä haastatteluiden pohjalta muodostetut ratkaisuvaihtoehdot ja niiden vertailu. Viimeisessä osiossa, luvuissa 9–10, esitetään johtopäätökset tuloksista ja yhteenveto koko tutkimuksesta.

## 2 Menetelmä

Tutkimus toteutettiin kvalitatiivisena tutkimuksena, joka muodostui teoriaosasta ja empiirisestä tapaustutkimuksesta. Teoriaosuus pohjautui kirjallisuustutkimukseen ja empiirinen osa toteutettiin haastattelututkimuksena esihaastatteluiden, sidosryhmätyöpajan sekä varsinaisten haastatteluiden avulla. Lisäksi empiirinen osa sisältää SWOT-analyysin. Tutkimuksessa käytettiin konstruktivisen tutkimuksen menetelmää. Seuraavassa alaluvussa esitellään konstruktivinen menetelmä ja sen käyttö tässä tutkimuksessa tarkemmin. Tämän jälkeen luvuissa 2.2 ja 2.3 kuvataan kirjallisuustutkimuksen ja empiirisen tiedonkeruun toteutus.

### 2.1 Konstruktivinen menetelmä

Konstruktivinen menetelmä on soveltavan tutkimuksen muoto, eli sille on ominaista sellaisen uuden tiedon tuottaminen, joka tähtää johonkin sovellutukseen. Konstruktivinen menetelmä pyrkii jonkin käytännön ongelman ratkaisemiseen tuottamalla konstruktion, esimerkiksi mallin, suunnitelman, organisaation tai koneen, jonka avulla lähtötilanteesta päästään haluttuun lopputulokseen. (Kasanen ym., 1991) Konstruktivistista tutkimusta voidaan käyttää liiketaloudellisten käytännön ongelmien ratkaisemiseen (Lukka & Tuomela, 1998). Esimerkiksi liiketoimintamalleja voidaan pitää konstruktiona, jotka kuvaavat kuinka teknisistä panoksista saadaan taloudellisia tuotoksia tai kuinka yritys saa luotua asiakkailleen arvoa (Chesbrough & Rosenbloom, 2002), joten konstruktivinen menetelmä soveltuu myös uusien liiketoimintamallien kehittämiseen.

Konstruktivisen menetelmän vaiheet ovat (Kasanen ym., 1991)

1. Relevantin tutkimusongelman etsiminen
2. Taustaymmärryksen hankinta tutkimuskohteesta
3. Innovaatiovaihe, ratkaisumallin konstruointi
4. Ratkaisun toimivuuden testaus
5. Teoriakytkentöjen näyttäminen ja tieteellisen uutuusarvon osoittaminen
6. Ratkaisun soveltamisalueen laajuuden tarkastelu.

Tässä tutkimuksessa ensimmäinen vaihe tapahtui tutkimusongelman määrittelyn ja tutkimussuunnitelman laatimisen yhteydessä. Ensiymmärrys aiheesta luotiin kirjallisuuskatsauksen sekä Lahti Energian edustajien esihaastatteluiden avulla. Ratkaisumallin kehittäminen tapahtui haastatteluiden, seminaarin ja yrityksen edustajien tapaamisten pohjalta ideoinnin ja analyysin kautta. Ratkaisumalli koostuu muodostetuista tuhkan hyödyntämisen vaihtoehdoista ja niihin liittyvistä toimenpiteistä ja jatkoselvitysehdoista. Ratkaisun yhteyttä teoriaan ja uutuusarvoa sekä ratkaisun soveltamisalueen laajuutta tarkastellaan tämän tutkimuksen johtopäätöksissä.

Neljäs vaihe, ratkaisun toimivuuden testaus, on usein käytännössä haastava. Kasanen ym. (1993) mukaan ratkaisun käytännön toimivuus voidaan testata heikon, keskivahvan tai vahvan markkinatestin avulla. Keskivahva ja vahva markkinatesti tarkastelevat, onko ratkaisu omaksuttu käyttöön yrityksessä ja onko ratkaisun omaksunut yritys saavuttanut sen ansiosta parempia tuloksia. Koska uusien ratkaisujen käyttöönotto vaatii usein aikaa, soveltamista ja kehittämistä, on harvinaista osoittaa uusien ratkaisujen toimivuus tällä tasolla jo tutkimuksen aikana. Heikko markkinatesti taas on läpäisty, kun joku tulostavasti johtaja on valmis ottamaan ratkaisun käyttöön organisaatiossa. Jo tämä testi on vaikea läpäistä (Kasanen ym., 1993), ja riittää tässä tutkimuksessa ratkaisun toimivuuden arvioimiseen. Tässä tutkimuksessa ratkaisun toimivuuden testaus toteutettiin arvioimalla muodostettuja ratkaisuvaihtoehtoja ja niiden toteutuskelpoisuutta Lahti Energian edustajien kanssa.

## **2.2 Kirjallisuuskatsaus**

Kirjallisuudesta koottiin taustatietoa tuhkasta materiaalina sekä esimerkkejä hyödyntämisen teknisistä ratkaisuista ja niiden toimitusketjuista. Lisäksi kirjallisuuskatsauksessa tarkasteltiin yleisemmällä tasolla sivuvirtojen hyödyntämisen liiketoimintamalleja ja -verkostoja. Kirjallisuudesta koottiin myös arvioita tuhkan hyödyntämISRatkaisujen kustannusrakenteesta. Tieteellisten artikkelien lisäksi eri käyttökohteita rajoittava keskeinen lainsäädäntö kartoitettiin ja tietoa tuhkaliiketoiminnan nykytilanteesta etsittiin yritysten verkkosivuilta sekä uutisista ja muista verkkolähteistä.

## **2.3 Empiirisen datan kokoaminen**

### **2.3.1 Esihaastattelut**

Yrityksen sisällä toteutettiin esihaastattelut, joiden tavoitteena oli kartoittaa yrityksen nykyisiä tuhkan hyödyntämisen ja loppusijoittamisen toimintamalleja, sekä päätöksenteon kriteerejä ja prioriteetteja tulevan hyödyntämISRatkaisun valinnassa. Esihaastatteluiden avulla oli myös tarkoitus muodostaa ratkaisuehdotukselle reunaehdot ja kartoittaa suhtautumista erilaisiin mahdollisiin ratkaisumalleihin. Lisäksi koottiin ehdotuksia seuraavan vaiheen mahdollisista haastateltavista ja keskusteltiin haastatteluiden tavoitteista. Esihaastattelut toteutettiin teemahaastatteluina, joiden runkona toimivat valmiiksi suunnitellut teemat ja niiden apukysymykset, mutta joiden kulku kuitenkin määräytyi kunkin haastateltavan asiantuntemuksen mukaan niin, että kysymyksiä voitiin valikoida ja muokata edellisten vastausten mukaan. Esihaastatteluiden haastattelurunko on liitteessä 1.

### 2.3.2 Seminaari

Tässä tutkimuksessa tehtiin yhteistyötä Puu ja tuhka -tutkimushankkeen kanssa. Hankkeessa selvitetään puunhankinnan laatu- ja tehokkuuskriteereitä ja mahdollisuutta yhdistää tuhkan hyödyntämistä puunhankintaketjuun. Hankkeen yhteydessä järjestettiin seminaari, johon kutsuttiin erilaisia tuhkan hyödyntämisen sidosryhmiä erityisesti Etelä-Suomesta. Tarkoituksena oli keskustella tuhkan hyödyntämisen liiketoimintamallivaihtoehtojen potentiaalista ja toimijoiden mahdollisista rooleista yhteistyön ketjussa. Osallistujia olivat rakeistusyritys, polttoainetoimittaja, metsänhoidon konsultointiyritys, metsähoitoyhdistys ja kattilatoimittaja.

Seminaarin alkuosassa esiteltiin hankkeen puolesta tunnistettuja tuhkan hyödyntämisen liiketoimintamallivaihtoehtoja. Osallistujilta kuultiin esittelyitä tarjolla olevista ratkaisuksista. Seuraavassa vaiheessa esitellyistä liiketoimintamalleista eniten kiinnostusta herättäneet mallit otettiin jatkotyöstettäväksi työpajatyöskentelyssä, jossa hahmoteltiin toimitusketjun vaatimuksia ja eri toimijoiden mahdollisia rooleja. Mallien haasteista ja mahdollisuuksista etenkin Etelä-Suomessa käytiin keskustelua.

### 2.3.3 Haastattelut

Haastatteluiden avulla koottiin aineistoa tuhkan hyödyntämisen olemassa olevista ratkaisumalleista sekä potentiaalisista yhteistyökumppaneista. Haastateltavien valinta tehtiin yhteistyössä Lahti Energian edustajien kanssa. Keskeisiä sidosryhmiä ja mahdollisia tutkimuskysymysten kannalta olennaisia haastatteluteemoja tunnistettiin kuvan 1 mukaisen matriisin avulla.

Haastatteluteemat				
	Käytännön kokemukset: Toteutus, toimivuus, onnistumisen kriteerit	Ratkaisujen tekniset kriteerit, kustannukset, toteutus	Kiinnostus ja valmiudet yhteistyöhön	Kysyntä
Lannoitus- käyttö	<ul style="list-style-type: none"> <li>Muut tuhkan tuottajat, joilla kokemuksia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rakeistuslaitteistojen toimittajat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rakeistusyritys</li> <li>Metsänhoitoyhdistys</li> <li>Puunhankkija</li> <li>Jätehuoltoyritys</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>Lähialueen muut biovoimalaitokset</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Metsänomistajat</li> </ul>
Maa- rakennus- käyttö	<ul style="list-style-type: none"> <li>Muut tuhkan tuottajat, joilla kokemuksia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tuhkaa käyttävät maarakennusyritykset</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Rakennuttajat</li> </ul>
Muut käyttö- kohteet	<ul style="list-style-type: none"> <li>Muut tuhkan tuottajat, joilla kokemuksia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Muiden ratkaisujen tarjoajat               <ul style="list-style-type: none"> <li>Materiaali-teollisuuden yritykset</li> <li>Liete-tuhkalannoitetehtävyt</li> <li>Teollisuuden sivuvirtojen kokonaispalvelu</li> </ul> </li> </ul>		

Kuva 1. Matriisi mahdollisten haastateltavien kartoitukseen.

Matriisin riveillä ovat erilaiset hyödyntämiskohteet. Eri hyödyntämiskohteisiin liittyy erilaisia mahdollisia haastatteluteemoja. Matriisin sarakkeissa toimijakenttä on jaoteltu toimitusketjun osien mukaan. Keskeiset haastatteluteemat vaihtelevat sen mukaan, mihin toimitusketjun vaiheeseen sijoittuvaa sidosryhmää haastatellaan.

Mahdollisten haastateltavien kategoriat olivat:

1. Tuhkan tuottajat, joilla on jo käytössä tuhkan hyödyntämisen ratkaisuja.
2. Erilaisten ratkaisujen toimittajat: tuhkaa vastaanottavat tai sen käsittelyratkaisuja ja -tekniikkaa toimittavat yritykset.
3. Sidoryhmät, jotka voivat olla yhteistyökumppaneita tuhkan hyödyntämisessä.
4. Toimijat, jotka ovat tuhkaliiketoiminnan asiakkaita, eli lannoituskäytön tapauksessa metsänomistajat, ja maarakennuskäytössä rakennuttajat.

Esihaastatteluissa keskusteltiin haastatteluteemoista Lahti Energian edustajien kanssa ja koottiin ehdotuksia mahdollisista haastateltavista eri sidoryhmissä. Tämän jälkeen näistä ehdotuksista, seminaariosallistujista ja kirjallisuuskatsauksessa tunnistetuista toimijoista valittiin mahdollisimman tarkoituksenmukainen otos haastateltavaksi.

Kuvassa 2 on esitetty valitut haastateltavat edellä kuvatussa matriisissa. Haastateltaviksi valittiin kolme ryhmää: tuhkan tuottajat, jotka toteuttavat tuhkan hyödyntämistä, Lahti Energian sidoryhmät, jotka voisivat liittyä hyödyntämisketjuun, ja hyödyntämiskäytön tarjoajat. Neljäs ryhmä, tuhkaliiketoiminnan asiakkaat, jätettiin haastatteluiden ulkopuolelle, sillä tämä tutkimus keskittyy nimenomaan hyödyntämiskäyttöihin ja liiketoimintamalleihin.

Haastatteluteemat					
		Käytännön kokemukset: Toteutus, toimivuus, onnistumisen kriteerit	Ratkaisujen tekniset kriteerit, kustannukset, toteutus	Kiinnostus ja valmiudet yhteistyöhön	Kysyntä
Lannoituskäyttö	Muut voimalliset, joilla kokemuksia		Rakeistuslaitteistojen toimittajat <b>1 haastattelu</b>	Puunhankkijat <b>2 haastattelu</b>	
			Tuhkalannoitevalmistaja <b>1 haastattelu</b>	Jätehuoltoyritys <b>1 haastattelu</b>	
				Metsänhoitoyhdistys <b>1 haastattelu</b>	
Maa-rakennuskäyttö	<b>6 haastattelu</b>		Tuhkan maarakennuskäyttöä toteuttavat yritykset <b>2 haastattelu</b>		
			Suunnittelutoimistot ja asiantuntijayritykset <b>2 haastattelu</b>		
Muut käyttökohteet					

Kuva 2. Valittujen haastateltavien sijoittuminen matriisiin.

Haastatteluille valittiin neljä pääteemaa: käytössä olevat yhteistyömallit ja liiketoimintaverkostot tuhkan hyödyntämisessä, näkemykset hyödyntämiskäytännön onnistumisen kriteereistä, tarjolla olevat tekniset ratkaisut, sekä sidosryhmän mahdollisuudet yhteistyöhön tuhkan hyödyntämisessä. Haastattelurungot olivat erilaiset kullekin haastateltavien ryhmälle. Yksittäisiä kysymyksiä valikoitiin vielä kunkin haastateltavan kohdalla haastattelun aikana vastausten perusteella. Hyödyntämiskäytännön onnistumisen kriteereistä haastateltiin kaikkia ryhmiä.

Puu- ja turvetuhkan tuottajia, joilla on käytössä tuhkan hyödyntämisen ratkaisuja, haastateltiin ratkaisuihin liittyvistä kokemuksista. Erityisesti kartoitettiin, millaisia yhteistyökumppaneita ja liiketoimintaverkostoja eri ratkaisussa toimii ja mitkä ovat tuhkan tuottajien kokemukset ratkaisujen toimivuudesta. Tuhkan tuottajien haastattelurunko on liitteessä 2.

Mahdollisista yhteistyökumppaneista haastateltiin tuhkan hyödyntämisen sidosryhmiä, joilla on jonkinlainen kytkös Lahti Energian tuhkan hyödyntämiseen ja jotka voisivat olla kiinnostuneita kehittämään uudenlaisia ratkaisuja yhdessä Lahti Energian kanssa tai tulevaisuudessa tarjoamaan hyödyntämiskäytännön entistä laajemmin. Haastatteluissa kartoitettiin niin lannoituskäytön kuin maarakennuskäytönkin mahdollisia toimintamalleja ja toimijoiden kiinnostusta yhteistyöhön. Lisäksi haastateltiin tuhkan hyödyntämiskäytännön tarjoavia yrityksiä. Näiltä selvitettiin millaisia tuotteita tai palveluita ne tarjoavat, mitkä ovat ratkaisujen kustannukset sekä vaatimukset tuhkan määrälle ja laadulle, sekä millaisia sopimuksia ratkaisu edellyttää. Jokaisen sidosryhmän haastattelun kysymysrunko oli hiukan erilainen. Suuntaa-antavat teemat haastatteluille ovat liitteessä 3.

### **2.3 Datan analyysi**

Esihaastatteluista, seminaarista ja haastatteluista tehtiin muistiinpanot. Tapaamisten muodossa toteutetut haastattelut myös äänitettiin ja äänitteet purettiin. Sidosryhmätyöpajan aikana keskustelusta tehtiin muistiinpanoja kolmen henkilön toimesta, joiden muistiinpanot yhdistettiin jälkepäin mahdollisimman tarkkan kokonaisuuden muodostamiseksi. Muistiinpanot ja äänitteet analysoitiin siten, että kuhunkin haastatteluiden pääteemaan liittyen haastatteluissa esille nousseet näkökulmat tunnistettiin ja ryhmiteltiin analyysiä varten. Luottamuksellisuussyistä haastateltujen tuhkan tuottajien nimiä ja yrityksiä ei mainita.

Haastattelujen ja seminaarin tulosten pohjalta muodostettiin Lahti Energialle vaihtoehtoiset tuhkan hyödyntämisen ratkaisumallit. Vaihtoehtoista analysoitiin tärkeimmät päätöksentekoon vaikuttavat tekijät ja toteutuksen vaatimat toimenpiteet. Seuraavassa vaiheessa vaihtoehtoja vertailtiin SWOT-analyysin avulla.

### 3 Tuhkan hyödyntämisen lähtökohdat

Tuhkan hyödyntämisen lähtökohtia ovat käytetty polttoaine, tuhkan koostumus ja ominaisuudet sekä lainsäädännön rajoitukset tuhkan käytölle. Tässä luvussa tarkastellaan näitä lähtökohtia. Luvussa 3.1 käsitellään tuhkan muodostumista, koostumusta ja laatuun vaikuttavia tekijöitä. Luku 3.2 esittelee tuhkan hyödyntämisen lähtökohtana olevaa lainsäädäntöä.

#### 3.1 Tuhkan muodostuminen ja laatu

Tuhka on polttoaineen epäorgaanista polttojäännöstä, joka syntyy palamislämpötilassa haihtumattomista polttoaineen alkuaineiden oksideista. (Soininen ym., 2010). Yleensä polttoprosesseissa syntyy kahdenlaista tuhkaa: lentotuhkaa ja pohjatuhkaa. Pohjatuhka on kattilan pohjalle kertyvää tai leijupetimateriaalin mukana poistuvaa materiaalia. Lentotuhka erotetaan savukaasuista ja se on hienojakoisempaa. (Korpijärvi ym., 2009) Tässä tutkimuksessa keskitytään tarkastelemaan lentotuhkaa.

Tuhkat ovat merkittävä energiantuotannon sivuvirta ja kaatopaikkoja kuormittava jae. Suomessa on arvioitu syntyvän vuosittain noin 500 000–600 000 tonnia puun ja turpeen lentotuhkaa. (Ojala, 2010) Tuhkan määrä ja koostumus vaihtelevat huomattavasti eri polttoaineissa. Turpeesta tuhkaa on yleensä noin viisi prosenttia ja puun tuhkapitoisuus on runko-osissa 0,4–0,6 %, kuoressa 2–5 % ja oksissa 1–2 %. (Isännäinen ym., 2006) Myös tuhkan koostumus vaihtelee puun eri osissa (Ojala, 2010).

Turpeen tuhkan keskeisiä ainesosia ovat pii, alumiini ja rauta. Puun tuhkasta suuri osa koostuu alkali- ja maa-alkalimetalleista, erityisesti kalsiumoksidista. (Ojala, 2010) Lisäksi tuhkat sisältävät magnesium-, kalium- ja natriumoksideja, raskasmetalleja ja palamatonta hiiltä (Korpijärvi ym., 2009) Monet puu- ja turvetuhkan sisältämät aineet, kuten fosfori, kalium, kalsium ja boori, ovat kasvien ravinteita. Puhtaan puutuhkan ravinnepitoisuudet vastaavat yleensä hyvin puiden ravinnetarvetta poltossa menetettävää tyyppiä lukuun ottamatta (Vesterinen, 2003). Turvetuhkassa kaliumin, kalsiumin ja boorin pitoisuudet ovat yleensä puutuhkaa matalammat. (Ojala, 2010) Esimerkkejä erilaisten tuhkien ravinnepitoisuuksista on taulukossa 1.

Taulukko 1. Erilaisten tuhkien ravinnepitoisuuksia g/kg (Ojala, 2010).

	Puu	Hake	Puunkuori	Turve
P	19,3	19,8	8,4	11,7
K	123	110	21	3,4
Ca	275	279	191	46
Mg	44	33	17	9
Mn	13,1		6,9	0,9
B	0,7		0,3	0,1
Fe	2,2		14,4	72,5

Ravinteiden lisäksi lentotuhkiin rikastuu polttoaineiden sisältämiä raskasmetalleja, kuten kadmiumia, arseenia, kromia, nikkeliä, sinkkiä, mangaania ja kuparia (Huotari, 2004). Puun kuoressa ja oksissa haitta-ainepitoisuudet ovat runkopuuta korkeammat (Korpijärvi ym., 2009). Puun tuhkan ongelmallisin raskasmetalli on yleensä kadmium, joka on haitallista tai jopa myrkyllistä kasveille ja muille eliöille. Kadmiumpitoisuus voi rajoittaa puutuhkan hyötykäyttöä (Soininen ym., 2009; Korpijärvi ym., 2009). Taulukossa 2 on esitetty erilaisten polttoaineseosten tuhkien metallipitoisuuksia.

Taulukko 2. Erilaisten tuhkien metallipitoisuuksia (mg/kg) (Korpijärvi ym., 2009).

	Turpeen ja puun lentotuhka	Puutuhka	Puunkuori-liete-lentotuhka
As	30–120	1,0–60	11,0–26,0
Zn	50–2200	200–2000	790–3700
Cu	60–200	50–300	52–85
Cr	43–130	40–250	50–230
Ni	30–700	20–100	38–89
Cd	0,5–5	6,0–40	3,7–14,0
Pb	150–1000	3–1100	34–72
Mo	10,0–50,0	15	
Co	10,0–50,0	3–200	
Hg	0,3–2	0,02–1	0,004–1,1
V	20–500	20–30	
Se	<10–26		
Ba	150–2200	200–1300	

Puunpoltossa voidaan polttaa myös kierrätyspuujakeita, joilla voi olla vaikutusta tuhkan laatuun. Kymijärvi III -laitoksella on tarkoitus polttaa pieniä määriä A- ja B-luokan kierrätyspuupolttoaineita. A-luokan jakeet ovat käsittelemätöntä käytöstä poistettua puuta, kuten sahanpurua, viilua tai kuorta. B-luokan puupolttoaineet taas ovat kemiallisesti käsiteltyä, esimerkiksi maalattua tai pinnoitettua puuta, jossa käsittelyaineet eivät kuitenkaan sisällä halogenoituja orgaanisia yhdisteitä tai kyllästysaineita. (Alakangas ym., 2014) Käsittelyaineet B-luokan puupolttoaineissa voivat lisätä tiettyjen raskasmetallien pitoisuuksia tuhkassa. (Korpijärvi ym., 2009)

Myös tuhkan fysikaaliset ominaisuudet vaikuttavat sen hyötykäyttöön. Tuhka on hyvin hienojakoista ja pölyää tästä syystä runsaasti, mikä hankaloittaa sen käsittelyä (Steenari ym., 1999). Tuhka on myös emäksistä: puun tuhkan pH on noin 12 ja turpeen tuhkan pH 7–12 (Soininen ym., 2009). Ruotsissa tuhkaa onkin käytetty yleisesti kalkitusaineena torjumaan happaman laskeuman vaikutuksia (Isännäinen ym., 2006). Lentotuhkalla on myös lujittumisominaisuuksia, sillä vapaa kalsiumoksidi reagoi veden kanssa ja muodostaa sementtimäisiä aineita (Soininen ym., 2009).



### 3.1.1 Tuhkan laatuun vaikuttavat tekijät

Tarkasteltaessa tuhkan koostumusta ja ominaisuuksia, jotka vaikuttavat sen hyötykäytön mahdollisuuksiin, puhutaan usein tuhkan laadusta. Tuhkan laadulla tarkoitetaan yleensä ainakin ympäristökelpoisuutta eli haitta-aineiden pitoisuuksia ja liukoisuuksia, sekä käyttökohteesta riippuen esimerkiksi ravinnepitoisuutta, pH:ta tai teknisiä ominaisuuksia. (Ojala, 2010; Korpijärvi ym., 2009; Laine-Ylijoki ym., 2002) Tuhkan laatuun vaikuttavat monet tekijät: polttoaine, poltto-olosuhteet ja -tekniikka, savukaasujen puhdistusmenetelmä, tuhkan varastointi ja käsittely sekä olosuhteet käyttö- tai sijoituskohteessa (Demeyer ym., 2001; Korpilahti, 2004; Steenari ym., 1999; Österbacka, 2001).

Kuten edellä on todettu, eri polttoaineet ovat koostumukseltaan erilaisia luonnostaan. Tuhkan haitta-ainepitoisuuksiin voivat lisäksi vaikuttaa merkittävästi polttoaineen sisältämät pienetkin määrät erilaisia jätteitä, kuten kyllästettyä puuta, pigmenttejä tai muoveja, metallia, uretaania, palonestoaineita tai maaliväriä. (Korpijärvi ym., 2009)

Poltto-olosuhteista etenkin lämpötila vaikuttaa tuhkan koostumukseen eri tavoin. Ensinnäkin lämpötila vaikuttaa raskasmetallien rikastumiseen tuhkaan. Osa metalleista höyrystyy ja poistuu savukaasun mukana. Osa höyrystyy, mutta tiivistyy uudestaan ja kiinnittyy pienimpiin lentotuhkahiukkasiin. Osa ei höyrysty poltossa lainkaan ja jää lentotuhkan karkeampaan jakeeseen. (Korpijärvi ym. 2009) Korkeampi polttolämpötila voi myös johtaa tuhkan kaliumpitoisuuden pienenemiseen (Pitman, 2006). Lisäksi polttolämpötila vaikuttaa tuhkan emäksisyyteen: korkeammissa polttolämpötiloissa tuhkan emäksisyys nousee. Emäksisyys taas vaikuttaa tuhkan sisältämien aineiden liukoisuuksiin. (Demeyer ym., 2001, Steenari & Fedje, 2010) Esimerkiksi lyijyn liukoisuus voi olla emäksisessä tuhkassa suurempi (Korpijärvi ym., 2009).

Poltto-olosuhteista lämpötilan lisäksi tuhkan koostumukseen vaikuttavat ainakin palamisnopeus ja ilman syöttö (Soininen ym., 2009) sekä kattilakuormitus (Korpijärvi ym., 2009). Suurella kattilakuormituksella ainakin molybdeenin liukoisuus kasvaa (Korpijärvi ym., 2009). Myös eri polttotekniikoiden välillä on eroja. Leijupetipoltosta syntyvä tuhka on yleensä metallipitoisempaa kuin pölypoltosta syntyvä tuhka, osittain matalamman polttolämpötilan vuoksi, mutta metallien liukoisuudet ovat yleensä pienempiä kuin pölypoltton tuhkista. Esimerkiksi polttoaineen elohopeasta 50-80 % jää tuhkaan leijupetipoltossa. (Laine-Ylijoki ym., 2002)

Savukaasujen puhdistusmenetelmällä on merkittävä vaikutus tuhkan koostumukseen (Korpilahti, 2004). Puhdistusmenetelmistä tavallisimpia ovat sähkösuodattimet ja pussisuodattimet, joilla molemmilla voidaan saavuttaa 99 % puhdistusteho (Miller, 2011). Mitä tehokkaammin savukaasut saadaan puhdistettua, sitä enemmän metalleja

kertyy tuhkaan (Korpilahti, 2004; Pitman, 2006). Esimerkiksi kadmium ja lyijy höyrystyvät poltossa ja kondensoituvat tuhkaan vasta suotimilla (Korpilahti, 2004).

Tuhkan varastointi vaikuttaa omalta osaltaan sen laatuun. Tuhkan jäähdyttäminen vedellä ja varastointi ulkotiloissa voivat heikentää tuhkan ravinnearvoa. (Steenari ym., 1999; Anttila, 2008) Pitempi varastointiaika alentaa tuhkan emäksisyyttä ja vaikuttaa aineiden liukoisuusiin (Demeyer ym., 2001). Lisäksi lyhytkin varastointi kosteana heikentää tuhkan lujittumisominaisuuksia (Laine-Ylijoki ym., 2002). Myös käyttö- tai sijoituskohteen pH-olosuhteet vaikuttavat liukoisuusiin: emäksisissä oloissa liukenevat erityisesti kromi, lyijy ja molybdeeni, neutraaleissa oloissa seleeni, kromi, molybdeeni ja vanadiini, ja happamissa oloissa kalium ja sinkki. (Korpijärvi ym., 2009)

Tuhkaa voidaan käsitellä eri tavoin sen laatuun vaikuttamiseksi. Näistä käsittelyistä on kerrottu tarkemmin luvussa 3.3.1. Tuhkan laatu määrittelee sen hyödyntämisen mahdollisuudet. Tekninen laatu vaikuttaa suoraan tuhkan käytettävyyteen, kun taas ympäristöominaisuuksiin liittyvistä laatuvaatimuksista on säädetty lailla. Tuhkan hyödyntämisen lainsäädännöllisiä lähtökohtia on kuvattu seuraavassa luvussa.

### **3.2 Lainsäädäntö tuhkan hyödyntämisen lähtökohtana**

Koska tuhka on jäte, sen hyödyntämistä säätelevät erilaiset lait ja säädökset, joiden tarkoitus varmistaa, että käyttö ei aiheuta haittaa ympäristölle tai ihmisille, ja toisaalta edistää hyötykäyttöä. Jätteiden hyödyntämistä ja loppusijoitusta säätelevät ympäristönsuojelulaki, ympäristönsuojeluasetus sekä jätelaki. (Korpijärvi ym., 2009) Lannoitevalmistelaki 539/2006 ja maa- ja metsätalousministeriön lannoitevalmisteasetus 24/11 säätelevät tuhkan lannoituskäyttöä (Ojala, 2010) ja Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 591/2006 tuhkan maarakennuskäyttöä ilmoitusmenettelyllä (Korpijärvi ym., 2009). Tässä luvussa tarkastellaan näitä lakeja ja asetuksia tuhkan hyötykäytön näkökulmasta.

#### **3.2.2 Ympäristönsuojelulaki ja -asetus**

Ympäristönsuojelulaissa (527/2014) ja ympäristönsuojeluasetuksessa (713/2014) säädetään ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavalle toiminnan ympäristöluvan tarpeesta, lupamenettelystä ja luvan sisällöstä. Jätteiden hyödyntäminen ja käsittely ammatti- ja laitospäiväisesti on lain mukaan luvanvaraista toimintaa, mutta haitattoman tuhkan tai kuonan hyödyntäminen ja käyttö lannoitevalmistelain (539/2006) tai MARA-asetuksen (VNa 591/2006) mukaisesti ei vaadi ympäristölupaa.

### 3.2.3 Jätelaki, jätevero ja kaatopaikkakelpoisuus

Jätelain (646/2011) tarkoituksena on ehkäistä jätteistä ja jätehuollosta aiheutuvaa haittaa terveydelle ja ympäristölle sekä ehkäistä roskaantumista, vähentää jätteen määrää ja haitallisuutta, edistää luonnonvarojen kestäväää käyttöä, ja varmistaa jätehuollon toimivuus. Laissa määritellään, että jätteellä tarkoitetaan ainetta tai esinettä, jonka sen haltija on poistanut tai aikoo poistaa käytöstä tai on velvollinen poistamaan käytöstä. Aine tai esine ei ole jäte vaan sivutuote, jos se syntyy sellaisessa tuotantoprosessissa, jonka ensisijaisena tarkoituksena ei ole sen valmistaminen, ja

- 1) aineen tai esineen jatkokäytöstä on varmuus;
- 2) ainetta tai esinettä voidaan käyttää suoraan sellaisenaan tai sen jälkeen, kun sitä on muunnettu enintään tavanomaisen teollisen käytännön mukaisesti;
- 3) aine tai esine syntyy tuotantoprosessin olennaisena osana; sekä
- 4) aine tai esine täyttää sen suunniteltuun käyttöön liittyvät tuotetta sekä ympäristön- ja terveydensuojelua koskevat vaatimukset eikä sen käyttö kokonaisuutena arvioiden aiheuta vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle. (Jätelaki 646/2011)

Jäteverolaissa (1126/2010) mukaan kaatopaikalle sijoitettava voimalaitosten lentotuhka on verollista jätettä. Jäteveron piirissä ovat sellaiset jätteet, joiden hyödyntäminen on teknisesti mahdollista ja ympäristönsuojelun kannalta perusteltua sekä joiden taloudellista hyödynnettävyyttä voidaan jäteverolla parantaa (Jutila, 2012). Jätevero on noussut viime vuosina ja nykyinen taso on vuodesta 2016 alkaen 70 euroa/tonni. Jätettä voidaan säilyttää muista jätteistä erotettuna väliaikaisesti alle kolmen vuoden ajan ennen käsittelyä tai hyödyntämistä. Tällöin siitä ei tarvitse maksaa jäteveroa, kunhan koko jätemäärän hyödyntäminen tapahtuu kolmen vuoden sisällä. Jätelaissa on määritelty jätteen tuottajan vastuu jätteen käsittelystä ja loppusijoituksesta. (Jäteverolaki 1126/2010)

Valtioneuvoston asetuksessa kaatopaikoista (331/2013) on määritelty jätteiden kaatopaikkakelpoisuuden raja-arvot. Kaatopaikat luokitellaan vaarallisen jätteen, tavanomaisen jätteen ja pysyvän jätteen kaatopaikoiksi, joihin sijoitettavan jätteen tulee täyttää luokan raja-arvot haitta-aineiden pitoisuuksille. Kaatopaikkakelpoisuuden raja-arvot on esitetty taulukossa 3. Huomionarvoista on, että kaatopaikkakelpoisuutta määrittävät huomattavasti useampien aineiden raja-arvot, kuin metsälannoituskäyttöä. Tämän seurauksena tuhka, jossa vain yhden aineen raja-arvo ylittyy lannoituskäytölle, voi ylittää useita kaatopaikkakelpoisuuden raja-arvoja. Kaatopaikkasijoittamisen kustannukset nousevat voimakkaasti, kun tuhka täytyy käsitellä ennen loppusijoitusta. (Rosenlund, 2017)

Taulukko 3. Kaatopaikkakelpoisuuden raja-arvot. (VNa 331/2013)

	<b>Pysyvä jäte</b>	<b>Tavanomainen jäte</b>	<b>Vaarallinen jäte</b>
<b>Aine/muuttuja</b>	mg/kg kuiva-ainetta (L/S = 10 l/kg)		
Arseeni (As)	0,5	2	25
Barium (Ba)	20	100	300
Kadmium (Cd)	0,04	1	5
Kromi yhteensä (Cr <sub>kok</sub> )	0,5	10	70
Kupari (Cu)	2	50	100
Elohopea (Hg)	0,01	0,2	2
Molybdeeni (Mo)	0,5	10	30
Nikkeli (Ni)	0,4	10	40
Lyijy (Pb)	0,5	10	50
Antimoni (Sb)	0,06	0,7	5
Seleen (Se)	0,1	0,5	7
Sinkki (Zn)	4	50	200
Kloridi (Cl <sup>-</sup> )	800	15 000	25 000
Fluoridi (F <sup>-</sup> )	10	150	500
Sulfaatti (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	1000	20 000	50 000
Liuennot org. hiili (DOC) <sup>1)</sup>	500	800	1 000
Liuenneiden aineiden kokonaismäärä (TDS) <sup>2)</sup>	4000	60 000	100 000

### 3.2.4 Lannoitevalmistelaki ja -asetus

Lannoitevalmistelaki (539/2006) säätelee lannoitteiden tuotantoa, käyttöä ja valmistusta, ja siten myös tuhkan hyötykäyttöä lannoitteena. Laissa määritellään yleisinä vaatimuksina lannoitevalmisteille, että niiden tulee olla tasalaatuisia, turvallisia ja käyttötarkoitukseen sopivia. Lain mukaan vain kansalliseen tai EU:n lannoitevalmisteiden tyyppinimiluetteloon kuuluvia lannoitteita saa tuoda maahan, saattaa markkinoille ja valmistaa markkinoille saattamista varten. Tuhkalannoitteet ovat oma lannoitetyypinsä tyyppinimiluettelossa. (Lannoitevalmistelaki 539/2006)

Lannoitevalmisteille on Maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa 24/11 määritelty haitallisten aineiden enimmäispitoisuudet. Lisäksi kalsiumin, kaliumin ja fosforin pitoisuuksille on vähimmäisvaatimukset. Lannoitevalmisteiden seoksissa kaikkien käytettyjen valmisteiden tulee noudattaa asetettuja vaatimuksia. Pitoisuusvaatimukset ja -rajat on esitetty taulukossa 4. Peltolannoituksen raja-arvot ovat huomattavasti metsälannoitusta tiukemmat erityisesti arseenin, kadmiumin ja sinkin osalta, eikä puun tuhka siksi yleensä sovellu peltolannoitukseen. (MMM 24/11)

Taulukko 4. Lannoitevalmisteiden ravinnepitoisuuksien vaatimukset ja haitta-ainepitoisuuksien rajat. (MMM 24/11)

	<b>Peltolannoitus</b>	<b>Metsälannoitus</b>
<b>Ravinne</b>	<b>Vähimmäispitoisuus</b>	
Ca		6 %
K+P		2 %
Neutralointikyky (Ca)	10 %	
<b>Haitta-aine</b>	<b>Enimmäispitoisuus mg/ka k.a.</b>	
Arseeni (As)	25	40
Elohopea (Hg)	1.0	1.0
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

Lannoitevalmisteiden valvonnasta vastaa Elintarviketurvallisuusvirasto Evira. Lannoitevalmisteiden valmistuksen aloittamisesta on tehtävä ilmoitus Eviralle ja toimitettava omavalvontasuunnitelma lannoitteiden valmistuksen ja käsittelyn kriittisten vaiheiden säännöllisestä seuraamisesta, jotta toiminnasta ei aiheudu vaaraa terveydelle tai ympäristölle. Myös muutoksista ja toiminnan lopettamisesta vaaditaan ilmoitus. Toiminnan harjoittajan tulee seurata lannoitevalmisteiden ja niiden raaka-aineiden ostoja ja alkuperää, valmistettujen tuotteiden määriä, varastointipaikkoja ja luovutuksia sekä tuotteiden ja raaka-aineiden maahantuonti- ja maastavientimääriä. Nämä tiedot tulee toimittaa Eviralle kerran pyydettyä. Kerran vuodessa on tehtävä vuosi-ilmoitus. (Lannoitevalmistelaki 539/2006)

Tuhkan tuottaja on vastuussa toimittamastaan alkuperäisestä tuotteesta. Voimalaitoksen tulee tietää tarkkaan, mitä polttoaineita on poltettu, ja vastata tuhkan laadusta. Jos jatkojalostaja lisää tuhkaan lisäaineita, on tämä vastuussa tuotteesta. Tuotteiden mukana tulee toimittaa tuoteseloste ja käyttöohjeet. (Ojala, 2010) Tuoteselosteen sisällöstä säädetään lannoitevalmistelaisissa ja Maa- ja metsätalousministeriön lannoitevalmistesasetuksessa 24/11. Käyttäjällä on vastuu tuotteen ohjeidenmukaisesta käytöstä.

