



Lämpölaitosten tuhkan käytön selvittäminen

Sami Kettunen

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2025

Insinööri (AMK), Energia- ja ympäristötekniikka

Kettunen, Sami

Lämpölaitosten tuhkan käytön selvittäminen

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2025, 46 sivua

Energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tilaajana toimi Jyväskylän ammattikorkeakoulu ja se toteutettiin osana Heleä-kehityshanketta. Heleän tavoitteena on edistää biopohjaisen tuhkan käyttöä turvepohjaisten metsien lannoituksessa, kehittää tuhkalannoituksessa tarvittavia toimintaketjuja ja saada kolminkertaistettua Keski-Suomen turve maiden tuhkalannoitukset tulevien vuosien aikana. Opinnäytetyön tavoitteena oli hankkia tietoja lämpölaitosten tuhkien metsälannoituskäytön arvioimiseksi ja kehittämiseksi. Tavoitteena oli, että Heleä-hanke pystyy vertaamaan hankkeessa Keski-Suomen alueella tehtyjen haastattelujen tuloksia opinnäytetyön tuloksiin.

Opinnäytetyö tehtiin pääosin määrällisiä tutkimusmenetelmiä hyödyntäen. Työ toteutettiin puhelinhaastatteluina kevään 2025 aikana. Haastattelussa käytettiin puolistrukturoituja kysymyksiä, joilla haettiin vastauksia laadullisiin ja määrällisiin kysymyksiin. Haastateltavina olivat Pohjois-Savon, Etelä-Savon, Pirkanmaan sekä Etelä-, Keski- ja Pohjois-Pohjanmaan alueella sijaitsevat lämpölaitostoimijat. Haastatteluja tehtiin 20, ne kattoivat 22 yritystä, 77 lämpölaitosta ja 96 lämpölaitoskattilaa.

Työn tuloksena saatiin tietää, että kattiloissa käytettiin polttoaineina pelkästään biopolttoaineita ja turvetta. Kattiloiden tuhka-aineksestä 40 % päätyy jätetoimittajalle ja vain 28 % metsälannoitukseen. Suurimpina esteinä metsälannoituskäytölle haastatellut kokivat metsätuhkalannoituksen kysynnän puutteen ja toiseksi yleisimpänä esteenä oli, etteivät tuhkat täyttäneet metsälannoituskäytön edellyttämiä raja-arvoja. Haastatellut eivät uskoneet kiinteiden polttoaineiden polttamisen loppuvan kaukolämmön tuotannossa ja lämmöntuotannon sähköistymisellä nähtiin olevan hieman vaikutusta polttamisen määrään.

Lämpölaitokset ovat pääosin pieniä, eikä niillä ole resursseja tuhkan laadun parantamiseen, logistiikka ketjujen kehittämiseen tai metsätuhkalannoituksen markkinointiin. Jos metsätuhkalannoitusta halutaan lisätä, tulisi alalle saada metsätuhkalannoitukseen erikoistuneita ulkopuolisia toimijoita, jotka ottaisivat tuhkien jatkojalostamisen ja metsälannoituskäyttöön saattamisen hoitaakseen.

Avainsanat (asiasanat)

Tuhka, lämpökeskukset, tuhkalannoitus, metsälannoitus, Heleä, kiertotalous, haastattelututkimus

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Kettunen, Sami

Investigating the use of ash from heating plants

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2025, 46 pages

Degree Programme in Energy and Environmental Technology. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The thesis was commissioned by the Jyväskylä University of Applied Sciences and it was carried out as part of the development project Heleä. The aim of Heleä is to promote the use of bio-based ash in the fertilisation of peat-based forests, to develop the operational chains required for ash fertilisation and to triple the amount of ash fertilised in peatland in Central Finland in the coming years. The aim of the thesis was to obtain information to evaluate and develop the use of ashes from thermal plants for forest fertilisation. The aim was to enable the Heleä project to compare the results of the interviews conducted in the Central Finland region with the results of the thesis.

The thesis was mainly carried out using quantitative research methods. The work was carried out as telephone interviews during the spring of 2025. Semi-structured questions were used in the interviews to seek answers to qualitative and quantitative questions. The interviewees were heating plant operators located in the regions of North Savo, South Savo, Pirkanmaa, South, Central and North Ostrobothnia. Twenty interviews were conducted, covering 22 companies, 77 heating plants and 96 boilers.

As a result of this work, it was found that the boilers were using only biofuels and peat as fuels. Of the ash fractions from the boilers, 40% goes to the waste supplier and only 28% to forest fertiliser. Lack of demand for forest ash fertiliser was identified by the interviewees as the main obstacle to forest fertiliser use, the second most common being that the ashes did not meet the thresholds for forest fertiliser use. Interviewees did not believe that solid fuel combustion would cease in district heating production and the electrification of heat production was seen as having a slight impact on the amount of combustion.

Heat plants are mainly small and do not have the resources to improve ash quality, develop logistic chains or market forest ash fertilisation. If forest ash fertilisation is to be increased, external operators specialising in forest ash fertilisation should be brought in to take over the further processing of the ashes and their use in forest fertilisation.

Keywords/tags (subjects)

Ashes, heat centres, ash fertilization, forest fertilization, Heleä, circular economy, interview method

Miscellaneous (Confidential information)

Sisältö

1	Johdanto	3
2	Tutkimusasetelma	4
2.1	Tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset	5
2.2	Tietoperustan määrittely	5
2.3	Tutkimuskohteen valinta.....	6
2.4	Tutkimusote	8
2.5	Haastattelumenetelmät	9
2.6	Haastattelukysymyksien muodostaminen	10
2.7	Työn tavoite.....	11
2.8	Haastattelujen toteutus	12
2.9	Haastattelujen analysointi	13
3	Tuhka	15
3.1	Suomessa syntyvät tuhkat ja niiden luokittelu	15
3.2	Tuhkan hyödyntämiseen metsälannoituksessa vaikuttava lainsäädäntö.....	16
3.3	Kiinteiden polttoaineiden polttotekniikat.....	18
3.3.1	Arinapoltto.....	18
3.3.2	Leijukerros poltto.....	21
3.3.3	Polttotekniikan vaikutus tuhkaan	22
3.4	Lentotuhkan erotusmenetelmät	22
3.4.1	Sykloni ja multisykloni	23
3.4.2	Sähkösuodatin	24
3.4.3	Savukaasupesuri	25
3.4.4	Letkusuodatin	25
3.5	Tuhkan keräys	25
4	Puupolttoaineet ja energiaturve	26
4.1	Puu.....	27
4.2	Turve.....	28
5	Tutkimustulokset.....	29
5.1	Kattiloiden tehot ja polttoaineet	30
5.2	Kattiloista syntyvät tuhkat ja niiden säilytys lämpölaitoksilla	32
5.3	Tuhkien käyttö ja siitä syntyvät kustannukset	33
5.4	Metsätuhkalannoituksen haasteet	35
5.5	Lämpölaitosten tarpeet metsätuhkalannoituksen lisäämiseksi	36

5.6	Lämpölaitosten tulevaisuuden näkymät.....	36
6	Johtopäätökset.....	37
7	Pohdinta.....	38
7.1	Työn tavoitteet ja tutkimustulokset.....	38
7.2	Työn luotettavuuden arviointi ja hyödynnettävyys	40
7.3	Työn eettisyyden arviointi.....	40
7.4	Jatkokehitys.....	41
	Lähteet	42
	Liitteet	45
	Liite 1. Haastattelun pohjana käytetyt apukysymykset	45
	Liite 2. Haastateltaville lähetetty saatekirje.....	46

Kuviot

Kuvio 1.	Heittosyöttimellä varustettu ketjuarina	20
Kuvio 2.	Kekoarina Biograte kattilamallissa	21
Kuvio 3.	Sykloni tangentiaalisella tulokanavalla	24
Kuvio 4.	Suomen kaukolämmön tuotantoon 2023 käytetyt energialähteet	26
Kuvio 5.	Puun koostumus.....	27
Kuvio 6.	Turpeen koostumus	29
Kuvio 7.	Kattiloissa käytettävien polttoainejakeiden määrän jakautuminen.....	31
Kuvio 8.	Kattiloissa käytettävien polttoainejakeiden jakautuminen	31
Kuvio 9.	Tuhkan jakautuminen kuiva- ja märkätuhkiin.....	32
Kuvio 10.	Tuhkien varastointi.....	33
Kuvio 11.	Kaikkien tuhkien käyttö jaettuna käyttökohteittain	34

Taulukot

Taulukko 1.	Ruokaviraston ainesosataulukko.....	17
Taulukko 2.	Tuhkan ja kuonan sisältämien haitallisten aineiden ja yhdisteiden maksimiraja-arvot	17
Taulukko 3.	Metsätuhkalannoitteen haitallisten aineiden maksimi raja-arvot.....	18
Taulukko 4.	Pölynerotusmenetelmien erotusasteita prosentteina.....	23
Taulukko 5.	Kattiloiden määrät kattilan nimellistehojen ja polttotekniikoiden mukaan	30

1 Johdanto

Suomi on maantieteelliseltä sijainniltaan pohjoisessa, minkä takia kiinteistöjen lämmitystarve kesäkauden ulkopuolella on globaalisti tarkasteltuna suurta. Suomessa yleisin palvelu- ja asuinrakennusten lämmitysmuoto on kaukolämpö (Kaukolämpötilastot 2024, 6). Kaukolämpöjärjestelmässä lämpö tuotetaan keskitetysti, jossa se johdetaan kaukolämpöverkon avulla kiinteistöihin. Kaukolämpö tuotetaan tällä hetkellä yleisimmin polttamalla kiinteitä polttoaineita CHP-laitoksissa (combined heat and power) tai lämpölaitoksissa (Kaukolämpötilastot 2024, 12).