### 3.2.5 MARA-asetus

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 591/2006 eli MARA-asetus on tarkoitettu helpottamaan tiettyjen jätejakeiden käyttöä maarakentamisessa. Kivihiilen, turpeen ja puuperäisen polton lentotuhat kuuluvat MARA-asetuksen piiriin. Asetuksen määrittelemiä jätteitä voidaan hyödyntää ilmoitusmenettelyllä ilman ympäristölupaa seuraaviin käyttökohteisiin:

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

Ilmoitusperusteisen hyödyntämisen kriteerit ovat seuraavat (VNa 591/2006):

- Jätteen haitallisten aineiden liukoisuus ja pitoisuus eivät ylitä asetuksessa annettuja raja-arvoja
- Jätteitä sekoitettaessa teknisten ominaisuuksien parantamiseksi haitallisten aineiden liukeneminen tai muut haitalliset päästöt eivät sekoittamisen seurauksena lisäänty
- jätettä käytetään vain tarpeellinen määrä ja rakenteen paksuus on enintään 150 cm
- jäterakenne ei joudu kosketuksiin pohjaveden kanssa ja rakenteen etäisyys talousvesikäyttöön tarkoitetuista kaivoista ja lähteistä on vähintään 30 m,
- jätettä sisältävä rakenne peitetään tai päällystetään, ja
- jätteen väliaikainen varastointi hyödyntämispaikalla ei aiheuta jätteen joutumista ympäristöön ja se aloitetaan aikaisintaan neljä viikkoa tai suojattuna kymmenen kuukautta ennen hyödyntämistä.

Jätettä sisältävän rakenteen peittämisellä tarkoitetaan jätettä sisältävän rakenteen suojaamista jätteen leviämisen estämiseksi vähintään 10 cm paksuisella kerroksella luonnon kiviainesta. Päällystämällä taas tarkoitetaan jätettä sisältävän rakenteen suojaamista sadeveden suotautumisen vähentämiseksi asfaltilla tai muulla huonosti läpäisevällä materiaalilla. (VNa 591/2006) Jätejakeiden haitta-ainepitoisuuden ja liukoisuuden raja-arvot ovat erilaiset päällystetyille ja peitetyille rakenteille ja eri rakennuskohteille. Peitetyn rakenteen raja-arvot perustuvat pysyvän jätteen kaatopaikkasijoituksen raja-arvoihin (Mroueh ym., 2006). Tuhkaa koskevat raja-arvot on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. MARA-asetuksen raja-arvot tuhkan haitta-ainepitoisuuksille. (VNa 591/2006)

	Liukoisuus (L/S = 10 l/kg)	Liukoisuus (L/S = 10 l/kg)	Pitoisuus
mg/kg k.a.	Peitetty rakenne	Päällystetty rakenne	
DOC <sup>5</sup>	500	500	
Antimoni (Sb)	0,06	0,18	
Arseeni (As)	0,5	1,5	50
Barium (Ba)	20	60	3 000
Kadmium (Cd)	0,04	0,04	15
Kromi (Cr)	0,5	3	400
Kupari (Cu)	2	6	400
Elohopea (Hg)	0,01	0,01	
Lyijy (Pb)	0,5	1,5	300
Molybdeeni (Mo)	0,5	6	50
Nikkeli (Ni)	0,4	1,2	
Vanadiini (V)	2	3	400
Sinkki (Zn)	4	12	2 000
Seleeni (Se)	0,1	0,5	
Fluoridi (F <sup>-</sup> )	10	50	
Sulfaatti (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	1 000	10 000	
Kloridi (Cl <sup>-</sup> )	800	2 400	

Vuonna 2016 on valmisteltu MARA-asetuksen päivitystä, johon ollaan muun muassa lisäämässä uusia jätejakeita nykyisten rinnalle ja muuttamassa haitallisten aineiden raja-arvoja jätejaekohtaisista rakennekohtaisiksi. Rakentamiskohteet uudessa asetuksessa olisivat väylä, reitti, kenttä, valli, tuhkamursketiet sekä teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteet. (Peuranen, 2016) Osaan haitta-aineiden raja-arvoista on esitetty korotuksia nykyiseen asetukseen nähden ja osaan taas tiukennuksia. Erityisesti joidenkin aineiden liukoisuuksien ehdotetut kenttärakentamisen raja-arvot ovat tiukempia kuin tuhkaa koskevat aiemmat raja-arvot. Tämä hankaloittaisi tuhkan hyödyntämistä kenttärakentamisessa. (Serkkola, 2016) Lopulliset raja-arvot ovat kuitenkin vielä harkinnassa. Päivityksen on tarkoitus valmistua vuoden 2017 aikana (Peuranen, 2016).

## **4 Tuhkan hyödyntämisen tekniset ratkaisut**

Suomessa energiantuotannon kaikista tuhista noin 41 % päättyy maarakentamiseen, 17 % seosainekäyttöön, 7 % lannoitteeksi, 14 % toiselle toiminnanharjoittajalle ja 21 % välivarastoon tai kaatopaikalle (Energiateollisuus, 2017). Vuosina 1995–2006 turve- ja seospolton tuhien hyötykäyttöaste oli 36–64 % (Soininen ym., 2010). Puun ja turpeen tuhien hyödyntämistä viime vuosina ei ole saatavilla tarkkaa tietoa, mutta metsäteollisuuden tuhista käytettiin vuonna 2013 lannoitukseen 21 % ja maarakentamiseen 66 % (Matilainen, 2016). Biotuhkan maarakennus- ja lannoituskäyttö ovat siis jo vakiintuneita sovelluskohteita.

Tässä luvussa esitellään tuhien hyödyntämisen ratkaisuja ja eri käyttökohteiden teknisiä kriteerejä. Luvussa 4.1 tarkastellaan käsittelyitä, joilla tuhien laatuun voidaan vaikuttaa ennen hyötykäyttöä. Luvut 4.2 ja 4.3 käsittelevät tuhien yleisimpiä hyötykäyttökohteita, metsälannoitusta ja maarakennuskäyttöä. Luvussa 4.4 esitellään katsaus muihin tuhien käyttökohteisiin ja kehitteillä oleviin sovelluksiin.

### **4.1 Tuhien käsittely hyötykäyttöä varten**

Hyötykäyttökohteiden vaatimia tuhien ominaisuuksia voidaan parantaa erilaisilla käsittelyillä. Käsittelyillä voidaan vähentää raskasmetallipitoisuuksia, parantaa teknisiä ominaisuuksia ja vähentää tuhien pölyävyyttä. (Huotari, 2012; Korpijärvi ym., 2009)

Raskasmetallien pitoisuuksia voidaan pyrkiä vähentämään luokittelun, pesun tai termisten menetelmien avulla (Korpijärvi ym., 2009). Raskasmetallit ovat yleensä pienimmässä hiukkasissa. Sähkösuotimilla kuivaa tuhkaa voidaan luokitella hiukkaskoon mukaan ja erottaa hienojakoisin, raskasmetallipitoisin jae. (Soininen ym., 2009) Pussisuotimella tuhka ei luokitu eri jakeisiin, mutta hienojakeen erottaminen on mahdollista myös erillisessä syklonissa ilmaluokittelulla (Korpijärvi ym., 2009). Luokittelun puhdistusvaikutus voi jäädä pieneksi, koska hienojakoisten hiukkasten massaosuus on pieni (Matilainen ym., 2013). Tutkimuksissa on kuitenkin saatu tuhien kadmiumpitoisuutta alennettua sähkösuodattimella jopa 70 % (Soininen ym., 2010).

Liukoisia aineita voidaan poistaa pesemällä. Helppoliukoiset suolat poistuvat jo pienellä vesimäärällä, mutta joidenkin niukkaliukoisten raskasmetallien erottaminen onnistuu vain happopesulla. Hapon kulutus on suuri tuhien emäksisyyden vuoksi, ja siksi kustannukset nousevat korkeiksi. Jotkin raskasmetallit on mahdollista poistaa termisillä menetelmillä, joissa tuhka kuumennetaan 1300–1500 asteeseen haihtuvien aineiden höyrystämiseksi. Kuumennusmenetelmillä on yleensä suuri energiankulutus ja siksi myös korkeat kustannukset. (Korpijärvi ym., 2009)



Tuhkan stabiloinnilla pyritään vähentämään sen pölyävyyttä. Yleisiä stabilointimenetelmiä ovat ikäännyttäminen, itsekovetus ja rakeistus. Näissä menetelmissä tuhkan annetaan reagoida ilman ja veden kanssa, mikä johtaa tuhkan kovettumiseen. (Soininen ym., 2010; Jutila, 2012) Kovettuminen perustuu reaktioiden sarjaan, jossa tuhkan sisältämä kalsiumoksidin muodostaa kalsiumkarbonaattia veden ja hiilidioksidin kanssa. Lisäksi kalsiumoksidin reagoi tuhkan alumiiniyhdisteiden kanssa muodostaen sementtimäisiä aineita. (Korpilahti, 2003)

Ikäännyttämisessä ja itsekovetuksessa tuhka varastoidaan kostutettuna kasassa, jossa se kovettuu (Soininen ym., 2010). Tuhkan ikääntymistä tapahtuu aina, kun tuhkaa välivarastoidaan läjitettynä ulkoilmassa. Itsekovetuksessa tuhka kostutetaan esimerkiksi sekoitusruuvien avulla noin 30–40 % kosteuspitoisuuteen ja jätetään kasaan kovettumaan pari viikoksi. Kovettunut tuhka murskataan sopivan kokoisiksi muruiksi käyttöä varten. (Korpilahti, 2003)

Rakeistusmenetelmiä ovat rumpu- ja lautasrakeistus. Rakeistuksessa tuhkaa sekoitetaan veden kanssa ja syötetään rakeistimeen. Lautasrakeistimessa rakeet muodostuvat kaltevassa kulmassa pyörivällä lautasella ja rumpurakeistimessa pyörivän sylinterin sisällä. Tuhkaa voidaan pelletöidä myös matriisipuristuksella tai valssauksella. (Korpilahti, 2003) Menetelmässä haasteena on tuhkan reaktiivisuudesta johtuva laitteiston voimakas kulumisen sekä matriisin tukkeutuminen (Karikorpi, 2013).

Seuraavissa luvuissa käsitellään tarkemmin sitä, mitä ominaisuuksia eri käyttökohteissa vaaditaan ja miten eri käsittelymenetelmiä niiden saavuttamiseksi sovelletaan.

## **4.2 Lannoitekäyttö**

Kuten luvussa 3.1 todettiin, puun tuhka sisältää runsaasti kasvien ja erityisesti puiden tarvitsemia ravinteita. Hakkuutähteiden kerääminen metsästä esimerkiksi energiakäyttöön on yleistynyt huomattavasti, minkä seurauksena metsistä poistuu paljon ravinteita. Tuhkalannoitusta on pidetty potentiaalisena keinona palauttaa niitä metsään. (Vesterinen, 2003) Emäksinen tuhka ehkäisee myös maaperän happamoitumista, jota hakkuutähteiden poistaminen voi aiheuttaa (Anttila, 2008).

Suomessa metsälannoituksen määrä on vaihdellut 245 000 hehtaarin lannoitusalueelta vuonna 1975 muutamiin tuhansiin hehtaareihin 1990-luvulla. 2000-luvun alussa määrä nousi noin 20 000 hehtaariin vuodessa. Tuhkan osuus metsälannoituksesta on pysynyt melko vähäisenä. Metsän kasvulannoituksen tavoite on puuston kasvun lisääminen, terveyslannoituksen tavoite taas maaperän ravinnetalouden parantaminen ja puuston kehityshäiriöiden ehkäiseminen. (Ojala, 2010) Olennaista on lisätä kasvupaikalle niitä ravinteita, joita maaperässä on niukasti puuston tarpeisiin nähden (Päivänen, 2007).

Tuhkalannoitus soveltuu parhaiten terveyslannoitukseen runsastyyppisille ojitetuille suometsille, joissa puuston kasvua rajoittaa fosforin ja kaliumin puute. Suomaaperän pH on usein myös happaman puolella, jolloin tuhkan neutralointivaikutus voi edistää pieneliöiden toimintaa maaperässä ja lisätä puuston kasvuvaikutusta. (Päivänen, 2007) Lannoittamisen tarve on yleisintä paksuturpeisissa suometsissä (Makkonen, 2008). Tuhkalannoitus on myös erinomainen apu turvetuotannosta vapautuvien suopohjien metsittämisen tai maisemoinnin edistämiseen (Huotari, 2012). Typen puutteen vuoksi tuhkan lisääminen kangasmaille ei tuota hyödyllisiä vaikutuksia (Päivänen, 2007).

Tuhkalannoitus vähentää maan happamuutta, lisää pintakerroksen ravinnearvoja ja parantaa puuston ravinnetilaa pitkäaikaisesti (Huotari, 2012). Tuhkalannoituksen on todettu vaikuttavan jopa kymmeniä vuosia, kun taas keinolannoituksen vaikutus heikkenee jo 10–15 vuoden kuluessa (Moilanen & Issakainen, 2003; Jutila, 2012). Tuhkalannoituksen tuoma kasvuvaikutus on runsastyyppisillä kasvupaikoilla keskimäärin 2–6 m<sup>3</sup>/ha/v ja niukatyyppisillä kasvupaikoilla keskimäärin 1–3 m<sup>3</sup>/ha/v (Moilanen & Issakainen, 2000; Moilanen & Issakainen, 2003). Maan raskasmetallipitoisuudet kohoavat tuhkalannoituksen seurauksena, mutta tuhkan emäksisyys hidastaa haitta-aineiden liukenemistä, eivätkä raskasmetallit rikastu haitallisessa määrin kasveihin, eläimiin tai sieniin. Jos tuhkaa ei joudu suoraan ojiin, raskasmetallien huuhtoutuminen vesistöihin on vähäistä. (Huotari 2012)

#### 4.2.1 Tuhkan käsittely lannoituskäyttöä varten

Lannoituskäyttöä varten tuhka on yleensä stabiloitava käsittelyn, kuljetuksen ja levityksen helpottamiseksi (Huotari, 2012). Lisäksi irtotuhka saa aikaan maaperän pH-arvon nopean muutoksen, johon maaperän pieneliöt ja kasvit eivät ehdi sopeutua (Mälkönen, 1996). Stabiloitu tuhka liikenee irtotuhkaa hitaammin, jolloin shokkivaikutusta ei synny, ja lannoitusvaikutus on pitkäaikaisempi (Anttila, 2008).

Rakeistusmenetelmillä tuhka kovettuu itsekovetusta nopeammin, ja rakeistettu tuhka pölyää vähemmän. Lisäksi sen loppukosteus on pienempi, mikä pienentää kuljetus- ja levityskustannuksia. Menetelmänä rakeistus on kalliimpi kuin itsekovetus. Rakeistuksen kustannuksiksi on arvioitu noin 25 €/tonni kiinteällä laitteistolla ja itsekovetuksen kustannuksiksi noin 12 €/tonni. (Isännäinen ym., 2006) Rakeistettu tuhka on kuitenkin helpompaa käsitellä ja levittää tasaisesti (Makkonen, 2008).

Rakeistamisen yhteydessä on myös helppoa sekoittaa tuhkaan lisäravinteita tai muita jätejakeita (Korpilahti, 2003). Lannoitusominaisuuksia voidaan parantaa lisäämällä tuhkaan esimerkiksi epäorgaanisia lannoitevalmisteita. Joidenkin ravinteiden lisääminen rajoittaa tuhkan käyttöä: jos lannoitevalmisteeseen on lisätty booria, sen levitys pohjavesialueilla ja suojelualueilla on kielletty. (Huotari, 2012)

Lannoitusominaisuuksien parantaminen voisi olla myös mahdollista sekoittamalla tuhkaa muihin teollisiin sivuvirtoihin, esimerkiksi vedenpuhdistuksen tai mädättämöiden biolietteisiiin, joissa on suuret ravinnepitoisuudet. Lindh ym. (2001) tutkimuksessa hyviä liete-tuhkarakeita saatiin aikaan betoninsekoittajalla avulla. Pesonen ym. (2016) tutkivat tuhkan rakeistamista biolietteen ja kalkin kanssa, ja rakeistus onnistui myös hyvin, mutta rakeiden puristuslujuus heikkeni, mikä voi lyhentää lannoitusvaikutuksen kestoa.

Molemmissa tutkimuksissa saatujen tuotteiden typpipitoisuus ei lietteen typpipitoisuudesta huolimatta ollut riittävän korkea typpiköyhien metsien tarpeeseen. Lindhin ym. (2001) mukaan tuhkan ja lietteen rakeistaminen voisi olla taloudellisesti edullista olettaen, että tuotteeseen lisättäisiin tarpeen mukaan ylimääräistä typpeä. Raskasmetallipitoisuudet jäivät molemmissa tutkimuksissa enimmäkseen kohtalaisen alhaisiksi (Lindh ym., 2001; Pesonen ym., 2016). Tulosten perusteella tuhkan sekoitus lietteeseen on lupaava kohde tuhkalannoitteiden kehittämiseksi edelleen. Biolietetuhkaseokselta puuttuu tosin lannoitevalmistelain mukainen typpinimi eikä sitä siksi voi toistaiseksi markkinoida metsälannoituskäyttöön (Huotari 2012).

#### 4.2.2 Tuhkalannoituksen toteuttaminen

Puuntuhkaa tarvitaan typpirikkaaseen metsään tai suolle noin 3000–6000 kg/ha, jotta tavoiteltavat fosforin ja kaliumin lisäykset saavutetaan. Tarkemman lannoitustarpeen määrittämiseksi kohteessa on tehtävä ravinneanalyysi. (Päivänen, 2007) Tuhkalannoitus voidaan toteuttaa maalevityksenä metsätraktorilla tai ilmalevityksellä helikopterilla (Huotari, 2012). Tuhkalannoituksen toteuttaminen metsätilojen yhteishankkeena tuo säästöjä levitys- ja kuljetuskustannuksiin (Makkonen, 2008).

Maalevityksellä tuhkalannoitus kannattaa toteuttaa osana muita metsänhoitotoimenpiteitä. Se toteutetaan talvella, sillä maan tulee olla riittävän kantavaa. (Isännäinen ym., 2006; Makkonen ym., 2008) Lannoitus kannattaa ajoittaa niin, että ensin tehdään harvennushakkuu, jossa samalla tehdään levityskalustolle ajourat (Korpilahti, 2004). Vasta lannoituksen jälkeen kannattaa toteuttaa kunnostusojitus, sillä umpeenkasvaneiden vanhojen ojien ylitys onnistuu levityskalustolla helpommin (Isännäinen ym., 2006).

Lentolevityksessä vuodenaika ja muut metsänhoidon toimenpiteet eivät vaikuta levitysjankohdan valintaan (Väätäinen, 2000). Se on hyvä vaihtoehto maastoille, jotka ovat kivikkoisia tai soiden ja vesistöjen rikkomia (Huotari, 2012). Lentolevitys on maalevitystä tehokkaampaa, mutta kalliimpaa (Väätäinen, 2000; Korpilahti, 2004).

Molemmissa levitystavoissa on suunniteltava optimaalisin levitysreitti ja huomioitava tuhkan varastointipaikan järkevä etäisyys levitysalueesta (Huotari, 2012). Tuhkalannoituksessa tarvitaan metsäkohteen läheisyydestä varastopaikka, jossa on tilaa kuljetuskaluston liikkumiselle ja jonne johtavat tiet kestävät raskaan liikenteen. Varastopaikan tulisi olla riittävä vähintään rekkakuormallisen eli 40 tonnin tuhkamäärän varastointiin. Laadun heikkenemisen välttämiseksi tuhkaa ei tule varastoida maastossa pitkiä aikoja. (Makkonen, 2008)

Tuhkalannoituksen kilpailukyvyn kannalta merkittävin haaste on, että levitysmäärät ovat huomattavasti suuremmat kuin kemiallisen lannoitteen levitysmäärät. Tämä moninkertaistaa kuljetus- ja levityskustannukset, ja vaikka tuhkalannoitteen hinta olisi kemiallisen lannoitteen hintaa alempi, voivat lannoituksen kokonaiskustannukset olla metsänomistajalle suuremmat. (Sarvaala, 2016) Taulukossa 6 on vertailtu kemiallisen ja tuhkalannoituksen kustannusrakennetta. Kuljetuskustannukset riippuvat kuljetusetäisyydestä ja levityskustannukset työmaan koosta.

Taulukko 6. Tuhkalannoituksen ja kemiallisen lannoituksen kustannuksia. (Sarvaala, 2016)

	Tuhkalannoitus	Kemiallinen lannoitus
Levitysmäärä (kg/ha)	3000–6000	550–600
Lannoitteen hinta (€/ha)	150–350	175–230
Levityskustannus: maalevitys (€/ha)	50–110	
Levityskustannus: lentolevitys (€/ha)	100–300	
Lannoituksen hinta metsänomistajalle (€/ha)	550–600	350–450

### 4.3 Maarakennuskäyttö

Tuhkaa voidaan käyttää maarakentamisessa monipuolisesti eri tarkoituksiin (Kiviniemi ym., 2012). Tuhkalla voidaan korvata luonnonkivimateriaalia tie-, katu- ja kenttärakenteissa sekä penger-, valli- ja täyttörakenteissa. Sitä voidaan käyttää myös side- ja täyteaineena pehmeiden maamassojen, kuten ruopattujen pohjasedimenttien, tai pilaantuneen maa-aineksen stabiloinnissa, jolla voidaan lisätä massan lujutta ja jäykkyyttä ja pienentää haitta-aineiden liukoisuutta. (Jutila, 2012; Kiviniemi ym., 2012)

Luvussa 3.2.5 esiteltujen lainsäädännöllisten ympäristökelpoisuusstandardien lisäksi maarakennuskäyttö asettaa tuhkan teknisille ominaisuuksille käyttökohteesta riippuen erilaisia vaatimuksia. Tie-, katu ja kenttärakenteet koostuvat kerroksista, joilla on eri tehtävät ja siten vaatimukset käytetyille materiaaleille. (Korpijärvi ym., 2009) Rakenteilta vaadittuja ominaisuuksia ovat esimerkiksi routakestävyys, kantavuus ja tiivistyvyys. Melu- ja maavallirakenteissa tuhkaa voidaan käyttää täytemateriaalina ja pohjarakenteissa, joissa vaaditaan vakautta, jäätymis-sulamiskestävyyttä, vedenläpäisevyyttä ja kantavuutta. (Kiviniemi ym., 2012; Korpijärvi ym., 2009)

Tuhkalle voidaan määrittää geotekniset indeksiominaisuudet, joita ovat muun muassa rakeisuus, optimivesipitoisuus, maksimikuivatilavuuspaino, puristuslujuus, vedenläpäisevyys ja routivuus. Keskeinen tuhkan ominaisuus on myös sen lujittuvuus. Eri lentotuhkalaadut voidaan indeksiominaisuuksien mukaan luokitella neljään eri käyttöluokkaan sen mukaan, mihin rakenteisiin tai rakennekerroksiin ne soveltuvat. Käyttöluokkien avulla voidaan aloittaa sopivien käyttökohteiden kartoitus tuhkalta, mutta tarkempi tekninen soveltuvuus on selvittävä vielä erikseen aiotun käyttökohteen mukaan. (Kiviniemi ym., 2012)

Teknisiin ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa tuhkan käyttötavalla: käyttökohteesta riippuen tuhkaa voidaan käyttää massiivirakenteena sellaisenaan tai sideaineiden kanssa, tiivistettynä, seostettuna toisen sivutuotteen kanssa tai massojen stabiloinnin sideaineena. Tuhkaa voidaan myös sekoittaa muihin materiaaleihin, kuten kuitusaveen tai fosfokipsiin erilaisten ominaisuuksien saavuttamiseksi. (Kiviniemi ym., 2012)

Tavanomaisiin luonnonkivirakenteisiin verrattuna tuhkarakenteilla on usein monia etuja, kuten lämmöneristävyys, kantavuus ja keveys sekä luonnonvaroja säästävä vaikutus. Stabiloinnin sideaineena tuhkan on todettu parantavan rakenteiden pitkän ajan lujuuskehitystä ja jäätymis-sulamisrasituksen kestävyttä. (Kiviniemi ym., 2012)

Nykyisen MARA-asetuksen piiriin ei kuulu tuhkan käyttö metsäteissä vaan käyttö vaatii ympäristöluvan. Sovelluskohdetta on tutkittu lupaavin tuloksin (Vanhanen ym., 2014; Oburger ym., 2016) ja se todennäköisesti lisätään päivitettyyn MARA-asetukseen. Tutkimusten perusteella tuhkan käyttö soraan sekoitettuna sideaineena tai varsinaisena rakennusmateriaalina voi parantaa tierakenteiden lujuutta ja kulutuskestävyyttä sekä roudankestävyyttä, ja siten parantaa tien elinikää. Tutkimustulosten perusteella ympäristöriskit on ainakin lyhyellä aikavälillä hyväksyttävällä ja hallittavalla tasolla ja raskasmetallien kulkeutuminen on vähäistä. (Vanhanen ym., 2014; Oburger ym., 2016) Suomessa on arvioitu olevan vuotuinen tarve toteuttaa perusparannuksia 4000 kilometriin metsäteitä, ja joidenkin arvioiden mukaan tuhkaa käyttämällä perusparannusten kustannukset voisivat olla 30 % matalammat kuin pelkkiä luonnonkiviaineita käytettäessä (Vanhanen ym., 2014).

#### 4.3.1 Tuhkarakentamisen toteutus

Ennen maarakennuskäyttöä tuhkaa voidaan jalostaa luvussa 4.1 kuvatuilla menetelmillä, esimerkiksi luokittelemalla tuhkaa haitta-aineiden pitoisuuksien vähentämiseksi tai vanhentamalla liukoisuuksien pienentämiseksi niin, että MARA-asetuksen raja-arvot täytyisivät. Käsittelyt lisäävät kustannuksia, mutta voivat olla taloudellisesti kannattavia, jos vaihtoehtona on koko tuhkamäärän sijoittaminen kaatopaikalle (Korpijärvi ym., 2009).

Kustannustehokkainta on hyödyntää tuhkaa suoraan laitokselta ilman välivarastointia. Varastointi voi kuitenkin joskus olla välttämätön välivaihe, sillä rakentamisen sujumuuden takaamiseksi riittävä materiaalikapasiteetti on oltava saatavilla rakennustyön aikana. Tyypillisiä eri työmaiden kapasiteettivaatimuksia on taulukossa 7. Välivarastointi voi myös olla pakollista, kun tuhkaa käytetään ympäristöluvitetuissa rakennuskohteissa, sillä ympäristöluvissa voidaan vaatia tuhkan ikäännyttämistä liukoisuuksien pienentämiseksi. (Aluehallintovirasto, 2014; Aluehallintovirasto, 2016)

Taulukko 7. Työmaan tyypilliset toimituskapasiteettivaatimukset eri menetelmillä (Kiviniemi ym., 2012)

Kohde	Toimituskapasiteetti
Massiiviset tierakenteet	50–100 t/h
Pengertäyttö	>100 t/h
Stabiloinnin sideaine	30–35 t/h

Tuhkaa voidaan varastoida kuivana silloissa tai suljetuissa halleissa, tai kostutettuna kentällä läjitettynä tai aumoissa (Kiviniemi ym., 2012). Varastointitapa ja varastoinnin kesto vaikuttaa tuhkan teknisiin ominaisuuksiin. Kosteana varastoidun tuhkan lujuus- ja kantavuusominaisuudet voivat jäädä huonoiksi, mutta kosteana varastointi voi olla ainoa vaihtoehto suuremmissa rakennushankkeissa. (Korpijärvi ym., 2009) Läjitys kasoihin on vähiten tilaa vaativa ja yksinkertaisin tapa varastoida. Aumavarastointi on järkevää silloin, kun tuhkaa joudutaan sekoittamaan paljon. Tuhkaan voidaan esimerkiksi sekoittaa vettä ja sideaineita varastointipaikalla. (Kiviniemi ym., 2012)

Varsinaisen rakentamisen toteutus on vaiheiltaan varsin yksinkertainen. Tuhka kuljetetaan suoraan voimalaitoksen siilosta tai välivarastointipaikalta työmaalle. Työmaalla sitä voidaan välivarastoida jonkin aikaa. Rakennuspaikalle tuomisen jälkeen lentotuhka levitetään ja tiivistetään heti levityksen jälkeen. Tiivistämisen jälkeen tuhkarakenne peitetään esimerkiksi murskeella mahdollisimman pian pölyämisen ja kastumisen estämiseksi. (Rudus Oy, 2008)

Tuhkarakentamisessa tarvitaan laadunvarmistusta koko toimitusketjussa. Tuhkan tuottajan laadunvarmistustoimia ovat olennaisten prosessitietojen, kuten polttoaineseoksen ja kattilakuormituksen seuranta, tuhkien teknisten ja ympäristöominaisuuksien määrittäminen sekä tuhkan vesipitoisuuden seuranta. Välivarastoinnin aikana voi olla tarpeen seurata tuhkan tiivistymistä ja muutoksia tuhkan laadussa. Sekoituksen, käsittelyn ja rakentamisen aikana vesipitoisuutta ja laatua seurataan edelleen. (Kiviniemi ym., 2012) Ympäristöluvitetuissa kohteissa on lisäksi useiden vuosien seurantavelvoitteita esimerkiksi pohjavesien ja suotovesien haitta-ainepitoisuuksille (Aluehallintovirasto, 2014; Aluehallintovirasto, 2016). MARA-asetuksen mukaisissa kohteissa näitä seurantavelvoitteita ei ole.

#### 4.4 Muut käyttökohteet

Käytännöiltään vakiintuneempien lannoitus- ja maarakennuskäytön lisäksi tuhkan käyttöä on tutkittu monissa muissakin tarkoituksissa. Esimerkkejä materiaaliteollisuuden sovelluksista ovat käyttö sementtiteollisuudessa, betonin sideaineena ja geopolymeerien raaka-aineena (Jutila, 2012; Illikainen, 2013). Tuhkan käyttöä vedenpuhdistuksessa ja kompostoinnissa on myös tutkittu, mutta nämä sovelluskohteet eivät ole vielä yleisemmin käytössä ja vaativat vielä lisätutkimusta (Kurola ym., 2010; Jutila, 2012).

Materiaaliteollisuudessa kivihiilen tuhkaa on jo kauan käytetty betonin valmistuksessa sen hyvien sideaineominaisuuksien vuoksi (Jutila, 2012). Puhtaan puutuhkan käyttämistä betonin sideaineena on tutkittu (Jutila, 2012; Siddique, 2014), mutta tuhkan käyttöä betonin valmistuksessa ohjaa Suomessa lentotuhkastandardi (SFS 450-1), jonka asettamat rajoitukset estävät tällä hetkellä turve- ja puutuhkien käytön betonin lisäaineena (Jutila, 2012). Standardi sallii kivihiilen ja puun tai turpeen yhteispoltossa syntyvän tuhkan käytön, jos kivihiilen osuus polttoaineesta on vähintään 60 %, tai 50 %, jos oheispolttoaineena on puhdasta puuta (SFS 450-1).

Geopolymeerit ovat kiinteitä materiaaleja, joita saadaan stabiloimalla raskasmetallipitoisia tuhkia ja kuonia synteettiseen alumiinisilikaattirakenteeseen (Illikainen, 2013). Tuhkaa voidaan yhdistää geopolymeereissä esimerkiksi sementin (Pesonen ym., 2016) tai kivivillan (Kinnunen ym., 2016) kanssa. Geopolymeeritekniikan avulla voidaan luoda ominaisuuksiltaan aiempaa parempia rakennusmateriaaleja ja mahdollisesti laajentaa seospolton tuhkien hyötykäytön mahdollisuuksia rakentamisessa (Yliniemi ym., 2016).

Eräät tuhkan hyödyntämisen mahdolliset ratkaisut perustuvat tuhkan emäksisyyteen ja neutralointikykyyn. Kurola ym. (2010) tutkivat tuhkan käyttöä pH:n säätöön biojätteen kompostoinnissa. Biojäte on usein hiukan hapanta, mikä aiheuttaa kompostointiprosessiin ongelmia, kuten hajuhaittoja ja kompostin huonolaatuisuutta. Tutkimuksessa pienellä määrällä puuntuhkaa onnistuttiin säätämään pH:ta ja parantamaan lämmöntuotantoa ja mikrobitoiminnan aktiivisuutta. 4–8 prosentin tuhkalisäys tuotti riittävän vaikutuksen ja turvallisen lopputuotteen. (Kurola ym., 2010)

Tuhkaa voidaan mahdollisesti käyttää myös vedenpuhdistuksessa. Tutkimuksissa turvetuhkasta valmistetulla saostuskemikaalilla on onnistuttu poistamaan jätevesistä fosforia, jota voidaan jälkeinpäin käyttää esimerkiksi lannoitukseen. Rakeistetuilla biotuhkilla on saatu myös alennettua jätevesien kemiallista hapenkulutusta ja orgaanisen hiilen määrää. Puu- ja turvetuhkan avulla on myös saatu poistettua vedestä muun muassa lyijyä, kobolttia, kadmiumia, kuparia ja sinkkiä. (Jutila, 2012).

## **5 Tuhkan hyödyntämisen liiketoimintamallit**

Edellä on kuvattu, mitä tuhkan laadulta vaaditaan eri hyötykäyttökohteissa ja millaisia teknisiä ratkaisuja tuhkan hyödyntämiseen on olemassa. Laadun ja teknisten ratkaisujen lisäksi tuhkan hyödyntämisen tulee myös onnistua taloudellisesti kannattavalla tavalla. Tässä luvussa tarkastellaan tuhkan hyödyntämistä liiketoiminnan näkökulmasta. Luvussa 5.1 käsitellään liiketoimintamallin käsitteen soveltamista tuhkan hyödyntämiseen. Luvussa 5.2 esitellään tuhkan hyödyntämisen toimijakenttää ja liiketoimintamalleja Suomessa. Luku 5.3 tarkastelee vaihtoehtoisia liiketoimintamalleja tuhkan tuottajan näkökulmasta.

### **5.1 Liiketoimintaverkosto sivuvirtojen hyödyntämisessä**

Tuovinen (2015) on tutkinut tuhkan hyödyntämisen sidosryhmien näkemyksiä tuhkan hyödyntämisen toimintaympäristössä Suomessa. Tutkimuksessa kävi ilmi, että suuri osa tuhkan hyödyntämisen sidosryhmistä, erityisesti tuhkan tuottajista, tarkastelee tuhkan käyttöä kierrätysnäkökulmasta eikä liiketoimintanäkökulmasta. Nykytilanteessa tuhkan hyödyntämisen lähtökohtana on tyypillisesti jäteveron tuomien kustannusten välttäminen. Tuhkan tuottajien ydinliiketoimintaa on energiantuotanto, ja tuhka on vain sen strategisesti merkityksetön sivutuote. (Tuovinen, 2015)

Tuovisen (2015) tulokset viittaavat siihen, että tuhkan hyödyntämisen tarkastelu liiketoimintanäkökulmasta voisi kuitenkin olla hyödyllistä. Hyödyntämisketjun toteutuksen tarkastelu liiketoimintamallin kautta voisi auttaa ratkaisemaan muun muassa kustannusrakenteeseen ja kysyntään liittyviä haasteita. Tuhkan hyödyntämisen lähtökohtana olisi nähtävä loppukäyttäjälle tuotettava arvo, ja tuhkatuotteiden pitäisi olla kilpailukykyisiä neitseellisten raaka-aineiden kanssa. Kun liiketoimintaa kehitetään sivuvirtojen hyödyntämisestä, on huomioitava, että siihen liittyy monia erityispiirteitä (Bocken ym., 2014). Siksi tässä luvussa avataan liiketoimintamallin käsitettä ja tarkastellaan sen soveltamista sivuvirtojen ja erityisesti tuhkan hyödyntämiseen.