Laitoksissa poltettavista polttoaineista suurin osa on puubiomassaa (mts. 12). Kiinteitä polttoaineita käyttävien lämpölaitosten toiminnasta syntyy tuhkaa, joka luokitellaan jätteeksi. 2020-luvulla kaukolämmöntuotannossa on vähennetty kivihiilen polttoa, sillä Suomi on sitoutunut luopumaan kivihiilen poltosta lämmöntuotannossa vuoden 2029 aikana. Tämän seurauksena lämmöntuotannossa syntyvän biotuhkan osuus on ollut kasvussa. Tässä tuhkassa on fosforia, kaliumia sekä kaliumia ja se soveltuu ominaisuuksiltaan hyvin suometsien lannoitukseen. (Vastuullisella metsälannoituksella ilmastohyötyjä 2023, 7–8.)

Metsien tuhkalannoitus oikein kohdennettuna on kestävä kehityksen näkökulmasta järkevää monestakin näkökulmasta. Tuhkalannoituksen avulla metsien kasvua saadaan nopeutettua, mikä lisää hiilen sidontaa. Toisaalta metsien kasvun nopeutuminen mahdollistaa saman puumäärän tuotannon pienemmällä maa-alalla. Tuhka soveltuu hyvin ojitettujen turvemaiden lannoitukseen ja on näissä olosuhteissa hyvin tehokas ja edullinen lannoitusmuoto. Tuhkalannoitus lisää puiden kykyä haihduttaa vettä, mikä vähentää ojitusten ja niiden uusimisen tarvetta. Tämä puolestaan vähentää vesistöihin kohdistuvaa kiintoaineskuormitusta. (Vastuullisella metsälannoituksella ilmastohyötyjä 2023, 2–3.) Tuhkan hyödyntäminen lannoituskäytössä kaatopaikkasijoituksen tai maanrakennuksen sijaan on resurssiviisasta kiertotaloutta, sillä näin tuhkaa saadaan hyödynnettyä mahdollisimman tehokkaasti. Tuhkalannoituksen lisääminen on siis luonnon, metsän omistajien ja tuhkan tuottajien näkökulmasta järkevää ja oikein tehtynä myös taloudellisesti kannattavaa. Jotta metsätuhkalannoitusta voidaan lisätä, tulee tietää missä ja millaisia määriä metsätuhkalannoitukseen soveltuvaa tuhkaa syntyy. Lisäksi tulee selvittää, millä keinoilla tuhkan tuottajat saadaan lisäämään tuhkansa hyödyntämistä metsälannoituksessa.

Tällä hetkellä on käynnissä EU:n osarahoittama ”Heleä - Vihreään siirtymään ratkaisuja tuhkan hyötykäytön ja tuhkalannoituksen lisäämisellä” -kehityshanke. Hankkeen tavoitteena on edistää biopohjaisen tuhkan käyttöä turvepohjaisten metsien lannoituksessa, kehittää tuhkalannoituksessa tarvittavia toimintaketjuja ja saada kolminkertaistettua Keski-Suomen turvemaiden tuhkalannoitukset tulevien vuosien aikana. Hanke toteutetaan 1.1.2024–28.2.2026 välisenä aikana Suomen metsäkeskuksen, Jyväskylän ammattikorkeakoulun ja Jyväskylän yliopiston yhteistyöllä.

(Heleä - Vihreään siirtymän ratkaisuja tuhkan hyötykäytön ja tuhkalannoituksen lisäämiselle n.d.)

Heleä-hankkeessa oli selvitetty Keski-Suomen tuhkaa tuottavat lämpö- ja CHP-laitokset sekä niiden tuhkien käyttökohteet. Hankkeen puolelta tuli ehdotus selvittää lämpölaitosten tuhkan käyttöä Keski-Suomen ulkopuolelta, jotta hankkeessa saatuja tietoja voitaisiin verrata laajempaan joukkoon. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää lämpölaitosten sen hetkinen tuhkan käyttö, tuhkan hävittämisestä aiheutuvat kustannukset, syntyvien tuhkien määrä ja laatu. Lisäksi selvitettiin syitä, jotka koettiin suurimmiksi esteiksi tuhkan käytölle metsälannoituksessa. Työssä selvitettiin myös, miten tuhkaa varastoidaan ja onko lämpölaitosten toimintaan odotettavissa muutoksia tuhkan tuotannon näkökulmasta. Tavoitteena on, että Heleä voi hyödyntää opinnäytetyön tulosta vertailemalla omia Keski-Suomesta saamia tuloksia siihen.

Opinnäytetyö toteutettiin lämpölaitostoimijoille kohdistettujen puhelinhaastattelujen avulla. Työ rajattiin koskemaan kiinteitä polttoaineita polttavia lämpölaitoksia. CHP-laitokset, eli laitokset, joissa tuotetaan sähköä ja lämpöä ovat kokoluokaltaan suurempia ja niiden tuhkan käytöstä löytyy jo valmiiksi tutkimustietoa, toisin kuin lämpölaitosten osalta. Haastateltavaksi valittiin Bioenergia ry:n jäsenet, joilla oli lämpölaitoksia seuraavissa maakunnissa: Pohjois-Savo, Etelä-Savo, Pirkanmaa sekä Etelä-, Keski- ja Pohjois-Pohjanmaa. Opinnäytetyössä haastateltiin 20 henkilöä, joilta saatiin 22 yrityksen tiedot selville. Haastateltavilla yrityksillä oli kaikkiaan 77 lämpölaitosta, joissa oli yhteensä 96 kattilaa.

2 Tutkimusasetelma

Tämä opinnäytetyö luokitellaan tutkimukselliseksi opinnäytetyöksi, sillä siinä pyritään ratkaisemaan tiedollinen ongelma keräämällä aineistoa ja analysoimalla se (Ohje tutkimustyyppiselle opin-

näytetyölle 2022, 1). Tutkimusasetelman näkökulmasta opinnäytetyö määritellään Ellosen, Alastalon ja Ala-Lahden (2021) mukaan poikkileikkausaineistoksi, sillä tutkimus toteutetaan yhdellä mitauksella useasta havainnointiyksiköstä. Työn tuloksia voidaan hyödyntää kehityshanke Heleässä.

2.1 Tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset

Kanasen (2015) mukaan opinnäytetyöt luokitellaan tieteellisiksi tutkimuksiksi ja ne vaativat onnistuakseen tutkimusongelman ja sen määrittelyn. Työn helpottamiseksi tutkimusongelmasta kannattaa johtaa tutkimuskysymyksiä, joihin vastaamalla ongelma saadaan ratkaistua. Tutkimuskysymyksistä johdettuja kysymyksiä, joita voidaan käyttää kyselyissä ja haastatteluissa, kutsutaan apukysymyksiksi. (Kananen 2015, 45–59.) Tutkimusongelmana tässä opinnäytetyössä oli, että lämpölaitosten tuhkista ei ollut yhteen koottua tietoa, jotta voitaisiin arvioida lämpölaitosten tuhkien käytön lisäämistä metsätuhkalannoituksessa ja mitä tuhkan käytön lisääminen edellyttää. Tästä tutkimusongelmasta johdettiin kaksi alla olevaa lämpölaitoksia koskevaa tutkimuskysymystä.

- Minkä laatuista tuhkia lämpölaitoksilla tuotetaan ja paljonko?
- Mitä voidaan tehdä lämpölaitosten tuhkien käytön lisäämiseksi metsälannoituksessa?

2.2 Tietoperustan määrittely

Kanasen (2015) mukaan tietoperustan tulee liittyä tutkimusongelmaan ja sen muodostamiseen tulee käyttää monipuolista, mahdollisimman uutta ja osin kansainvälistä aineistoa. Alan kirjallisuuden laajasti perehtymällä kirjoittajalla on mahdollisuus muodostaa ilmiöstä näkemys, jonka lisäksi se osoittaa kirjoittajan ammattitaitoa. Tietoperusta on myös avainasemassa kvantitatiivisten kysymysten muodostamisessa. Ilman riittävää perehtymistä aiheeseen, on mahdotonta muodostaa oikeanlaisia apukysymyksiä, jotta tutkimusongelma saataisiin ratkaistua. (Kananen 2015, 112–116.)

Tämän opinnäytetyön tietoperustan näkökulmana oli saada syvennettyä käsitystä tuhkan metsälannoitukseen vaikuttavista tekijöistä. Tietoperusta käsittelee tuhkan muodostumiseen vaikuttavia asioita, kuten polttotekniikoita, polttoaineita ja tuhkan erotusmenetelmiä. Lisäksi siinä käsitellään tuhkan hyödyntämiseen lannoitekäytössä liittyvää lainsäädäntöä. Asiat käsiteltiin vain siinä laajuudessa kuin ne liittyivät opinnäytetyön aiheeseen. Tietoperustan muodostamiseen käytettiin useita rinnakkaisia lähteitä, jotta saatiin riittävä näkemys haastattelussa käytettävien apukysymysten

muodostamiseksi. Lähteinä käytettiin artikkeleita, kirjallisuutta, blogeja, tutkimuksia, standardeja, lainsäädäntöä, opetusmateriaalia ja aiempia opinnäytetöitä. Lähteinä käytettiin alkuperäisiä lähteitä aina kun se oli mahdollista. Lähteitä valittaessa niitä tarkasteltiin kriittisesti julkaisuajankohdan, kirjoittajan ja julkaisijan osalta. Työssä ei käytetty kansainvälisiä lähteitä, sillä kaukolämpölaitokset ovat harvinaisia maailmalla, eikä niistä löydy kansainvälistä tutkimustietoa. Lisäksi lämpölaitoksissa käytetään pääosin paikallisia polttoaineita ja lämpölaitoksissa muodostuvien tuhkien käyttöä ohjaa paikallinen lainsäädäntö. Tietoperustassa paneuduttiin arinatekniikoihin syvämmmin, koska toimeksiantaja näki tämän tärkeänä. Tämän avulla hankkeen tutkijoiden on helppo tutustua arinatekniikoihin.

2.3 Tutkimuskohteen valinta

Tutkimuskohdetta valittaessa aluksi täytyy rajata tarkasti perusjoukko, eli se ketä tutkimus koskee. Määrällisessä tutkimuksessa voidaan tehdä otantatutkimus, jolloin perusjoukosta valitaan otos. Otosta tutkimalla saadut tulokset voidaan yleistää koskemaan koko perusjoukkoa. Otoksen pitää kuvata perusjoukkoa, minkä vuoksi perusjoukosta on oltava lista tai rekisteri, josta otos valitaan. Lisäksi perusjoukon rakenne pitää pystyä määrittelemään, jotta voidaan varmistua otannan ja perusjoukon vastaavuudesta. Jos tutkittavat yksilöt valitaan harkinnan mukaan ilman, että se perustuu tilastoihin, voidaan puhua harkinnanvaraisesta otoksesta. Harkinnanvaraisen otoksen tutkimisesta saatuja tuloksia voidaan käyttää ideointiin eikä niitä voida yleistää koskemaan koko perusjoukkoa. Harkinnanvarainen otos määritellään otoksen sijaan näytteeksi. (Kananen 2011, 65, 69.) Laadullisessa tutkimuksessa tutkittavasta joukosta käytetään nimitystä harkinnanvarainen näyte. Harkinnanvarainen näyte valitaan tarkkaan harkiten juuri niistä kohteista, joista halutaan tietoa saada. Tutkittavien määrään vaikuttaa se, onko kyseessä laadullinen vai määrällinen tutkimus. Laadullisessa tutkimuksessa tutkittavien määrä suhteessa määrälliseen tutkimukseen on pieni. Tämä johtuu siitä, että laadullisessa tutkimuksessa pyritään saamaan aiheesta laaja käsitys ja tutkimusaineistoa, kuten litteroitua tekstiä, kertyy paljon. (Ojasalo ym. 2018, 105.)

Tämän opinnäytetyön perusjoukoksi määriteltiin kiinteitä polttoaineita polttavat lämpölaitokset Suomessa, josta rajattiin pois huipputeho ja varalaitokset. Huipputeho ja varalaitoksissa muodostuvan tuhkan määrä on pientä ja vaihtelevaa, minkä vuoksi niiden tutkimisesta päädyttiin luopua. CHP-laitokset päädyttiin rajaamaan työn ulkopuolelle, koska voimalaitosten tuhkan käytöstä on jo saatavilla paljon tutkimustietoa. Lämpölaitosten tuhkaa käsitteleviä tutkimuksia on puolestaan

tehty vähän. Aiheeseen liittyvien opinnäytetöiden haussa löytyi vain Liisa Heinon vuonna 2018 tekemä opinnäytetyö ”Voimalaitoksista syntyvät tuhkat ja niiden käyttö Pohjois-Pohjanmaalla”, joka käsittelee Pohjois-Pohjanmaalla toimivista voima- ja lämpölaitoksista syntyvien tuhkien käyttöä ja määriä. Työssä selvitettiin myös sitä, kuinka hyvin laitokset tuntevat tuhkien laadun ja oliko niillä halua kehittää tuhkan jalostusta ja hyötykäyttöä. Työ käsitteli aiheita yleisesti Pohjois-Pohjanmaan näkökulmasta, eikä siinä pyritty erittelemään erikokoisten laitoksien välisiä eroja. Työssä ei suoraan selvitetty keinoja, joilla metsälannoitukseen suuntautuvien tuhkien määrää saataisiin lisättyä. (Heino 2018, 6, 27.)

Suomessa sijaitsevista lämpölaitoksista ei ole olemassa julkisesti saatavilla olevaa rekisteriä, josta perusjoukkoa olisi ollut helppoa lähteä rajaamaan. Myös Timonen (2022, 8) nosti esiin tämän asian opinnäytetyössään ”Lämpölaitosmarkkinatutkimus ympäristöystävällisestä energiasta” ja mainitsi opinnäytetyön suurimmaksi haasteeksi lämpölaitosten yhteystietojen löytämisen. Heleä-hankkeen yhtenä toiveena oli saada tietoa siitä, onko tuhkan käytössä maantieteellisestä sijainnista johtuvia eroja. Rajausta lähdettiin tekemään harkinnanvaraisesti, pyrkimyksenä löytää jokin rekisteri, missä olisi lämpölaitoksia maantieteellisesti laajalla alueella. Haastateltavia päädyttiin etsimään Bioenergia ry:n 247 yritys- ja yhteisöjäsenen joukosta, joihin kuului myös biopolttoaineita käyttäviä lämpölaitoksia ympäri Suomen. Lista Bioenergia ry:n jäsenistä on saatavissa heidän internetsivuiltaan. Tästä listasta kerättiin Exceliin ne yritykset, joilla oli tai voitiin internethakujen perusteella olettaa olevan perusjoukon määritelmän täyttäviä lämpölaitoksia. Tulokseksi saatiin 70 yritystä, joista suurimmalla osalla oli lämpölaitoksia enemmän kuin yksi. Tämä perusjoukko oli liian suuri tämän opinnäytetyön kannalta. Työtä lähdettiin rajaamaan maantieteellisesti maakuntiin. Heleä hankkeessa oli jo haastateltu lämpölaitokset Keski-Suomen alueelta, minkä vuoksi ne rajattiin heti alussa pois. Tuhkan kuljettaminen pitkiä matkoja ei ole taloudellisesti järkevää. Niinpä perusjoukoksi valittiin maakunnat, joissa sijaitsee eniten potentiaalisia turvemaan tuhkalannoituskohteita. Näin opinnäytetyön tuloksille saatiin paras hyödynnettävyys mahdollisia tulevaisuuden jatkohankkeita ajatellen. Kartoituksen tekemiseen hyödynnettiin Metsäkeskuksen tarjoamaa karttaa potentiaalisista turvemaan tuhkalannoituskohteista (Turvemaan tuhkalannoituskohteet n.d.). Mukaan päädyttiin valitsemaan seuraavat maakunnat: Kainuu, Pohjois-Savo, Etelä-Savo, Pirkanmaa sekä Etelä-, Keski- ja Pohjois-Pohjanmaa. Maantieteellisen rajauksen jälkeen 70 yrityksestä jäi jäljelle 30 yritystä. Tässä vaiheessa havaittiin, ettei Kainuusta ollut valikoitunut mukaan yhtään yritystä, joten Kainuukin jä-

tettiin rajauksen ulkopuolelle. Määrällisen tutkimuksen näkökulmasta tarkasteltuna tutkimuskoh-teista ei voida käyttää nimitystä otos, vaan kyseessä on harkinnanvarainen otos. Laadullisesta nä-kökulmasta katsottuna tutkittavasta kohteesta käytetään nimeä harkinnanvarainen näyte.

2.4 Tutkimusote

Tutkimusotteet luokitellaan kvalitatiivisiin eli laadullisiin ja kvantitatiivisiin eli määrällisiin tutki-muksiin. Laadullisissa tutkimuksissa tutkittavaa ilmiötä ei tunneta hyvin, vaan siinä pyritään selvit-tämään, mistä tekijöistä ilmiö koostuu ja kuinka ne vaikuttavat toisiinsa. Laadullista tutkimusta voi-daan pitää esiselvityksenä, josta hankitun tiedon perusteella on mahdollista lähteä tekemään yleistyksiä määrällisellä tutkimuksella. (Kananen 2011, 12–13.) Laadullisen tutkimuksen yleisimpiä tiedonkeruumuotoja ovat kyselyt, haastattelut, havainnointi ja dokumentteihin perustuva tieto. Laadullisessa tutkimuksessa kerättävä tieto on informatiivista eikä strukturoitua. (Tuomi & Sara-järvi 2013, 71–72.)