Liiketoimintamalli on kuvaus siitä, kuinka yritys luo ja toimittaa arvoa asiakkailleen sekä muuttaa arvon itselleen voitoiksi (Teece, 2010; Osterwalder & Pigneur, 2010). Liiketoimintamallille ei ole kirjallisuudessa yhtä määritelmää, mutta tyypillisesti sen keskiössä on arvolupaus eli kuvaus siitä, millaista arvoa yrityksen tarjoamat tuotteet tai palvelut asiakkaalle luovat. Lisäksi liiketoimintamallissa kuvataan usein erilaiset markkinasegmentit, joille tuotetta tai palvelua tarjotaan, sekä ansaintalogiikka, jolla yritys kerää tuottoa. (Chesbrough & Rosenbloom, 2002; Magretta, 2002; Osterwalder & Pigneur, 2010) Muita tärkeitä liiketoimintamallin osia voivat olla arvonluontitoimenpiteet, joilla tuotteen tai palvelun arvo muodostuu, sekä liiketoiminnan kustannusrakenne yritykselle. (Osterwalder & Pigneur, 2010)



Liiketoiminnassa, joka luo arvoa jätteestä, jätevirtoja eliminoidaan luomalla niistä hyödyllisiä raaka-aineita muihin tuotteisiin ja prosesseihin (Bocken ym., 2014) Liiketoimintamalliin voi sisältyä kaksi arvolutausta. Ensinnäkin jätevirran tuottajalle tarjotaan palveluna jätteen käsittely. Arvoa muodostuu ratkaisun helppoudesta ja kustannustehokkuudesta. Toisaalta jätteestä syntyy tuote, jolla on arvoa loppukäyttäjälle. Arvo voi perustua esimerkiksi tuotteen laatuun, mutta usein myös edulliseen hintaan verrattuna neitseellisistä raaka-aineista valmistettuun tuotteeseen. Esimerkiksi tuhkasta lannoitetta valmistavan yrityksen liiketoimintamalli on tällainen. Myös yrityksen ansaintalogiikka voi olla kaksisuuntainen ja perustua paitsi tuotteen myyntiin, myös jätteenkäsittelypalvelusta perittävään maksuun (Tuovinen, 2015).

Myös tuhkan tuottajan on toisaalta mahdollista tarkastella tuhkan hyödyntämistä liiketoimintana. Tuhka on hyödyntäjälle, esimerkiksi lannoitevalmistajalle tai maarakennushyödyntäjälle, raaka-aine, josta luodaan arvoa lopputuotteeseen. Tästä näkökulmasta ajateltuna tuhkan tuottaja ei ole toimitusketjussa asiakas, vaan raaka-ainetoimittaja, jonka arvolutauksen tulisi perustua erityisesti raaka-aineen laatuun. Lisäksi arvo perustuu kustannusetuihin verrattuna neitseellisiin raaka-aineisiin. Teollisten symbioosien tutkimuksessa yhtenä sivuvirtojen hyödyntämisen liiketoimintasuhteiden muodostumisen edellytyksenä on pidetty sitä, että molemmat osapuolet materiaalivaihdossa saavat siitä hyötyä (Ehrenfeld & Chertow, 2002). Sivuvirran tulee siis olla edullisempi sen hyödyntäjälle kuin neitseellinen raaka-aine, mutta sen toimittamisen hyödyntämiseen tulee myös olla halvempaa sivuvirran tuottajalle, kuin esimerkiksi kaatopaikkasijoitus olisi (Ehrenfeld & Chertow, 2002).

Molemminpuolisen hyödyn tulee kattaa myös kustannukset ja riskit. Sivutuotteen hyödyntäjä ottaa riskin sitoutuessaan raaka-ainetoimittajaan. Merkittävänä erona tavallisiin toimittaja-asiakassuhteisiin on sivuvirran määrän ja laadun mahdollinen vaihtelevuus. Tämä on haaste hyödyntäjälle, jonka tulee pystyä varmistamaan raaka-aineiden toimitusvarmuus. Sivuvirran tuottajallekin toiminnassa on riskinsä, sillä jos hyödyntäjän liiketoiminta häiriytyy eikä sivuvirtaa pystytäkään ottamaan vastaan, tuottaja joutuu huolehtimaan sivuvirran käsittelystä ja loppusijoituksesta jätteenä tai etsimään uuden hyödyntäjän. Syntyäkseen teolliset symbioosit vaativatkin suuria, jatkuvia jätevirtoja, jotka sisältävät jotakin arvokkaita raaka-aineita muille teollisuuden toimijoille. (Ehrenfeld & Chertow, 2002) Sekä sivuvirran hyödyntäjä että tuottaja voivat siis luoda toisilleen arvoa tarjoamalla toimintavarmuutta ja jatkuvuutta.

Tekniset haasteet toisen teollisuudenalan sivuvirran hyödyntämisen käynnistämiseksi voivat olla hyvinkin suuret (Pajunen, 2012). Haasteena myös tuhkan tuottajan raaka-ainetoimittajaroolissa ja liiketoiminta-ajattelussa ovat tuhkan laadun vaihtelu, arvon luominen tuhkatuotteille sekä liiketoiminnan kustannusrakenne. Tuhkan logistiikasta ja

mahdollisesta tuotteeksi jalostuksesta syntyvät kustannukset voivat olla korkeita. Jätevirrasta luotavan raaka-aineen tai tuotteen pitäisi kilpailla neitseellisten raaka-aineiden kanssa niin hintansa kuin laatunsa puolesta. Tuovisen (2015) haastattelututkimuksessa monet sidosryhmät kokivat, että tuhkalannoitteille on haastavaa luoda arvoa siten, että kustannukset pysyvät kohtuullisina.

Kustannustehokkuuden ja kilpailukyvyn saavuttamisessa keskeistä on, että toimitusketjun osat toimivat yhteisen arvonluonnin tavoitteen saavuttamiseksi. Liiketoimintamalleissa, jotka perustuvat arvon luomiseen jätteestä, toiminta vaatii teollisuudenalojen välisten kumppanuuksien luomista. (Bocken ym., 2014) Tyypillisesti sivuvirtojen onnistunut hyödyntäminen vaatii monimutkaisia liiketoimintaverkostoja, toimijoita, jotka eivät normaalisti toimisi yhdessä, sekä yritysten väliset rajat ylittäviä liiketoimintamalleja (Tsvetkova & Gustafsson, 2014). Tällaisten verkostojen luominen vaatii tiedonvaihtoa ja yritysten välistä luottamusta (Ehrenfeld & Chertow, 2002).

Sivuvirtojen hyödyntämisen liiketoimintamalleissa tärkeä osa onkin kuvaus yrityksen kumppaneista ja yrityksen asemasta toimittajien, asiakkaiden ja kilpailijoiden arvonluontiverkostossa (Ostelwalder & Pigneur, 2010; Chesbrough & Rosenbloom, 2002). Yritys voi luoda kumppanuuksia esimerkiksi mittakaavaetujen saavuttamiseksi ja voidakseen keskittää omia resurssejaan yrityksen ydinosaamiseen (Osterwalder & Pigneur, 2010). Kumppani- ja arvoverkostojen tärkeys kasvaa teknologian monimutkaisuuden, kestävyyspaineiden ja globaalien kilpailun mukana. Yksittäisten yritysten ei ole taloudellisesti järkevää pyrkiä hallitsemaan kaikkia arvoketjun toimintoja tuotekehityksestä asiakassuhteiden hoitamiseen. (Möller ym., 2005)

Liiketoimintaverkostoissa on kyse eri toimijoiden arvonluonnin toimenpiteiden yhdistämisestä. Verkostoon voi kuulua toimittajia ja alihankkijoita sekä jakelijoita ja välittäjiä, mutta myös kilpailevia yrityksiä, jotka tekevät yhteistyötä esimerkiksi tutkimuksessa ja kehityksessä tai jakavat resursseja saavuttaakseen kilpailuetua laajemmassa mittakaavassa. Jonkin yrityksen tulisi toimia koordinoivassa, verkoston toimintaa ohjaavassa roolissa. (Möller ym., 2005)

Sivuvirtojen hyödyntämiseen perustuvat ratkaisut ovat voimakkaasti alueellisia, sillä esimerkiksi kuljetusetäisyydet muodostuvat ratkaisevan tärkeiksi kustannustekijöiksi. Siksi sivuvirtojen hyödyntämisen liiketoimintaverkoston luominen vaatii aina alueellisten tekijöiden huomioimista, ja ratkaisut eivät ole suoraan monistettavissa. Alueellisia eroja voi olla paljon esimerkiksi saatavilla olevien raaka-aineiden määrässä ja laadussa sekä tuotteiden kysynnässä. Myös alueella toimivat eri yritykset ja muut sidosryhmät vaikuttavat liiketoimintaverkoston muodostamisen vaihtoehtoihin. (Tsvetkova & Gustafsson, 2014)

Tämä pätee myös tuhkan hyödyntämisen liiketoimintaverkostoihin. Mahdollisia ratkaisuvaihtoehtoja eri tuhkan tuottajille on tutkittu paljon (Soininen, 2010, Jutila, 2012; Pekkala, 2012; Karikorpi, 2013), mutta näiden tutkimusten tulokset eivät ole suoraan sovellettavissa uusiin tapauksiin alueellisten erojen vuoksi. Tuhkan tuottajan haasteena on arvioida muualla toteutettujen ratkaisujen soveltuvuutta omassa toimintaympäristössään. Alueellinen sovellettavuus voi olla haaste myös yrityksille, jotka pyrkivät luomaan monistettavia hyödyntämiskäytännöksiä tuhkan tuottajille.

Tsvetkova ja Gustafsson (2012) ovat kehittäneet modulaarisen mallin, jolla voidaan havainnollistaa sivuvirtojen hyödyntämiseen perustuvan toimitusketjun erilaisia toteutusvaihtoehtoja ja helpottaa niiden soveltamista paikallisiin olosuhteisiin ja toimintaympäristöihin. Malli perustuu siihen, että alueellisista eroista riippumatta sivuvirran hyödyntämiskäytännöjen toteuttaminen vaatii tiettyjä toimintoja, ja mahdollisia eri toimijoita liiketoimintaverkostossa on rajallinen määrä. Taulukossa 8 on esimerkki modulaarisen mallin käytöstä biokaasun tuotantosysteemin kuvaamiseen. Taulukon riveillä on tuotantosysteemiin tarvittavat toiminnot ja sarakkeissa mahdolliset systeemin muodostavat toimijat. Taulukon ruutuihin on merkitty eri toimijoiden mahdolliset roolit tuotantosysteemissä. (Tsvetkova & Gustafsson, 2014)

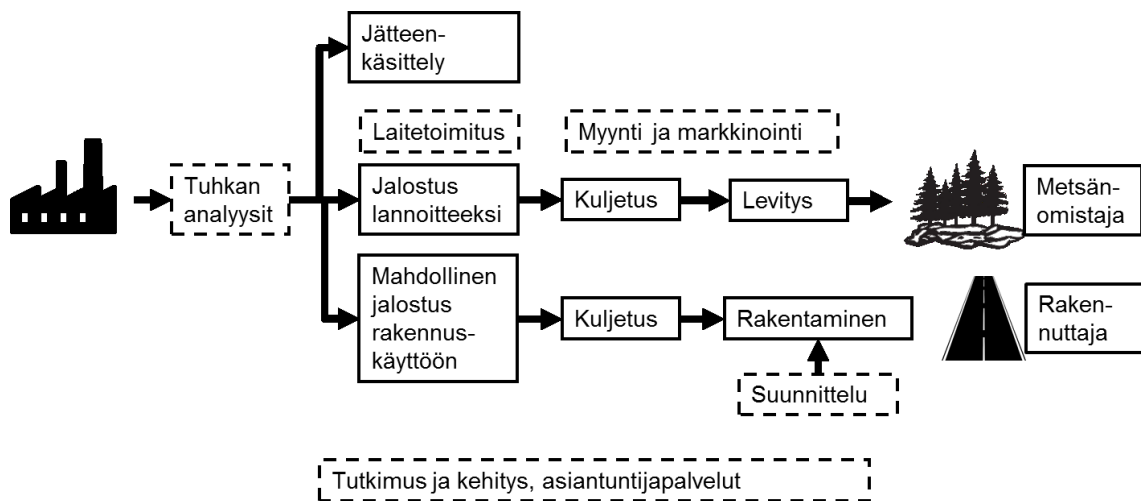
Taulukko 8. Modulaarinen malli biokaasun tuotantosysteemistä. (Tsvetkova & Gustafsson, 2014).

		Toimijat										
		Jätteen- käsittely	Maanviljely	Biokaasun tuottaja	Kaasun jakelija	Kuljetus- yritykset	Kuljetusauto- myyjät	Energian- tuotanto	Maisemointi	Lähialueen väestö	Kaasun nesteytys	Kuluttajat etäällä
Toiminnot biokaasun tuotantosysteemissä	Integrointi											
	Biomassan tuotanto											
	Biokaasun tuotanto											
	Biokaasun jakelu											
	Biokaasun käyttö											
	Tuki- toiminnot											
	Mädätteen hävitys											

Tässä tutkimuksessa modulaarisen mallin avulla havainnollistetaan Lahti Energian tuhkan hyödyntämisen vaihtoehtoja. Luvussa 4 kuvatuista tuhkan hyödyntämisen ratkaisuista voidaan hahmottaa, millaisia toimintoja tuhkan hyödyntämisketjuun tarvitaan. Seuraavassa alaluvussa taas esitellään tuhkan hyödyntämisen toimijoita, jotka ketjun voivat muodostaa.

## 5.2 Tuhkan hyötykäytön sidosryhmät ja liiketoiminta Suomessa

Tässä luvussa tarkastellaan tuhkan hyödyntämisen toimitusketjuja ja toimijoita tuhkaliiketoiminnan verkostoissa Suomessa. Tietoa yritysten toiminnasta on koottu verkkosivuilta ja uutisista. Joidenkin yritysten osalta tietoa on täydennetty puhelinhaastatteluilla. Tuhkan hyötykäytön vaihtoehtoisia toimitusketjuja on havainnollistettu kuvassa 3. Keskeisiä toimijoita ketjussa ovat jätteenkäsittely-yritykset, lannoitejalostajat ja lannoituspalveluyritykset ja maarakennuskäytön toimijat. Metsäteollisuuden yrityksillä on merkittävä rooli tuhkan hyödyntämisen koko toimitusketjussa.



Kuva 3. Tuhkan hyödyntämisen toimitusketjut. Katkoviivalla on merkityt toiminnot, jotka eivät ole osa tuhkan fyysistä toimitusketjua.

### Jätteenkäsittely

Lähtökohtaisesti ketjussa tarvitaan aina jätteenkäsittely vaihtoehtoisena polkuna tuhkalle. Tuhkan laadun ja hyötykäyttökohteiden saatavuuden vaihdellessa osa tuhkasta joudutaan läjittämään kaatopaikalle. Lisäksi kaatopaikkakelpoisuusrajat ylittäviä tuhkia joudutaan käsittelemään ennen kaatopaikkaläjitystä. Lahden seudulla jätteenkäsittelyä ja kaatopaikan ylläpitoa toteuttaa Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy. Lahti Energialla on oma tuhkan läjitysalue. Koko Suomessa toimivia jätteenkäsittely-yrityksiä ovat esimerkiksi Fortum (entinen Ekokem), Suomen Erityisjäte ja L&T. (Lillman, 2017)

Jätteenkäsittely-yritykset voivat hyödyntää käsiteltyä tuhkaa myös maarakentamiseen. Esimerkiksi sekä Fortum että L&T ovat käyttäneet tuhkaa kaatopaikkojen rakentamissulkemishankkeissa. (Österbacka, 2017; Vartiamäki, 2017) Fortum on myös suunnitellut rakentavansa Poriin Mäntyluotoon tuhkalajostamon, jossa on tarkoitus käsitellä 70 000 tonnia tuhkaa vuodessa. Tuhkista on tarkoitus jalostamalla ottaa talteen metalleja ja suoloja kemianteollisuudessa hyödynnettäväksi. (Fortum, 2016)

### **Lannoitejalostajat ja laitetoimittajat**

Tuhkan lannoituskäytön ketjun keskeiset toiminnot ovat jalostus, tuotteen markkinointi ja myynti metsänomistajalle, sekä kuljetus ja levitys metsään. Voimalaitoksilla voi olla erilaisia sopimuksia tuhkan hyödyntämisen toteuttamisesta. Loppukäyttäjäksi eli asiakas on metsänomistaja. Lisäksi toimitusketjuun voi liittyä erillinen laitetoimittaja, joka toimittaa tuhkan käsittelylaitteiston. Tuhkaa lannoituskäyttöön jalostavia yrityksiä Suomessa ovat ainakin Ecolan ja Rakeistus Oy ja tuhkan käsittelyyn soveltuvia laitteistoja Suomessa toimittavat Rakeistus Oy ja Tecwill Granulators. Oma rakeistuslaitteisto on Napapiirin Energian ja Veden Suosiolan voimalaitoksella. Yritys on ulkoistanut laitoksen operoinnin ja lannoitteiden myynnin mutta tuotteistanut itse lannoitteen. (Napapiirin Energia ja Vesi, 2016)

Ecolan Oy (entinen FA Forest Oy) taas on tuhkalannoitevalmistaja, joka vastaanottaa useiden eri tuottajien tuhkaa ja jalostaa niistä metsälannoitteita lannoitetehtaillaan Viitasaarella ja Nokialla. Nokian tuotantolaitos käynnistyi maaliskuussa 2017 (Ecolan, 2017). Laajentumismahdollisuuksia pääkaupunkiseudulle ja Pohjois- sekä Kaakkois-Suomeen on selvitetty. Ecolanin tuote- ja palvelukokonaisuuteen kuuluvat lannoitteet, tuhkan vastaanotto- ja levityspalvelut sekä fillR-kevytkiviaines. (Korona Invest, 2016)

Vuonna 2012 perustettu Rakeistus Oy rakeistaa tuhkaa ja rakentaa rakeistuskoneita ja -laitteita. (Kiviniemi, 2016) Rakeistus Oy on toimittanut rakeistuslaitokset Stora Enson Nuottasaaren tehtaalle ja Oulun Energian Toppilan voimalaitokselle. Nuottasaarella Rakeistus Oy myös hoitaa tuhkan rakeistamisen, raetuhkan myynnin ja levityksen. (Jylhänlehto, 2017) Yritys rakeisti alkuvuodesta 2017 noin 1000 tonnia tuhkaa kuukaudessa. Yrityksen laitteisto on konttiin rakennettu rumpurakeistin. Yrityksen laitteisto on saatavilla kahdessa eri mittakaavassa, noin 10 000 tai 5 000–7 000 tuhkatonnin käsittelykapasiteetilla vuodessa. (Kiviniemi, 2017)

Myös Tecwill Granulators tarjoaa rakeistamoratkaisuja ja tuhkaliiketoiminnan kehittämisen palvelua. Yritys on toimittanut biotuhkarakeistamon Napapiirin Energialle ja Vedelle Rovaniemellä ja yhden tuhkansekoitusaseman Ruotsiin. (Tecwill Granulators, 2017) Rovaniemen laitteisto on suunniteltu hyvin suurelle tuhkaavolyymille. Sillä voidaan käsitellä noin 8 tonnia tuhkaa tunnissa. (Romppanen, 2017)

Kotkan-Haminan seudun kehittämissyhtiö Cursor Oy:n ja alueen yritykset ovat kehittäneet BioA -lannoitetehtaan, jossa tuhkasta ja biokaasulaitosten jälkimädätteestä valmistetaan lannoitepellettejä (Cursor Oy, 2017). Prosessissa jälkimädäte kuivataan ja sen tyyppipitoisuus säädetään halutulle tasolle lisäaineen avulla, jonka jälkeen raee kuorutetaan tuhalla. Laitoksen prosessiin sisältyy haitta-aineiden erotus tuhkasta. Laitos on ollut vasta pilottikäytössä, mutta neuvotteluita laitoksen toimituksesta on käynnissä useammassa hankkeessa. (Tilsala, 2017)

### **Lannoituspalvelujen välitys ja toteutus**

Tuhkalannoitusta metsänomistajille myyvät ja lannoituspalveluita toteuttavat esimerkiksi metsänhoitoyhdistykset, metsäpalveluyritykset ja suurten metsäteollisuuskonsernien metsäosastot. Lannoituspalveluita välittäviä ja toteuttavia toimijoita ovat Ecolan Oy, Otso Metsäpalvelut, ForestVital Oy, Metsänhoitoyhdistys, Stora Enso Metsä, UPM Metsä ja Metsä Group (Metsäkeskus, 2016).

OTSO Metsäpalvelut Oy on Suomen Metsäkeskuksen liiketoimintayksikkönä aloittanut ja yksityiseen omistukseen siirtynyt metsäpalveluyritys (OTSO Metsäpalvelut Oy, 2016a). OTSO myy Napapiirin Energian ja Veden rakeistamalla tuotettua Naturlan-tuhkalannoitetta (OTSO Metsäpalvelut Oy, 2016b). Yritys vastaa tuhkarakeistamon käytöstä, kunnossapidosta, kuljetuksista, säilytyksestä sekä loppuasiakasmyyntistä (Napapiirin Energia ja Vesi, 2016). Tuhkalannoitteen myynti oli vuonna 2015 yhteensä noin 3000 tonnia ja vuonna 2016 noin 1300 tonnia. (Napapiirin Energia ja Vesi, 2017)

ForestVital Oy on täysin metsälannoitukseen keskittyvä yritys, joka toimii koko Suomen alueella ja toteuttaa lannoituspalveluita avaimet käteen -periaatteella tehtaalta metsään. Yritys toteuttaa tuhkalannoituksen levitystä niin maalevityksenä kuin helikopterilevityksenä. Yhteistyökumppaneita ovat Metsä Group, UPM, Stora Enso, Metsänhoitoyhdistys ja OTSO Metsäpalvelut. (ForestVital Oy, 2017)

### **Maarakennuskäytön toimijat**

Maarakennuskäytön toimitukset jussa toiminnot ovat mahdollinen käsittely tai jalostus, kuljetus käyttökohteeseen ja rakentaminen. Monet yritykset Suomessa ovat toteuttaneet tuhkarakentamista. Esimerkkejä tällaisista yrityksistä ovat YIT, L&T ja Lemminkäinen (Lillman, 2017). Rakennusprojekteissa on usein erillinen suunnittelutoimisto, joka saattaa selvittää tuhkan käyttömahdollisuuksia hankkeessa ja vastata sopimuksista tuhkan tuottajan kanssa. (Lahtinen, 2017)

### **Tuhkan hyödyntäminen metsäteollisuudessa**

Metsäteollisuudessa on pitkät perinteet sivuvirtojen hyödyntämisestä, ja myös tuhkan hyödyntämisaste on korkea. Ainakin Metsä Group ja UPM ovat aktiivisesti kehittäneet tuhkan hyödyntämistä. UPM:n tehtaiden voimalaitosten tuhkista yli 95 % menee hyötykäyttöön – alle kolmannes lannoitekäyttöön ja loput maarakentamiseen. UPM on selvittänyt yhteistyökumppaneiden kanssa mahdollisuuksia sekoittaa tuhkaa muihin ravinnepitoisiin aineksiin. Tuhkaa kierrätetään myös massantuotantoon keitto- ja valkaisu vaiheen kemikaaleihin. (Töyssy, 2016) Metsä Groupin tuhkia taas on käytetty maarakentamiseen pääasiassa teollisuus- ja varastointialueiden teihin. Yhtiö on myös ollut kehittämässä metsäautoteiden rakentamistapaa, jossa tien pintakerros rakennetaan tuhkan ja kalliomurskeen seoksesta (Metsä Group, 2017).

### **Toimintansa lopettaneita yrityksiä**

Tuhkan hyödyntämisen parissa on viime vuosikymmeninä perustettu useita yrityksiä, mutta monet toimijat ovat myös menneet konkurssiin. Esimerkiksi LT Tuhkimo Oy jalosti energiantuotannon tuhkista maanparannusaineita Koriolla Kouvolassa vuodesta 1999 alkaen, mutta meni konkurssiin vuonna 2010 (Teollisuussijoitus Oy, 2006; Kouvolan Sanomat, 2010). Evolet Oy perusti vuonna 2012 Haukiputaalle rakeistamon, johon tuotiin Oulun Energian Toppilan voimalaitoksen ja Stora Enson Nuottasaaren tehtaan tuhkaa rakeistettavaksi. (Mikkola, 2012; Pekkala, 2012) Yrityksen toiminta on kuitenkin päättynyt ja rakeistuslaitteisto myyty (Romppanen, 2017). Ultranat Oy taas yritti vuonna 2012 tuotteistaa tutkijoiden kehittämän menetelmän, jolla tuhkasta saataisiin erotettua vain tarpeelliset ravinteet lannoitteeksi. Menetelmä perustui ravinteiden liuottamiseen laitteistolla, joka toimisi voimalaitoksen yhteydessä. (Saarinen, 2012) Ultranat Oy meni konkurssiin syyskuussa 2013 (Hämäläinen, 2014).

### **5.3 Hyötykäytön liiketoimintamallit tuhkan tuottajan näkökulmasta**

Luvussa 5.1 todettiin, että tuhkan hyödyntämisessä tarvitaan erilaisten toimijoiden muodostamaa arvonluontiverkostoa, ja edellä on kuvattu tuhkan hyödyntämisen toimijakenttä tällä hetkellä Suomessa. Tässä luvussa tarkastellaan edellisten lukujen pohjalta, millaisia erilaisia rooleja tuhkan tuottajalla voi olla arvonluontiverkostossa, ja mitä erilaisia vaihtoehtoja verkoston muodostamiseen on. Voimalaitoksen tai lämpölaitoksen roolin näkökulmasta tuhkan hyödyntämiskäytös voidaan jaotella kolmeen vaihtoehtoon. Tuhkan tuottaja voi luovuttaa tuhkan hyödynnettäväksi ulkopuoliselle toimijalle, tuhkan hyödyntämisestä voidaan luoda omaa liiketoimintaa tai hyödyntämistä voidaan toteuttaa alueellisen yhteistyön kautta.

Tuhkan luovutus hyötykäyttöön on vaihtoehtoista yksinkertaisin eikä sido merkittävästi tuhkan tuottajan omia resursseja, mutta tuhkan vastaanottaja saattaa periä maksua tuhkan vastaanottamisesta. Tässä vaihtoehdossa tuhkan tuottajan rooli liiketoimintaverkostossa voi siis olla tuhkan käsittelypalvelua ostavan asiakkaan rooli. Toinen vaihtoehto on raaka-ainetoimittajan rooli. Esimerkkejä tällaisesta toimintamallista ovat esimerkiksi tuhkan toimittaminen tuhkalannoitteita valmistavalle yritykselle sekä tuhkan luovuttaminen maarakennuskäyttöön.

Tuhkan tuottaja voi myös kehittää tuhkan hyödyntämisestä omaa liiketoimintaa. Tällainen toimintamalli on joillakin metsäteollisuuden yrityksillä. Tällöin tulee kiinnittää huomiota siihen, kuinka tuhkalle luodaan arvoa raaka-aineena tai tuotteena, ja mitkä ovat tarvittavat avainresurssit arvonluonnin ja jakelukanavien toteuttamiseksi. Toimitusketjussa tarvitaan erilaisia yhteistyökumppaneita.

Alueellisen yhteistyön ratkaisussa useampien tuhkan tuottajien tuhkaa tai mahdollisesti muidenkin teollisuudenalojen toimijoiden sivuvirtoja hyödynnetään saman ratkaisun avulla. Tuhkan tuottajan rooli voi tällaisessa toimintamallissa olla esimerkiksi osallistua tutkimukseen ja kehitykseen. Tällaista alueellista toimintaa ei Suomessa vielä juuri ole, mutta mahdollisuuksia on kartoitettu monilla alueilla (Soininen ym., 2010; Jutila, 2012). Etuna mallissa voisi olla riittävän tuhkaavolyymien varmistaminen ja kustannusten jakautuminen. Haasteita ovat kuljetuskustannukset, eri toimijoiden tuhkan laadun erot sekä yhteistyön kehittämisen sitomat resurssit.

Toinen tapa tarkastella erilaisia tuhkan hyödyntämisen ratkaisumalleja on koko toimitusketjun rakenteen ja liiketoimintamallin näkökulmasta. Tästä näkökulmasta tuhkan hyödyntämistä voidaan jaotella ainakin voimalaitosratkaisuihin, terminaaliratkaisuihin sekä projektiliiketoimintaan. Maarakennuskäyttö on projektimuotoista toimintaa, jolloin yhteen hankkeeseen käytetään kerralla suurempi määrä tuhkaa ja mahdollisesti jopa useiden eri toimijoiden tuhkaa, ja hankkeen valmistuttua on tuhkalle etsittävä uusi käyttökohde. Tuhkan jalostusta lannoitteeksi voidaan toteuttaa voimalaitosratkaisuina ja terminaaliratkaisuina. Voimalaitosratkaisussa tuhka käsitellään syntypaikallaan eli liiketoiminta ja sen tarvitsema laitteisto sijoitetaan voimalaitosalueelle. Tällaisia ratkaisuja ovat ainakin Rakeistus Oy:n ja Tecwill Granulatorsin toimittamat tuhkarakeistamot. Terminaaliratkaisussa useampien eri toimijoiden tuhkaa kuljetetaan terminaaliiin, jossa jalostus tapahtuu. Tällainen toimintamalli on ainakin Ecolan Oy:llä. Teoriassa terminaaliryrittäjä voisi käsitellä muitakin jätemateriaaleja tai tuhkan käsittely voitaisiin yhdistää polttoaineterminaaliiin.

Lisäksi ainakin teoriassa mahdollinen ratkaisu voisi olla mobiiliratkaisu, jossa liikuteltavalla laitteistolla käsiteltäisiin eri toimijoiden tuhkaa. Laitteisto siirrettäisiin voimalaitosalueelle sopivan tuhkakapasiteetin kerryttyä silloon ja tuhka rakeistettaisiin välivarastoon. Tällaisia ratkaisuja on tutkittu, mutta ne eivät ole tulleet käytäntöön (Isännäinen ym., 2006). Ratkaisuun liittyviä haasteita ovat, että se ei välttämättä ole järkevästi mahdollinen isommille laitoksille ja vaatisi pienemmilläänkin laitoksilla tarvittavan siilokapasiteetin huomiointia jo laitoksen suunnitteluvaiheessa. Lisäksi ratkaisun toimivuus edellyttäisi useampien, toisistaan kohtalaisella etäisyydellä sijaitsevien tuhkan tuottajien kiinnostusta ratkaisua kohtaan.

Tässä hahmoteltuja tuhkan hyödyntämisverkoston muodostamisvaihtoehtoja täydennetään empiirisessä osassa tuhkan tuottajien ja Lahti Energian sidosryhmien haastattelutulosten pohjalta. Seuraavassa luvussa pohjustetaan tarkemmin tapaustutkimuksen aihetta ja Lahti Energian lähtökohtia tuhkan hyödyntämiseen.



## **EMPIIRINEN OSA**

### **6 Lahti Energia ja aiempi tuhkan hyödyntäminen**

Tutkimuksen empiirinen osa on tapaustutkimus, jossa etsitään hyödyntämiskäytäntöjä Lahti Energian Kymijärvi III -lämpölaitoksen tuhkalta. Lahti Energia on Lahden kaupungin omistama energiayhtiö, joka tuottaa ja jakaa sähköä ja kaukolämpöä sekä rakentaa jakeluverkkoja Lahdessa, Hollolassa ja Asikkalassa. Suurin osa kaukolämmöstä tuotetaan Kymijärven voimalaitoksilla. Kymijärvi I on kivihiihikäyttöinen voimalaitos ja Kymijärvi II kierrätyspolttoainetta käyttävä kaasutusvoimalaitos. Vuonna 2019 uusi Kymijärvi III-laitos korvaa Kymijärvi I -laitoksen kivihiihikkattilan. Tämän jälkeen Lahden ja Hollolan kaukolämmöstä yli 80 % tuotetaan biopolttoaineilla. (Seesvaara, 2016)

Tässä luvussa esitellään Kymijärvi III-hankkeen tausta ja yrityksen lähtökohdat tuhkan hyödyntämiselle. Luku 6.1 käsittelee Kymijärvi III -lämpölaitoshanketta. Luvussa 6.2 on kuvattu yrityksen aiemmat tuhkan hyödyntämisen käytännöt ja luvussa 6.3 käsitellään yrityksen valintaperusteita ja reunaehtoja tulevalle hyödyntämiskäytännölle.