Määrällisissä tutkimuksissa tutkittava ilmiö tunnetaan hyvin, eli tiedetään jo entuudestaan mitkä asiat vaikuttavat ilmiöön. Tällöin tutkittavan ilmiön tekijät voidaan muuttaa muuttujiksi, joita käsi-tellään tilastollisin menetelmin. Yleisin tiedonkeruumenetelmä määrällisessä tutkimuksessa on ky-selylomakkeiden käyttäminen, jossa vastaukseksi saadaan numeerisia tai strukturoituja vastauksia. (Kananen 2011, 12–13.) Strukturoiduissa kyselyissä tutkittavalta halutaan saada vastaukset kysy-mykseen annetuista vastausvaihtoehdoista tietyssä järjestyksessä (Tuomi & Sarajärvi 2013, 74). Määrällisessä tutkimuksessa tutkittava ilmiö tunnetaan jo entuudestaan hyvin, joten tutkimuksen tarkoituksena on usein testata teorian paikkansa pitävyyttä. Tällöin kyselyt toteutetaan valitse-malla määritellystä perusjoukosta otanta, jolle kyselyt tehdään. Näiden kyselyistä saatujen tulosten pohjalta voidaan tehdä koko perusjoukkoa koskevia yleistyksiä. (Ojasalo, Moilanen & Ritalahti 2018, 104.)

Tutkimusasetelman määrittelyssä tämä opinnäytetyö määriteltiin poikkileikkausasetelmaksi, jota käytetään määrällisissä tutkimuksissa. Opinnäytetyössä olevaa aihetta tunnetaan myös entuudes-taan hyvin, joten haastateltaville voidaan esittää määrällisiä kysymyksiä, joita on mahdollisuus analysoida tilastollisin menetelmin. Tästä syystä opinnäytetyö määriteltiin määrälliseksi tutki-mukseksi. Tutkimuksen haastattelu sisältää joitakin laadullisia kysymyksiä, joiden analysointiin käy-tetään laadullisia menetelmiä.

2.5 Haastattelumenetelmät

Tuomi ja Sarajärvi (2013) määrittelevät kyselyn ja haastattelun eron seuraavasti: Kyselyssä tutkittava kirjaa itse vastaukset ylös kyselylomakkeelle, kun taas haastattelussa haastattelija ja tutkittava ovat suullisessa vuorovaikutuksessa, kirjaamisen jäädessä haastattelijan vastuulle. Haastattelun etuna on joustavuus, koska siinä voidaan mm. oikaista väärinkäsityksiä ja esittää tarkentavia kysymyksiä. Haastatteluja käytetään myös sen takia, että kyselyiden vastausprosentit jäävät usein haastatteluja pienemmäksi. (Tuomi & Sarajärvi 2013, 73–74.) Haastattelun vastausten kirjaaminen voidaan toteuttaa joko kirjaamalla ne ylös haastattelun aikana tai tallentamalla haastattelu, jolloin vastaukset kirjataan myöhemmin ylös tallenteelta. Tallenteen käyttö on suositeltavampaa, sillä tällöin haastattelija vapautuu tekemään muita havaintoja haastattelun aikana, jonka lisäksi puheen uudelleen läpikäyminen voi tuoda uusia näkökulmia vastauksista. Usein haastattelija ymmärtääkin vasta tallennetta kuunnellessaan, mitä haastateltava todellisuudessa vastauksellaan on tarkoittanut. Haastattelun tallentamiseen on aina pyydettävä lupa haastateltavalta ja siitä on hyvä kertoa jo etukäteen, sillä osa ihmisistä vierastaa oman puheensa tallentamista. (Ojasalo ym. 2018, 107.)

Puolistrukturoitu haastattelu etenee ennalta tehtyjen kysymysten pohjalta, mutta sanamuotojen ei tarvitse olla täysin samoja kaikille haastateltaville. Haastattelijalla on mahdollisuus jättää kysymättä tilanteeseen soveltumattomia kysymyksiä ja esittää haastattelun aikana mieleen tulevia kysymyksiä. (Ojasalo ym. 2018, 108.) Hyvärisen ja muiden (2017, 271–272) mukaan puhelinhaastattelun etuna on, että näin kaukana olevat haastateltavat on mahdollista haastatella kustannustehokkaasti, jonka lisäksi haastateltavat voivat olla tavoitettavissa paremmin puhelimitse kuin kasvokkain.

Opinnäytetyön tiedonkeruu menetelmäksi valittiin puhelinhaastattelut. Haastattelut päätettiin tallentaa, jotta niistä saatu tieto saatiin analysoitua tarkemmin. Haastattelumenetelmäksi valittiin puolistrukturoitu haastattelu, joka mahdollisti tietojen keräämisen tehokkaasti ennalta määritettyjen kysymysten pohjalta. Lisäksi menetelmä mahdollisti lisäkysymysten esittämisen, joiden ansiosta aiheesta oli mahdollista saada tarkempi käsitys.

Kahden erillisen tiedonkeruumenetelmän käyttö olisi vastaajien näkökulmasta ollut haastavaa. Tämän vuoksi päädyttiin käyttämään pelkkää haastattelua erillisten kyselytutkimuksen ja haastattelun sijaan. Lisäksi haastattelu valinnalla pyrittiin suurempaan vastausprosenttiin, koska kyselytutkimuksien vastausprosentit jäävät usein alhaisiksi.

2.6 Haastattelukysymyksiä muodostaminen

Tutkimuskysymyksistä johdettuja kysymyksiä, joita voidaan käyttää haastatteluissa, kutsutaan apukysymyksiksi. Tuomi ja Sarajärvi (2013) käyttävät puolistrukturoidusta haastattelusta nimitystä teemahaastattelu. Teemahaastattelussa esitettyjen kysymysten tulee olla merkityksellisiä tutkimuksen tarkoituksen ja tutkimustehtävän näkökulmasta tarkasteltuna. (Tuomi & Sarajärvi 2013, 75.) Kysymyksiä muodostettaessa on tärkeää, että ne muodostetaan huolellisesti. Huonosti asetellut kysymykset voidaan tulkita väärin tai ne voivat johdatella vastaajan vastaamaan tietyllä tavalla. Tämä johtaa vääriin vastauksiin ja tutkimuksen epäonnistumiseen. Tutkimuksen tekijä voi nähdä kysymyksen eri tavalla kuin vastaajat, minkä vuoksi kysymykset tulisi testata ennen varsinaisia haastatteluja. (Kananen 2011, 21, 22, 42.)

Opinnäytetyön haastatteluja varten tutkimuskysymyksistä muodostettiin apukysymyksiä, joita käytettiin pohjana haastatteluille. Apukysymysten muodostamisessa auttoi tietoperustan kirjoittamisen aikana saatu käsitys tuhkalannoituksesta, jonka lisäksi apuna voitiin käyttää hankkeessa toteutettujen haastattelujen pohjana olleita 31 kysymystä. Muodostetut apukysymykset lähetettiin työn tilaajalle arvioitavaksi ennen varsinaisia haastatteluja. Opinnäytetyön haastattelun pohjana käytetty apukysymyslista on liitteessä 1.

Tutkimukseen valituista yrityksistä oli ennalta saatu hyvin vaihteleva määrä tietoa, riippuen internetsivujen sisällöstä. Osalla yrityksistä ei ollut internetsivuja, jolloin valinta haastateltavaksi ottamisesta tehtiin Finderista saatuja yritystietoja arvioimalla. Haastatteluissa aluksi pyrittiin kartoittamaan, kuinka monesta näytteen ehdot täyttävästä lämpölaitoksesta, haastateltavalla oli tietoa. Haastatteluissa selvitettiin kattiloiden nimellistehot ja sijainnit, jotta tutkimustuloksissa oli mahdollista esittää, millaisia kattiloita oli tutkittu ja kuinka ne maantieteellisesti jakautuivat.

Haastattelu rakennettiin niin, että määrälliset kysymykset kysyttiin jokaista lämpölaitosta kohti ja laadulliset kysymykset kysyttiin kerran jokaiselta haastateltavalta. Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen ”Minkä laatuista tuhkaa lämpölaitoksilla tuotetaan ja paljonko?” selvittämiseksi laadittiin seuraavat määrälliset apukysymykset.

- Minkä polttotekniikan kattilaa käytetään?
- Kattilassa käytettävät polttoaineet?
- Minkä verran kattilassa syntyy pohja- ja lentotuhkaa?
- Onko tuhka kuiva- vai märkätuhkaa?
- Erotellaanko eri tuhkakajakeet?
- Onko tuhkan laatua selvitetty?