#### **6.1 Kymijärvi III**

Kymijärvi III -lämpölaitoksen kattilaksi tulee kiertoleijupetikattila, jolla voidaan tuottaa 190 MW kaukolämpöä. Laitos varustetaan lämmöntalteenotolla, jonka lauhdevedet puhdistetaan kattilavedeksi ja ylijäämä vastaanottavan vesistön luonnontilaa vastaavaksi. Hankkeen mahdollisessa toisessa vaiheessa rakennetaan höyryturbiini, jolloin laitos tuottaisi 130 MW kaukolämpöä ja 60 MW sähköä. Toisesta vaiheesta tehdään erillinen investointipäätös. (Timonen, 2016)

Laitoksen pääpolttoaine on kestävä kehitys mukaista sertifioitua puuta, muun muassa metsätähdehaketta, kokopuu- ja rankahaketta, kantomursketta sekä sahojen sivutuotteita. Laitokselle on tehty polttoainesopimukset viiden polttoainetoimittajan kanssa 3–5 vuodeksi. Polttoaineesta puolet tulee noin 60 kilometrin säteeltä ja kaikki noin sadan kilometrin säteeltä. (Timonen, 2016) Kierrätyspuun osuus on noin 0–2,1 %. Turve ja hiili ovat huoltovarmuussyistä varapolttoaineina. Mitoitusarvo tuhkan polttoaineen määrälle on 3 %, mutta todellinen määrä voi olla vähän alle 2 %. Lentotuhkan osuus on noin 80 % ja pohjatuhkan 20 %. Polttoaineen alkalisuus vaikuttaa tuhkan lento- ja pohjatuhkan osuuksiin. (Rosenlund, 2017)

Laitoksen päästöt ilmaan ja veteen ovat erittäin matalat. Laitoksen savukaasut puhdistetaan pussisuotimella, josta ne johdetaan pesurin kautta lämmöntalteenottoon. Pussisuodin on valittu puhdistusmenetelmäksi, koska sillä voidaan saavuttaa tehokkain mahdollinen puhdistustulos ja se on sähkösuodinta toimintavarmempi. Pesurin rejektivesi tullaan mahdollisesti kierrättämään takaisin

polttoon, millä voi myös olla vaikutusta tuhkan laatuun. Matalat päästöt ilmaan ja veteen tarkoittavat käytännössä, että haitta-aineet jäävät tuhkaan, jolloin tuhkan laatu voi muodostua ongelmalliseksi hyötykäytön kannalta. (Rosenlund, 2017)

Muun muassa päästöjen hallintaan käytettävät polton lisäaineet vaikuttavat osaltaan muodostuvan tuhkan määrään ja laatuun. Polttoon lisätään ammoniakkia  $\text{NO}_x$ -päästöjen hallintaan.  $\text{SO}_x$ -päästöjen hallintaa varten lisätään kalkkia, mikäli poltetaan turvetta tai hiiltä. Elementaaririkkiä voidaan lisätä kattilan suojaamiseksi korroosiolta, jota biomassan sisältämä kloori voi aiheuttaa. Elementaaririkki palaa ja muuttuu tuhkaksi. Ilmapäästöjen elohopeatason hallitsemiseksi ennen pussisuuodatinta lisätään aktiivihillettä, joka sitoo elohopean tuhkaan. (Rosenlund, 2017)

## **6.2 Aiempi tuhkan hyödyntäminen**

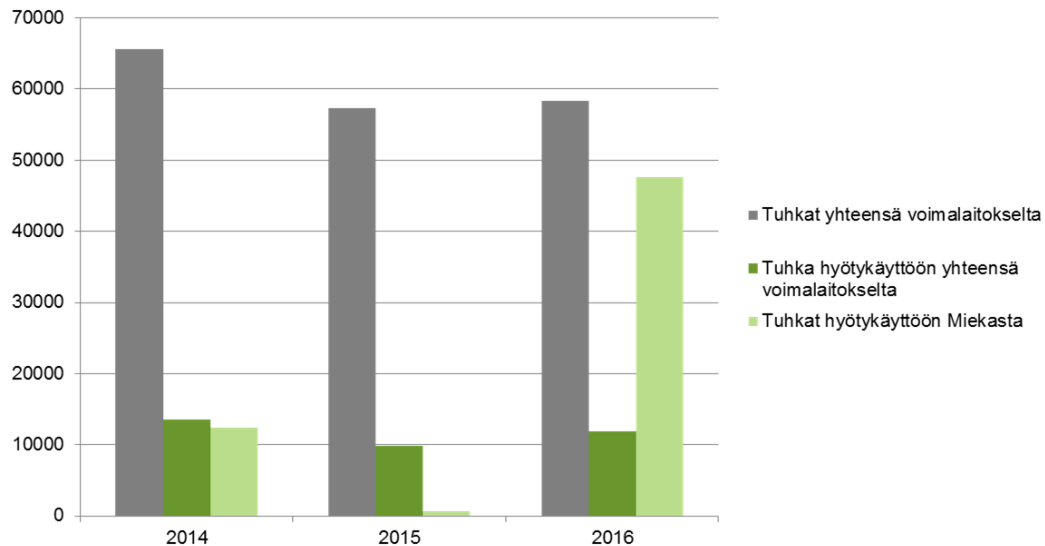
Vuonna 2016 Kymijärvi I -voimalaitokselta lentotuhkaa syntyi noin 24 600 tonnia ja pohjatuhkaa 1900 tonnia (Lahti Energia, 2017). Kymijärvi I -laitoksella syntyvää kivihiilen tuhkaa, joka on hyvin tasalaatuista ja on täyttänyt MARA-asetuksen raja-arvot, on käytetty sementtiteollisuuden raaka-aineeksi, stabilointiin ja maarakentamiseen. Tämän tutkimuksen aikaan tuoretta tuhkaa suoraan laitokselta toimitettiin vanhan kaatopaikan stabilointitöihin ja läjitettynä ollutta tuhkaa meluvallirakenteeseen. Pohjatuhkia on joskus käytetty tierakenteissa kuivatuskerroksessa. Vuonna 2016 Kymijärvi I ja II -laitosten kaasuttimien pohjatuhkia on mennyt meluvallirakenteisiin. (Lillman, 2017)

Eri tuhista tutkitaan säännöllisesti, mihin kohteisiin ne kelpaisivat, ja hyödyntämiskohteita etsitään viestimällä aktiivisesti tarjolla olevista tuhista eri yhteistyökumppaneille, seuraamalla suunnitteilla olevia rakennushankkeita ja pyrkimällä muodostamaan sopimuksia hyödyntämisestä. Eri hankkeiden puitteissa tuhkan soveltuvuutta tutkitaan tarkemmin esimerkiksi kohteen vaatimien teknisten ominaisuuksien osalta. Tuhkien soveltuvuutta uudensuoriteisiin käyttökohteisiin on selvitetty. Esimerkiksi Lahti Energian omalla läjitysalueella tehtiin koerakenteita tuhista meluvallirakenteissa ja seurattiin rakenteen vakautta ja kestävyyttä. Tämän selvityksen tuloksia esimerkiksi hyödyntäjä on referoinut hyödyntämiskohteen ympäristölupahakemuksessa. (Lillman, 2017)

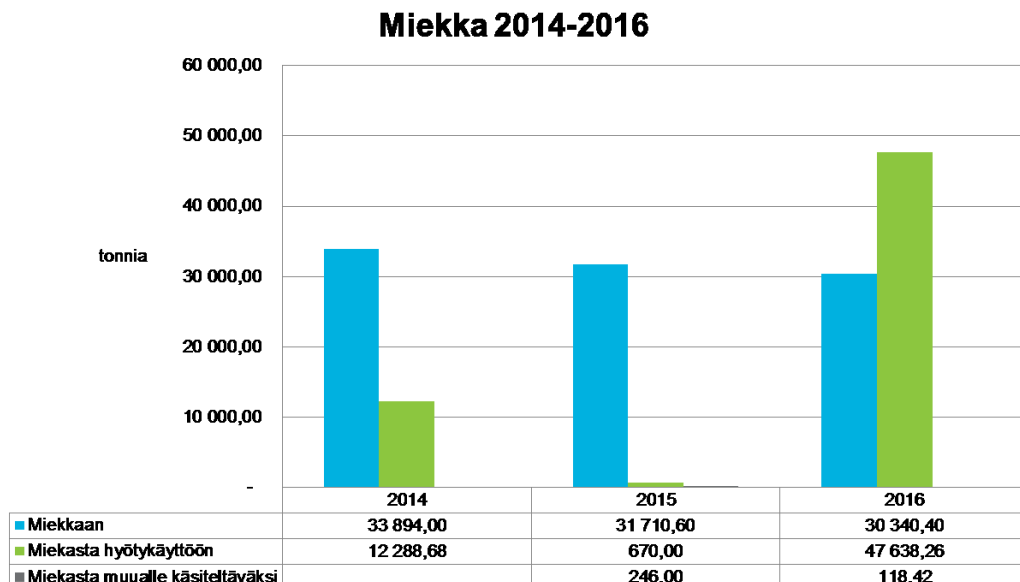
Suuri osa hyödyntämisestä on tapahtunut läjitysalueen kautta. Joinain vuosina tuhkia ei ole saatu hyötykäyttöön, ja joinain vuosina taas hyödyntämistä on ollut yli sata prosenttia, kun tuhkaa on mennyt maarakentamiskohteisiin kerralla enemmän kuin vuodessa syntyy ja aiempien vuosien tuhkia on otettu läjitysalueelta käyttöön. Kuvista 4 ja 5 nähdään, että näin on käynyt esimerkiksi vuosina 2014–2016. Vuonna 2016 lentotuhkaa läjitettiin 12 700 tonnia ja toimitettiin hyötykäyttöön 32 000 tonnia,

ja kaasuttimien pohjatuhkaa läjitettiin yhteensä Kymijärvi I ja II -laitoksilta 13 300 tonnia ja toimitettiin hyötykäyttöön 15 600 tonnia. (Lahti Energia, 2017)

Kymijärvi II -voimalaitoksella muodostuu myös kuumasuodintuhkaa ja letkusuodintuhkaa. Vuonna 2016 kuumasuodintuhkaa muodostui 16 300 tonnia, ja se toimitettiin jätteenkäsittely-yrityksen käsiteltäväksi. Letkusuodintuhkaa toimitettiin 2000 tonnia ulkomaille hyödynnettäväksi. (Lahti Energia, 2017)



Kuva 4. Kymijärvi I ja II -laitosten tuhkat 2014–2016. (Lahti Energia, 2016)



Kuva 5. Tuhkien läjitys kaatopaikalle ja läjitetyn tuhkan hyötykäyttö 2014–2016. (Lahti Energia, 2016)

### 6.3 Hyödyntämiskohteen valinta ja reunaehdot

Esihaastatteluisa kolmelta yrityksen edustajalta kysyttiin tuhkan hyödyntämiskohteen valintaperusteista ja reunaehdoista sekä tämänhetkisistä käsityksistä eri ratkaisuvaihtoehtojen soveltuvuudesta. Tärkeimmäksi tuhkan hyödyntämiskohteen valinnan reunaehdoksi nousi tuhkan laatu (Lillman, 2017; Loikkanen, 2017; Takala, 2017). Vasta, kun laitos on toiminnassa ja tuhkaa alkaa muodostua, voidaan lopullinen päätös tuhkan hyödyntämiskohteesta tehdä sen perusteella, mihin kohteisiin tuhka soveltuu lainsäädännön ja ominaisuuksiensa puitteissa (Lillman, 2017; Loikkanen, 2017). Tuhkan laadun suhteen erityistä epävarmuutta tuo lämmöntalteenoton lietteen mahdollinen kierrätys takaisin polttoon, ja sen vaikutus tuhkan laatuun (Lillman, 2017).

Kustannukset ovat toinen ratkaiseva tekijä, joka pitkälti määrittelee valinnan, kun tuhkan laadun kannalta mahdolliset hyödyntämiskohteet ovat selvillä (Lillman, 2017; Loikkanen, 2017). Tärkeintä yritykselle olisi löytää kokonaistaloudellisesti järkevä ratkaisu, joka on sekä teknisesti että taloudellisesti toteuttamiskelpoinen (Lillman, 2017). Yhtenä reunaehtona hyödyntämiskäytön valinnalle voidaan pitää sitä, ettei se saisi sitoa liikaa yrityksen omia resursseja (Loikkanen, 2017).

Sidosryhmien mielipiteillä ja imagovaikutuksilla mainittiin olevan jonkin verran merkitystä (Lillman, 2017; Loikkanen, 2017). Lannoituskäytön kiertotalouden mukaisuus voi olla kannustin, joka ratkaisee valinnan, jos kustannukset eivät eroa merkittävästi (Lillman, 2017). Myös puunhankintaketjun sidosryhmien toiveilla on merkitystä: jos nämä osoittavat kiinnostusta tuhkan palauttamiseen metsään, tämä olisi huomioitava (Loikkanen, 2017).

Laitoksen käyttöönotto tapahtuu vuoden 2019 aikana. Hyötykäytön ratkaisun mahdollisista investoinneista tulisi olla tietoa syksyyn 2018 mennessä. Aluksi tuhkalle voitaisiin etsiä ulkopuolinen hyödyntäjä, ennen kuin investoinnista mahdollisiin hyödyntämiskäytöihin voidaan päättää. (Takala, 2017) Tuhkan hyödyntämiskohteeksi on ensisijaisesti suunniteltu lannoituskäyttöä. Yrityksen ympäristöpäällikön mukaan lannoituskäyttöä voidaan pitää ihanteellisimpana ratkaisuna, sillä ravinnekierron sulkeminen olisi tavoiteltava asia. (Lillman, 2017) Kaikki haastateltavat kuitenkin korostivat sitä, että muutkin vaihtoehdot on pidettävä auki, kunnes tuhkan laatu ja ympäristökelpoisuus ovat selvillä (Lillman, 2017; Loikkanen, 2017; Takala, 2017).

Haastatteluisa kysyttiin myös yrityksen edustajien näkemyksiä siitä, miten soveltuvina erilaiset mahdolliset liiketoimintamallit nähdään. Haastateltavien mukaan keskeistä tuhkan hyödyntämiskäytön suunniteltaessa on huomioida, että yhtiön päätehtävä ei

ole tuhkan hyödyntäminen (Lillman, 2017; Loikkanen, 2017). Vaihtoehdot lämpölaitoksen oman hyödyntämiskäytännön, alueellisen yhteistyömallin ja tuhkan luovuttamisen hyödyntäjälle ovat sinänsä yhtä mahdollisia, mutta käytännössä jokin yhteistyökumppani tai ulkopuolinen toimija tarvitaan tuhkan hyödyntämistä toteuttamaan. Voisi olla mahdollisesti kannattavaa, että sama toimija huolehtisi useamman saman alueen voimalaitosten tuhkasta, kunhan kaikilla olisi sama varmuus siitä, että tuhka saadaan hyötykäyttöön. (Lillman, 2017) Myös synergiaetujen saavuttaminen polttoainehankinnan ja tuhkan käsittelyn yhdistämisessä on yritykselle kiinnostava ajatus (Loikkanen, 2017). Yrityksen edustajien mielestä yrityksen ei itse kannata ryhtyä huolehtimaan hyödyntämiskäytännön toteuttamisesta (Lillman, 2017; Loikkanen, 2017; Takala, 2017). Lisäksi esimerkiksi rakeistamon tai muun tuhkan käsittelylaitoksen tilantarve laitosalueella sekä laitoksen mahdollinen ympäristöluvan tarve nähtiin mahdollisina haasteina (Loikkanen, 2017; Takala, 2017).

Tuhkan hyödyntämisen toteuttamisessa yhteistyökumppanin kanssa riskeinä voidaan nähdä mahdollinen tuleva tuhkan käsittelyn hinnannousu, kumppanin toiminnan jatkuvuus ja operaattorin vaihtuminen (Loikkanen, 2017). Keskeistä on, että yhteistyökumppanin pitäisi pystyä luotettavasti ja jatkuvasti vastaanottamaan tuhkaa kaikissa tilanteissa. Voimalaitoksella pitäisi myös olla jonkinlainen varasuunnitelma, miten toimia, jos yhteistyökumppani ei pystyisikään ottamaan tuhkaa vastaan. Tietoa mahdollisista yhteistyökumppaneista tarvittaisiin lisää. (Lillman, 2017) Haastateltavat olivat yhtä mieltä, että ratkaisu, jossa jo vakiintuneelle toimijalle viedään tuhka käsiteltäväksi, voisi olla yksinkertainen, mutta mahdollisesti myös muita kalliimpi. Myös tällaisissa vaihtoehdoissa epävarmuustekijöitä ovat hintakehitys sekä kumppanin toiminnan jatkuvuus ja muutokset. (Lillman, 2017; Loikkanen, 2017, Takala, 2017)

#### **6.4 Ulkoisen toimintaympäristön reunaehdot hyödyntämiskäytännölle**

Lahti Energian valintaperusteiden lisäksi ulkoisen toimintaympäristön tekijät määrittelevät tuhkan hyödyntämiskäytännön reunaehdot. Merkittäviä ulkoisen toimintaympäristön tekijöitä ovat erityisesti lainsäädännön asettamat puitteet sekä kysyntä ja kilpailu.

Lainsäädännön määrittelemiä lähtökohtia tuhkan laadulle kuvattiin luvussa 3.2. Laatuvaatimusten lisäksi merkittävä liiketoimintaratkaisun valintaan ja kokonaistaloudelliseen toteutuskelpoisuuteen vaikuttava tekijä on kaatopaikkaverot, joka määrittelee vaihtoehtoiskustannuksen tuhkan hyödyntämisen vaihtoehdoille. Mikäli tuhkaa ei hyödynnetä, siitä tulee maksettavaksi kaatopaikkaverot, joka on 70 euroa/tonni. Lisäksi tuhkan kuljetus kaatopaikalle, kuormaus ja purku sekä kaatopaikan ylläpito tuovat kustannuksia. Kustannukset ovat erilaiset eri toimijoilla riippuen muun muassa kuljetusetäisyydestä kaatopaikalle, mutta kirjallisuudessa arviot

kaatopaikkaläjityksen kustannuksille jäteveron lisäksi vaihtelevat välillä 5–25 €/tonni. (Pekkala, 2012; Mäkinen, 2015) Arvio Kymijärvi III:lla syntyvästä tuhkamäärästä on noin 10 000 tonnia vuodessa. Koko tuhkamäärän kaatopaikalle läjittämisen kustannukset olisivat siis noin 75 000–95 000 tonnia vuodessa. Tämä on siis hyödyntämisen vaihtoehtoiskustannus vuodessa. Hyödyntämiskustannusten tulisi olla alle vaihtoehtoiskustannuksen, jotta ratkaisua voidaan harkita toteutuskelpoisena.

Kysyntä vaihtelee vuodenajan mukaan eri käyttökohteissa. Maarakennuskäyttö ajoittuu enimmäkseen sulan maan ajalle ja metsälannoitus talvelle. (Korpijärvi ym., 2009; Isännäinen ym., 2006) Maarakennuskäytön kysyntä on hankekohtaista, mutta tyypillisesti suuria määriä kerralla, kuten edellä kuvatuista Kymijärvi I ja II -laitosten toteutuneesta tuhkan hyödyntämisen kokemuksista voidaan todeta. Maarakennuskohteiden kysynnän tulisi löytyä kohtalaisen läheltä tuhkan syntypaikkaa, jotta kuljetuskustannukset eivät muodostu liian suuriksi.

Metsälannoitteiden kysyntäpotentiaalia voidaan karkealla tasolla arvioida toteutuneen metsälannoituksen tilastoista. Etelä-Suomessa ja Kymi-Savossa, jotka voisivat olla Lahdessa tuotettavan tuhkalannoitteen jakelualueita, metsälannoitusta on toteutettu noin 4300 hehtaarille vuonna 2015. Tästä terveyslannoitusten osuus oli noin 1500 hehtaaria. (Luonnonvarakeskus, 2015) Ei ole realistista olettaa, että kaikki metsälannoitus tai edes terveyslannoitus tulisi toteuttamaan tuhkalannoituksena, mutta nämä luvut antavat käsitystä teoreettisesta kysynnän suuruusluokasta. Jotta Kymijärvi III:n koko tuhkamäärä, 10 000 tonnia vuodessa, saataisiin kulumaan metsälannoitukseen, kysyntää pitäisi olla noin 2000–3000 hehtaarin lannoitukselle vuosittain, mikäli tuhkaa levitetään 3–5 tonnia hehtaarille.

On lisäksi erittäin tärkeää huomioida, että Etelä-Suomessa metsät ovat pääsääntöisesti kivennäismetsiä, joten tuhkalannoitukseen tulee olla lisätty typpeä, jotta merkittävää kysyntää voisi olla. Tuhkalannoituksia suometsille on toteutettu Päijät-Hämeen alueella vain joitain kymmeniä hehtaareja vuodessa. (Sarvaala, 2017)

Kilpailua tuhkalannoitteiden parissa on vain vähän ja lähin tuhkalannoitevalmistaja sijaitsee toistaiseksi Nokialla. Muuta tuhkaliiketoimintaa todennäköisesti tärkeämpi kilpailutekijä ovat kuitenkin keinolannoitteet, joiden kanssa kilpaillakseen tuhkalannoitteiden tulee olla sekä laadultaan että hinnaltaan kilpailukykyisiä. (Tuovinen, 2015)

## **7 Tuhkan hyödyntämisen liiketoimintamallit**

Tuhkan hyödyntämisen mahdollisia liiketoimintamalleja ja eri toimijoiden yhteistyötä ja rooleja toimitusketjussa selvitettiin seminaarin ja haastatteluiden avulla. Tässä luvussa on kuvattu selvitystyön tulokset. Luvussa 7.1 tarkastellaan seminaarista esiin nousseita näkökulmia. Luku 7.2 käsittelee haastateltujen tuhkan tuottajien käytössä olevia liiketoimintaratkaisuja ja toimintamalleja, ja luku 7.3 käsittelee Lahti Energian sidosryhmien ja mahdollisten tuhkan hyödyntämisen yhteistyökumppanien haastatteluiden tuloksia. Luvussa 7.4 on koostettu haastateltavien näkemyksiä hyödyntämiskäytösten onnistumisen kriteereistä.

### **7.1 Puu ja tuhka -seminaarin johtopäätökset**

Puu ja tuhka -hankkeen yhteydessä järjestetyssä seminaarissa tarkoituksena oli pohjustaa haastattelututkimuksia selvittämällä sidosryhmien näkemyksiä tuhkan lannoituskäytön liiketoimintaratkaisuista ja toimitusketjun mahdollisista toimintamalleista. Seminaarissa käytiin keskustelua siitä, millaiset tuhkan hyödyntämisen liiketoimintamallit nähtiin toteutuskelpoisimpia. Lähtökohtana olivat luvussa 5.3 kuvatut erityyppiset toimintamallit.

Eniten kiinnostusta herättivät terminaaliratkaisu ja mobiiliratkaisu, ja varsinkin terminaaliratkaisu nähtiin toimivana vaihtoehtona Etelä-Suomessa. Seminaarin osallistajat olivat yhtä mieltä siitä, että tyyppillisesti voimalaitosalueet Etelä-Suomessa ovat sellaisia, ettei niihin mahdu rakeistuslaitteistoa tai muuta tilaa vievää tuhkan käsittelyratkaisua. Haasteeksi nähtiin toisaalta löytää sopiva terminaalialue, josta löytyisi toiminnalle tilaa ja sopiva infrastruktuuri. Lisäksi esiin nousi kysymys, mikä on riittävä tuhkaavuus, että terminaalin toiminta saadaan kannattavaksi. Mobiiliratkaisu koettiin kiinnostavaksi uudeksi ideaksi, johon kuitenkin liittyy myös haasteita. Mahdollisesti toimivana sitä pidettiin alueille, joissa on paljon hyvin pieniä tuhkan tuottajia kohtalaisen lähellä toisiaan.

Kuten luvussa 5.1 todettiin, jätteen hyödyntämiseen perustuvassa liiketoiminnassa ovat tärkeitä eri yritysten ja teollisuudenalojen muodostamat arvonalustaverkostot. Yksi seminaarin tavoitteista oli saada tuhkan hyödyntämisverkoston toimijoita mukaan parhaiden toimintamallien etsimiseen. Työpajatyöskentelyssä hahmoteltiin toimitusketjuun vaadittuja osia ja sitä, mikä eri toimijoiden rooli toimitusketjussa voisi olla. Kriittisiksi osiksi terminaalimallissa nousivat lannoituspalvelukumppani, jolla on yhteydet metsänomistajiin, sekä terminaaliryrittäjä, joka vastaa tuhkan jalostuksesta. Osallistajat kokivat, että terminaaliryrittäjän kannattaisi myös vastata tuotteen markkinoinnista ja myynnistä. Tärkeäksi nousi kysymys siitä, millä toimijalla olisi valmiuksia koko verkoston hallintaan ja toimitusketjun optimointiin.

Keskustelua käytiin myös seminaariosallistujien omien yritysten mahdollisista rooleista tuhkan hyödyntämisessä. Polttoainetoimittajan edustaja koki, että yrityksen rooli voisi periaatteessa kattaa koko toimitusketjun polttoaineen toimituksesta tuhkan käsittelyyn ja jakeluun. Verkostonhallinta ja toimitusketjujen tehokkuuden hallinta ovat yrityksen vahvuuksia. Rajapintana olisi yhteys metsänomistajiin, johon tarvittaisiin yhteistyökumppania. Tämä taas on metsänhoitoyhdistyksen toiminta-aluetta. Metsänhoitoyhdistyksen edustajan mukaan yhdistys ei todennäköisesti ole kiinnostunut ryhtymään tuhkan jalostajaksi. Kattilatoimittajalla todettiin olevan tuhkan hyödyntämistä tukeva rooli tuhkan laadunhallinnan tukipalveluiden tarjoajana.

Seminaarin keskustelussa nousi esille, kuinka monet eri toimijat voivat muodostaa toimitusketjun ja miten paljon vastuunjako toimitusketjussa voi vaihdella. Keskustelun näkökulmat vaikuttivat osaltaan haastatteluiden teemojen muotoutumiseen. Haastatteluissa keskityttiin muun muassa toimitusketjun yhteistyömallien hahmottamiseen sekä tuhkan tuottajan rooliin eri ratkaisumalleissa. Seuraavassa luvussa on kuvattu, millaisia liiketoimintaverkostoja ja roolijakoja haastateltujen tuhkan hyödyntämistä toteuttaneiden tuhkan tuottajien ratkaisumalleissa on.

## 7.2 Tuhkan tuottajien ratkaisut ja liiketoimintaverkostot

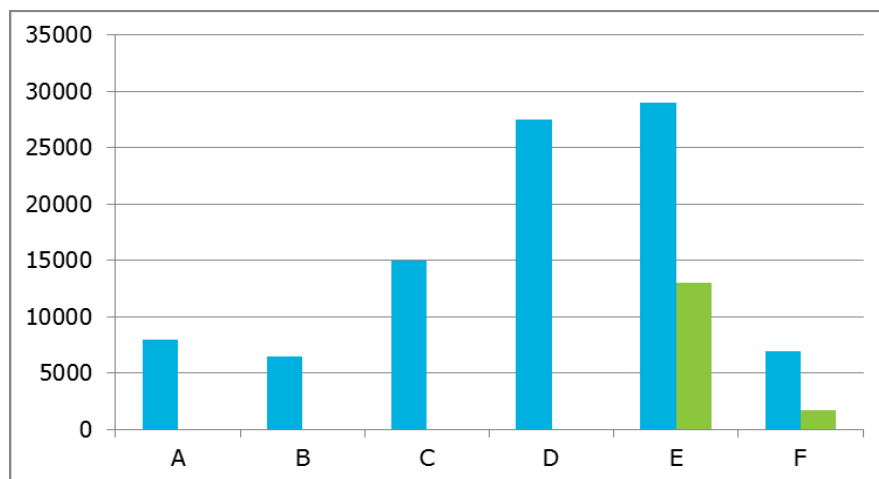
Tuhkan hyötykäytön käytännön kokemuksista haastateltiin kuuden eri tuhkan tuottajan edustajaa. Haastateltavista kolme oli eri metsäteollisuuden tehtailta, yksi kaupungin omistamasta energiayhtiöstä, ja yksi voimalaitokselta, joka tuottaa energiaa metsäteollisuuden tehdasintegraatille ja energiayhtiölle. Lisäksi haastateltiin yhden metsäteollisuuskonsernin edustajaa toimintamalleista koko konsernissa ja sen eri yksiköissä. Taulukossa 9 on yhteenveto haastatelluista ja näiden yrityksistä, joihin viitataan tässä luvussa kirjaimilla A–F taulukon mukaisesti.

Taulukko 9. Haastatteluiden kohteet ja yrityksistä käytettävät kirjainkoodit.

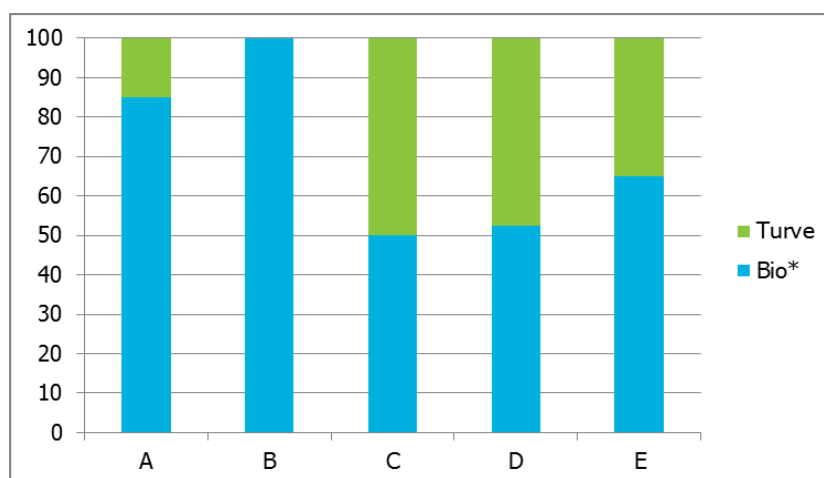
	<b>Tuhkaa tuottava laitos</b>	<b>Haastateltavan toimenkuva</b>
A	Voimalaitos metsäteollisuusyrityksen ja energiayhtiön omistuksessa	Toimitusjohtaja
B	Sellutehtaan voimalaitos	Tehtaan ympäristöasioista vastaava kehityspäällikkö
C	Metsäteollisuuden tehdasintegraatin voimalaitos	Voimalaitoksen päällikkö
D	Energiayhtiön voimalaitos	Polttoainejohtaja
E	Metsäteollisuuden kahden tehtaan voimalaitokset	Tehtaan ympäristöinsinööri
F	Metsäteollisuuskonsernin laitokset	Konserniympäristöpäällikkö



Kuten luvussa 3 todettiin, tuhkan hyödyntämisen vaihtoehtojen kannalta tärkeitä lähtökohtia ovat tuhkan määrä ja käytetyt polttoaineet sekä tuhkan laatu. Tiedot haastateltujen toimijoiden lentotuhkan määrästä on esitetty kuvassa 7. Kuvassa 8 taas on esitetty karkeasti puuperäisen polttoaineen ja turpeen osuudet toimijoiden polttoaineseoksissa. Biopolttoaine koostuu erilaisista jakeista eri toimijoilla: kuoresta ja muista sivuvirroista, ostopolttoaineesta sekä pienistä määristä jätevedenpuhdistuksen tai paperinvalmistuksen lietteitä. Polttoaineseosten yksityiskohtaisella koostumuksella ei ole näissä haastatteluissa suurta merkitystä, sillä tarkoitus oli selvittää käytössä olevien hyödyntämiskäytösten toteuttamisen erilaisia toimitusketjuja ja toimintamalleja. Lähtökohtana oli haastatella toimijoita, joilla tuhkan laatu täyttää ainakin maarakentamisen ja lannoituskäytön laatuvaatimukset.

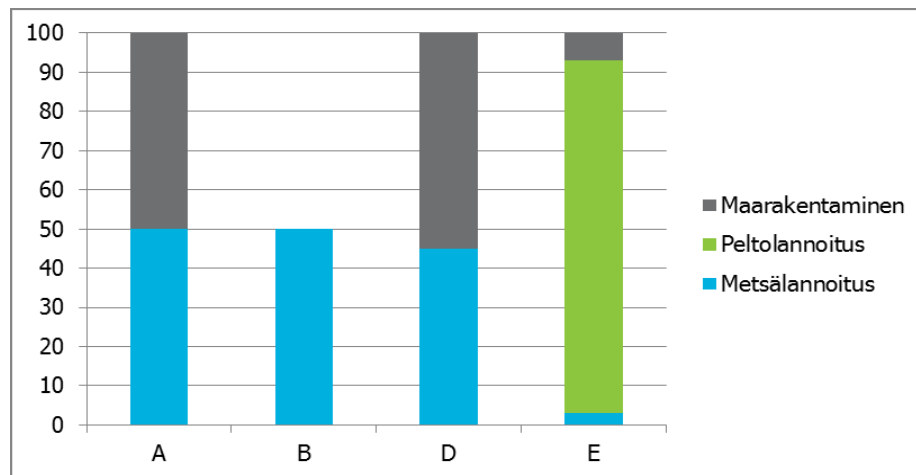


Kuva 7. Lentotuhkan määrä keskimäärin vuodessa tuhkan tuottajilla. E: Kaksi voimalaitosta. F:n osalta on kuvattu konsernin kahden eri kokoluokan laitosten keskimääräinen tuhkamäärä.



Kuva 8. Tuhkan tuottajien polttoaineiden osuudet keskimäärin vuodessa. F:n osalta ei tietoa, sillä polttoaineseokset vaihtelevat eri laitoksilla.

Kolmella toimijalla tuhkan hyödyntämistä oli lähes 100 % ja yhdellä 50 %. Kahdelta ei saatu tarkkaa tietoa hyödyntämistä. Eri toimijoiden eri käyttökohteisiin menevät tuhkan osuudet hyötykäytöstä on esitetty kuvassa 9. Kaikilla toimijoilla tuhkaa hyödynnettiin useammassa eri käyttökohteissa ja kaikilla metsälannoituskäyttö on yksi käyttökohteista. Lannoituskäytössä teknisenä ratkaisuna on itsekovetus kahdella ja rumpurakeistus kahdella toimijalla. Yksi toimittaa tuhkaa lannoitevalmistajalle ja yhden tuhkaa käytetään peltolannoitukseen ilman käsittelyä.



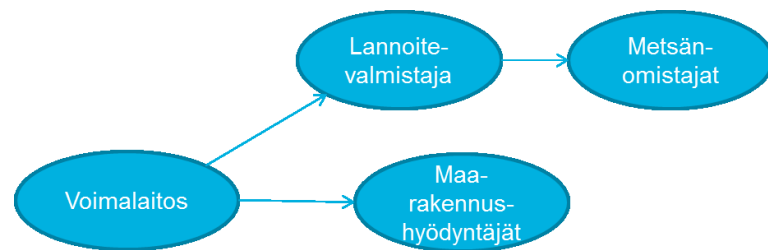
Kuva 9. Tuhkan hyötykäyttöaste ja jakautuminen eri käyttökohteisiin keskimäärin pitkällä aikavälillä (A:lla ja D:llä maarakentamisen osuus oli viime vuonna suurempi).

Haastatteluissa nousi selkeästi esille luvussa 5.1 käsitelty arvonluontiverkoston ja kumppanuuksien luomisen merkitys tuhkan onnistuneessa hyödyntämisessä. Keskeistä on myös yrityksen oman roolin määrittely tässä verkostossa. Haastatelluilla tuhkan tuottajilla on hyvin erilaisia yhteistyökumppaneita ja -sopimuksia tuhkan hyödyntämisessä, ja käytössä olevat toimitusketjut sekä yritysten roolit liiketoimintaverkostossa vaihtelevat suuresti.

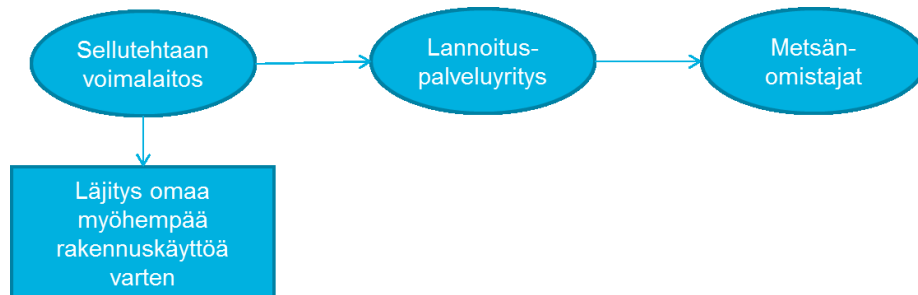
Toimijoilla A ja B on käytössään ratkaisu, joka perustuu tuhkan luovuttamiseen hyötykäyttöön. Toimitusketjut on esitetty kuvissa 10 ja 11. A toimittaa tuhkaa metsälannoitetehtaalte sekä hyödynnettäväksi maarakentamisessa. Haastattelun aikaan tuhkaa ei mennyt lannoituskäyttöön, mutta pidemmällä aikavälillä lannoituskäytön osuus on ollut noin puolet koko tuhkamäärästä. Maarakennushankkeita yrityksellä on jatkuvasti käynnissä, ja pääsääntöisesti tuhkaa toimitetaan yhteen kohteeseen kerrallaan.

Toimija B taas toimittaa tuhkaa lannoituskäyttöön lannoituspalveluyrityksen kautta. Yhteistyökumppani noutaa itsekovetetun tuhkan voimalaitokselta ilmaiseksi, etsii metsälannoitusasiakkaat ja toteuttaa lannoituspalvelun. Haastateltavan mukaan kumppani toteuttaa lannoitusta maaleivityksellä, jonka kustannukset ovat niin alhaiset,

että kumppani on pystynyt vastaanottamaan tuhkan ilmaiseksi. Hyötykäyttö vaihtelee jonkin verran vuoden aikana, sillä metsälannoituksen levitysaika on pääasiassa talvisin. Vuositasolla noin puolet tuhkasta läjitetään kaatopaikalle, josta sitä ensi vuodesta alkaen otetaan käyttöön yrityksen oman kaatopaikan rakentamiseen. Toimijan B oma rooli tuhkan hyödyntämisessä ei ole kovin aktiivinen eikä hyötykäyttömahdollisuuksien kartoittamiseen laiteta paljoo resursseja. Haastateltava kuvaili tuhkan määrän olevan pieni sellutehtaan mittakaavassa. Maarakennushankkeisiin tuhkaa ei ole alettu käyttää, koska haastateltavan mukaan hyödyntämiskäytöltä on haluttu jatkuvuutta.



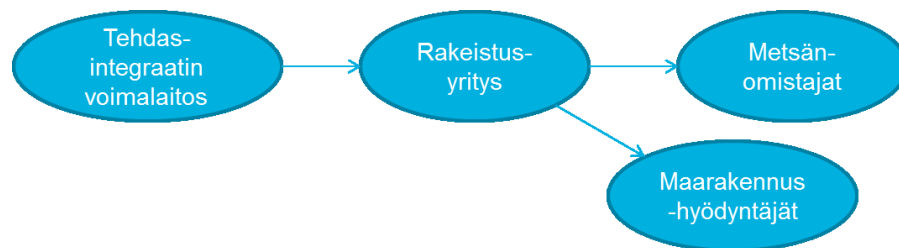
Kuva 10. Tuhkan tuottajan A tuhkan hyödyntämisen toimitusketju.



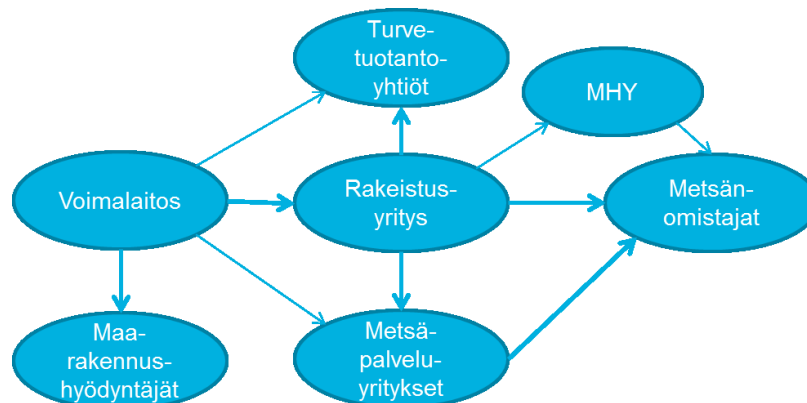
Kuva 11. Tuhkan tuottajan B tuhkan hyödyntämisen toimitusketju.

Toimijoilla C ja D on käytössään tuhkan jalostuksen voimalaitosratkaisu. Toimitusketjut on esitetty kuvissa 12 ja 13. Toimijalla C vastuu tuhkasta siirtyy yhteistyökumppanina toimivalle rakeistusyrittäjälle siilosta alkaen. Kumppani vastaa tuhkan toimittamisesta eri käyttökohteisiin ja perii tuhkan käsittelystä palvelumaksua. Tuhka käytetään ensisijaisesti metsälannoitukseen, mutta jos tuhkan määrä ylittää lannoitekysynnän, loput toimitetaan maarakentamiseen. Yhteistyö on käynnistynyt lokakuussa 2016. Haastatellun sanojen mukaan tuhkan tuottaja ”on tukemassa yritystä toiminnan aloituksessa”. Rakeistusyrityksen kanssa on tehty muutaman vuoden sopimus. Tämä on haastateltavan mukaan välttämätöntä, jotta rakeistusyrittäjä, joka on pieni toimija, pystyy kantamaan laitteiston rakentamiseen ja toiminnan käynnistämiseen liittyvän liiketoimintariskin. Haastateltava mainitsi, että metsälannoituskäytön osalta on suunniteltu tuhkan kuljetuksen yhdistämistä paluukuljetuksina polttoainetoimituksiin.

Myös toimijalla D on voimalaitosalueella rakeistusyrityksen toimittama rakeistuslaitteisto, mutta tuhkan hyödyntäminen on enemmän omaa liiketoimintaa. Yrityksellä on useita yhteistyökumppaneita. Lannoituspuolella rakeistusyritys myy ja markkinoi tuhkaa eteenpäin. Lisäksi tuhkan tuottajalla on sopimuksia turvetuotantoyhtiöiden ja metsäpalveluyritysten kanssa, jotka myös toteuttavat markkinointia, myyntiä ja välitystä. Haastateltavan mukaan ”tuhkaa rakeistetaan sitä mukaa, kun kauppoja syntyy”. Kumppaneiden kanssa tehdään vuosittain sopimukset, joissa osapuolet sitoutuvat toimittamaan ja vastaanottamaan tietyn tuhkamäärän. Lisäksi yritys tekee projektikohtaisia sopimuksia maarakennushyödyntäjien kanssa tuhkan käytöstä rakennushankkeissa. Haastateltava piti tärkeänä olla useampia yhteistyökumppaneita, jotta kaikki tuhka saadaan hyötykäyttöön.

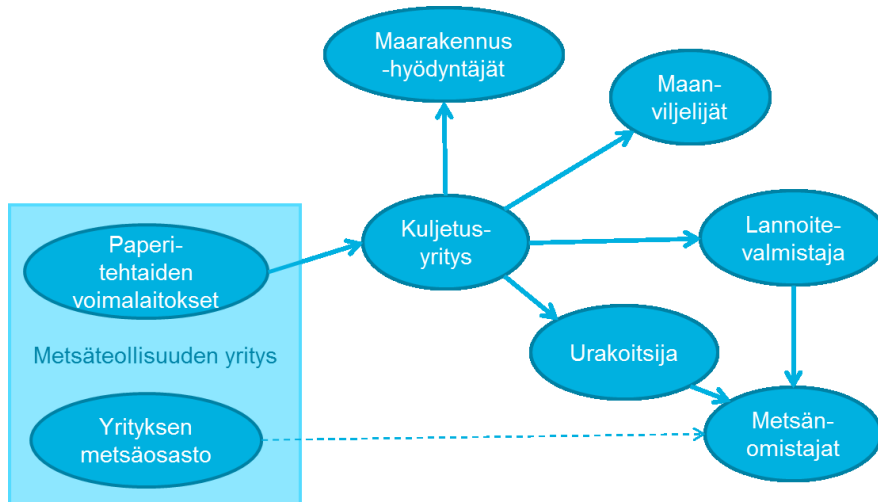


Kuva 12. Tuhkan tuottajan C tuhkan hyödyntämisen toimitusketju.

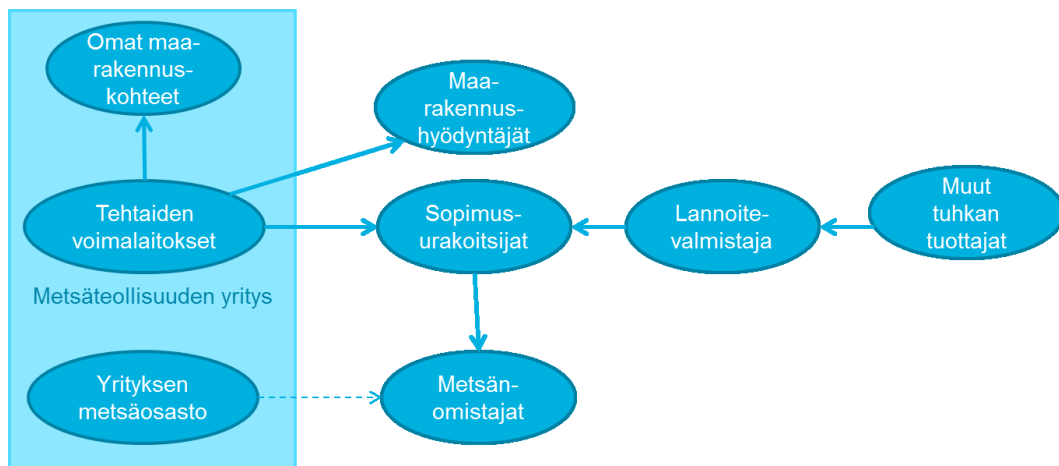


Kuva 13. Tuhkan tuottajan D tuhkan hyödyntämisen toimitusketju. MHY = metsänhoitoyhdistys.

Haastatellut E ja F olivat edustajia metsäteollisuuden yrityksistä, joissa tuhkan hyödyntämistä on kehitetty konsernitason tasolle. Molemmilla yrityksillä tuhkaa tarkastellaan tuotteena eikä jätteenä. Tuhkan myynnistä ja markkinoinnista vastaa kummankin yrityksen oma metsäosasto. Metsäteollisuuden yrityksillä etuna tuhkan hyödyntämisen kehittämisessä on, että omia toimintoja on puun koko toimitusketjussa ja kontakti metsänomistajiin on vahva. Toisaalta haastatellut B ja C taas olivat saman metsäteollisuusyrityksen eri tehtailtoja, ja tällä yrityksellä ei ollut käytössä konsernitason tuhkan hyödyntämiskäytäntöjä, vaan ratkaisut olivat tehdaskohtaisia.



Kuva 14. Tuhkan tuottajan E tuhkan hyödyntämisen toimitusketju. Katkoviiva kuvaa tuhkalannoitteen myyntiä ja markkinointia, joka ei ole osa tuhkan fyysistä toimitusketjua.



Kuva 15. Tuhkan tuottajan F tuhkan hyödyntämisen toimitusketju. Katkoviiva kuvaa tuhkalannoitteen myyntiä ja markkinointia, joka ei ole osa tuhkan fyysistä toimitusketjua.

Yrityksen E tuhkan hyödyntämisen toimitusketju on esitetty kuvassa 14. Konsernitasolla haastateltavan E yritys on kehittänyt tuhkan käyttöä metsäteiden rakentamisessa. Haastateltava toimii ympäristöinsinöörinä kahden tehtaan muodostamassa yksikössä, ja näiden tehtaiden voimalaitoksista toisen tuhkaa toimitetaan metsäteiden rakentamiseen, johon yrityksen metsäosasto hankkii asiakkaat. Metsätiekäyttöä varten tuhka läjitetään välivarastoon, ja alkusyksystä käynnistetään useampia tieprojekteja. Projektit toteutetaan parin kuukauden kuluessa, jonka jälkeen välivarasto on tyhjä. Erilaiset maarakennushankkeet ovat myös mahdollisia käyttökohteita, jos sellaisia tarjoutuu.

Toisen tehtaan voimalaitoksella taas tuhkan pääkäyttökohde on peltolannoitus, jonka toteuttamisesta vastaa yksi pääyhteistyökumppani. Yhteistyökumppani on kuljetusyritys, joka koordinoi tuhkan hyödyntämisketjuja ja tuhkan toimitusta eri kohteisiin, joita ovat peltolannoituksen lisäksi metsälannoitteita ja rakennusmateriaaleja tuhkasta valmistava yritys sekä erilaiset maarakennushankkeet. Kuljetusyritys on kehittänyt onnistuneen markkinointikonseptin peltotuhkalle ja kysyntä on ylittänyt tarjonnan. Tuhkan tuottajan roolina on suunnitella pääyhteistyökumppanin kanssa tuhkan jakautumista eri käyttökohteisiin ja tuhkalannoitteen hinnoittelua. Haastateltavan mukaan tuhkan hyödyntäminen on heille kustannuserä, mutta heidän maksamaansa osuutta neuvotellaan jatkuvasti pienemmäksi suhteessa siihen, mitä asiakas maksaa.

Haastateltavan F yrityksen tehtailta syntyvää tuhkaa käytetään maarakentamiseen ja metsälannoitukseen. Toimitusketju on esitetty kuvassa 15. Metsälannoitustuhkasta suurin osa käsitellään itsekovettamalla ja käytetään metsälannoitukseen yrityksen omissa metsissä. Levitys toteutetaan maalevityksenä. Lisäksi yritys välittää ulkopuolisen lannoitevalmistajan rakeistettua tuhkaa omien ja ulkopuolisten metsien lannoitukseen. Tuhkalannoitus on osa yrityksen metsäpalvelutarjontaa. Haastateltavan mukaan tuhkaa käytetään metsälannoitukseen noin 10 000 tonnia vuodessa ja potentiaalia olisi suurempaankin määrään. Lannoituskäyttöön myytävä määrä on suurempi kuin omaan käyttöön menevä määrä. Maarakennuspuolella tuhkaa hyödynnetään sekä omiin rakennuskohteisiin että ulkoisiin hankkeisiin.

Kiinnostava yksityiskohta haastatteluista on tieto siitä, millaiselle etäisyydelle tuhkaa kuljetetaan hyötykäyttöön. Haastateltujen arvioimat toimitusetäisyydet on esitetty taulukossa 10. Tämä antaa käsitystä siitä, millaiselle etäisyydelle tuhkaa on kannattavaa kuljettaa hyötykäyttöön. Pisimmillään kaikki toimijat toimittavat tuhkaa yllättävän pitkienkin etäisyyksien päähän. Kaikki haastateltavat kuitenkin mainitsivat, että ensisijaisesti käyttökohteet etsitään mahdollisimman läheltä, ja pidemmät matkat olivat enemmänkin yksittäistapauksia.

Taulukko 10. Tuhkan kuljetuksen kesimääräiset ja enimmäisetäisyydet hyötykäyttökohteisiin. Toimijan C osalta ei tietoa.

Kuljetusetäisyydet (km)	A	B	C	D	E	F
Keskimäärin	60–70	-	-	Alle 100	-	-
Enintään	250	150	-	200	200	150–200

### 7.3 Mahdolliset yhteistyökumppanit ja näiden roolit

Toinen haastateltavien ryhmä oli Lahti Energian tuhkan hyödyntämisen mahdolliset yhteistyökumppanit. Osa oli tuhkan hyödyntämisen parissa jo toimivia yrityksiä, jotka tarjoavat erilaisia ratkaisuja ja käyttökohteita tuhkalle, osa taas Lahti Energian muita sidosryhmiä, jotka voisivat olla mahdollisesti mukana tuhkan hyödyntämiskäytön kehittämisessä. Tässä luvussa käsitellään näiden haastatteluiden tuloksia. Haastattelut käsitelivät muun muassa tarjolla olevien hyödyntämiskäytön ratkaisujen soveltuvuutta ja vaatimuksia ja sidosryhmien kiinnostusta ja valmiuksia yhteistyöhön sekä mahdollisia rooleja tuhkan hyödyntämisen toimitusketjussa.

Lannoituskäyttöön liittyen haastateltiin yhtä laitetoimittajaa ja yhtä tuhkaa hyödyntävää lannoitevalmistajaa. Maarakennuskäytön mahdollisuuksista haastateltiin rakennusyrityksen edustajaa, maarakentamista toteuttavan jätteenkäsittely-yrityksen edustajaa, sekä maarakentamisen parissa toimivan suunnittelutoimiston ja asiantuntijayrityksen edustajaa. Haastateltuja Lahti Energian sidosryhmiä ja mahdollisia kumppaneita tuhkan hyödyntämisessä olivat Lahden seudulla toimivan jätehuoltoyrityksen ja metsänhoitoyhdistyksen edustajat sekä kaksi polttoainetoimittajaa. Haastattelutuloksia käsitellään seuraavissa alaluvuissa.

#### 7.3.1 Lannoituskäytön sidosryhmät

Tähän tutkimukseen haastateltiin yhtä lannoitevalmistajaa, yhtä lannoituspalveluyritystä sekä yhtä laitetoimittajaa. Edellytyksenä lannoituskäytölle on, että lainsäädännön kriteerit täyttyvät. Haastatellut voivat tarjota ratkaisuja Lahti Energian tuhkan hyödyntämiseen, mikäli tuhka osoittautuu hyödyntämiskelpoiseksi. Esimerkiksi lannoitevalmistaja voisi ottaa tuhkaa vastaan tehtaallaan ja käyttää sitä metsälannoitteiden valmistamiseen. Lannoituspalveluyrittäjän edustaja arvioi, että kysyntää ei Lahden lähiseuduilla ole, vaan tuhka pitäisi kuljettaa kauemmas. Toisaalta sama haastateltava totesi, että käyttökohteita löytyy kyllä ja kauemmaskin kannattaa kuljettaa, jos tuhkan ravinnepitoisuudet ovat kohdallaan. (Rissanen, 2017)

Laitetoimittajan edustajan mukaan tällä hetkellä tarjolla olevat jalostuslaitteistot soveltuvat hyvin suurelle tuhkovolyymille. Niiden investointikustannus on suuri, mutta investointi- ja käyttökustannukset jakaantuvat isommalle tuhkovolyymille ja tuhkatuotteen omakustannehinta pysyy kohtuullisena. Alle 10 000 tonnin vuosittaiselle tuhkamäärälle suunniteltujen järjestelmien haasteena taas on suuri investointi- ja käyttökustannus suhteessa tuhkamäärään. ”Tuhkatuotetonnin omakustannehinta ylittää markkinahinnan, ja pienempien järjestelmien investointi- ja käyttökustannukset pitäisi saada alemmaksi. Tämä haaste meidän pitää ratkaista laitetoimittajana”, hän tiivistä. (Romppanen, 2017)

### 7.3.2 Maarakennuskäytön sidosryhmät

Maarakennuskäytön parissa toimivia yrityksiä haastateltiin ensisijaisesti näkemyksistä Lahti Energian tuhkan hyödyntämisen vaihtoehdoiksi ja mahdollisista tiedossa olevista hankkeista. Haastateltavat olivat rakennusyrityksen edustaja, rakentamista toteuttavan jätteenkäsittely-yrityksen edustaja ja kahden maarakentamishankkeiden asiantuntijapalveluita, suunnittelua ja konsultointia tarjoavan yrityksen edustajat.

Rakennusyrityksen edustajan mukaan tuhka on kiinnostava materiaali rakennuttajille ja tuhkan hyödyntäminen on kysyntälähtöistä. Hänen mukaansa todennäköisiä käyttökohteita ovat kaatopaikkojen massastabiloinnit, joihin tuhka soveltuu hyvin ja joissa vaatimukset tuhkan laadulle eivät ole niin tiukkoja. Nämä kohteet tarvitsevat ympäristöluvan. (Immonen, 2017)

Suunnittelutoimiston ja konsulttiyrityksen edustajat korostivat asiantuntijapalveluita tarjoavien yritysten roolia tuhkan hyödyntämisen edistämässä. (Lahtinen, 2017; Vallius, 2017) Toinen kommentoi, että usein suunnittelutoimisto ehdottaa rakennushankkeisiin mahdollisuuksia käyttää tuhkaa. Mahdollisista käyttötavoista tehdään suunnitelmat jo rakentamisvaiheessa. (Lahtinen, 2017) Toisen haastatellun mukaan toisinaan hankkeen tilaajalla, esimerkiksi ELY-keskuksella, on tavoite kierrätysmateriaalien hyödyntämiselle hankkeessa ja esimerkiksi tuhkan käyttö on määritelty jo rakennussuunnitelmassa, joka sitoo urakoitsijaa. Toisinaan taas tilaaja voi teettää selvityksen mahdollisuudesta käyttää kierrätysmateriaaleja, jotta urakoitsija voisi huomioida mahdollisuuden, mutta lopullinen päätös jää urakoitsijalle. Usein tuhkan tuottajan oma aktiivisuus tarjota tuhkaa voi ratkaista hyödyntämisen. Haastateltavan mukaan urakoitsijat saattavat kokea tuhkan käytön hankalaksi varsinkin, jos kyse on pienistä, alle 10 000 tonnin tuhkamääristä. (Vallius, 2017)

Konsulttiyrityksen edustaja piti toimivana toimintamallia, jossa tuhkan tuottajalla on suora kontakti rakennushankkeiden tilaajapuoleen ja tuhkan tuottajat etsivät itse potentiaalisia käyttökohteita, sen sijaan että välissä toimisi jokin yritys, joka kartoittaa mahdollisia käyttökohteita. Hänen mukaansa välittäjäyritys voisi tuoda ylimääräisiä kustannuksia, joita ei toimitusketjuun ole varaa lisätä. (Vallius, 2017)

Suunnittelutoimiston ja asiantuntijayrityksen edustajat pitivät potentiaalisena tuhkan hyödyntämistä alueellisissa rakentamishankkeissa, ja suosittelivat kartoittamaan yhteistyömahdollisuuksia Lahden kaupungin kanssa. (Lahtinen, 2017; Vallius, 2017) Kolme haastateltavista mainitsi myös hankkeen, jossa Tampereen Näsijärvellä on tarkoitus stabiloida järven pohjasta saostettavaa nollakuitua tuhkan avulla. (Immonen, 2017; Vallius, 2017; Österbacka, 2017) Hankkeen pilotointi on tarkoitus toteuttaa vuosina 2017–2018. Itse hanke tapahtuu arviolta vuosina 2020–2025 ja siihen käytetään arviolta 50 000–300 000 tonnia tuhkaa. (Tampereen kaupunki, 2017)



### 7.3.3 Alueellinen kiertotalousyhteistyö

Lahden seudulla on käynnissä alueellinen kiertotalouden kehittämishanke, johon liittyvistä mahdollisuuksista haastateltiin Päijät-Hämeen jätehuollon ja metsänhoitoyhdistyksen edustajia. Hankkeessa on kartoitettu potentiaalia perustaa jalostuslaitos, jossa eri toimijoiden materiaalivirtoja voitaisiin yhdistää ja jalostaa uuden arvon luomiseksi. Alueen jäte- ja sivuvirroista ja niiden nykyisistä käsittelykustannuksista on koottu tietoja, joiden perusteella nykyään jätteeksi luettavien materiaalivirtojen hyödyntämiselle on arviolta 7–8 miljoonan euron liiketoimintapotentiaali. (Leiskallio & Vehviläinen, 2017).

Yksi hankkeen keskeisistä mielenkiinnon kohteista on mahdollisuus yhdistää Lahti Energian lentotuhkaa jätevedenpuhdistuksen ja teollisuuden lietteitä käsittelevän yrityksen ravinnepitoiseen kompostiin ja kehittää arvokkaampia lannoitetuotteita. Ratkaiseva tekijä on tuhkan ja kompostin yhdistämiseen soveltuvan tekniikan löytäminen. Mahdollisten teknisten ratkaisujen kartoittamista ei ole vielä aloitettu. (Leiskallio & Vehviläinen, 2017)

Jätehuoltoyrityksen jätekeskus sijaitsee hyvin lähellä Kymijärven voimalaitosaluetta, ja siellä on tilaa uudelle terminaalityönnälle ja materiaalien käsittelylle. Vastaavalla etäisyydellä ei ole toista terminaalityönnä, jossa olisi yhtä hyvät edellytykset tuhkan käsittelytoiminnalle. Alueella on ympäristöluvat tuhkan käsittelylle. Lisäluvitus olisi tarpeen vain, jos käsittelyprosessi sitä vaatii. Jätehuoltoyrityksen edustaja piti mahdollisena aloittaa ensin tuhkan rakeistustoiminta ja sen pohjalta kehittää eri sivuvirtojen yhdistämistä tuhkaan. (Leiskallio & Vehviläinen, 2017)

Käsittelyyn voitaisiin mahdollisesti myös tuoda tuhkaa muilta, lähiseudun pienemmiltä toimijoilta. Terminaalityrittäjä voisi jätehuoltoyrityksen edustajan arvion mukaan olla jokin ulkopuolinen toimija, jolle vuokrattaisiin tilaa alueelta, tai esimerkiksi hankkeeseen osallistuvien eri yritysten yhteisyrittäjä. Jätehuoltoyritys voisi myös olla toiminnan toteuttajana. Jos liiketoimintariskit olisivat liian suuret ulkopuolisen toimijan saamiseksi mukaan, voisi alueen yritysten olla kannattavaa jakaa riski ja kustannukset, kun verrataan vaihtoehtoiskustannukseen, joka muodostuu materiaalien loppusijoittamisesta jätteenä. (Leiskallio & Vehviläinen, 2017)

Lannoitetuotteen jakelua ja myyntiä metsänomistajille voisi toteuttaa metsänhoitoyhdistys, joka ostaisi lannoitetta jalostajalta toteutuneen myynnin mukaan. Metsänhoitoyhdistys on toteuttanut jonkin verran tuhkalannoitusta Päijät-Hämeen seudulla, mutta pääasiassa lannoitusta on tehty keinolannoitteilla. Tällä hetkellä markkinoilla olevat tuhkalannoitteet ovat olleet keinolannoitetta kalliimpia. Osittain syynä on pitkä kuljetusetäisyys lannoitevalmistajan tehtaalta (Sarvaala, 2017)

### 7.3.4 Polttoainetoimittajat

Merkittävä sidosryhmä ja mahdollinen toimija tuhkan hyödyntämisketjussa ovat polttoainetoimittajat. Kaksi Kymijärvi III -laitoksen polttoainetoimittajista on ilmaissut kiinnostusta tuhkan hyödyntämisen ja mahdollisesti metsälannoituskäytön kehittämiseen. Näiden yritysten edustajia haastateltiin tässä tutkimuksessa.

Molempien yritysten edustajien mukaan polttoainetoimittajan rooli tuhkan hyödyntämisessä voisi liittyä toimitusketjun optimointiin, logistiikkaan ja verkostonhallintaan, sillä se on näiden yritysten ydinosaamista. (Laitila & Kuokkanen, 2017; Vartiamäki, 2017) Toinen haastatelluista oli sitä mieltä, että yhden yrityksen tulisi vastata tuhkan vastaanotosta ja käyttökohteen etsimisestä eri jakeille, ja hallita toimitusketjun tehokkuutta kokonaisuutena, jotta kokonaiskustannukset saadaan pysymään hallinnassa. Lisäksi hän arvioi, että tuhkan tuottajien kannattaisi harkita yhteistyötä useampien laitosten tuhkien käsittelyn yhdistämiseksi. (Vartiamäki, 2017)

Maarakentaminen on osa molempien yritysten normaalia toimintaa, ja tuhkaa on käytetty esimerkiksi kaatopaikkojen sulkemisiin ja massastabilointeihin sekä polttoaineterminaalien kenttärakenteisiin. Maarakennuskohteiden etsiminen tuhkan tuottajille ei kuitenkaan ole ydinliiketoimintaa. (Laitila & Kuokkanen, 2017; Vartiamäki, 2017) Toinen haastateltu kuvaili, että polttoainekauppojen yhteydessä lähes aina keskustellaan myös tuhkasta, ja tuodaan esiin, jos sopiva käyttökohte kohtalaiselta etäisyydellä on tiedossa. Maarakennuskäyttö on kuitenkin aina projektiluontoista. (Vartiamäki, 2017) Toisella yrityksellä on haastateltavien mukaan suunnitteilla lähivuosille useita polttoaineterminaalien rakentamishankkeita, joihin tuhkaa voisi kulua. (Laitila & Kuokkanen, 2017)

Molemmissa yrityksissä haastateltavat korostivat riittävän suuren tuhkavolyymien merkitystä toiminnan kannattavuuden varmistamiseksi. Toinen haastateltavista piti järkevänä ratkaisuna yhteistyötä Lahti Energian ja muiden lähiseudun tuhkan tuottajien välillä hyödyntämiskäytön toteuttamiseksi. (Vartiamäki, 2017) Toisella polttoainetoimittajalla on myös omia pieniä voima- ja lämpölaitoksia, joiden tuhkalle etsitään jatkuvasti käyttökohteita. (Laitila & Kuokkanen, 2017)

Haastatteluissa keskusteltiin myös siitä, toisiko tuhkan käsittelyn yhdistäminen samaan terminaaliin polttoaineiden kanssa logistisia etuja ja kustannussäästöjä. Toisen yrityksen edustajat arvelivat, että tuhkan ja polttoaineiden logistiikan yhdistäminen paluukuljetuksin toisi kustannussäästöjä, mutta melko vähän, sillä polttoaineiden määrään nähden tuhkakuljetusten määrä olisi pieni. (Laitila & Kuokkanen, 2017) Toisen yrityksen edustaja kommentoi, että polttoaineita tuodaan laajalta alueelta useiden pienten terminaalien kautta, eikä kaikkien polttoaineiden tuominen yhteen terminaaliin välttämättä ole logistisesti järkevää. (Vartiamäki, 2017)

## 7.4 Hyödyntämiskäytösten onnistumisen kriteerit

Kolmas haastatteluteema oli hyödyntämiskäytösten onnistumisen kriteerit. Tavoitteena oli tunnistaa asioita, jotka käytössä olevissa hyödyntämiskäytöksissä ovat olleet keskeisiä onnistumisen kannalta, ja selvittää, mitä Lahti Energian sidosryhmät pitävät käytöksissä tärkeinä.

Merkittäväksi onnistumisen kriteeriksi nousi liiketoimintaverkoston luominen ja hallinta sekä hyvän yhteistyökumppanin löytäminen. Neljä kuudesta tuhkan tuottajasta nimesi näitä tekijöitä. Yksi tuhkan tuottajista korosti, että yhteistyökumppaneilla on tärkeää olla kokemusta metsälannoituskäytöstä tai maarakentamisesta. Metsäteollisuus konsernin edustaja totesi, että on optimaalista, jos toimitusketjua voi hallita itse. Jos se ei ole mahdollista, tulisi tuhkan tuottajan löytää yhteistyökumppani, jolla on valmiuksia toteuttaa verkostonhallintaa. Myös polttoainetoimittajien edustajat painottivat tätä näkökulmaa.

Myös onnistunut ja tehokas logistiikka mainittiin useissa haastatteluissa. Yksi tuhkan tuottajan edustaja mainitsi, että ihanteellisinta on saada tuhka suoraan tuotannosta hyötykäyttöön ilman välivarastointia. Muutkin tuhkan tuottajat korostivat kuljetuskustannusten minimoimisen tärkeyttä. Kaksi tuhkan tuottajaa mainitsi myös, että hyödyntämisen onnistumista on edesauttanut hyödyntämiskohteen löytyminen omasta takaa. Laitetoimittaja piti onnistumisen kannalta tärkeänä tuhkalannoituksen myynnin yhdistämistä puukauppoihin ja levityksen yhdistämistä hakkuisiin.

Muutamit toimijat mainitsivat tuhkan laatuun ja ominaisuuksiin liittyviä asioita. Tuotteen tulee olla sellainen, että se tuo aidosti arvoa asiakkaalle. Esimerkiksi tuhkan tuottaja E:n mukaan tuhka on erinomainen kalkitusaine ja rakennusaine metsäteihin, ja siksi siitä on tullut haluttu tuote. Toisaalta metsäteollisuus konsernin edustaja korosti, että tuhkan ominaisuudet ovat lähtökohta hyödyntämiskohteen valinnalle ja vaikka tuhkaa on mahdollista jalostaa, on jalostus aina lisäkustannus. Tuhkan tuottajat B, E ja F ovatkin onnistuneet toimittamaan tuhkaa lannoituskäyttöön ilman varsinaista jalostusvaihetta ja saaneet näin ehkä pidettyä kustannukset muita alhaisempina.

Muita kriteereitä, joita mainittiin, olivat hyvät suhteet viranomaisiin ja lainsäädännön järkevyys ja ennustettavuus, sekä hyötykäytön yleinen hyväksyttävyys ja hyvä maine. Onnistuneet esimerkit ja selvitykset ja tutkimukset edistävät tätä. Kaksi tuhkan tuottajaa mainitsi, että tarvitaan myös omaa uskoa toimintaan. Yhden haastateltavan mukaan pitkäjänteinen kehitystyö oli johtanut tuhkan hyödyntämisen onnistumiseen.

Maarakentamisen toimijoiden näkemyksissä onnistumisen kriteereistä korostuivat toimijoiden osaamisen ja tietämyksen tärkeys. Haastateltavien mukaan on tärkeää tuntea markkinat sekä varmistaa, että kaikki toimitusketjussa tietävät mitä tekevät, ja että urakoitsijalle käyttö on helppoa ja saatavilla on riittävät käyttöohjeet.

## **8 Vaihtoehtoisten liiketoimintaratkaisujen vertailu**

Tässä luvussa johdetaan tuhkan hyödyntämisen ratkaisuvaihtoehdot Lahti Energialle ja tarkastellaan niitä lähemmin. Luvussa 8.1 sovelletaan modulaarista mallia tuhkan hyödyntämisen liiketoimintaverkoston eri toteutusvaihtoehtojen kuvaamiseen. Luvussa 8.2 kuvaillaan tarkemmin tuhkan hyödyntämISRatkaisujen vaihtoehdot Lahti Energian tapauksessa ja luvussa 8.3 näitä vaihtoehtoja vertaillaan SWOT-analysillä.

### **8.1 Liiketoimintaverkoston muodostaminen ja erilaiset toimitusketjut**

Luvussa 5.1 kuvattiin, kuinka modulaarista mallia (Tsvetkova & Gustafsson, 2014) voidaan käyttää havainnollistamaan sivuvirtojen hyödyntämiseen perustuvan liiketoimintaverkoston toteutusvaihtoehtoja. Kirjallisuustutkimuksen ja haastattelutulosten pohjalta muodostettiin modulaarinen malli tuhkan hyödyntämisen verkostosta. Kirjallisuusosassa kartoitettiin, mistä osista tuhkan hyödyntämisen systeemi koostuu ja mitä eri toimijoita sen voi muodostaa. Tuhkan tuottajien haastatteluista saatiin lisää tietoa eri toimijoiden mahdollisista rooleista käytännössä. Sidosryhmähaastatteluiden perusteella taas voitiin muodostaa käsitys siitä, mitä toimijoita hyödyntämisketjussa voisi olla Lahti Energian tapauksessa.

Modulaarinen malli tuhkan lannoitus-hyödyntämisen systeemistä on esitetty taulukossa 11. Harmaat ruudut taulukossa kuvaavat toimijoiden mahdollisia rooleja tuhkan hyödyntämisessä yleisesti, perustuen kirjallisuuteen, toimijakentän kartoitukseen ja tuhkan tuottajien käytössä olevien malleihin, tai joita eri toimijoilla voisi olla Lahti Energian tapauksessa sidosryhmähaastatteluiden perusteella. Kysymysmerkeillä on merkitty ne toimijat, joiden mahdolliset roolit Lahti Energian tapauksessa eivät ole varmoja. Esimerkiksi polttoainetoimittajat ovat haastatteluissa ilmaisseet kiinnostusta tuhkan hyödyntämiseen ja kuvailleet merkityt roolit mahdollisiksi, mutta eivät ole tehneet lopullisia ratkaisuja tuhkan hyödyntämisen liiketoimintaan ryhtymisestä. Toimijoita, joista ei tämän tutkimuksen pohjalta ole tietoa Lahti Energian sidosryhmistä, ovat esimerkiksi kuljetusyritykset.

Keskeisiä rooleja verkostossa ovat tuhkan jalostus, myynti ja markkinointi sekä verkostonhallinta ja toimitusketjun kokonaisuoptimointi. Haastatteluiden perusteella vaikuttaa, että sopivan yhteistyökumppanin löytäminen näihin toimintoihin on onnistumisen kannalta keskeistä. Esimerkiksi tuhkan verkostonhallinta ja toimitusketju kannattaa haastatteluiden perusteella olla yhden kumppanin vastuulla, tai vaihtoehtoisesti tuhkan tuottajalla itse. Tuhkalannoitteen myynnistä ja markkinoinnista loppukäyttäjälle voi kuitenkin vastata eri toimija, tai useampi kumppani, kuten esimerkiksi haastatellun tuhkan tuottajan D ratkaisumallissa. Taulukosta 11 nähdään, että vaihtoehtoja verkostonhallinnan sekä myynnin ja markkinoinnin toteuttajiksi ketjussa on useita.

Taulukko 11. Modulaarinen malli toiminnoista ja toimijoiden mahdollisista rooleista tuhkan hyödyntämisen liiketoimintaverkostossa. M = maarakennuskäyttö; L = lannoituskäyttö.

Toiminnot	Yritykset/Toimijat										
	Tuhkan tuottaja	Jätteenkäsittely	Rakeistusyritys	Laitetoimittaja	Lannoitevalmistaja	Polttoainetoimittaja	Metsänhoitoyhdistys	Kuljetusyritys	Lannoituspalveluyritys	Metsänomistaja	Rakennusyritys
Tuhkan jalostus lannoitteeksi		?				?					
Laitetoimitus											
Myynti ja markkinointi						?		?			
Verkostonhallinta, kokonaisoptimointi		?				?		?			
Levitys metsään								?			
Tuhkan käyttö	M	M				M				L	M

Tuhkan tuottajan näkökulmasta osassa ratkaisuista on vähemmän erilaisia tapoja muodostaa liiketoimintaverkosto. Esimerkiksi luovutettaessa tuhkaa lannoitevalmistajalle, lannoitevalmistaja jalostaa tuhkan, huolehtii myynnistä ja markkinoinnista ja verkostonhallinnasta ja sillä on omat urakoitsijansa alihankkijansa esimerkiksi kuljetukseen tai tuhkan levitykseen. Sen sijaan esimerkiksi rakeistusyrityksen kanssa erilaiset toimintamallit ja roolit ovat mahdollisia: kokonaispalvelussa rakeistusyrityksellä on vastaavat roolit kuin lannoitevalmistajalla, mutta rakeistusyritys voi olla myös vain laitetoimittajan tai tuhkan jalostajan roolissa, ja muut toiminnot ovat eri kumppaneiden vastuulla. Kaikki taulukossa kuvatut toiminnot eivät ole pakollisia toimitusketjun osia. Esimerkiksi tuhkan itsekovetukseen ei tarvita laitetoimitusta.

Taulukossa on kuvattu tuhkan lannoitusikäytön toimitusketjun osia. Maarakennuskäytön toimitusketju on lannoitusikäyttöä yksinkertaisempi, eikä sitä siksi ole tässä kokonaisuudessaan kuvattu modulaariseen malliin. Maarakennuskäyttö on kuitenkin taulukossa mukana tuhkan mahdollisena käyttökohteena. Tuhkan hyödyntämistä maarakentamiseen voidaan yhdistää lannoitusikäyttöä ratkaisuun kaikissa eri toimintamalleissa, ja tuhkan tuottajien haastatteluiden perusteella näyttää todennäköiseltä, että rinnakkainen maarakennuskäyttö on myös tarpeen lannoitusikäytön ohella tuhkan laadun ja tuhkalannoitteiden kysynnän vaihteluiden vuoksi.

## 8.2 Vaihtoehtoiset liiketoimintaratkaisut Lahti Energialle

Edellä kuvattiin modulaarisen mallin avulla yhteenveto erilaisten toimijoiden mahdollisista rooleista tuhkan toimitusketjussa. Tässä luvussa kuvataan Lahti Energian erilaiset vaihtoehdot toteuttaa tuhkan hyödyntämistä. Taulukosta 11 voidaan erottaa vaihtoehtoja, joissa sama toimija vastaa tuhkan hyödyntämisketjussa myynnistä ja markkinoinnista ja verkostonhallinnasta sekä mahdollisesta tuhkan jalostuksesta. Näissä vaihtoehdoissa tuhkan hyödyntäminen on ulkoistettu. Lisäksi taulukosta voidaan muodostaa vaihtoehtoja, joissa eri kumppanien rooleja on mahdollista yhdistellä eri tavoin. Näissä vaihtoehdoissa Lahti Energia kehittää tuhkaliiketoimintaa itse tai kumppanin kanssa. Tunnistetut vaihtoehdot on listattu taulukossa 12.