Toisen tutkimuskysymyksen ”Mitä voitaisiin tehdä lämpölaitosten tuhkien käytön lisäämiseksi metsälannoituksessa?” selvittämiseksi laadittiin seuraavat määrälliset- ja laadulliset apukysymykset.

Määrälliset kysymykset

- Miten tuhkaa säilytetään laitoksella?
- Mihin tuhka käytetään / loppusijoitetaan tällä hetkellä?
- Millaisia kustannuksia tuhkan hävittämisestä tällä hetkellä syntyy?

Laadulliset kysymykset

- Minkä koette suurimmaksi esteeksi tuhkan käytölle metsälannoituksessa?
- Mitä koette tarvitsevanne tuhkan hyödyntämiseen metsälannoituskäytössä?
- Voiko teidän laitosten tuhkien laatua parantaa jotenkin?
- Onko teillä lämpölaitostenne tulevaisuuden käyttöön vaikuttavia suunnitelmia?

2.7 Työn tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä selvitys lämpölaitosten tuhkan käytöstä, siitä aiheutuvista kustannuksista, syntyvien tuhkien määrästä, laadusta ja varastoinnista. Lisäksi haluttiin tietoa tuhkan käytön esteistä metsälannoituksessa ja minkälaista tukea siihen kaivataan. Tavoitteena oli myös saada tietoa, pystyvätkö laitokset vaikuttamaan tuottamansa tuhkan laatuun ja oliko laitoksilla tulevaisuuden suunnitelmia, jotka vaikuttaisivat tuhkien määriin tai laatuun. Selvitetyistä asioista syntyvien tulosten tavoitteena oli mahdollistaa, Heleä-hanketta vertaamaan Keski-Suomesta

saamia haastattelutuloksia laajempaan alueeseen. Opinnäytetyö oli laaja, sillä se sisälsi sekä laadullisesti, että määrällisesti selvitettäviä kysymyksiä, eikä tutkittavasta perusjoukosta ollut olemassa valmista listaa tai rekisteriä. Näitten syitten takia tavoitteena oli saada aikaan vain näyte, eikä otoksesta tehtyä koko perusjoukkoa koskevaa yleistystä.

2.8 Haastattelujen toteutus

Haastattelun onnistumisen kannalta on tärkeää, että haastateltava tietää jo etukäteen mitä haastattelu koskee ja pystyy näin valmistautumaan haastatteluun. Tämä estää myös sen, että haastateltavaksi valikoituisi sellaisia henkilöitä, jotka eivät tiedä haastateltavasta aiheesta riittävästi. (Tuomi & Sarajärvi 2013, 73.) Eettisten periaatteiden mukaan tulee varmistua, että kaikki haastateltavat ovat suostuneet haastatteluun vapaaehtoisesti, haastattelu ei vahingoita haastateltavaa, ja että haastattelu toteutetaan yksityisyyttä sekä tietosuojaa kunnioittaen (Ranta & Kuula-Luumi 2017, 414).

Haastatteluun valittuihin yrityksiin oltiin yhteydessä puhelimitse haastatteluajan sopimiseksi. Puheluissa kerrottiin haastattelun aihe ja sovittiin puhelinhaastattelun ajankohdasta. Näin pyrittiin varmistamaan, että haastateltavilla oli riittävät tiedot haastateltavasta aiheesta. Suurimman osan kohdalla ajan sopiminen vaati useita puhelinsoittoja tai viestien vaihtoa sähköpostin ja tekstiviestien välityksellä. Haastatteluun valituista 27 yrityksestä haastateltuun suostui 20, joista 2 pystyi vastaamaan myös toisen listalla olleen yrityksen puolesta, 3 yritystä kieltäytyi suoraan haastattelusta ja 2 lopetti vastaamasta puhelinsoittoihin ja viesteihin. Haastatteluissa saatiin 22 yrityksen tiedot 27:sta, eli osallistumisprosentti oli 81 %, mikä Kanasen (2015, 263) mukaan täyttää luotettavan tutkimuksen kriteeristön.

Kun haastattelu-aika oli saatu sovittua, yritykselle lähetettiin sähköpostilla liitteenä 2 oleva saatekirje ja esite Heleä-hankkeesta. Näiden tietojen pohjalta haastateltavilla oli mahdollisuus tutustua hankkeeseen ja valmistautua haastattelussa esitettäviin kysymyksiin.

Haastattelut toteutettiin 13.2–4.3.2025 välisenä aikana pääasiassa puhelimitse, poikkeuksena kaksi Teamsilla toteutettua haastattelua. Teams-haastattelut tehtiin haastateltavien toiveesta. Haastattelujen aluksi haastateltaville kerrottiin, että haastattelut tullaan tallentamaan ja haastateltavalla on oikeus halutessaan kieltäytyä vastaamasta kysymykseen. Haastatteluun osallistuneet

yritykset olivat erikokoisia ja yhdellä haastattelukerralla saatiin tietoja 1–17 erillisestä lämpölaitoskattilasta. Haastattelut kestivät 10 minuutista 1,5 tuntiin.

2.9 Haastattelujen analysointi

Haastattelujen analysointi täytyy aloittaa muuttamalla haastattelut kirjalliseen muotoon, eli litteroimalla ne. Litteroinnin tarkkuustaso riippuu tutkimuskysymyksistä. (Ruusu vuori & Nikander 2017, 427.) Määrällisten kysymysten analysoimiseksi tutkimusaineisto tulee tallentaa tilasto-ohjelmaa käyttäen havaintomatriisiksi. Havaintomatriisiin tulee pystysarakkeittain kysymykset ja riveittäin vastaajat. Näin jokaiselle vastaukselle saadaan oma sarakkeensa. Näihin sarakkeisiin syötetään vastaajilta saadut vastaukset muuttujiksi muutettuina. (Kananen 2015, 287.)

Aluksi opinnäytetyössä tehdyt haastattelut litteroitiin tallenteilta. Litteroinnissa haastattelujen keskeinen sisältö kirjoitettiin Word-tiedostoon. Opinnäytetyön kannalta oleellista oli puheen sisältö, niinpä taukojen, täytesanojen ja muun epäoleellisen kirjaamista ei tehty. Määrällisesti käsiteltävät tiedot kerättiin tallenteilta Exceliin tehtyyn havaintomatriisiin. Haastateltavat numeroitiin, jonka avulla Excelin ja Wordin tiedot pystyi myöhemmin yhdistämään toisiinsa.

Ilmiötä kuvailevassa tutkimuksessa analysointi voidaan toteuttaa käyttämällä ristiintaulukointia ja esittämällä aineiston rakennetta kuvaavia tunnuslukuja (Kananen 2011, 85). Suorassa jakaumassa esitetään kuinka monta kutakin arvoa, tai muuttujan ominaisuutta tutkimuksessa esiintyy. Tulokset tulee esittää aina prosenttimuodossa ja pelkkien määrien ilmoittaminen on virheellinen tapa, koska tarkoituksena on yleistää tuloksia. Ristiintaulukoinnissa tarkastellaan kahta muuttujaa samassa taulukossa. Ristiintaulukoinnin avulla on helppo havainnoida muuttujien välistä korrelaatiota, mutta tämä ei vielä takaa muuttujien välistä riippuvuutta. (Mts. 74–77.) Analyysitekstit sisältävät paljon lukuja ja ovat puuduttavaa luettavaa. Tekstin keventäminen korvaamalla lukuja kielellisen keinoin on mahdollista, mutta tällöin sanallisen kuvauksen perään tulee laittaa sulkuihin tarkka prosenttiluku. (Mts. 88–89.)

Opinnäytetyön tulosten aluksi kattilat jaettiin neljään eri kokoluokkaan, jotta vertailu eri kokoluokkien välillä oli mahdollista. Kokoluokat olivat alle 1 MW, 1–5 MW, 5,1–10 MW ja yli 10 MW. Kokoluokat ristiintaulukoitiin polttotekniikoiden kanssa, jolloin saatiin selville kattilan nimellistehon ja

polttotekniikan välistä korrelaatiota, jonka lisäksi saatiin havainnollistettua tutkittuja kattiloita. Riskiintaulukointi esitettiin tuloksissa standardimuotoisessa taulukossa. Muut määrälliset tiedot päädyttiin esittämään suorina jakaumina, joiden havainnollistamiseksi tehtiin ympyrägraafeja, pylväsgraafi ja itse tehty kuvio. Tulosten esittämisessä tekstissä hyödynnettiin sanallisia ilmauksia, tekstin luettavuuden helpottamiseksi.

Litteroidun tekstin analysointi lähtee tekstin pelkistämisestä, jossa tekstille esitetään tutkimukseen liittyviä kysymyksiä. Tekstistä tunnistetaan tutkimuksen kannalta keskeiset asiat, kerätään näitä koskevat lauseet ja lopuksi pelkistetään ne ilmaisuiksi. Tämän jälkeen ilmaisut luokitellaan, jossa samaa tarkoittavat ilmaisut muodostavat aina oman joukkonsa. Joukkoja voidaan jakaa vielä ala- ja yläkategorioihin. (Tuomi & Sarajärvi 2013, 101.)