Taulukko 12. Lahti Energian tuhkan hyödyntämisen ratkaisuvaihtoehdot.

Lannoituskäyttö – tuhkan hyödyntämisen ulkoistaminen	1. Tuhkan luovuttaminen lannoitevalmistajalle
	2. Itsekovetettu tuhka lannoituskäyttöön
	3. Voimalaitosrakeistamo – rakeistusyrityksen kokonaispalvelu
Lannoituskäyttö – tuhkaliiketoiminnan kehittäminen itse tai yhteistyökumppanin kanssa	4. Voimalaitosrakeistamo – oma liiketoiminta
	5. Polttoainetoimittaja kumppanina
	6. Alueellinen kiertotaloushanke
Maarakennuskäyttö	7. Maarakennushankkeiden kartoitus itse

Seuraavissa alaluvuissa on esitelty tarkemmin mitä näiden vaihtoehtojen käytännön toteutukseen sisältyy, mitä toimenpiteitä ja resursseja ne vaativat Lahti Energialta ja millaisia yhteistyökumppanuuksia ja sopimuksia eri toimijoiden kanssa niihin liittyy.

### 8.2.1 Tuhkan luovuttaminen lannoitevalmistajalle

Yksi vaihtoehto on luovuttaa tuhka hyödynnettäväksi lannoitevalmistajalle. Jos tuhka täyttää lainsäädännön lannoituskäytölle asettamat kriteerit ja se on mahdollista toimittaa kuivana säiliöautokuljetuksella, se voidaan hyödyntää lannoitevalmistajan tehtaalla lannoitevalmistukseen. Tehtaalla valmistetaan tuhkasta myös maarakennusmateriaalia ja eri laatuiset jakeet ohjataan eri käyttötarkoituksiin. Lannoitevalmistaja voi järjestää myös tuhkan kuljetuksen syntypaikalta tehtaalleen.

Toimija tekee tuhkan toimittajien kanssa joko pitkiä muutaman vuoden sopimuksia tai toistaiseksi voimassa olevia sopimuksia parin kuukauden irtisanomisajalla sen mukaan, kumpi sopi toimittajan tarpeisiin parhaiten. Kustannukset tuhkan tuottajalle muodostuvat vastaanottomaksusta ja kuljetuskustannuksista.

Sopimusmallista riippuen tämän vaihtoehdon ohella tuhkaa on mahdollista ohjata maarakennushankkeisiin, jos sellaisiin tarjoutuu mahdollisuuksia. Maarakentamisen ja lannoitevalmistajalle toimittamisen yhdistävä malli on käytössä haastatellulla tuhkan tuottajalla A. Tuhkan luovuttaminen lannoitevalmistajalle ei sido merkittävästi Lahti Energian omia resursseja. Tuhkan laatua on seurattava normaalisti. Lisäksi voi olla tarpeen kartoittaa muita mahdollisia tuhkan käyttökohteita sen varalle, että lannoitevalmistajan kysyntä laskisi tai toiminnassa olisi muita ongelmia.

### 8.2.2 Maarakennuskäyttö

Toinen vaihtoehto on hyödyntää tuhkaa pääasiassa maarakentamiseen samankaltaisella toimintamallilla kuin nykyisten voimalaitosten tuhkia on tähän asti hyödynnetty. Tällöin hyödyntäminen on projektiluontoista ja hyötykäyttökohteiden kartoitus jatkuvaa. Haastatteluiden pohjalta esiin nousivat esimerkiksi Tampereen nollakuituhanke sekä mahdollisuus selvittää Lahden kaupungin ja ympäryskuntien suunnitelmia ja kiinnostusta tuhkan hyödyntämiseen rakennushankkeissa. Käytännössä erilaiset mahdolliset hankkeet laitoksen käyttöönoton jälkeisinä vuosina tulee vielä kartoittaa tarkemmin.

Maarakennuskäytön kustannukset Lahti Energialle riippuvat siitä, millainen sopimus tuhkan hyödyntäjän kanssa tehdään. Kustannukset voivat muodostua esimerkiksi kuljetuskustannuksista käyttökohteeseen. Mikäli tuhka joudutaan läjittämään välivarastoon ennen kuljetusta käyttökohteeseen, välivarastointiin liittyy tuhkan kuljetus-, purku-, käsittely- ja uudelleenkuormauskustannuksia. Tuhkan maarakennuskäyttö sitoo Lahti Energian resursseja käyttökohteiden etsintään.

### 8.2.3 Itsekovetettu tuhka lannoituskäyttöön

Kolmantena vaihtoehtona on tuhkan tuottajien B ja F toimintamallin mukainen tuhkan toimittaminen lannoituskäyttöön itsekovetettuna. Tämä edellyttää, että tuhkan laatu täyttää lannoituskäytön kriteerit. Toimintamallissa tuhkan käsittely on tuhkan tuottajan vastuulla. Tuhka läjitetään kostutettuna kasalle kovettumaan. Yhteistyökumppani hakee kovettuneen tuhkan, seuloo ja murskaa sen ja toimittaa hyödyntämiskohteeseen. Yhteistyökumppani voi olla lannoituspalveluyrittäjä, joka etsii metsänhoitoyhdistyksen tai muun tuhkalannoituspalvelua metsänomistajille välittävän tahon kautta loppuasiakkaat, ja toteuttaa tuhkan levityksen metsään.

Itsekovetettuun tuhkaan ei ole mahdollista lisätä typpeä, joten itsekovetetulle tuhkalle ei todennäköisesti ole riittävää kysyntää Lahden lähialueilla vaan käyttökohteet olisi etsittävä kauempaa. Kuljetuskustannukset käyttökohteisiin voivat siis osittain kumota hyödyn käsittelymenetelmän alhaisista kustannuksista. Kustannuksia ratkaisumallissa muodostuu lisäksi tuhkan kuljetuksesta ja läjityksestä välivarastoon.

#### 8.2.4 Voimalaitosrakeistamo - rakeistusyrityksen kokonaispalvelu

Neljäs vaihtoehto on yhteistyökumppanuus rakeistusyrityksen kanssa, kuten haastatellun tuhkan tuottajan C ratkaisumallissa. Rakeistusyritys tarjoaa kokonaispalvelun tuhkan toimittamisesta eri käyttökohteisiin sen laadun ja kysynnän mukaan. Toimijan rakeistuslaitteisto voidaan rakentaa voimalaitosalueelle suoraan tuhkan purkupaikan yhteyteen. Mahdollista on myös rakeistamon sijoittaminen erilliseen terminaaliin. Tämä voi tulla kyseeseen esimerkiksi silloin, jos tuhkan hyödyntämistä muiden jakeiden kanssa halutaan kehittää edelleen osana alueellista kiertotaloushanketta. Tätä vaihtoehtoa on käsitelty tarkemmin alaluvussa 8.1.7.

Varsinaisia investointikustannuksia ei malliin Lahti Energian kannalta liity. Rakeistusyritykselle maksetaan palvelumaksua tuhkatonnettain. Palvelumaksun suuruus voi riippua tuhkan laadun soveltuvuudesta eri käyttökohteisiin. Kumppani rakeistaa osan tuhkasta metsälannoitteeksi ja myy eteenpäin. Lannoituskäyttöön soveltumattoman tuhka sekä metsälannoituksen kysynnän ylittävän määrän yritys toimittaa esimerkiksi maarakennuskäyttöön. Rakennuskäyttöön tuhkaa voidaan toimittaa rakeistettuna tai rakeistamattomana.

Ratkaisu vaatii aluksi vähintään muutaman vuoden sopimuksen, jotta kumppani voi kantaa riskit laiteinvestoinneista ja toiminnan käynnistämisestä. Lahti Energian resursseja ratkaisu sitoo jonkin verran alkuvaiheessa, kun toimintaa käynnistetään kumppanin kanssa. Toiminnan vakiinnuttua Lahti Energian toteutettavaksi pitäisi jäädä vain polttoaineseoksen vaihteluista ilmoittaminen kumppanille.

#### 8.2.5 Voimalaitosrakeistamo – laiteinvestointi ja oma liiketoiminta

Voimalaitosrakeistamo voidaan toteuttaa vaihtoehtoisesti myös siten, että tuhkan hyödyntämisen liiketoimintaverkoston koordinointi on osa Lahti Energian omaa liiketoimintaa. Tällainen toimintamalli on haastatellulla tuhkan tuottajalla D. Tähän ratkaisuun liittyy erilaisia tuhkan jalostuksen teknisen toteutuksen vaihtoehtoja. Luvussa 4 on kuvattu mahdollisia teknisiä ratkaisuja ja joitakin mahdollisia laitetoimittajia.

Tämä ratkaisuvaihtoehto vaatii tuhkan markkinointi-, myynti- ja jakeluverkoston rakentamista ja ylläpitämistä itse, mikä sitoo edellisiä vaihtoehtoja enemmän resursseja. Lisäksi mahdollinen tuhkan jalostuslaitteiston operointi itse vaatii useimmissa tarjolla olevissa teknisissä ratkaisuissa ainakin yhden työntekijän. Ratkaisun kustannukset riippuvat valittavasta teknisestä ratkaisusta ja toimintamallista. Nykyisin käytössä olevien rakeistuslaitteistojen investointikustannukset ovat vaihdelleet mittakaavasta riippuen 350 000 eurosta noin 1,4 miljoonaan euroon (Pekkala, 2012; Kiviniemi, 2017).



### 8.2.6 Polttoainetoimittaja yhteistyökumppanina

Vaihtoehtona tuhkan hyödyntämisen ulkoistamiselle täysin tai omien resurssien kiinnittämiseksi verkostonhallintaan, tuhkan jalostukseen ja myyntiin, on etsiä yhteistyökumppani, joka pystyisi toteuttamaan toimitusketjun ja liiketoimintaverkoston hallintaa kokonaisuutena. Tällainen toimintamalli on haastatellulla tuhkan tuottajalla E, joka on muodostanut tällaisen kumppanuuden kuljetusyrityksen kanssa. Lahti Energian tapauksessa mahdollisia kumppaneita voisivat olla polttoainetoimittajat. Tällöin tuhkan hyödyntämistä voitaisiin kehittää polttoainetoimittajan kanssa ja pyrkiä yhdistämään metsälannoitusta polttoainekauppoihin ja -toimituksiin.

Tuhkaa voidaan tässä ratkaisussa hyödyntää erilaisiin käyttökohteisiin. Malli mahdollistaa esimerkiksi tuhkan metsälannoituskäytön itsekovetettuna tai rakeistettuna. Myös uudenlaisia teknisiä ratkaisuja voidaan etsiä kumppanin kanssa. Kumppani voi myös kartoittaa mahdollisia maarakentamiskohteita, joihin tuhkaa voidaan toimittaa tilaisuuden tullen. Lisäksi osa tuhkasta voidaan tarpeen mukaan esimerkiksi toimittaa lannoitevalmistajalle. Ensisijainen kohde voi olla oma tuhkalannoitteen valmistus ja muiden vaihtoehtojen avulla varaudutaan kysynnän ja tuhkan laadun vaihteluihin.

Tämänkin vaihtoehdon kustannukset riippuvat toteutettavista käyttökohteista ja ratkaisuista, ja voivat muodostua osin samoista tekijöistä kuin edellä kuvattujen vaihtoehtojen kustannukset.

### 8.2.7 Alueellinen kiertotaloushanke

Viimeinen tunnistetuista ratkaisumalleista on tuhkan hyödyntämisen kehittäminen osana alueellista kiertotaloushanketta, jossa tuhkaan mahdollisesti yhdistetään muita sivuvirtoja tai jätejakeita tuotteiden muodostamiseksi. Tähän vaihtoehtoon voidaan yhdistää elementtejä edellä kuvatuista vaihtoehdoista. Esimerkiksi tuhkan luovuttaminen lannoitevalmistajalle ja maarakennuskäyttö voivat olla väliaikaisia ratkaisuja, joiden rinnalla kehitetään uusia tuotteita ja teknisiä ratkaisuja alueen materiaalivirroista. Lisäksi ensimmäisessä vaiheessa on mahdollista käynnistää tuhkan rakeistustoiminta, mikä voisi mahdollistaa tuotekehittelyn tuhkan ja esimerkiksi lietteen tai muiden jakeiden yhdistämiseen rakeistustekniikan pohjalta. Rakeistusyritys, muut laitetoimittajat ja polttoainetoimittajat ovat mahdollisia yhteistyökumppaneita hankkeeseen, mikäli toimijoilla on kiinnostusta yhteistyöhön. Tässä vaihtoehdossa kustannuksia muodostuu aluksi pääasiassa tutkimus- ja kehitystyöstä, joka myös sitoo resursseja. Varsinaisen hyödyntämISRatkaisun kustannukset tarkentuvat vasta hankkeen edetessä.

### 8.3 Vaihtoehtojen vertailu SWOT-analyysillä

Vaihtoehtojen vertailun ja päätöksenteon tueksi toteutettiin SWOT-analyysi (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats). SWOT-analyysi on yleisesti käytetty liiketoiminnan arviointimenetelmä, jonka tarkoitus on tunnistaa toiminnan sisäisiä vahvuuksia ja heikkouksia nykytilanteessa sekä ulkoisen toimintaympäristön ja mahdollisuuksia ja uhkia tulevaisuudessa. Yleensä SWOT-analyysissä tarkastellaan yksittäistä yritystä tai jotakin sen toiminnan osaa. Vahvuudet ovat toimenpiteitä ja resursseja, joita yritys tarkasteluhetkellä pystyy hyödyntämään, ja heikkoudet taas ovat tekijöitä, jotka estävät yrityksen mahdollisimman tehokasta toimintaa. Mahdollisuudet ja uhkat ovat ulkoisen toimintaympäristön tekijöitä, jotka voivat tulevaisuudessa edesauttaa tai vaarantaa yrityksen menestystä. (Suomen riskienhallintayhdistys ry., 2017)

Tässä SWOT-analyysillä tarkastellaan vaihtoehtoja edellä kuvatuissa kolmessa ryhmässä: tuhkan hyödyntämisen ulkoistamiseen perustuvat ratkaisut; ratkaisut, joissa liiketoimintaa kehitetään itse tai yhteistyökumppanin kanssa, sekä maarakennuskäyttö. Näiden kategorioiden sisällä ratkaisuvaihtoehtoihin liittyy osittain yhteisiä piirteitä. Tässä tarkastelussa SWOT-analyysin rajaus ja näkökulma määritellään hiukan perinteisestä menetelmästä poikkeavalla tavalla. Tarkastelussa ei ole kyse vain Lahti Energian tämänhetkisen liiketoiminnan tarkastelusta vaan tulevien mahdollisten liiketoimintavaihtoehtojen vertailusta. Näkökulmana on Lahti Energian tehokkaaseen ja menestyksekkääseen liiketoimintaan ja tuhkan hyödyntämiseen vaikuttavien tekijöiden tarkastelu, mutta tarkasteluun sisällytetään koko liiketoimintaratkaistu ja siihen liittyvän liiketoimintaverkoston toiminta.

Sisäisiin tekijöihin luetaan siis sekä Lahti Energian että ratkaisuun liittyvien mahdollisten kumppanien nykyisen toiminnan piirteet, resurssit ja sisäiset vahvuudet, jotka ovat hyödynnettävissä, ja heikkoudet, jotka estävät tehokasta tuhkan hyödyntämistä. Ulkoisissa tekijöissä taas tarkastellaan ratkaisun liiketoimintaympäristöön liittyviä tulevaisuuden mahdollisuuksia ja uhkia, jotka voivat edistää tai vaarantaa tuhkan hyödyntämisen tehokasta toteutusta.

Luvussa 6 kuvattiin Lahti Energian tuhkan hyödyntämISRatkaisun valintaperusteita. Niitä olivat tekninen toteutettavuus, kustannukset, vaatimukset tuhkan laadulle ja ratkaisun vaatimat resurssit. Lisäksi ratkaisun kiertotaloudellisella arvolla on merkitystä. SWOT-analyysissä on huomioitu nämä Lahti Energian valintaperusteet sekä luvussa 7.4 kootut hyödyntämISRatkaisujen onnistumisen kriteerit. Kaikkeen hyödyntämiseen ja erityisesti lannoituskäyttöön tähtääviin ratkaisuihin liittyy toistaiseksi epävarmuutta tuhkan laadusta ja soveltuvuudesta hyödyntämiseen, eikä tätä tekijää siksi tarkastella jokaisen ratkaisun kohdalla erikseen.

## 8.2.1 Tuhkan hyödyntämisen ulkoistaminen

Tuhkan hyödyntämiskäytännöistä vähemmän Lahti Energian omia resursseja vaativia ovat vaihtoehdot, joissa tuhkan hyödyntäminen ostetaan palveluna tai tuhka luovutetaan hyödyntäjälle, joka huolehtii sen toimittamisesta eteenpäin. Tällaisia vaihtoehtoja ovat tuhkan toimittaminen lannoitevalmistajalle, itsekovetetun tuhkan toimittaminen lannoituskäyttöön sekä rakeistusyrityksen kokonaispalvelu. Taulukossa 13 on esitetty näiden vaihtoehtojen SWOT-analyysi.

Taulukko 13. SWOT-analyysi – tuhkan hyödyntämisen ulkoistamisen vaihtoehdot.

Sisäiset tekijät	Vahvuudet	Heikkoudet
Yleiset	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ei vaadi investointeja</li> <li>Varma kustannussäästö kaatopaikkasijoitukseen verrattuna</li> </ul>	
Tuhka lannoitevalmistajalle	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sitoo mahdollisimman vähän resursseja</li> <li>Mahdollisuus hyödyntää eri laatuista tuhkia</li> <li>Kumppanin vahva brändi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alueellinen ravinteiden kierrätys ei täysin toteudu</li> </ul>
Itsekovetettu tuhka	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sitoo melko vähän resursseja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vaatii läjitystilaa</li> <li>Ei toistaiseksi mahdollista käyttöä kivennäismaille</li> </ul>
Rakeistus-yrityksen kokonaispalvelu	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hyötykäyttö toteutuu joustavasti tuhkan laadun mukaan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sitoo alkuvaiheessa resursseja</li> <li>Voimalaitosalueella rajallisesti tilaa</li> <li>Ei toistaiseksi mahdollista käyttöä kivennäismaille</li> </ul>
Ulkoiset tekijät	Mahdollisuudet	Uhkat
Yleiset	<ul style="list-style-type: none"> <li>Toiminnan laajeneminen ja kehittyminen tulevaisuudessa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Epävarmuus hintatasosta tulevaisuudessa</li> <li>Epävarmuus markkinatilanteesta</li> </ul>
Tuhka lannoitevalmistajalle	<ul style="list-style-type: none"> <li>Joustava sopimuskäytäntö</li> </ul>	
Itsekovetettu tuhka	<ul style="list-style-type: none"> <li>Joustava sopimuskäytäntö</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Epävarmuus toiminnan jatkuvuudesta</li> <li>Toiminnan hyväksyttävyyden jatkuvuudessa</li> </ul>
Rakeistus-yrityksen kokonaispalvelu	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ei sido resursseja, kun toiminta käynnissä</li> <li>Positiivinen näkyvyys</li> <li>Mahdollisuus kehittää uusia tuotteita</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Epävarmuus toteutuvasta hyötykäyttökohteesta</li> <li>Epävarmuus toiminnan jatkuvuudesta</li> <li>Sitoo muutamaksi vuodeksi</li> </ul>

Yhteisiä vahvuuksia näissä vaihtoehdoissa on, että ne eivät vaadi merkittäviä investointeja Lahti Energialta. Lisäksi, vaikka vaihtoehtojen tarkkoihin kustannuksiin liittyy epävarmuutta, on epävarmuus vähäisempää kuin vaihtoehdoissa, joissa tuhkan hyödyntämisen ratkaisuja lähdetäisiin kehittämään itse. Näin ollen näiden ratkaisujen kustannukset ovat varmuudella ainakin kaatopaikkaläjityksen kustannuksia alemmat.

Vaihtoehdon, jossa tuhkaa toimitetaan lannoitevalmistajalle, merkittävin vahvuus on, että se on yksinkertainen ja sitoo mahdollisimman vähän Lahti Energian omia resursseja. Lannoitevalmistaja voi hyödyntää tuhkaa myös maarakennusmateriaalien valmistukseen, joten myös tuhkan laadun vaihdellessa kaikki tuhka on mahdollista saada hyötykäyttöön. Lahti Energian näkökulmasta vahvuus on myös kumppanin vakiintunut toiminta ja melko vahva brändi. Kumppani on tunnettu tuhkalannoitteiden valmistaja, jonka tuotteita pidetään yleisesti laadukkaina. Heikkoutena ratkaisussa voidaan pitää sitä, että siinä jää toteuttamatta alueellinen ravinteiden kierrättäminen mahdollisimman suoraan takaisin niihin metsiin, joista Kymijärvi III-laitoksen polttoaineet tulevat. Lannoitevalmistajan tehdas sijaitsee kauempana Lahdesta ja sieltä lannoitteita toimitetaan eri puolille Suomea.

Ratkaisu, jossa tuhka toimitetaan lannoituspalvelukumppanin kautta lannoituskäyttöön itsekovetettuna, sitoo myös vain vähän Lahti Energian omia resursseja. Vaihtoehdon merkittävin heikkous on itsekovetukseen tarvittava läjitystila, joka voi muodostua ongelmaksi. Lisäksi vaihtoehdossa on muita huonommat tuhkan lisäämiseen mahdollisuudet. Erityisesti tämä ratkaisu ei mahdollista typen lisäämistä tuhkaan, ja koska Päijät-Hämeessä suurin osa metsistä on kivennäismaita, tuhkaa ei tällöin saataisi suuressa määrin käytettyä lähellä tuhkan syntypaikkaa.

Rakeistusyrityksen kokonaispalvelussa vahvuutena on, että tuhkan laadun vaihdellessakin tuhkan hyödyntäminen onnistuu joustavasti yhteistyökumppanin välityksellä esimerkiksi maarakennuskäyttöön. Resursseja tämä ratkaisu kuitenkin sitoo jonkin aikaa toiminnan alkuvaiheessa, sillä rakeistuksen käyttöönotto ja liiketoiminnan käyntiin saaminen vaatii jonkin verran Lahti Energiankin resursseja ja yhteistyötä kumppanin kanssa. Voimalaitosalueella on myös rajallisesti tilaa rakeistuslaitteistolle. Lisäksi tämäkään ratkaisu ei toistaiseksi mahdollista tuhkan käyttöä kivennäismaiden lannoitukseen, joten tuhkan loppukäyttäjät pitäisi etsiä kauempaa.

Tulevaisuuden mahdollisuudet ovat eri vaihtoehdoissa hiukan erilaisia. Tuhkan toimittamisessa lannoitevalmistajalle ja itsekovetetun tuhkan lannoituskäytössä mahdollisuuksia luo sopimuskäytännön joustavuus, jonka myötä Lahti Energia voi jatkuvasti arvioida uudelleen toiminnan kustannustehokkuutta ja muita tarjolla olevia vaihtoehtoja.

Rakeistusyrityksen kanssa taas toiminnan käynnistäminen edellyttää sitoutumista muutaman vuoden sopimukseen, sillä ratkaisu vaatii kumppaniyritykseltä investointeja ja yritys tarvitsee toiminnalleen varmuutta. Lahti Energian näkökulmasta tämä tarkoittaa riskinottoa ja sitoutumista tiettyihin kustannuksiin pidemmäksi aikaa. Tulevaisuuden mahdollisuuksia ratkaisussa ovat kuitenkin se, että toiminnan käynnistyttyä kunnolla kokonaispalveluratkaisun pitäisi vapauttaa Lahti Energian resurssit tuhkan hyödyntämiskohteiden etsinnästä. Rakeistusyrityksen aiemmat kumppanuudet tuhkan tuottajien kanssa ovat saaneet positiivista näkyvyyttä. Tätä voidaan pitää mahdollisuutena myös Lahti Energian julkisuuskuvan kannalta, sillä voimalaitosratkaisu osoittaa aktiivista pyrkimystä tuhkan hyödyntämiseen. Kumppanin kanssa voisi myös olla mahdollista tehdä tuotekehitystä esimerkiksi kivennäismaille soveltuvan lannoitteen kehittämiseksi.

Positiivisia mahdollisuuksia liittyy kaikissa kolmessa vaihtoehdossa kumppanien liiketoiminnan laajenemiseen ja kehittymiseen tulevaisuudessa. Lannoitevalmistaja on laajentanut viime vuosina toimintaansa, ja toiminnan laajeneminen edelleen saattaisi tuoda hyödyntämiskäytön entistä lähemmäs. Lannoituspalveluyrittäjä taas on vasta alkanut laajentaa toimintaansa tuhkan hyödyntämiskäytön tarjoamiseen tuhkan tuottajille. Myös rakeistusyrityksen liiketoiminta on vielä melko uutta, aiempia kumppanuuksia sillä on melko vähän eikä sen voida sanoa täysin vakiinnuttaneen asemaansa markkinoilla. Seuraavien kahden vuoden aikana on mahdollista, että näiden kahden yrityksen toiminta vakiintuu ja kehittyy pidemmälle, mutta toisaalta toiminnan jatkuvuudesta ei erityisesti lannoituspalveluyrittäjän suhteen ole vielä varmuutta. Tähän liittyy siis sekä tulevaisuuden mahdollisuus että uhka.

Tulevaisuuden uhkia kaikissa kolmessa vaihtoehdossa ovat epävarmuus tuhkan kysynnästä ja hintatasosta. Lannoitevalmistajalla on tällä hetkellä vain vähän kilpailijoita. On mahdollista, että tuhkan tarjonnan lisääntyessä ja lannoitteiden kysynnän vaihtelun myötä yritys nostaa vastaanottomaksujaan tai valikoi entistä tarkemmin, minkä tuottajien tuotantoa ottaa vastaan. Tällöin Lahti Energian tuhkan hyödyntäminen voisi vaarantua tai hyödyntämisen kustannukset nousta. Myös lannoituspalveluyrittäjän tapauksessa on mahdollista, että toiminnan vakiintuessa kustannukset tuhkan tuottajalle nousevat. Myöskään rakeistusyrityksen kokonaispalveluratkaisun hintatasosta tulevaisuudessa ei ole varmuutta.

Itsekovetetun tuhkan suhteen on riskinä, että yleistyvä itsekovetetun tuhkan levittäminen metsään ei saa yhtä laajaa hyväksyntää kuin pidemmälle jalostettujen tuhkatuotteiden lannoituskäyttö. Tämän uhkan välttäminen vaatii mahdollisesti huolellisempaa markkinointia ja näyttöä itsekovetetun tuhkan metsälannoituskäytön vaikutuksista.

## 8.2.2 Maarakennuskäyttö

Tuhkan maarakennuskäytön SWOT-analyysi on esitetty taulukossa 14. Maarakennuskäyttöä tarkastellaan yleisellä tasolla. Yksi mahdollinen kohde olisi nollakuituhanke Tampereella, mutta muita mahdollisia kohteita on vielä kartoitettava.

Taulukko 14. SWOT-analyysi – Tuhkan maarakennuskäyttö

	Vahvuudet	Heikkoudet
Sisäiset tekijät	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aiempaa kokemusta on</li><li>• Ei vaadi investointeja</li><li>• Kustannukset yleensä kohtuulliset</li><li>• Tuhkan laadun suhteen joustoa</li><li>• Neitseellisten kiviainesten korvaaminen</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ravinteiden kierrätys ei toteudu</li><li>• Kohteiden kartoittaminen sitoo resursseja</li></ul>
	Mahdollisuudet	Uhkat
Ulkoiset tekijät	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aikaa kehittää muita ratkaisuja</li><li>• Uudenlaisten käyttömahdollisuuksien kehittäminen maarakennuspuolella</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Epävarmuus maarakentamisen hyväksyttävyydestä tulevaisuudessa</li><li>• Epävarmuus tuhkan kysynnästä</li></ul>

Tuhkan toimittamisella hyödynnettäväksi maarakentamisessa on Lahti Energian näkökulmasta osittain samanlaiset vahvuudet kuin lannoitevalmistajalle toimittamisella. Se sitoo myös vain vähän Lahti Energian omia resursseja eikä vaadi investointeja. Kustannukset ovat ainakin aiempien maarakentamisen käytön kokemusten perusteella kilpailukykyiset. Lisäksi maarakennuskäyttö on tuhkan laadun suhteen joustavampaa kuin lannoituskäyttö. Toisaalta vaihtoehdon heikkoutena voidaan pitää sitä, että tavoiteltavana pidettävä lannoituskäyttö ei toteudu. Lisäksi maarakennuskäyttö on projektiluontoista ja tuhkan hyödyntämiskohde ratkeaa aina vain muutamaksi vuodeksi, jonka jälkeen on löydettävä uusia ratkaisuja.

Jos Kymijärvi III -laitoksen käynnistymisen aikoihin saataisiin tuhkalle jokin muutaman vuoden käyttökohde maarakennuspuolelta, antaisi tämä kuitenkin myös lisää aikaa selvittää yhä tarkemmin muita hyötykäytön ratkaisuja. Tätä voidaan pitää maarakennuskäyttöön liittyvänä tulevaisuuden mahdollisuutena. Esimerkiksi vuosille 2020–2025 ajoittuva nollakuituhanke tarjoaisi tällaisen väliaikaisen ratkaisun. Lisäksi uusien maarakentamishankkeiden kautta saadaan aina lisää tietoa ja kokemusta erilaisista tuhkan rakennuskäytön mahdollisuuksista, mistä voi olla hyötyä Lahti Energialle esimerkiksi muiden laitosten tuhkien hyödyntämistä ajatellen.

Maarakennuskäyttöön liittyy myös tulevaisuuden uhkia. Sen yleinen hyväksyttävyyys kiertotalouden mukaiseksi hyötykäyttökohteeksi voi tulevaisuudessa laskea, jos muut tuhkan hyödyntämisen sovelluskohteet, kuten lannoituskäyttö kehittyvät yleisemmiksi. Myös tuhkan kysyntään liittyy epävarmuutta.

### 8.2.3 Oma tuhkan lannoituskäytön kehittäminen ja liiketoiminta

Vaihtoehtoja, joissa Lahti Energian rooli on aktiivisempi tuhkan hyödyntämiskäytön kehittämisessä, ovat oma voimalaitosrakeistamo ja tuhkaliiketoiminta, tuhkan hyödyntämisen yhteistyö polttoainetoimittajan kanssa sekä tuhkan hyödyntämisen kehittäminen osana alueellista kiertotaloushanketta. Nämä vaihtoehdot eivät ole yhtä konkreettisia kuin edellä kuvatut ratkaisuvaihtoehdot. Niihin liittyy ratkaistavia kysymyksiä esimerkiksi siitä, millainen tekninen ratkaisu valitaan. Vaihtoehdot eivät myöskään ole täysin toisensa poissulkevia.

Taulukossa 15 on esitetty SWOT-analyysi näille vaihtoehdoille. Vaihtoehtoihin liittyy vähemmän vahvuuksia kuin edellä kuvattuihin vaihtoehtoihin, sillä ne edellyttävät Lahti Energian nykyisen ydinliiketoiminnan ulkopuolelle menemistä ja uudenlaisen liiketoiminnan kehittämistä. Nykytilanteessa Lahti Energialla ei välttämättä ole kaikkia tarvittavia resursseja ja osaamista ratkaisujen toteuttamiseen.

Taulukko 15. SWOT-analyysi – Oma tuhkan lannoituskäytön kehittäminen ja liiketoiminta

Sisäiset tekijät	Vahvuudet	Heikkoudet
Yleiset		<ul style="list-style-type: none"> <li>Sitoo paljon resursseja</li> <li>Ei ydinliiketoimintaa</li> </ul>
Oma liiketoiminta		<ul style="list-style-type: none"> <li>Voimalaitosalueella rajallisesti tilaa</li> </ul>
Polttoainetoimittaja kumppanina	<ul style="list-style-type: none"> <li>Linkki kumppaniin olemassa</li> <li>Osaamista toimitusketjun hallinnasta</li> </ul>	
Alueellinen kiertotaloushanke	<ul style="list-style-type: none"> <li>Paikallinen yhteistyö</li> </ul>	
Ulkoiset tekijät	Mahdollisuudet	Uhkat
Yleiset	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kustannusten minimointi</li> <li>Uudet tekniset ratkaisut</li> <li>Uudet innovaatiot ja käyttökohteet</li> <li>Positiivinen näkyvyys</li> <li>Alueellinen kiertotalous</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Epävarmuus kustannuksista</li> <li>Epävarmuus kannattavuudesta</li> <li>Epävarmuus tuhkan kysynnästä</li> </ul>
Oma liiketoiminta	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tuhkalannoitteen myyntituotot</li> </ul>	
Polttoainetoimittaja kumppanina	<ul style="list-style-type: none"> <li>Toimitusketjun kokonaisoptimointi</li> <li>Koko polttoaineketjun huomiointi</li> </ul>	
Alueellinen kiertotaloushanke	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kustannusten ja riskin jakautuminen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hankkeen etenemisen aikataulu</li> </ul>

Tuhkan hyödyntämisen kehittämisessä yhdessä polttoainetoimittajan kanssa vahvuutena voidaan pitää sitä, että Lahti Energialla on jo valmis linkki näihin kumppaneihin, ja kumppaneilla on tarvittavaa osaamista toimitusketjun hallinnasta. Alueellisessa yhteistyöhankkeessa taas hankkeeseen osallistuvat yhteistyökumppanit ovat tuttuja paikallisia yrityksiä, joilla on osittain sama omistajapohja kuin Lahti Energialla, minkä vuoksi myös intressit ovat jossain määrin yhteisiä.

Yleisellä tasolla heikkoutena näissä vaihtoehdoissa on, että ne sitovat enemmän Lahti Energian resursseja, kuin luvussa 8.2.1 kuvatut ratkaisut. Lisäksi ratkaisussa, johon sisältyy omaan laitteistoon investointi ja liiketoiminnan kehittäminen itse, heikkoutena on rakeistus- tai muun käsittelylaitteiston voimalaitosalueelta vaatima tila.

Positiivisia tulevaisuuden mahdollisuuksia kaikkiin näistä vaihtoehdoista kuitenkin liittyy myös monia, kuten uusien tuotteiden kehittämisen mahdollisuus ja positiivinen näkyvyys, jota aktiivisuus ja hyötykäytön edistäminen itse tuovat. Omassa liiketoiminnassa lisäksi tuhkan hyödyntäminen ilman ylimääräisiä välikäsiä voi mahdollistaa kustannusten minimoinnin ja myyntituotot tuhkalannoitteista Lahti Energialle. Lisäksi ratkaisuun liittyy mahdollisuus kilpailuttaa mahdollisia laitetuottajia ja etsiä valittavan toimittajan kanssa uudenlainen, juuri Lahti Energian tarpeisiin soveltuva tekninen ratkaisu.

Tuhkan hyödyntämisen kehittämisessä polttoainetoimittajan kanssa mahdollisuuksia ovat koko polttoaineketjun huomiointi ja toimitusketjun kokonaisuoptimointi. Tuhkan kuljettamiseen metsään liittyy paljon samanlaista logistiikkaketjua kuin polttoaineen kuljettamiseen metsästä. Merkittävä mahdollisuus alueellisen kiertotalouden vaihtoehdossa taas on kustannusten ja riskien jakautuminen useampien toimijoiden kesken. Hanke tähtää myös alueellisen kiertotalouden toteutumiseen, mihin liittyy monia positiivisia mahdollisuuksia, esimerkiksi uusien symbioosiketjujen syntyminen tulevaisuudessa.

Mahdollisuuksien rinnalla vaihtoehtoihin liittyy uhkia, kuten epävarmuutta toiminnan kannattavuudesta ja todellisista kustannuksista sekä tuhkan kysynnästä. Oman voimalaitosrakeistamon tapauksessa nämä riskit jäävät Lahti Energian kannettaviksi. Yhteistyössä polttoainetoimittajan kanssa on toistaiseksi epävarmuutta kumppanien sitoutumisesta tuhkan hyödyntämisyhteistyöhön. Alueellisen kiertotalousyhteistyön vaihtoehdossa uhkana taas voidaan pitää hankkeen etenemisen mahdollista pitkittymistä. Varmaa tietoa hankkeen etenemisaikataulusta ei vielä ole.



## 9 Pohdinta ja johtopäätökset

Tässä luvussa esitetään johtopäätökset työn tuloksista. Luvussa 9.1 tarkastellaan Lahti Energian tuhkan hyödyntämisen vaihtoehtoja ja niiden toteuttamiseen liittyviä toimenpiteitä ja jatkoselvitystarpeita. Luku 9.2 käsittelee tulosten laajempaa merkitystä ja sovellettavuutta sekä mahdollisia aiheita jatkotutkimukselle yleisemmällä tasolla. Luvussa 9.3 arvioidaan tutkimuksen luotettavuutta.