Opinnäytetyön laadullisten kysymysten analysointi aloitettiin jakamalla vastaajat kahteen joukkoon, joista toiseen kuuluivat vastaajat, joiden tuhkia meni ainoastaan lannoituskäyttöön ja toiseen kaikki muut. Tämän jaon tekemisessä hyödynnettiin Exceliin tehtyä havainnointimatriisia. Selvitettäessä minkä vastaajat kokivat suurimmaksi esteeksi metsätuhkalannoitukselle, analysointi aloitettiin keräämällä litteroidusta tiedosta aihetta käsittelevät lauseet. Lauseet pelkistettiin koskemaan ilmaisuja, jotka vastaajat kokivat suurimmaksi esteeksi. Tulokset luokiteltiin joukoiksi ja saatujen joukkojen jakauma esitettiin opinnäytetyössä sanallisesti. Aiheeseen löytyi myös yksi ilmaisu vastaajien joukosta, jotka jo käyttivät tuhkinsa lannoitukseen mikä avattiin opinnäytetyössä tarkemmin sanallisesti.

Tämän jälkeen kaikista vastaajien vastauksista, joiden tuhkia ei mennyt lannoituskäyttöön etsittiin litteroinnista lauseita, joissa kuvattiin, etteivät tuhkat olleet lannoituskäyttöön sopivia. Vastaukset luokiteltiin ja esitettiin sanallisesti.

Myös selvittäessä lämpölaitosten tulevaisuuden näkymiä ja lämpölaitosten mahdollisuutta vaikuttaa tuhkan laatuun, tehtiin edellä kuvattua vastaava prosessi tietojen prosessoimiseksi. Tarkasteltavana tässä olivat kaikki vastaajat.

3 Tuhka

Energiantuotannon polttoprosesseissa käytettävät kiinteät polttoaineet sisältävät kosteutta, haihtuvia aineita, hiiltä ja tuhkaa. Poltossa polttoaine aluksi kuivuu, jonka jälkeen haihtuvat aineet kaasuuntuvat ja palavat. Tämän jälkeen palaa kiinteä hiili. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2004, 82–83.) Palamisen ollessa täydellistä, polttoaineesta jäljelle jää kiinteässä muodossa ainoastaan tuhkaa. Tuhka muodostuu epäorgaanisista materiaaleista, niinpä tuhkan koostumus ja määrä riippuvat paljon polttoaineen mineraalikoostumuksesta. Tuhka koostuu pääosin alumiinin, fosforin, kaliumin, kalsiumin, magnesiumin, natriumin, raudan, sinkin ja titaanin yhdisteistä. Tuhkan määrä ei vastaa täysin polttoaineen alkuperäistä epäorgaanisen materiaalin määrää, sillä palon aikana osa epäorgaanisista aineista hapettuu tai hajoaa. (Alakangas, Hurskainen, Laatikainen-Luntama & Korhonen 2016, 19.)

3.1 Suomessa syntyvät tuhkat ja niiden luokittelu

Tuhkan laadut voidaan jaotella niiden keräyspaikan ja polttoainekoostumuksen mukaan. Keräyspaikan mukaan jaoteltaessa tuhka jaetaan pohja- ja lentotuhkiin. Lentotuhka on savukaasuista kerättyä tuhkaa ja pohjatuhka kattilan pohjalta kerättyä tuhkaa. Polttoainekoostumuksen perusteella tuhkat jaotellaan yksittäisen polttoaineen poltosta, seospoltosta ja rinnakkaispoltosta syntyviin tuhkiin. Seospoltossa poltetaan perinteisistä polttoaineista muodostuvia seoksia ja rinnakkaispoltossa poltetaan jätteitä ja muita polttoaineita rinnakkain. Tuhkan laadullisiin ominaisuuksiin vaikuttavia seikkoja ovat polttoaine, polttoprosessi ja tuhkan erotustekniikka. (Kiviniemi, Sikiö, Jyrävä, Ollila, Autiola, Ronkainen, Lindroos, Lahtinen & Forsman 2012, 8–9.)

Suomessa syntyy vuosittain 1,5 miljoona tonnia tuhkaa energiantuotannon yhteydessä (Gango & Kuokkanen 2018, 7). Metsälannoituksen näkökulmasta erityisen mielenkiintoista on poltossa muodostuva biotuhka. Suomessa muodostuvan biotuhkan määrästä ei ole olemassa tarkkoja tilastoja, mutta sen on arvioitu olevan noin 500 000 tonnia vuodessa, perustuen energiateollisuuden käyttämään polttoainemäärään. Tässä yhteydessä turpeen poltosta muodostuva tuhka on laskettu kuuluvaksi biotuhkaan. (Vastuullisella metsälannoituksella ilmastohyötyjä 2023, 7–8.) Tämä biotuhka syntyy pääosin poltettaessa puubiomassoja ja turvetta lämpö- ja CHP-laitoksilla. Suomessa näitä biotuhkaa tuottavia laitoksia on arviolta noin 570 kappaletta. Niistä noin 30 on suuria yli 100 MW

laitoksia, noin 140 keskikokoisia 10–100 MW laitoksia ja noin 400 pieniä alle 10 MW laitoksia. (Korpijärvi & Raitila 2023).

3.2 Tuhkan hyödyntämiseen metsälannoituksessa vaikuttava lainsäädäntö

Lannoitelainsäädäntöä on uudistettu viime aikoina ja nykyinen Lannoitelaki 711/2022 astui voimaan elokuussa 2022, korvaten aiemman lannoitevalmistelain 539/2006. Laissa määritellään lannoitteiden ja niiden ainesosien valmistuksesta, varastoinnista, markkinoille saattamisesta, kuljetuksesta, viennistä, tuonnista ja käytöstä. Tämän lain uudistuksen myötä saatiin myös uusi Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista 964/2023, joka tuli voimaan lokakuussa 2023 kumoten aiemman asetuksen 11/12 lannoitevalmisteita koskevan toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta. (Lainsäädäntö 2004.)

Lannoitevalmiste saa sisältää Maa- ja metsätalousministeriön asetuksen (A 964/2023) mukaan ”termisessä hapetuksessa muodostuvia materiaaleja, jotka on saatu termokemiallisella konversiolla olosuhteissa, joissa hapen määrää ei ole rajoitettu, yhdestä tai useammasta syötemateriaalista sekä metallurgisissa prosesseissa muodostuvia kuonia.” Edellytyksenä lannoitekäytölle on, että tuhkat ja kuonat sisältyvät taulukossa 1 esitettyyn Ruokaviraston ainesosaluetteloon. Lisäksi tuhka ja kuonassa olevan orgaanisen hiilen määrä on rajoitettu maksimissaan kolmeen prosenttiin aineen kuiva-ainemassasta, eivätkä ne saa sisältää haitallisia aineita tai yhdisteitä yli taulukon 2 raja-arvojen. (A 964/2023, 17.) Ruokaviraston aineistoluettelo rajaa kivihiilen poltosta ja rinnakkaispoltosta syntyvät tuhkejakeet lannoitekäytön ulkopuolelle.

Taulukko 1. Ruokaviraston ainesosataulukko (Ainesosaluettelo 2024)

AINESOSALUOKKA 8. TUHKAT JA KUONAT		
AINESOSA	ALKUPERÄ	AINESOSAN TIEDOT
Kiinteät biopolttoaineet	Standardin SFS-EN ISO 17225-1:2021 mukaiseen A ja B polttoaineluokkaan kuuluva puu-, kasvi-, hedelmä- ja vesibiomassa sekä näiden seokset	
Turve		
Ensiömassan tuotannon tai massasta valmistettavan paperin tuotannon yhteydessä syntyvä kuituainetta sisältävä kasvipäriäinen jäte	Puunjalostusteollisuus	
Teollisuuden jätevedenpuhdistusprosessin primääri-, sekundääri- ja tertiääriolietteet	Puunjalostusteollisuus	Ei saa sisältää yhdyskuntajätevedenpuhdistamolietetteitä
Asetuksen (EY) 1069/2009 artiklan 9 kohdan a) mukainen lanta, mineralisoimaton quano ja ruuansulatuskanavan sisältö sekä asetuksen (EU) N:o 142/2011 mukainen frassi	Tuotantoeläintilat, teurastamot, hyönteiskasvatamot	Poltaminen asetuksen (EU) N:o 142/2011 tai valtioneuvoston asetuksen 151/2013 mukaisesti
Apupolttoaineet: maakaasu, nesteytetty kaasu, maakaasukondensaatti, prosessikaasut ja niiden ainesosat, raakaöljy, hiili, koksi ja niistä johdetut materiaalit		Apupolttoaineiden käyttö on sallittu ainoastaan poltossa käytettävien syötemateriaalien käsittelyyn polttoprosessin käynnistysvaiheessa.
Masuuni- ja teräskuona	Metallurgiset prosessit	Kuonan on sisällettävä pääasiassa kalsium- ja magnesiumsilikaatteja.

Taulukko 2. Tuhkan ja kuonan sisältämien haitallisten aineiden ja yhdisteiden maksimiraja-arvot (A 964/2023, 17)

Aine tai yhdiste	Enimmäispitoisuus mg/kg ka.
Kromi	400
Vanadiini	600
PAH ₁₆	6

Metsätuhkalannoitteen ravinnepitoisuuksien on oltava kalsiumin osalta vähintään 2,0 massaprosenttia ja fosforin osalta vähintään 0,8 massaprosenttia. Metsätuhkalannoitteeseen saa lisätä sen käyttökelpoisuuden parantamiseksi muiden ainesosaluokkien ainesosia tai lannoitteita maksimissaan 10 % lannoitteen kokonaismassasta. Metsätuhkalannoitteen haitta-aineille on määritetty enimmäispitoisuudet taulukon 3 mukaisesti, joita ei saa ylittää. Poikkeuksena kuitenkin sinkin enimmäispitoisuus 4500 milligrammaa kilogrammassa kuiva-ainetta, joka saa ylittyä, jos lannoitettavan alueen sinkin puute on todettu neulas-, lehti- tai havuanalyysin avulla. Tällöin sallittu maksimimäärä on 6000 milligrammaa kilogrammassa kuiva-ainetta. (A 964/2023, 9.)

Taulukko 3. Metsätuhkalannoitteen haitallisten aineiden maksimi raja-arvot (tiedot A 964/2023, 9)

Alkuaine	Enimmäispitoisuus mg/kg ka.
Arseeni	40
Elohopea	1
Kadmium	25
Kromi	300
Kupari	600
Lyijy	150
Nikkeli	120
Sinkki	4500 / (6000)

3.3 Kiinteiden polttoaineiden polttotekniikat

Biolämpölaitoksissa yleisimpinä polttoratkaisuinä toimivat arinapoltto ja leijukerros­poltto. Leijukerros­poltto alkoi yleistyä energian tuotannossa 1970 luvulla. Nykyisin se on syrjäyttänyt lähes kokonaan arinapolton yli 20 MW tehoisissa kattiloissa ja on hyvä vaihtoehto myös pienemmissä kattiloissa. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2016, 35–36.) Alle 10 MW kattilat ovat tyypillisesti arinakattiloita (Alakangas, Hurskainen, Laatikainen-Luntama & Korhonen 2016, 204; Flyktman, Impola & Linna 2012, 15; Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2004, 147), mutta Flyktmanin ja muiden (2012, 15) mukaan yksittäisiä leijukerroskattiloita löytyy noin 2 MW:n kokoluokkaan asti. Koska arinakattilat ovat lämpölaitoskokoluokassa yleisempiä kuin leijukerroskattilat, käsitellään niitä tässä opinnäytetyössä syvällisemmin.

3.3.1 Arinapoltto

Arinalla tarkoitetaan kattilan pohjalla olevaa polttolaitetta, jonka päällä polttoaine palaa (Huhtinen ym. 2004, 146). Arinapoltto soveltuu kiinteille polttoaineille, jotka tarvittaessa murskataan ennen arinalle syöttämistä. Arinat ovat jaettu eri alueisiin, jossa polttoaine kuivuu, lämpenee, höyrystyy ja lopulta kiinteä aines palaa. Arinat jaetaan kiinteisiin arinoihin ja liikkuviin eli mekaanisiin arinoihin. Suuremmissa arinakattiloissa on tyypillisesti mekaaninen arina ja automaattinen polttoaineen­syöttö sekä tuhkanpoisto. (Huhtinen ym. 2016, 35–36.) Raiko, Hupanen ja Saastamoinen (2002, 466) ovat tehneet suuntaa antavan jaottelun arinakattiloiden kokoluokista, jonka mukaan alue- ja kaukolämmityskäyttöön soveltuvien arinakattiloiden koko on 400 kW–20MW.

Pienissä arinakattiloissa suurin osa tuhkasta poistuu suoraan arinan läpi. Läpi putoavan tuhkan mukana poistuu merkittäviä määriä vielä palamatonta polttoainetta. Suuremmissa arinakattiloissa on palamattoman polttoaineen loppuun palamista varten yleensä oma mekaaninen arinansa. Mekaanisen niin kutsutun tuhka-arinan päästä tuhka tippuu sammutuskaukaloon. (Raiko ym. 2002, 475.)

Kiinteät arinat

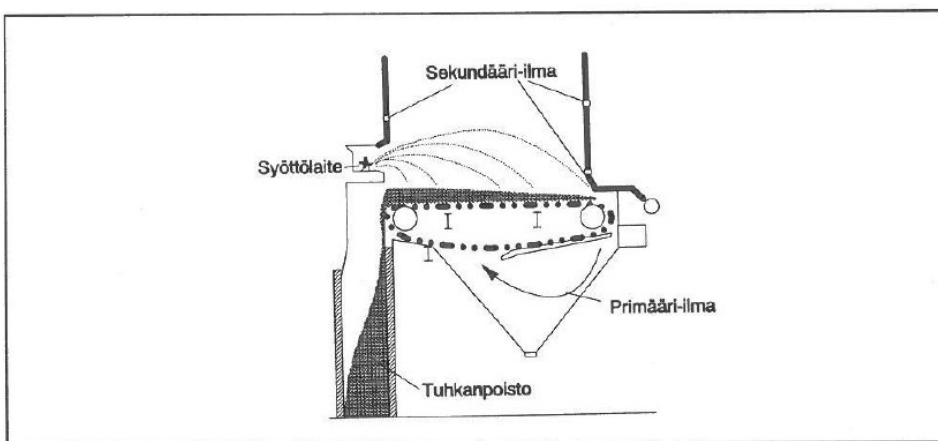
Kiinteä tasoarina on suunniteltu pieniin kattiloihin, joihin polttoaine syötetään käsin. Kiinteää tasoarinaa käytetään usein myös viistoarinan lopussa, jolloin sitä kutsutaan jalka-arinaksi. Jalka-arinan tehtävänä on varmistaa polttoaineen loppuun palaminen. Tasoarina voidaan tehdä latomalla arinasauvoja vierekkäin kannatuspalkkien päälle. Arinasauvojen väliin jää vapaata tilaa, jonka yhteenlaskettua pinta-alaa kutsutaan vapaaksi arinapinnaksi. Toinen vaihtoehto on tehdä tasoarina yhtenäisestä valetusta levystä, johon vapaa arinapinta on toteutettu reikien avulla. Kiinteässä tasoarinassa ilma virtaa tämän vapaan arinapinnan kautta polttoaineen sekaan tuoden tarvittavan hapen palamiseen. (Huhtinen ym. 2004, 147.)

Kiinteä viistoarina asennetaan sen nimensä mukaisesti viistoon, tyypillisesti 30–50 asteen kulmaan, jolloin polttoaine valuu arinalla painovoiman vaikutuksesta. Arinan kulma riippuu käytettävästä polttoaineesta sekä sen juoksevuudesta ja voi vaihdella eri kohdissa arinaa. Polttoaine voidaan syöttää arinalle siilosta, jolloin polttoaine tulee automaattisesti sitä mukaa kun arina tyhjenee palamisen seurauksena. Polttoaineen syöttö voidaan toteuttaa myös koneellisesti, esimerkiksi siilon alla olevien tankopurkaimien avulla. Viistoarina on rakennettu valurautaisista arinaraudoista kattilaputkiston päälle niin, että ilma mahtuu virtaamaan niiden välistä polttoaineen sekaan. Arinaraudojen alle ilma saadaan kattilaputkien väliin sijoitetuista rei'itetyistä latta-raudoista. Porrasarinaksi kutsutaan viistoarinaa, joka muodostuu portaista. Porrasarinaan ilma syötetään portaiden välistä vaakasuorasti. (Mts. 147–148.)

Mekaaniset arinat

Mekaaninen ketjuarina on kuin tasoarina sillä erotuksella, että se liikkuu. Mekaaninen ketjuarina on rakennettu arinaraudoista kahden ketjun päälle, joita liikuttavat vetävät ketjupyörät. Tätä kokonaisuutta kannattelee tukirakenteiden varaan kiinnitetyt kannatusrullat. Isommissa kattiloissa

näitä ketjuista ja arinaraudoista muodostuvia kokonaisuuksia voi olla useampia vierekkäin. Arinarautojen liitoskohdissa arinaraudoissa on uria, joiden avulla polttoaineen sekaan saadaan tuotua ilmaa. Perinteisesti polttoaine syötetään arinan toisessa päässä olevasta syöttökourusta. Polttoaineen ollessa puuta tai turvetta, syötettävän polttoaineen kerrospaksuus on 30–90 cm. Tätä kerrospaksuutta saadaan säädettyä pystysuoraan liikkuvalla säätöluukulla, jonka kautta polttoaine siirtyy arinan mukana tulipesään. Arinan liikuessa tulipesässä polttoaine kuivuu ja palaa. Tulipesän toisessa laidassa sijaitsee kääntötela, missä vaiheessa arinalla on enää tuhkaa ja kuonaa. Kääntötelalla arinalla oleva kuona ja tuhka putoavat kuonasuppiloon. Ennen kääntötelaa arinan yläpuolella on kuonaleikkuri, jonka tehtävänä on viivyttää tuhkan poistumista tulipesästä varmistuen polttoaineen täydellisempi palaminen. Toinen tapa toteuttaa polttoaineen syöttö ketjuarinalle, on varustaa se heittosyöttimellä kuvion 1 mukaisesti. Heittosyötin asennetaan arinan yläpuolelle samalle sivulle, jossa tuhkanpoisto sijaitsee. Heittosyötin heittää polttoaineen arinan kulkusuuntaa vasten. Polttoaineesta raskaimmat partikkelit lentävät arinan toiseen päähän ja palavat kuten syöttökourusta syötettynä, mutta hienommat partikkelit palavat jo matkalla. Tämä menetelmä mahdollistaa suurempien polttoainemäärien polttamisen samalla arinapinta-alalla, mutta lisää lentotuhkan määrää. (Huhtinen ym. 2004, 149–150.)