### 9.1 Ratkaisuvaihtoehdot ja suositukset Lahti Energialle

Tutkimuksessa kartoitettiin haastatteluiden avulla eri tuhkan tuottajilla käytössä olevia tuhkan hyödyntämisen ratkaisuja, ja selvitettiin Lahti Energian sidosryhmien ja potentiaalisten yhteistyökumppanien tarjoamia ratkaisuja ja kiinnostusta yhteistyöhön Kymijärvi III -laitoksen tuhkan hyödyntämisessä. Näiden tulosten pohjalta muodostettiin Lahti Energialle mahdollisia ratkaisumalleja, joita arvioitiin ja vertailtiin SWOT-analyysin avulla.

Tuhkan käyttö metsälannoituksessa ja maarakentamisessa ovat melko vakiintuneita käyttökohteita, joita on sovellettu Suomessa jo pitkään. Ne ovat todennäköisimpiä ratkaisuvaihtoehtoja myös Lahti Energialle. Maarakennuskäytöstä Lahti Energialla on jo aiempaa kokemusta, ja sitä toteuttavat monet rakennusurakoitsijat ja esimerkiksi jätteenkäsittely-yritykset. Tuhkan tuottajan oma aktiivisuus on kuitenkin tärkeää käyttökohteiden löytämisessä.

Tuhkalannoitukseen liittyvän liiketoiminnan markkinoilla taas on edelleen vain vähän toimijoita. Esimerkiksi tuhkan lannoituskäytön teknisiä ratkaisuja tai kokonaispalveluita tarjoavia toimijoita on vain muutamia. Lannoituskäyttöä varten tuhka tulee stabiloida, ja teknisiä ratkaisuja tähän ovat muun muassa itsekovetus, rumpurakeistus ja lausrakeistus. Haastatelluilla tuhkan tuottajilla kahdella oli teknisenä ratkaisuna rumpurakeistus ja kahdella itsekovetus. Yksi toimitti tuhkaa lannoitevalmistajalle ja yhden tuhkaa hyödynnettiin peltolannoitukseen, joka ei vaatinut esikäsittelyä.

Kirjallisuudessa rakeistusmenetelmät saavat itsekovetusta enemmän huomiota ja ne kuvataan useissa lähteissä tehokkaammiksi ja paremmiksi menetelmiksi (Isännäinen, 2006; Makkonen, 2008; Huotari, 2012). Tuhkan lannoituskäytön suurimpia haasteita on kuitenkin sen kustannustehokas toteutus ja hinnan pitäminen kilpailukykyisenä kilpailulannoitteisiin nähden (Tuovinen, 2015). Haastatteluiden perusteella itsekovetettuun tuhkaan liittyy tässä mielessä etuja rakeistukseen verrattuna, sillä sen käsittelykustannukset ovat alhaiset ja levitys toteutetaan myös edullisemmalla maalevitysmenetelmällä. Rakeistettua tuhkaa levitetään usein helikopterilla.

Toisaalta itsekovetettuun tuhkaan liittyviä rajoitteita ovat käsittelyn vaatima läjitystila ja huonommat mahdollisuudet lisäaineistaa tuhkaa. Rakeistuksessa tuhkaan on helppo lisätä ravinteita, jolloin tuhkan lannoitusvaikutukset saadaan paremmiksi. On syytä huomioida, että metsäteollisuuskonsernilla, joka toteuttaa itsekovetetun tuhkan lannoituskäyttöä, on suora kontakti metsänomistajiin ja siksi paremmat mahdollisuudet tuhkalannoituksen markkinointiin ja lannoituskohteiden etsimiseen.

Haastattelututkimuksen tulosten perusteella teknisen toteutuksen ohella ratkaisevaa tuhkan metsälannoituskäytön onnistumisessa on toimitusketjun tehokas toteutus, sopivien yhteistyökumppanien löytäminen ja hyvän myynti- ja markkinointiverkoston muodostaminen. Vaikka tuhkan hyödyntämisen suoraviivaisia ratkaisuja on vain vähän valinnanvaraa, on erilaisia tapoja toteuttaa tuhkan hyödyntämistä paljon. Seminaarissa ja haastatteluissa korostuivat liiketoimintaketjun ja toimitusketjun muodostamisen ja hallinnan tärkeys sekä toimijoiden erilaiset mahdolliset roolit ja vastuut niissä. Tämä on linjassa kierrätysliiketoiminnan kirjallisuuden kanssa. Esimerkiksi Tsvetkova & Gustafsson (2014) ja Ehrenfeld & Chertow (2002) korostavat, että liiketoiminnassa, joka pyrkii arvon luomiseen jätteestä, on tyypillistä että liiketoimintaverkoston muodostavat useat eri yritykset, jotka tavallisesti eivät tekisi yhteistyötä. Sivuvirtojen ja jätteiden hyödyntämisessä tarvitaan monimutkaisia yritysten yhteistyöketjuja.

Haastateltujen tuhkan tuottajien ratkaisut vaihtelivat toimitusketjun rakenteen ja siinä toimivien kumppanien roolien suhteen merkittävästi. Haastateltujen tuhkan tuottajien ratkaisumallien sekä Lahti Energian sidosryhmien haastatteluiden perusteella Lahti Energian vaihtoehtoina tuhkan lannoituskäytön toteuttamiseksi on joko ulkoistaa tuhkan hyödyntäminen tai ottaa itse aktiivista roolia hyödyntämisen toimitusketjun muodostamisessa ja hyödyntämisratkaisun kehittämisessä. Lahti Energialle tunnistettiin seitsemän erilaista ratkaisumallia tuhkan hyödyntämisen toteuttamiseen. Vaihtoehtoja voidaan osittain yhdistää toisiinsa.

Ulkoistaminen voidaan toteuttaa luovuttamalla tuhka lannoitevalmistajalle tai itsekovetettu tuhka lannoituspalveluyritykselle, tai tekemällä sopimus rakeistusyrityksen kokonaispalvelusta, jossa kumppani huolehtii täysin tuhkan hyödyntämisen toteuttamisesta. Omaa liiketoimintaa Lahti Energia voi alkaa toteuttaa investoimalla omaan rakeistuslaitteistoon ja muodostamalla markkinointi- ja myyntisopimuksia eri tahojen kanssa, kehittämällä tuhkan hyödyntämistä polttoainetoimittajan kanssa tai osallistumalla alueellisen kiertotaloushankkeeseen, jossa tuhkaa pyritään yhdistämään muihin alueen teollisuuden sivuvirtoihin lannoitevalmisteiden tai muiden tuotteiden muodostamiseksi.

Tuhkan hyödyntämisen ulkoistaminen sitoo vähemmän Lahti Energian resursseja ja epävarmuus ratkaisujen kustannuksista on pienempää. Toisaalta näihin vaihtoehtoihin liittyy epävarmuutta tulevasta hintatasosta ja kysynnästä sekä kumppanin toiminnan jatkuvuudesta. Yhteistyöhön polttoainetoimittajan kanssa ja alueelliseen kiertotaloushankkeeseen liittyy riskejä, mutta myös paljon mahdollisuuksia. Polttoainetoimittajalla voisi olla erinomaisia valmiuksia toteuttaa verkostonhallintaa ja kokonaislogistiikan optimointia toimitusketjussa, joka yhdistyisi polttoaineen hankintaketjuun. Alueellisen kiertotaloushankkeen mahdollisuuksia ovat riskien ja kustannusten jakautuminen useampien toimijoiden kesken ja mahdollisuudet innovatiivisiin uusiin ratkaisuihin useampien sivuvirtojen hyödyntämiseksi.

Lannoitusikäntön ohella maarakennuskäyttö on merkittävä vaihtoehto Lahti Energialle tuhkan hyödyntämisen toteuttamisessa. Lannoitusikäntöä voidaan pitää tavoiteltavana kiertotalousnäkökulmasta, koska siinä toteutuu ravinteiden kierrätys takaisin metsään. Maarakennuskäyttö jakoi haastateltujen sidosryhmien mielipiteitä: osa piti sitä järkevänä ja kestäväenä vaihtoehtona, osa taas piti sen kestävyyttä pitkällä tähtäimellä kyseenalaisena. Maarakennuskohteita ei ole loputtomasti ja toisinaan maankäytön muuttuessa tuhkarakennuskohteita joudutaan kaivamaan auki, jolloin tuhka palaa jätteeksi. Toisaalta maarakennuskäytössä tuhkalla voidaan korvata neitseellisiä kiviaineksia.

Lahti Energia ei voi sulkea maarakennuskäyttöä vaihtoehtona täysin pois, ennen kuin tiedetään tuhkan laadun soveltuvuus lannoitusikäntöön. Lisäksi kaikki tässä tutkimuksessa haastatellut tuhkan tuottajat, jotka toteuttivat tuhkan lannoitusikäntöä, toimittivat tuhkaa myös maarakennuskäyttöön. Tuhkan laadun vaihteluiden sekä metsälannoitusikäntön epävarmuuden ja kausiluontoisuuden vuoksi maarakennuskäyttö saattaa olla tarpeen pitää vaihtoehtoisena käyttökohteena myös mahdollisesti toteutettavien lannoitusikäntön ratkaisujen rinnalla.

Tässä tutkimuksessa on kuvailtu millaisia kumppaneita, sopimuksia ja teknisiä ratkaisuja eri hyödyntämisvaihtoehtojen toteuttaminen vaatii. SWOT-analyysi antaa joitakin perusteita päätöksenteolle, ja tämän tutkimuksen pohjalta on jo mahdollista arvioida ratkaisujen soveltuvuutta Lahti Energian valintakriteereihin ja rajata mahdollisesti joitakin vaihtoehtoja lähempään tarkasteluun. Mahdollisessa oman tuhkaliiketoiminnan kehittämisessä on todennäköisesti kannattavaa pyrkiä alueelliseen yhteistyöhön kiertotaloushankkeessa tai polttoainetoimittajien kanssa toimitusketjun optimoimiseksi ja tehostamiseksi. Mahdollisia yhteistyökumppaneissa näissäkin hankkeissa ovat laitetoimittajat ja ratkaisujen tarjoajat.

Voimalaitosratkaisut, jotka tähtäävät vain Lahti Energian tuhkan hyödyntämiseen, eivät luultavasti ole kannattavia tälle tuhkovolyymille ja niissä on melko suuret investointikustannukset. Verrattuna mahdollisuuksiin, joita alueellisen yhteistyön kautta kehitettäviin ratkaisuihin liittyy, voimalaitosratkaisujen mahdollisuudet kehittää edelleen ovat melko pienet. Tuhkaa tulee muodostumaan tulevaisuudessa entistä enemmän Etelä-Suomessa, ja ratkaisulla, joka vastaisi tuhkan hyödyntämisongelmiin laajemmalti, voi olla erittäin suuri liiketoimintapotentiaali.

Vaihtoehtojen rajausta ja jatkotarkasteluja ei ole tässä työssä toteutettu työn rajallisen laajuuden vuoksi. Tässä työssä ei myöskään määritelty esihaastatteluissa kartoitettujen valintaperusteiden painoarvoa eli esimerkiksi sitä, ovatko ratkaisevampi tekijä hyödyntämisratkaisun kustannukset vai toteutukseen vaaditut resurssit.

Lahti Energian kannattaa seuraavassa vaiheessa valita jatkotarkasteluun ainakin muutama erilainen vaihtoehto, tai mahdollisesti jopa selvittää kaikista vaihtoehdoista valintaan vaikuttavia tekijöitä tarkemmin. Eri vaihtoehtoihin liittyy vielä erilaisia selvitystarpeita esimerkiksi kustannuksista ja teknisestä toteutuksesta. Selvitystarpeita on enemmän oman liiketoiminnan kehittämisen vaihtoehdoissa kuin hyödyntämisen ulkoistamisen vaihtoehdoissa. Taulukkoon 16 on koottu yhteenveto eri vaihtoehtoihin liittyvistä jatkoselvitystarpeista. Selvitykset ja toimenpiteet, jotka ovat Lahti Energian itse toteutettavia ja tulisi tehdä ensimmäisenä, on lihavoitu.

Keskeinen selvitystarve, joka liittyy kaikkiin lannoituskäytön ratkaisuihin lukuun ottamatta tuhkan luovuttamista lannoitevalmistajalle, on tuhkalannoitteen kysyntäpotentiaali ja markkinat lähialueilla. Kysynnän selvittämisen voi toteuttaa myös mahdollinen yhteistyökumppani, mutta Lahti Energian on tärkeää huomioida päätöksenteossa eri vaihtoehtoihin liittyvä mahdollinen kysyntä. Erityisen keskeinen tekijä on se, että Päijät-Hämeessä metsät ovat pääasiassa kivennäismetsiä. Jotta tuhkalannoitteille voisi olla merkittävää kysyntää lähialueilla, tulisi tuhkan käsittelyratkaisun mahdollistaa typen lisääminen tuhkaan. Esimerkiksi tuhkan itsekovetusmenetelmällä ja rakeistusyrityksen laitteistolla tämä ei tällä hetkellä ole mahdollista ja näissä ratkaisuvaihtoehdoissa kysyntä tuhkalle pitäisi löytää kauempaa.

Vaihtoehtoihin liittyvien jatkoselvitysten lisäksi Lahti Energian kannattaa seurata markkinoiden ja erityisesti toimijakentän ja liiketoiminnan kehitystä. Tällä hetkellä kehitteillä on joitakin uusia ratkaisuja ja liiketoiminnan muotoja. Tuhkan hyödyntämisen parissa on ollut toimijakentän vaihtuvuutta, sillä toiminnan saaminen kannattavaksi on haastavaa. Siksi Kymijärvi III -laitoksen käyttöönottoon mennessä voi ehtiä tapahtua merkittäviäkin muutoksia.

Taulukko 16. Eri ratkaisuvaihtoehtoihin liittyvät jatkoselvitystarpeet ja toimenpiteet.

Ratkaisuvaihtoehto	Jatkoselvitystarpeet ja toimenpiteet
Tuhkan luovuttaminen lannoitevalmistajalle	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ei varsinaisia jatkoselvitystarpeita ennen sopimuksista neuvottelemista</li> </ul>
Itsekovetettu tuhka lannoituskäyttöön	<ul style="list-style-type: none"> <li>(Tuhkalannoituksen potentiaalinen kysyntä ja markkinat)</li> <li><b>Tekninen toteutus ja itsekovetuksen tilantarve</b></li> </ul>
Voimalaitosrakeistamo – kokonaispalvelu	<ul style="list-style-type: none"> <li>(Tuhkalannoituksen potentiaalinen kysyntä ja markkinat)</li> </ul>
Voimalaitosrakeistamo – oma liiketoiminta	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tuhkalannoituksen potentiaalinen kysyntä ja markkinat</li> <li><b>Mahdollisten laitetuimittajien ja tarjolla olevien ratkaisujen tarkempi kartoitus</b></li> <li>Investointi- ja kustannuslaskelmat ja kannattavuusarviot</li> </ul>
Polttoainetoimittaja kumppanina	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tuhkalannoituksen potentiaalinen kysyntä ja markkinat</li> <li>Polttoainetoimittajien mahdolliset terminaali-alueet ja ratkaisut tuhkan käsittelyyn</li> <li><b>Keskustelun jatkaminen polttoainetoimittajien mahdollisista rooleista tuhkan hyödyntämisessä</b></li> <li>Investointi- ja kustannuslaskelmat ja kannattavuusarviot</li> </ul>
Alueellinen kiertotaloushanke	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tuhkalannoituksen potentiaalinen kysyntä ja markkinat</li> <li>Mahdolliset kehitteillä olevat tekniset ratkaisut ja teknologiat erityisesti tuhkan ja lietteen yhdistämiseen</li> <li>Vaihtoehtoiset rahoitus- ja toteutusmallit jalostamon toteutukseen</li> <li>Investointi- ja kustannuslaskelmat ja kannattavuusarviot</li> </ul>
Maarakennuskäyttö	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Lähialueilla suunnitteilla olevien potentiaalisten hankkeiden kartoitus</b></li> </ul>

Jatkoselvitykset kannattaa mahdollisuuksien mukaan toteuttaa ennen Kymijärvi III-laitoksen käyttöönottoa. Varsinaisia investointipäätöksiä tai sopimuksia ei voida tehdä, ennen kuin tuhkaa on alkanut muodostua ja sen laatu ja ominaisuudet on tutkittu. Siksi vasta laitoksen käyttöönoton jälkeen voidaan toteuttaa lopullinen vaihtoehtojen vertailu ja mahdollisten sopimusten kilpailutus. Koska nämä vaiheet vievät aikaa, Lahti Energian kannattaa mahdollisesti aluksi valita jokin tuhkan hyödyntämisen ulkoistamisen vaihtoehtoista tai etsiä tuhkalle maarakennuskäyttökohteita, mikäli tuhka osoittautuu laadultaan hyötykäyttöön soveltuvaksi. Oman liiketoiminnan tai uudenlaisten ratkaisujen kehittämiseksi saadaan aikaa, jos aluksi valitaan vaihtoehto, joka on sopimuskäytännöltään joustava eikä vaadi investointeja. Yksinkertaisin tällainen vaihtoehto on tuhkan toimittaminen lannoitevalmistajalle. Itsekovetettu tuhka ja maarakennuskäyttö taas saattavat olla kustannuksiltaan edullisempia vaihtoehtoja, mutta ne sitovat hiukan enemmän resursseja.

Viime kädessä tuhkan laatu ratkaisee sen mahdolliset hyödyntämiskohteet, ja tärkeintä on löytää ratkaisu, johon tuhka laadultaan soveltuu. Käyttökohteen tulisi olla sellainen, että tuhka paitsi täyttää lainsäädännön kriteerit, tuo myös loppukäyttäjälle todellista arvoa: esimerkiksi ravinnepitoisuus metsälannoituskäytössä ja hyvät tekniset

ominaisuudet maarakennuskäytössä. Vain tällä tavoin tuhkalle on riittävä kysyntää ja sen hyödyntäminen kustannustehokkaasti on pitkällä tähtäimellä kestävä ja kustannustehokasta.

## 9.2 Tulosten laajempi merkitys ja sovellettavuus

Tämän tutkimuksen empiirinen osa oli tapaustutkimus, jonka tavoitteena oli selvittää mahdollisia ratkaisuja ja liiketoimintamalleja Lahti Energian Kymijärvi III -lämpölaitoksen tuhkan hyödyntämiselle, selvittää mitä näiden vaihtoehtojen toteuttaminen vaatii ja kuinka ne vertautuvat Lahti Energian hyödyntämisratkaisun valintakriteerien näkökulmasta. Tapaustutkimuksen tulokset ovat suoraan sovellettavissa vain tutkimuksen kohteena olleessa yrityksessä.

Kirjallisuustutkimus tarjoaa kuitenkin tilannekatsauksen tuhkan hyödyntämiseen tarjolla olevien ratkaisujen nykytilanteeseen Suomessa. Haastatteluiden tulokset tuovat myös uutta tietoa käytössä olevien tuhkan hyödyntämisen liiketoimintaverkostojen muodostumisesta ja toimijoiden erilaisista mahdollisista rooleista niissä. Lisäksi tapaustutkimus tarjoaa näkökulmia lähestymistavoista uusien käyttökohteiden kartoittamiseksi puuperäiselle tuhkalle esimerkiksi uuden laitoksen suunnittelu- ja investointivaiheessa.

Kiinnostusta puun ja turpeen tuhkan hyödyntämiseen on koko Suomessa yhä enemmän biopolttoaineiden käytön kasvaessa. Kuljetuskustannusten merkittävyyden vuoksi tuhkan hyödyntämisratkaisut ovat alueellisia ja eri ratkaisujen soveltuvuus riippuu monista toimintaympäristön tekijöistä, kuten tuhkan tuottajien määrästä ja tuhkavolyymeistä, metsäalasta ja -tyypeistä ympäröivällä alueella, sekä alueen muista toimijoista ja sidosryhmistä. Aiemmin tuhkan alueellista hyödyntämispotentiaalia on selvitetty muun muassa Itä-Suomessa (Soininen, 2010) ja Pohjois-Pohjanmaalla (Jutila, 2012). Tämän tutkimuksen toteutuksen aikaan Puu ja tuhka -tutkimushankkeessa selvitettiin tuhkan hyödyntämisratkaisuja Etelä-Suomessa ja Joensuun seudulla oli käynnissä toinen alueellinen tuhkan hyödyntämisen tutkimushanke.

Tsvetkova ja Gustafsson (2012) ovat kehittäneet modulaarisen mallin, jolla voidaan havainnollistaa sivuvirtojen hyödyntämiseen perustuvan toimitusketjun erilaisia toteutusvaihtoehtoja ja helpottaa niiden soveltamista paikallisiin olosuhteisiin ja toimintaympäristöihin. Tässä tutkimuksessa tuhkan hyödyntämisen toimitusketjun vaihtoehtoja Lahti Energian tapauksessa havainnollistettiin modulaarisen mallin avulla. Mallin soveltaminen tuhkan hyödyntämisratkaisujen alueelliseen kehittämiseen voisi olla kiinnostava tarkemman tutkimuksen aihe. Malli voisi olla hyödyllinen työkalu toimitusketjun muodostamisen vaihtoehtojen analysointiin, alueellisten kiertotalousratkaisujen mahdollisuuksien tunnistamiseen sekä liiketoimintamallien soveltamiseen ulkoisen toimintaympäristön tekijöiden mukaan.

Yleisellä tasolla tuhkan hyödyntämiseen liittyviä keskeisiä jatkotutkimuksen kohteita ovat tuhkan ja lietteen yhdistäminen, tuhkalannoitteiden jalostaminen kivennäismaille soveltuviksi sekä tuhkan metsään palautuksen logistiikan entistäkin tehokkaampi toteutus. Näitä teemoja on tutkittu vuosia, mutta niihin liittyy yhä monia ratkaisemattomia haasteita. Tuhkalannoitteiden suuremmat tarvittavat levitysmäärät kemiallisiin lannoitteisiin verrattuna saavat aikaan sen, että kuljetus- ja levityskustannukset muodostuvat merkittäväksi tuhkalannoitteiden kilpailukyvyyn esteeksi. Lisäksi erityisesti Etelä-Suomessa tuhkaliiketoiminnan kehittäminen kannattavaksi edellyttäisi typen lisäämiseen liittyvän haasteen ratkaisemista.

Lisäksi olisi hyödyllistä selvittää tuhkan hyödyntämiseen liittyviä ympäristöpoliittisia ohjauskeinoja, ja niiden mahdollisia vaikutuksia tuhkan hyödyntämiseen. Tällä hetkellä tuhkan hyödyntämistä ohjaa voimakkaasti kaatopaikkavero, ja toisaalta sitä rajoittavat lainsäädännön pitoisuus- ja liukoisuusrajat ja muut määräykset. Mikäli ravinteiden kierrätystä takaisin metsään tuhkan muodossa halutaan edistää, tulisi pyrkiä vaikuttamaan siihen, että tällä hetkellä tuhkalannoitteita on vaikea saada kilpailukykyisiksi kemiallisten lannoitteiden kanssa.

Myös tuhkan eri hyödyntämis- tai loppusijoitusvaihtoehtojen elinkaarisia ympäristövaikutuksia olisi syytä vertailla. Elinkaarianalyysi olisi tarpeen sen selvittämiseksi, mikä on aidosti ympäristöystävällisin ratkaisu tuhkan loppusijoitukselle tällä hetkellä mahdollisten vaihtoehtojen valossa. Tällaisen tutkimuksen valossa voitaisiin myös arvioida tuhkan eri käyttökohteiden lainsäädännöllisiä haitta-ainepitoisuuksien rajoja ja sitä, mitä hyödyntämismuotoja ohjauskeinoilla kannattaa tukea ja edistää.

### **9.3 Tutkimuksen luotettavuuden arviointi**

Tutkimus koostui kirjallisuuskatsauksesta ja empiirisestä osasta. Kirjallisuusosassa käytiin läpi keskeinen kirjallisuus tuhkasta materiaalina ja tuhkan hyödyntämisen teknisistä ratkaisuista, sekä tuhkien hyödyntämiseen vaikuttava lainsäädäntö. Lisäksi tarkasteltiin yleisemmällä tasolla liiketoimintamallien ja -verkostojen teoriaa sekä teollisten symbioosien ja kierrätysliiketoiminnan kirjallisuutta, ja kartoitettiin tuhkan hyödyntämisen toimijoiden ja liiketoimintaratkaisujen tämänhetkinen tilanne Suomessa yritysten Internet-sivujen ja uutisten pohjalta.

Tutkimuksessa käsitelty aineisto kattaa merkittävimmän tuhkan hyödyntämiseen liittyvän peruskirjallisuuden sekä viimeaikaisia tutkimustuloksia. Työssä tuhkan hyödyntämismuotojen tarkempi tarkastelu rajattiin lannoitus- ja maarakennuskäyttöön, ja muita mahdollisia käyttökohteita käsiteltiin lyhyesti kirjallisuusosassa. Pääosin tuhkan lannoituskäytön ja maarakentamisen ratkaisuja

käsitlevä aineisto on Suomessa ja jonkin verran Ruotsissa toteutetuista selvityksistä, sillä muualla toteutetut tutkimukset eivät osoittautuneet relevanteiksi tämän tutkimuksen kannalta. Erityisesti tuhkan lannoituskäytössä Suomi ja Ruotsi ovat edelläkävijöitä, ja muualla Euroopassa tehdyissä tutkimuksissa viitataan paljon juuri tämän työn aineiston käytettyihin pohjatutkimuksiin. Lisäksi maiden väliset erot lainsäädännön kriteereissä ja muissa ulkoisen toimintaympäristön tekijöissä vähentävät hyödyntämiskäytösten vertailtavuutta maiden välillä.

Tuhkan hyödyntämisen tutkimusta on toteutettu huomattava määrä opinnäytteinä, joiden lukumäärä aineistossa on siksi suuri. Aineistoon sisältyy myös merkittävä määrä Internet-lähteitä, joista koottu tieto ei ole täysin objektiivista vaan toimittajien näkemyksiä ja yritysten omaa kuvausta toiminnastaan. Tietoihin on siksi suhtauduttava kriittisesti. Tämän aineiston tarkoitus oli muodostaa kuva tuhkan hyödyntämisen toimijakentästä Suomessa, mutta esimerkiksi eri ratkaisujen kannattavuudesta, kustannusrakenteesta ja toimivuudesta ei voida aineiston pohjalta muodostaa johtopäätöksiä.

Empiirinen osa koostui sidosryhmätyöpajasta, 15 haastattelusta ja tunnistettujen ratkaisuvaihtoehtojen vertailusta SWOT-analyysin avulla. Haastattelututkimuksen luotettavuutta lisää haastattelukysymysten ja haastattelurungon valmistelu etukäteen. Sidoryhmähaastatteluissa haastattelukysymykset olivat tosin vain suuntaa antavia. Kysymyksiä muotoiltiin uudelleen haastattelun kulun mukaan. Haastatteluissa ja seminaarissa nousi esiin samoja, toistuvia teemoja esimerkiksi yritysten rooleista ja ratkaisujen onnistumisen kriteereistä, mikä kertoo tutkimuksen luotettavuudesta. Laajempi otanta haastatteluissa olisi lisännyt tulosten luotettavuutta, mutta ei ollut tämän työn laajuuden puitteissa mahdollinen.

Haastateltavien valinta toteutettiin osittain yhteistyössä Lahti Energian edustajien kanssa. Mahdollisten haastateltavien ja haastatteluteemojen matriisi tuki mahdollisimman edustavan haastatteluotannon valintaa. Haastateltavat eivät kata kaikkia mahdollisia Lahti Energian sidoryhmiä ja kumppaneita tuhkan hyödyntämisessä, mutta keskeiset ratkaisumallit ja eri sidoryhmien mahdolliset roolit saatiin niiden pohjalta hyvin hahmoteltua.



## 10 Yhteenveto

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli kartoittaa mahdollisia hyödyntämiskäytöksiä Lahti Energian Kymijärvi III -lämpölaitoksen biotuhkalle. Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään, mitä ovat tuhkan mahdolliset käyttökohteet sekä niiden toteuttamiseen liittyvät kriteerit ja vaihtoehtoiset liiketoimintamallit. Tavoitteena oli myös analysoida eri ratkaisuvaihtoehtojen toteutuskelpoisuutta ja soveltuvuutta Lahti Energian tarpeisiin. Biopolttoaineiden käytön kasvaessa kiinnostus tuhkan hyödyntämiseen on noussut. Tuhkan hyödyntämisen teknisiä ratkaisuja on aiemmin tutkittu paljon. Vakiintuneimpia käyttökohteita ovat metsälannoitus ja maarakentaminen. Tuhkan hyödyntämisen liiketoimintamalleista aiempaa tutkimustietoa on vähän.

Tutkimus toteutettiin kirjallisuusselvityksen, sidosryhmäseminaarin ja haastatteluiden avulla. Kirjallisuustutkimuksessa käytiin läpi tuhkan hyödyntämiseen liittyvä lainsäädäntö ja tekniset ratkaisut sekä koottiin tilannekatsaus tuhkan hyödyntämiseen tarjolla oleviin ratkaisuihin ja toimijakenttään Suomessa. Haastatteluilla kartoitettiin tuhkan tuottajien käytössä olevia hyödyntämiskäytöksiä ja niihin liittyviä liiketoimintaverkostoja sekä Lahti Energian sidosryhmien kiinnostusta ja valmiuksia yhteistyöhön tuhkan hyödyntämisen kehittämisessä. Tulosten pohjalta muodostettiin Lahti Energialle ratkaisuvaihtoehdot, joita vertailtiin SWOT-analyysin avulla.

Sivuvirtojen hyödyntämisen liiketoiminta perustuu tyypillisesti useiden eri toimijoiden muodostamiin arvonaluontisysteemeihin. Myös tuhkan hyödyntämisessä on suuri merkitys sillä, millainen liiketoimintaverkosto hyödyntämisen toteuttamiseksi on muodostettu. Tässä tutkimuksessa haastatteluilla tuhkan tuottajilla oli hyvin erilaisia liiketoimintaverkostoja. Haastateltavien mukaan sopivien yhteistyökumppanien löytäminen ja onnistunut verkostonhallinta ovat ratkaisevan tärkeintä hyödyntämisen onnistumisen kannalta.

Lahti Energian vaihtoehtoja tuhkan hyödyntämisen toteuttamiseen ovat ulkoistaa hyödyntäminen tai kehittää hyödyntämiskäytöksiä ja tuhkaliiketoimintaa itse tai yhteistyökumppanien kanssa. Hyödyntäminen voidaan ulkoistaa luovuttamalla tuhka lannoitevalmistajalle, toimittamalla tuhkaa itsekovetettuna lannoituspalveluyrittäjän kautta metsälannoitukseen tai ostamalla rakeistusyritykseltä hyödyntämisen kokonaispalvelu. Oman liiketoiminnan kehittämisen vaihtoehtoja ovat voimalaitosrakeistamoon investointi, yhteistyö polttoainetoimittajan kanssa ja tuhkan hyödyntämisen kehittäminen osana alueellista kiertotaloushanketta.

Hyödyntämisen ulkoistamisen ratkaisut ovat yksinkertaisempia ja ne sitovat vähemmän Lahti Energian omia resursseja. Niihin liittyy kuitenkin epävarmuutta kustannuksista, tuhkan kysynnästä ja kumppanin toiminnan jatkuvuudesta. Omien

hyödyntämiskäytön kehittämiseen liittyy riskejä toiminnan kannattavuudesta ja tuhkan kysynnästä, mutta toisaalta erityisesti yhteistyöhön polttoainetoimittajien kanssa ja alueelliseen kiertotaloushankkeeseen liittyy myös merkittävää liiketoimintapotentiaalia ja tulevaisuuden mahdollisuuksia.

Myös tuhkan maarakennuskäyttö on Lahti Energialle todennäköinen vaihtoehto lannoituskäytön lisäksi tai sen rinnalle. Haastatelluista tuhkan tuottajista kaikki toimittivat tuhkaa myös maarakennuskäyttöön lannoituskäytön lisäksi. Useampi eri käyttökohde on tarpeen tuhkan laadun vaihtelun ja lannoituskäytön kysynnän vaihteluiden vuoksi.

Hyödyntämiskäytön valitsemiseksi Lahti Energian tulee arvioida, mitkä valintaperusteet painavat eniten. Eri ratkaisuvaihtoehtoihin liittyy erilaisia jatkoselvitystarpeita. Erityisesti mahdollisten omien lannoituskäytön ratkaisujen kehittäminen vaatii laajempaa tutkimus- ja kehitystyötä. Keskeistä näissä vaihtoehtoissa on ratkaista, kuinka tyyppiä voitaisiin lisätä tuhkalannoitteisiin. Päijät-Hämeessä metsät ovat pääasiassa kivennäismaita, joten merkittävää kysyntää on vain tyyppipitoisille metsälannoitteille. Lopullinen käyttökohde voidaan ratkaista vasta, kun tuhkan laatu on selvillä.

## Lähteet

Alakangas, E.; Kurki-Suonio, K.; Tikka, T. & Fredriksson, T. 2014. Käytöstä poistetun puun luokittelun soveltaminen käytäntöön – VTT-M-01931-14. Jyväskylä, Suomi: Bioenergia ry., Energiateollisuus ry., Metsäteollisuus ry. [Viitattu 8.6.2017]. Saatavissa: <https://www.metsateollisuus.fi/uploads/2017/03/30025340/5097.pdf>.

Aluehallintovirasto – Länsi- ja Sisä-Suomi. 2014. Ympäristölupapäätös Nro 154/2014/1.

Aluehallintovirasto – Etelä-Suomi. 2016. Ympäristölupapäätös Nro 175/2016/1.

Anttila, H. 2008. Polttoainekoostumuksen vaikutus lentotuhkan laatuun ja hyötykäyttömahdollisuuksiin UPM-Kymmene Oyj:n Kaukaan tehtailla. [Verkkodokumentti]. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Teknillinen tiedekunta, Energia- ja ympäristötekniikan osasto. Lappeenranta. [Viitattu 26.4.2017] Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe200805151395>.

Bocken, N.; Short, S.; Rana, P. & Evans, S. 2014. A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. *Journal of Cleaner Production*. [Verkkolehti] Vol. 65. S. 42-56. [Viitattu: 26.5.2017] ISSN: 0959-6526. Saatavissa: DOI:/10.1016/j.jclepro.2013.11.039.

Chesbrough, H. & Rosenbloom, R. 2002. The role of business model in capturing value from innovation: evidence from Xerox Corporation's technology spin-off companies. *Industrial and Corporate Change*. [Verkkolehti]. Vol. 11:3. S. 529-555. [Viitattu 26.5.2017]. Saatavissa: DOI:10.1093/icc/11.3.529.

Cursor Oy. 2017. BioA - Lannoitetehtas [Verkkoaineisto]. [Viitattu 26.5.2017]. Saatavissa: <http://bioa.fi/lannoitetehtas/>.

Demeyer, A., Nkana, J. & Verloo, M. 2001. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. *Bioresource Technology*. [Verkkolehti] Vol. 77:3. S. 287-295. [Viitattu 26.5.2017]. ISSN: 0960-8524, Saatavissa: DOI:10.1016/S0960-8524(00)00043-2.

Ecolan Oy. 2017. Ministeri Lintilä avaa Nokian tuotantolaitoksen 20.3.2017 [Verkkoaineisto]. [Viitattu 26.5.2017]. Saatavissa: <http://ecolan.fi/fi/uutiset/ministeri-lintila-avaa-ecolan-oy-nokian-laitoksen-2032017/>.

Ehrenfeld, J. & Chertow, M. 2002. Industrial symbiosis: The legacy of Kalundborg. Teoksessa Ayres, & Ayres., L. (toim) *A Handbook of Industrial Ecology*. Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing Ltd. S. 334-348. [Viitattu 26.5.2017] ISBN: 9781840645064 (sähköinen). Saatavissa: <https://www.dawsonera.com/abstract/9781843765479>.

Energiateollisuus. Ympäristö ja kestävä kehitys: Polton sivutuotteet [Verkkoaineisto]. [Viitattu 26.5.2017] Saatavissa: <http://188.117.57.25/energia-ja-ymparisto/ymparisto-ja-kestava-kehitys/ymparistovaikutukset/polton-sivutuotteet>.

Forest Vital Oy. 2017. Yrityksemme [Verkkoaineisto]. [Viitattu 26.5.2017] Saatavissa: <http://www.forestvital.com/yritys.html>.

Fortum. 2016. Paikallinen mediatiedote Porissa: Mäntyluotoon suunniteltu tuhkalostamo vähentää kemikaalien käyttöä ja tuhkan kaatopaikkausta [Verkkouutinen 10.6.2016]. [Viitattu 26.5.2017]. Saatavissa: <http://wastesolutions.fortum.com/fi/media/uutiset/paikallinen-mediatiedote-porissa/>.

Hämäläinen, K. 2014. Cleantech Invest listautuu - kaikuja teknokuplasta. Taloustaito. [Verkkouutinen 21.5.2014]. [Viitattu 26.5.2017]. Saatavissa: <https://www.taloustaito.fi/Sijoitukset/Karon-porssiviikko/Cleantech-Invest-listautuu--kaikuja-teknokuplasta/>.

Huotari, N. 2010. Tuhkan käyttö metsälannoitteena. Vammala, Suomi: Metsäntutkimuslaitos. 48 s. [Viitattu 3.6.2017]. ISBN 978-951-40-2370-5 (nid.) ISBN 978-951-40-2371-2 (sähköinen). Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/isbn/978-951-40-2371-2/tuhkan-kaytto-metsalannoitteena.pdf>.

Illikainen, M. 2013. Uutta liiketoimintaa jätteestä - tuhkien modifiointi ja geopolymerisointi. Tuhkasta timantteja - Liiketoimintaa teollisista sivutuotteista ja puhtaasta energiasta. Peittoon kierrätyspuisto –hanke 20.8.2013. Oulu: Oulun yliopisto, Kuitu- ja partikkelitekniikan laboratorio. [Viitattu 3.6.2017]. Saatavissa: <http://www.prizz.fi/sites/default/files/asiakaskuvat/Siirretyt%20Prizztech/Energia/Peitto/Illikainen.pdf>.

Isännäinen, S., Rinne, S., Järvelä, E. & Lindh, T. 2006. Tuhkan käyttö metsälannoitevalmisteena. [Tiedote]. EU for Life -ohjelma, RecAsh-hanke. [Viitattu 3.6.2017]. Saatavissa: [https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/pictures/tuhka\\_metsalannoitteena\\_vtt.pdf](https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/pictures/tuhka_metsalannoitteena_vtt.pdf).

Jutila, T. 2012, Tuhkan rakeistaminen Pohjois-Pohjanmaalla. Oulu, Suomi: Ramboll. [Viitattu 3.6.2017]. Saatavissa: [http://www.metla.fi/hanke/7464/pdf/Tuhkan-rakeistaminen-P-Pohjanmaalla-15082012\\_Valmis.pdf](http://www.metla.fi/hanke/7464/pdf/Tuhkan-rakeistaminen-P-Pohjanmaalla-15082012_Valmis.pdf).

Jylhänlehto, S. 2017. Metsäyhtiön voimalaitostuhka muuttui jätteestä lannoitteeksi ja kiertää nyt takaisin metsään. Maaseudun Tulevaisuus. [Verkkouutinen 6.4.2017]. [Viitattu 26.5.2017]. Saatavissa: <http://www.maaseuduntulevaisuus.fi/mets%C3%A4/mets%C3%A4yhti%C3%B6n-voimalaitostuhka-muuttui-j%C3%A4tteest%C3%A4-lannoitteeksi-ja-kiert%C3%A4nyt-takaisin-mets%C3%A4n-1.184332>.

Karikorpi, J. 2013. Karhulan biolämpölaitoksen lentotuhkan hyötykäyttövaihtoehdot Kotkan Energia Oy:lle. [Verkkodokumentti]. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, Metsätalouden koulutusohjelma. Kotka. 72 s. + liitteet. [Viitattu 3.6.2017]. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/64641>.

Kasanen, E., Lukka, K., & Siitonen, A. 1991. Konstruktiivinen tutkimusote liiketaloustieteessä. Liiketaloudellinen aikakauskirja. [Valokopioitu artikkeli]. Vol. 40:3. S. 301-329.

Kasanen, E.; Lukka, K. & Siitonen, A. 1993. The Constructive Approach in Management Accounting Research. Journal of Management Accounting Research. [Valokopioitu artikkeli]. Vol 5. S. 241-264.

Kinnunen, P., Yliniemi, J., Talling, B. & Illikainen, M. 2016. Rockwool waste in fly ash geopolymer composites. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. [Verkkolehti]. S. 1-8. [Viitattu 26.5.2017]. ISSN: 14384957 (sähköinen). Saatavissa: DOI:10.1007/s10163-016-0514-z.

Kiviniemi, O., Sikiö, J., Jyrävä, H., Ollila, S., Autiola, M., Ronkainen, M., Lindroos, N., Lahtinen, P. & Forsman, J. 2012. Tuhkarakentamisen käsikirja. [Verkkajulkaisu]. Luopioinen, Suomi: Ramboll. [Viitattu 26.5.2017]. Saatavissa: [http://projektit.ramboll.fi/tuhkarakentaminen/tuhkarakentamisen\\_kasikirja.pdf](http://projektit.ramboll.fi/tuhkarakentaminen/tuhkarakentamisen_kasikirja.pdf).

Kiviniemi, S. 2016. Rakeistus Oy - We are experts in granulation of ash. [Presentaatio]. Centre for Environment and Energy. Saatavissa: [http://www.cee.fi/wp-content/uploads/2016/03/Sakari\\_Kiviniemi\\_Rakeistus-Oy-CEE-esitys-15-3-2016.pdf](http://www.cee.fi/wp-content/uploads/2016/03/Sakari_Kiviniemi_Rakeistus-Oy-CEE-esitys-15-3-2016.pdf)

Kiviniemi, S. 2017. Rakeistus Oy. Suullinen tiedonanto. Puu ja tuhka –seminaari 23.3.2017.

Korona Invest Oy. 2016. Ecolan rakentaa 130 000 tonnin tuhkan rakeistamolaitoksen Nokialle. [Verkkouutinen 17.8.2016]. [Viitattu 26.5.2017] Saatavissa: <http://www.koronainvest.fi/ajankohtaista/258-ecolan-rakentaa-130-000-tonnin-tuhkan-rakeistamolaitoksen-nokialle>.

Korpijärvi, K., Mroueh, U., Merta, E., Laine-Ylijoki, J., Kivikoski, H., Järvelä, E., Wahlström, M. & Mäkelä, E. 2009. VTT Tiedotteita 2499: Energiantuotannon tuhkien jalostaminen maarakennuskäyttöön. Espoo, Suomi: VTT. [Viitattu 26.5.2017]. ISSN 1235-0605 (painettu). ISSN: 1455-0865 (sähköinen). Saatavissa <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2499.pdf>.

Korpilahti, A. 2004. Puu- ja turvetuhkan analysointi ja analyysituloksia. Helsinki, Suomi: Metsäteho Oy. 26 s. Metsätehon raportti 172. [Viitattu 3.6.2017]. Saatavissa: [http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon\\_raportti\\_172.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_172.pdf).

Korpilahti, A. 2003. Tuhkan esikäsittely metsäkäyttöä varten. Helsinki, Suomi: Metsäteho Oy. 19 s. Metsätehon raportti 143. [Viitattu 3.6.2017]. Saatavissa: [https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/pictures/tuhkan\\_esikasittely\\_metsateho\\_2003.pdf](https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/pictures/tuhkan_esikasittely_metsateho_2003.pdf).

Kouvolan Sanomat. 2010. LT-Tuhkimo Oy ajautui konkurssiin. [Verkkouutinen 26.10.2010]. [Viitattu 26.5.2017]. Saatavissa: <http://www.kouvolansanomat.fi/Online/2010/10/26/LT-Tuhkimo+Oy+ajautui+konkurssiin/201029919008/4>.

Kurola, J., Arnold, M., Kontro, M., Talves, M. & Romantschuk, M. 2011. Wood ash for application in municipal biowaste composting. *Bioresource Technology*. [Verkkolehti]. Vol. 102:8. S. 5214-5220. [Viitattu 26.5.2017] ISSN 0960-8524 (sähköinen). Saatavissa: DOI:10.1016/j.biortech.2011.01.092.

Lahti Energia, 2017. Tuhkat vuosiraportoinnissa 2016. [Julkaisematon tieto].

- Laine-Ylijoki, J., Wahlström, M., Peltola, K., Pihlajaniemi, M. & Mäkelä, E. 2002. Seospolton tuhkien koostumus ja ympäristölaadunvarmistusjärjestelmä. Espoo, Suomi: VTT. VTT tiedotteita 2141. 51 s + liitteet. [Viitattu 3.6.2017]. ISBN 951-38-5891-X (nid.) ISBN 951-38-5892-8 (sähköinen). Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2141.pdf>
- Lindh, T., Isännäinen, S., Mursunen, H., Rantala, P.-., Ollila, S. & Kaunisto, S. 2001. Metsäteollisuuden tuottaman tuhkan ja biolietteen käsittely metsälannoitteeksi. Jyväskylä, Suomi: VTT Energia. 57 s. + liitteet. VTT Energian raportteja 10/2001. [Viitattu 3.6.2017]. ISSN 1457-3350. Saatavissa: [http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2001/enerap\\_10\\_2001.pdf](http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2001/enerap_10_2001.pdf)
- Lukka, K. & Tuomela, T-S. 1998. Testattuja ratkaisuja liikkeenjohdollisiin ongelmiin: konstruktiiivinen tutkimusote. Yritystalous. [Valokopioitu artikkeli]. Vol. 56: 4. S. 23-29.
- Magretta, J. 2002. Why Business Models Matter. Harvard Business Review. [Verkkolehti]. Vol. 80:5. S. 86-92. [Viitattu 26.5.2017]. ISSN: 00178012 (sähköinen). Saatavissa: <https://search.proquest.com/docview/227775938?accountid=27468>.
- Makkonen, T. 2008. Tuhkalannoitus. Porvoo, Suomi: Metsäkustannus Oy. 30 s. Hyvän metsänhoidon opassarja 2008. [Viitattu 3.6.2017]. ISBN 978-952-5694-36-9. Saatavissa: [https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/pictures/tuhkalannoitus\\_tapio\\_2008\\_pakattu.pdf](https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/pictures/tuhkalannoitus_tapio_2008_pakattu.pdf).
- Mälkönen, E. 1996. Tuhka kangasmetsien lannoitteena. Teoksessa Finer, L., Leinonen, A. & Jauhiainen, J. (toim.) Puun ravinteet tuhkana takaisin metsään? Keski-Suomen ympäristökeskuksen ja Metsäntutkimuslaitoksen järjestämä tutkimusseminaari Jyväskylässä. Metsäntutkimuslaitos, Joensuu. S. 21-26. [Viitattu 26.5.2017]. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1508-8>.
- Matilainen, M. 2016. Metsäteollisuuden sivuvirrat - Hyödyntämisen haasteet ja mahdollisuudet. [Presentaatio]. GES-verkostotapaaminen 24.2.2016. [Viitattu 6.4.2017]. Saatavissa: [http://www.wirma.fi/sites/default/files/metsateollisuuden\\_sivuvirrat\\_24022016.pdf](http://www.wirma.fi/sites/default/files/metsateollisuuden_sivuvirrat_24022016.pdf).
- Matilainen, M., Pisto, S., Rinnepelto, P. & Kinnunen, N. 2013. Metsäteollisuuden ravinteet - Metsäteollisuuden sivuvirtojen hyödyntäminen lannoitevalmisteina. Joensuu, Suomi: Apila Group Oy Ab. [Viitattu 3.6.2017]. Saatavissa: <http://www.apilagroup.fi/wp-content/uploads/2016/06/Metsäteollisuuden-ravinteet-Selvitys.pdf>.
- Metsä Group. 2017. Metsä Groupin sivuvirtoja hyödynnetään monella arvokkaalla tavalla. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 26.5.2017]. Saatavissa: <http://www.metsagroup.com/fi/Media/Pages/Case-arvokkaat-sivuvirrat.aspx>.
- Mikkola, A. 2012. Rakeistuslaitos tiivistää tuhkapölystä lannoitepapanoita. Kaleva. [Verkkouutinen 19.6.2012]. [Viitattu 26.5.2017]. Saatavissa: <http://www.kaleva.fi/uutiset/talous/rakeistuslaitos-tiivistaa-tuhkapolyista-lannoitepapanoita/597061/>.

Miller, B. 2011. Emissions control strategies for power plants. Teoksessa Miller, B. (toim) Clean coal engineering technology. S. 375-481. [Viitattu 26.5.2017]. ISBN 9781856177108 (sähköinen). Saatavissa: DOI:10.1016/B978-1-85617-710-8.00009-1.

Moilanen, M. & Issakainen, J. 2003. Puu- ja turvetuhkien vaikutus maaperään, metsäkasvillisuuden alkuainepitoisuuksiin ja puuston kasvuun. Helsinki: Metsäteho Oy. 91 s. Metsätehon raportti 162. [Viitattu 3.6.2017]. Saatavissa: [https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/pictures/puu- ja\\_turveuhkan\\_vaikutukset\\_maaperaan\\_kasvillisuuteen\\_ja\\_puuston\\_kasvuun\\_metsateho\\_2003.pdf](https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/pictures/puu- ja_turveuhkan_vaikutukset_maaperaan_kasvillisuuteen_ja_puuston_kasvuun_metsateho_2003.pdf)

Moilanen, M. & Issakainen, J. 2000. Tuhkalannoituksen metsävaikutukset. Helsinki: Metsäteho Oy. 38 s. Metsätehon raportti 93. [Viitattu 3.6.2017]. Saatavissa: [https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/pictures/tuhkalannoituksen\\_metsavaikutukset\\_metsateho\\_2000.pdf](https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/pictures/tuhkalannoituksen_metsavaikutukset_metsateho_2000.pdf)

Mäkinen, J. 2015. Lämpövoimalaitoksen lento- ja pohjatuhkan kustannustehokas hyötykäyttö. [Verkkodokumentti]. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu, Liiketalouden koulutusohjelma. 50 + 2 s. [Viitattu 21.6.2017]. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201502172324>

Möller, K., Rajala, A. & Svahn, S. 2005. Strategic business nets - their type and management. Journal of Business Research. [Verkkolehti]. Vol. 58:9. S. 1274-1284. [Viitattu 29.5.2017]. ISSN 0148-2963 (sähköinen). Saatavissa: DOI:doi.org/10.1016/j.jbusres.2003.05.002.

Mroueh, U., Wahlström, M., Laine-Ylijoki, J. & Mäkelä, E. 2006. Tausta-aineistoa "Valtioneuvoston asetuksen eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa" valmistelua varten. Helsinki, Suomi: VTT. [Viitattu 8.6.2017]. Saatavissa: <http://docplayer.fi/36449232-Tausta-aineistoa-valtioneuvoston-asetuksen-eraiden-jatteiden-hyodyntamisesta-maarakentamisessa.html>.

Napapiirin Energia ja Vesi. 2017. Ympäristöpäämäärät ja -tavoitteet 2016. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 26.5.2017]. Saatavissa: <http://www.neve.fi/loader.aspx?id=f9cef585-bab5-434f-9be4-173ad216a01d>.

Napapiirin Energia ja Vesi. 2016. Vuosikertomus 2015. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 26.5.2017]. Saatavissa: <http://www.neve.fi/loader.aspx?id=347b833f-5d9a-4fb8-a00e-d3c6c12ef9d3>.

Oburger, E., Jäger, A., Pasch, A., Dellantonio, A., Stampfer, K. & Wenzel, K. 2016. Environmental impact assessment of wood ash utilization in forest road construction and maintenance - A field study. Science of the Total Environment. [Verkkolehti]. Vol. 544. S. 711-721. [Viitattu 29.5.2017] ISSN 0048-9697 (sähköinen). Saatavissa: DOI:doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.123.

Ojala, E. 2010. Selvitys puu- ja turvetuhkan lannoite- sekä muusta hyötykäytöstä. Energiateollisuus/Motiva. 47 s. [Viitattu 3.6.2017]. Saatavissa: [https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/pictures/selvitys\\_puu- ja\\_turvetuhkan\\_lannoite\\_seka\\_muusta\\_hyotykytosta\\_energiateollisuus\\_2010.pdf](https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/pictures/selvitys_puu- ja_turvetuhkan_lannoite_seka_muusta_hyotykytosta_energiateollisuus_2010.pdf)

Osterwalder, A. & Pigneur, Y. 2010. The business model canvas. Teoksessa Clark, T. (toim.) Business Model Generation - A Handbook for Visionaries, Game Changers and Challengers. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc. S. 12-51. [Viitattu 26.5.2017]. ISBN: 0470901039 (sähköinen). ISBN: 9780470876411 (painettu). Saatavissa: <https://www.dawsonera.com/abstract/9780470901038>.

OTSO Metsäpalvelut Oy. 2016. Metsänlannoitus. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 26.5.2017] Saatavissa: <http://www.otso.fi/Mets%C3%A4palvelut/Mets%C3%A4nhoito/Mets%C3%A4lannoitus.aspx>.

OTSO Metsäpalvelut Oy. 2016. OTSO lyhyesti. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 26.5.2017] Saatavissa: <http://www.otso.fi/Yritys.aspx>.

Päivänen, J. 2007. Suot ja suometsät - järkevän käytön perusteet. Helsinki, Suomi: Metsäkustannus. ISBN 978-952-5694-02-4. 368 s.

Pajunen, N., Watkins, G., Wierink, M. & Heiskanen, K. 2012. Drivers and barriers of effective industrial material use. Minerals Engineering. [Verkkolehti]. Vol. 29. S. 39-46. [Viitattu 29.5.2017] ISSN 0892-6875 (sähköinen). Saatavissa: DOI:[doi.org/10.1016/j.mineng.2011.12.008](https://doi.org/10.1016/j.mineng.2011.12.008).

Pekkala, S. 2012. Puun ja turpeen seospolton vaikutus tuhkan hyötykäyttökohteisiin. [verkkodokumentti] Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Teknillinen tiedekunta, Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Lappeenranta. [viitattu 26.5.2017] Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201209036367>.

Pesonen, J., Kuokkanen, V., Kuokkanen, T. & Illikainen, M. 2016. Co-granulation of bio-ash with sewage sludge and lime for fertilizer use. Journal of Environmental Chemical Engineering. [Verkkolehti]. Vol. 4:4. S. 4817-4821. [Viitattu 29.5.2017]. ISSN 2213-3437 (sähköinen). Saatavissa: DOI:[doi.org/10.1016/j.jece.2015.12.035](https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.12.035).

Pesonen, J., Yliniemi, J., Illikainen, M., Kuokkanen, T. & Lassi, U. 2016. Stabilization/solidification of fly ash from fluidized bed combustion of recovered fuel and biofuel using alkali activation and cement addition. Journal of Environmental Chemical Engineering. [Verkkolehti]. Vol. 4:2. S. 1759-1768. [Viitattu 29.5.2017] ISSN 2213-3437 (sähköinen). Saatavissa: DOI:[doi.org/10.1016/j.jece.2016.03.005](https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.03.005).

Pitman, R. 2001. Wood ash use in forestry a review of the environmental impacts. Forestry: An International Journal of Forest Research. Vol. 79:5. S. 563-588. ISSN: 0015-752X (sähköinen).

Pohjala, M. 2015. Tuhkien tilastokysely 2014. Energiateollisuus ry. [Viitattu 8.6.2017]. Saatavissa: [https://energia.fi/files/397/Tuhkien\\_tilastokysely\\_2014\\_loppuraportti.pdf](https://energia.fi/files/397/Tuhkien_tilastokysely_2014_loppuraportti.pdf)

Rudus Oy. 2008. Lentotuhkaohje. Käyttöohje rakentamiseen ja suunnitteluun. Helsinki: Rudus Oy. [Viitattu 3.6.2017]. Saatavissa: [www.rudus.fi/Download/24033/Lentotuhkaohje.pdf](http://www.rudus.fi/Download/24033/Lentotuhkaohje.pdf).



Saarinen, E. 2012. Tuhkan ravinteet takaisin metsään. Uusiouutiset. [Verkkolehti]. Vol. 23:2. S. 6-7. [Viitattu 8.6.2017]. Saatavissa: [http://vanha.uusiouutiset.fi/pdf/uu20122\\_s06-07.pdf](http://vanha.uusiouutiset.fi/pdf/uu20122_s06-07.pdf)

Sarvaala, M. 2016. Tuhkan kustannusrakenteesta lannoituksessa ja tienrakentamisessa. [Presentaatio 28.9.2016]. Metsänomistajat. [Julkaisematon tieto]

Seesvaara, E. 2016. Lahti Energia. Sitran vierailu 31.8.2016. [Presentaatio]. Lahti Energia.

Serkkola, A. 2016. Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (MARA) - Lämpö- ja sähköyritysten lausunto. [Julkaisematon tieto].

SFS 450-1. 2013. Betoniin käytettävä lentotuhka. Osa 1: Määritelmät, laatuvaatimukset ja vaatimustenmukaisuus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. 28 s.

Siddique, R. 2014. Utilization of industrial by-products in concrete. Procedia Engineering. [Verkkolehti]. Vol. 95. S. 335-347. [Viitattu 29.5.2017]. ISSN 1877-7058 (sähköinen). Saatavissa: DOI:[doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.192](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.192).

Siddique, R. 2012. Utilization of wood ash in concrete manufacturing. Resources, Conservation and Recycling. [Verkkolehti]. Vol. 67. S. 27-33. [Viitattu 29.5.2017]. ISSN 0921-3449 (sähköinen). Saatavissa: DOI:[doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.07.004](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.07.004).

Soininen, H., Mäkelä, L., Kyyhkynen, A. & Muukkonen, E. 2010. Biopolttoaineita käyttävien energiantuotantolaitosten hyötykäyttö- ja logistiikkavirrat Itä-Suomessa. Mikkeli: Mikkelin Ammattikorkeakoulu. 111 s. Tutkimuksia ja raportteja 59. [Viitattu 3.6.2017]. ISSN 1795-9438. Saatavissa: [http://www.mamk.fi/instancedata/prime\\_product\\_julkaisu/mamk/embeds/mamkwwwstructure/14235\\_1473-URNISBN9789515883049.pdf](http://www.mamk.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/mamk/embeds/mamkwwwstructure/14235_1473-URNISBN9789515883049.pdf)

Steenari, B.-. & Fedje, K. 2010. Addition of kaolin as potassium sorbent in the combustion of wood fuel - Effects on fly ash properties. Fuel. [Verkkolehti]. Vol. 89:8. S. 2026-2032. [Viitattu 29.5.2017] ISSN 0016-2361 (sähköinen). Saatavissa: DOI:[doi.org/10.1016/j.fuel.2010.02.006](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.02.006).

Steenari, B.-., Karlsson, L. & Lindqvist, O. 1999. Evaluation of the leaching characteristics of wood ash and the influence of ash agglomeration. Biomass and Bioenergy. Vol. 16. S. 119-136.

Suomen Metsäkeskus. 2016. Tuhkalannoitus materiaalit. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 26.5.2017]. Saatavissa: <https://www.metsakeskus.fi/tuhkalannoitus-materiaalit>.

Suomen Riskienhallintayhdistys ry. 2017. Nelikenttäanalyysi – SWOT. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 8.6.2017]. Saatavissa: <http://www.pk-rh.fi/index.php?page=swot>.

Suomen Teollisuussijoitus Oy. 2006. Teollisuusijoitus ja yksityiset teollisuusmiehet sijoittivat 400 000 euroa tuhkaa tuotteistavaan Lannoxiin. [Verkkouutinen 19.9.2006]. [Viitattu 26.5.2017]. Saatavissa: <http://www.teollisuussijoitus.fi/yhtio/ajankohtaista/utisarkisto/teollisuussijoitus-ja-yksityiset-teollisuusmiehet-sijoittivat-400/>.

Tecwill Granulators Oy. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 26.5.2017] Saatavissa: <http://www.tecwillgranulators.com/fi/>.

Teece, D. 2010. Business models, business strategy and innovation. *Long Range Planning*. [Verkkolehti]. Vol. 43:2-3. S. 172-194. [Viitattu 29.5.2017] ISSN 0024-6301 (sähköinen). Saatavissa: DOI:[doi.org/10.1016/j.lrp.2009.07.003](https://doi.org/10.1016/j.lrp.2009.07.003).

Timonen, M. 2016. Kymijärvi III -biovoimalaitoshanke. [Presentaatio]. VGB-päivät 6.10.2016. Lahti Energia.

Töyssy, S. 2016. Tuhka on metsäteollisuudessa merkittävä jätejäte, jolle löytyy monia hyötykäyttökohteita. *Biofore - UPM:n sidosryhmälehti*. [Verkkolehti]. 26.5.2017. Julkaistu [Viitattu 26.5.2017]. Saatavissa: <https://www.upmbiofore.fi/upm-fi/tuhka-on-metsateollisuudessa-merkittava-jatejate-jolle-loytyy-monia-hyotykayttokohteita/>.

Tsvetkova, A. & Gustafsson, M. 2014. Business models for industrial ecosystems: a modular approach. *Journal of Cleaner Production*. [Verkkolehti]. Vol. 29-30. S. 246-254. [Viitattu 29.5.2017] ISSN 0959-6526 (sähköinen). Saatavissa: DOI:[doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.01.017](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.01.017).

Tuovinen, M. 2015. Ash fertilization stakeholders' perceptions of their external environment in Finland. [verkkodokumentti]. Pro gradu –tutkielma. Helsingin yliopisto, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, Metsätieteiden laitos. Helsinki. [viitattu 26.5.2017] Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:hulib-201506101463>.

Väätäinen, K., Sikanen, L. & Asikainen, A. 2000. Rakeistetun puutuhkan metsäänpalautuksen logistiikka. Joensuu: Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta. 100 s. Tiedonantoja 116. [Viitattu 3.6.2017]. ISSN 1235-7421. Saatavissa: [https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/pictures/rakeistetun\\_tuhkan\\_metsaan\\_palautuksen\\_logistiikka\\_joensuun\\_yliopisto\\_2000.pdf](https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/pictures/rakeistetun_tuhkan_metsaan_palautuksen_logistiikka_joensuun_yliopisto_2000.pdf)

Vanhanen, H., Dahl, O. & Joensuu, S. 2014. Utilization of wood ash as a road construction material - Sustainable use of wood ashes. *Sustainable Environment Research*. [Verkkolehti]. Vol. 24:6. S. 457-465. [Viitattu 29.5.2017] ISSN 1022-7636 (sähköinen). Saatavissa: <http://ser.cienve.org.tw/index.php/list-of-issues/vol-24/229-volume-24-no-6-november-2014/1082-24-6-7>

Vesterinen, P. 2003. Wood ash recycling - State of the art in Finland and Sweden. Jyväskylä, Suomi: VTT. 52 s. [Viitattu 3.6.2017] Saatavissa: <http://www.cti2000.it/solidi/WoodAshReport%20VTT.pdf>

Yliniemi, J., Nugteren, H., Illikainen, M., Tiainen, M., Weststrate, R. & Niinimäki, J. 2016. Lightweight aggregates produced by granulation of peat-wood fly ash with alkali activator. *International Journal of Mineral Processing*. [Verkkolehti]. Vol. 149. S. 42-49. [Viitattu 29.5.2017] ISSN 0301-7516 (sähköinen). Saatavissa: DOI:[doi.org/10.1016/j.minpro.2016.02.006](https://doi.org/10.1016/j.minpro.2016.02.006).

Österbacka, J. 2001. Esikäsittelyn vaikutuksesta puu- ja turvetuhkien ominaisuuksiin ja ravinteiden liukenemiseen. Helsinki, Suomi: Metsäteho Oy. 24 s. Metsätehon raportti

109. [Viitattu 3.6.2017]. Saatavissa: [http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon\\_raportti\\_109.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_109.pdf).

### **Lait ja asetukset**

Jätelaki 646/2011 [verkkoaineisto]. Saatavissa:  
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110646>

Jäteverolaki 1126/2010 [verkkoaineisto]. Saatavissa:  
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2010/20101126#P5-3>

Lannoitevalmistelaki 539/2006 [verkkoaineisto]. Saatavissa:  
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2006/20060539>

Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista 24/11 [verkkoaineisto].  
Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/400001/37638>

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa  
591/2006 [verkkoaineisto]. Saatavissa:  
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2006/20060591#P3>

Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista 331/2013 [verkkoaineisto]. Saatavissa:  
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130331>

Ympäristönsuojeluasetus 713/2014 [verkkoaineisto]. Saatavissa:  
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140713>

Ympäristönsuojelulaki 527/2014 [verkkoaineisto]. Saatavissa:  
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527>

### **Haastattelut**

Anonyymi. 2017a. Voimalaitoksen toimitusjohtaja. Puhelinhaastattelu 28.3.2017

Anonyymi. 2017b. Sellutehtaan ympäristöinsinööri. Puhelinhaastattelu 29.3.2017.

Anonyymi. 2017c. Metsäteollisuuden tehdasintegraatin voimalaitoksen päällikkö.  
Puhelinhaastattelu 7.3.2017.

Anonyymi. 2017d. Energiayhtiön polttoainejohtaja. Puhelinhaastattelu 15.3.2017.

Anonyymi. 2017e. Paperitehtaan ympäristöinsinööri. Puhelinhaastattelu 9.3.2017.

Anonyymi. 2017f. Metsäteollisuuskonsernin ympäristöpäällikkö. Puhelinhaastattelu  
21.3.2017.

Immonen, J. 2017. Rakennuspäällikkö; pilaantuneen maan käsittely, stabilointi. Lemminkäinen Infra Oy. Haastattelu 14.3.2017.

Jyväskylä, P. 2017. Toimitusjohtaja. Forest Vital Oy. Puhelinhaastattelu 2.5.2017.

Lahtinen, P. 2017. Kehitysjohtaja, ympäristögeotekninen suunnittelu ja T&K. Ramboll Finland Oy. Puhelinhaastattelu 29.3.2017.

Laitinen, J. & Kuokkanen, P. 2017. Myyntijohtaja, polttoaineet, Kaakko & Operaatiopäällikkö, Kaakko. Vapo. Haastattelu 20.3.2017.

Leiskallio, A. & Vehviläinen J. 2017. Kehityspäällikkö, Projekti-insinööri. Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy. Haastattelu 2.3.2017.

Lillman, E. 2017. Ympäristöpäällikkö. Lahti Energia. Haastattelu 24.2.2017.

Loikkanen, E. 2017. Lahti Energia. Haastattelu 1.3.2017.

Rissanen, A. 2017. Hankintainsinööri. Ecolan Oy. Sähköpostiviesti 15.3.2017.

Romppanen, J. 2017. Toimitusjohtaja. Tecwill Granulators Oy. Puhelinhaastattelu 28.3.2017.

Rosenlund, J. 2017. Lahti Energia. Haastattelu 15.1.2017.

Sarvaala, M. 2017. Projektipäällikkö. Metsänhoitoyhdistys Päijät-Häme. Haastattelu 2.3.2017.

Takala, H. 2017. Tuotantojohtaja. Lahti Energia. Haastattelu 24.2.2017.

Tilsala, E. 2017. Myyntijohtaja - Suomi. BioGTS Oy. Puhelinhaastattelu 22.3.2017.

Vallius, P. 2017. Toimitusjohtaja. GeoPex Oy. Puhelinhaastattelu 5.4.2017.

Vartiamäki, T. 2017. Liiketoimintajohtaja, Etelä-Suomen liiketoiminta-alue. L&T Biowatti Oy. Haastattelu 10.3.2017.

Österbacka, J. 2017. Product Line Manager, Customer Solutions. Fortum Waste Solutions Oy. Puhelinhaastattelu 28.3.2017.

## **LIITTEET**

### **LIITE A: Haastattelurunko – Esihaastattelut Lahti Energiassa**

#### **1. Tuhkan aiempi hyödyntäminen**

- Onko KyVo 1 ja 2 voimalaitosten tuhkaa mennyt hyötykäyttöön? Kuinka paljon ja mihin kohteisiin?
- Onko tuhkaa käsitelty käyttöä varten jotenkin?
- Miten käyttökohteita on kartoitettuja valittu?
- Millaisia kumppaniryhmiä ja millaista yhteistyötä hyödyntämisessä on ollut?
- Millaisia tuhkan laadunhallinnan toimenpiteitä hyödyntämiseen liittyen on asti tehty?
- Onko hyödyntämisessä ollut joitain haasteita?

#### **2. Tuhkan hyödyntämisestä päättäminen**

- Millaisia ovat tuhkan hyödyntämiskäytännön valinnassa käytettävät päätöksenteon kriteerit?
- Mitä tietoja tarvitaan, että päätös voidaan tehdä?
- Miten mahdollinen päätösprosessi etenee? Kuka päättää etenemisestä eri vaiheissa?
- Millaisia reunaehtoja hyödyntämiskäytännölle on? Mitä asioita ehdottomasti ratkaisulta vaaditaan? Mitkä asiat olisivat tärkeitä?

#### **3. Suhtautuminen tuhkan hyödyntämisen eri ratkaisuvaihtoehtoihin**

Käytiin läpi tuhkan hyödyntämiskäytännön tyypit tuhkan tuottajan näkökulmasta: Luovuttaminen hyödyntäjälle - Oma liiketoiminta (kumppaniryhmiä kanssa) - Alueellinen yhteisliiketoiminta

- Miten mahdolliselta/toteuttamiskelpoiselta kukin vaihtoehtoista Lahti Energian tapauksessa vaikuttaa?
- Onko jokin ratkaisuvaihtoehto kiinnostavampi kuin muut?
- Mitä ongelmia näet näissä eri ratkaisuvaihtoehtoissa?
- Mitä mahdollisuuksia näet niissä?

## **LIITE B: Haastattelurunko – tuhkan tuottajien haastattelut**

### **1. Taustatiedot**

- Haastateltavan nimi ja toimenkuva
- Paljonko laitoksella syntyy lentotuhkaa?
- Millainen polttoaineseos laitoksella on käytössä?

### **2. Tuhkan hyödyntämisen ratkaisut**

- Mihin hyötykäyttökohteisiin tuhkaa menee ja paljonko (osuudet)?
- Kuvailisitko käytössänne olevia hyödyntämisen teknisiä ratkaisuja ja liiketoimintamallia?
- Kuinka kauan nykyisin käytössä oleva ratkaisu on ollut käytössä? Onko aiemmin ollut käytössä muita ratkaisuja?
- Miten tuhkan hyödyntämisen ratkaisuja kartoitetaan tai on kartoitettu? Millaista roolia tuhkan tuottajana olette ottaneet ratkaisujen etsinnässä ja kehittämisessä?

### **3. Tuhkan hyödyntämisen toimitusketju ja yhteistyökumppanit**

- Kuvailisitko mahdollisimman tarkasti tuhkan hyödyntämisen toimitusketjun - mitä eri toimijoita ja yhteistyökumppaneita siinä on?
- Millaisia yhteistyösopimuksia toimitusketjussa on?
- Mikä on eri toimijoiden vastuunjako ja roolit?
- Välivarastoidaanko tuhkaa vai meneekö se suoraan hyötykäyttöön?
- Miten laajalle alueelle tuhkaa toimitetaan hyötykäyttöön?

### **4. Ratkaisujen toimivuus ja tulevaisuudennäkymät**

- Mitkä asiat toteuttamissanne tuhkan hyödyntämisen ratkaisuissa ovat olleet onnistumisen kriteerejä?
- Millaisia haasteita olette kohdanneet tuhkan hyödyntämisessä?
- Millaisena näet käytössänne olevan hyödyntämisratkaisun ja tuhkan käyttökohteen tulevan kehityksen?

## **LIITE C: Suuntaa-antavat teemat sidosryhmähaastatteluissa**

### **Lannoituskäytön sidosryhmät**

- Millaisia ratkaisuja yritys tarjoaa tuhkan hyödyntämiseen?
- Mitä vaatimuksia tuhkan laadulle ratkaisuun liittyy?
- Mitkä ovat ratkaisun kustannukset?
- Millaisia sopimuksia ratkaisuihin liittyy?
- Voisiko yrityksen ratkaisu soveltua Kymijärvi III-laitoksen tuhkan hyödyntämiseen
- Mitkä ovat onnistumisen kriteerejä tuhkan hyödyntämisessä

### **Maarakennuskäytön sidosryhmät**

- Millainen on yrityksen rooli tuhkan hyödyntämisessä?
- Miten tuhkarakentamisprojekti käynnistyy ja mistä vaiheista se koostuu?
- Onko tuhka kiinnostava raaka-aine rakennusyrittäjille? Tuleeko sen käyttö halvemmaksi kuin luonnonkiviaineksen?
- Millainen on toimitusketju tuhkan maarakennuskäytössä? Mitä toimijoita siinä on ja mitä ovat eri toimijoiden roolit?
- Mitkä ovat onnistumisen kriteerejä tuhkan hyödyntämisessä?
- Tuleeko mieleesi potentiaalisia hyötykäyttökohteita Kymijärvi III-laitoksen tuhkalle?

### **Polttoainetoimittajat**

- Onko yritys toteuttanut aiemmin tuhkan hyödyntämistä? Millaista?
- Millainen rooli yrityksellä voisi olla Kymijärvi III-laitoksen tuhkan hyödyntämisessä?
- Millaisia muita toimijoita tuhkan hyödyntämisketjussa tarvitaan?
- Millaisia resursseja tuhkan hyödyntämiseen tarvitaan? Mitä resursseja ja valmiuksia yrityksellä jo on?
- Mitkä ovat onnistumisen kriteerejä tuhkan hyödyntämisessä?

### **Alueellinen kiertotaloushanke**

- Mistä hankkeesta on kyse? Missä vaiheessa hanke on ja mikä on sen aikataulu?
- Mitä sivuvirtoja hankeessa on tarkoitus hyödyntää ja paljonko?
- Mitä voisivat olla eri toimijoiden roolit jalostamatoiminnassa? Mikä taho jalostamoa voisi operoida?