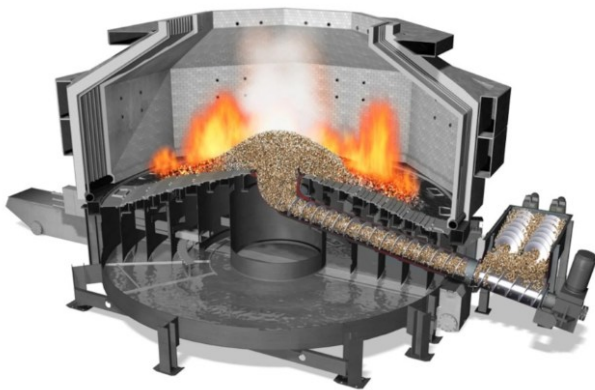


Kuvio 1. Heittosyöttimellä varustettu ketjuarina (Huhtinen ym. 2004, 150)

Mekaaninen viistoarina rakennetaan loivempaan kulmaan, kuin kiinteä viistoarina. Polttoaine ei kuljekaakaan painovoiman vaikutuksesta, vaan liike saadaan aikaan arinarautojen liikkeen ja tärinän vaikutuksesta. Arinarautojen liike saadaan aikaiseksi työntötankojen avulla, joiden iskun pituutta ja

nopeutta säätämällä voidaan säätää polttoaineen kulkunopeus halutuksi. Arinarautoja jäähdytetään arinan mallin mukaan ilmajäähdytteisesti tai rakentamalla ne höyryputkien tai jäähdytettyjen tukirautojen päälle. Mekaaniset viistoarinat soveltuvat erityisen hyvin kosteille polttoaineille kuten puulle ja turpeelle. (Mts. 150–151.)

Kekoarina muodostuu samankeskisistä kehistä, joissa joka toinen kehä on paikallaan ja joka toinen pyörii. Pyörivistä kehistä joka toinen kehä pyörii vasta- ja joka toinen myötäpäivään. Kekoarinassa polttoaine syötetään arinan keskeltä syöttöruuvilla kuvion 2 mukaisesti. Tämän tekniikan ansiosta koko arinalle muodostuu tasainen polttoainekerros. Tässä kattilatyyppissä tulipesä on muurattu ja jäähdyttämätön, minkä ansiosta kosteillakin polttoaineilla saadaan riittävän korkeat lämpötilat hyvään palamiseen. (Huhtinen ym. 2016, 36.)



Kuvio 2. Kekoarina Biograte kattilamallissa (Biograte n.d.)

3.3.2 Leijukerrospoltto

Leijukerroskattilat jaetaan kerrosleijukattiloihin ja kierto-leijukattiloihin. Kerrosleijukattiloissa leijuttava hiekka muodostaa kattilan pohjalle 0,4–0,8 metrin paksuisen hiekkapedin, jonka voi selvästi havaita. Kierto-leijukattiloissa hiekka on hienompaa ja leijutusnopeus suurempaa kuin leijukerroskattiloissa. Kierto-leijukattiloissa hiekka ei muodosta selvästi havaittavaa hiekkapetiä, vaan hiekka kiertää kattilassa ilmavirran mukana kattilan yläosaan, jossa se erotetaan savukaasuista syklonin avulla ja palautetaan kattilan pohjalle. Suomessa kierto-leijukattiloita käytetään vain läm-

pövoimalaitoksissa, joissa on varauduttu hiilen polttoon. (Huhtinen ym. 2016, 36–37.) Opinnäytetyössä keskitytään leijukerrospolton osalta vain kerrosleijukattiloihin, joita käytetään lämpölaitoksissa.

Kerrosleijukattiloissa polttoaine poltetaan leijutettavan hiekan seassa. Hiekkaa leijutetaan kattilan pohjasta tulevan ilman avulla, joka toimii palamisessa niin kutsuttuna primääri-ilmana. Kattilan ylempiin osiin syötetään sekundääri- ja tertiääri-ilma palamisen loppuun saattamiseksi. Kerrosleijukattila soveltuu hyvin kosteiden polttoaineiden polttamiseen sen suuren hiekkaan varautuneen lämpöenergian ansiosta. Polttoaineen kosteuden vaihtelu ei aiheuta samanlaisia epäedullisia vaikutuksia palamiseen kuten arinapoltoissa. (Mts. 36–37.)

Kerrosleijukattiloissa kiinteä polttoaine syötetään pudotusputkien avulla hiekkapedin päälle, jossa pienimmät partikkelit palavat välittömästi pedin päällä. Suuremmat partikkelit hautautuvat hiekkapetiin kuivuen, höyrystyen ja lopulta palaen. (Mts. 36–37.) Kerrosleijukattilan pohjatuhka saadaan kattilasta pois päästämällä pohjatuhkaa arinan aukoista pois tietyin väliajoin. Pohjatuhka sisältää paljon petihiekkaa, jonka tilalle on lisättävä uutta hiekkaa. Lisättävä hiekka voi olla osittain pohjatuhkasta seulottua vanhaa hiekkaa. (Huhtinen ym. 2004, 158.)

3.3.3 Polttotekniikan vaikutus tuhkaan

Polttotekniikalla on suuri vaikutus syntyvään pohja- ja lentotuhkan suhteelliseen määrään. Arinapoltoissa pohjatuhkan osuus on 60–95 % ja lentotuhkan osuus 5–40 %. Leijupoltoissa pohjatuhkan osuus on 0–20 % ja lentotuhkan osuus 80–100 %. (Kiviniemi ym. 2012, 9.) Lisäksi arinapolton ja leijupolton pohja- ja lentotuhkien ominaisuudet eroavat toisistaan. Leijukerrospolton pohjatuhka sisältää paljon leijupedissä käytettävää hiekkaa ja arinapolton lentotuhkaan kertyvät raskasmetallit. Niinpä lannoituskäyttöön soveltuvia tuhkajakeita ovat leijukerrospolton lentotuhka ja arinapolton pohjatuhka. (Vastuullisella metsälannoituksella ilmastohyötyjä 2023, 7.)

3.4 Lentotuhkan erotusmenetelmät

Lentotuhkaksi kutsutaan savukaasuvirran mukaan lähtenyttä tuhkaa. Tämä lentotuhka erotetaan savukaasuista ennen savukaasujen piippuun ohjaamista sähkösuodattimen, pesurin, letkusuodatti-

men, syklonin tai dynaamisen erottimen avulla. (Huhtinen ym. 2004, 251.) Dynaamisista erottimista yleisimmin käytössä ovat syklonit ja multisyklonit (mts. 253). Savukaasujen puhdistimen valintaan vaikuttaa puhdistusasteen vaatimus, polttoaine, polttotekniikka, kattilan kokoluokka ja investointi- sekä käyttökustannukset (Flyktman ym. 2012, 21). Polttoaineella on suuri merkitys savukaasuissa olevien partikkelien hiukkaskokoon ja syntyvän tuhkan määrään. Turpeen polton lentotuhka muodostuu pääosin karkeista yli 2,5 µm kokoisista hiukkasista. Puun poltossa syntyvässä lentotuhkassa on paljon pienhiukkasia eli hiukkasia, joiden halkaisija on alle 2,5 µm. Näistä pienhiukkasista suurin osa on niin kutsuttuja kertymähiukkasia, joiden läpimitta on vain 0,1–1,0 µm. Toisaalta turpeen poltossa muodostuu paljon puun polttoa enemmän tuhkaa, jolla on merkitystä kokonaishiukkasmäärään savukaasuissa. (Mts. 6–7.)

Taulukossa 3 on eritelty Huhtisen ja muiden (2004, 256) näkemys savukaasun puhdistukseen käytettyjen laitteiden kyvystä erottaa hiukkasia. Flyktman ja muut (2012) puolestaan näkevät pölynerotusmenetelmien erotuskyvyt seuraavasti. Syklonin erotusaste yli 5 µm hiukkasille on 60–85 % ja multisyklonilla 75–98 %. Puun poltossa syntyvän hienon lentotuhkan erotusaste sähkösuodattimella on 95–98 %. Pesurin kyky erottaa kertymähiukkasia on vain noin 30 %, mutta karkeilla hiukkasilla päästään 80–98 % erotusasteeseen. (Flyktman ym. 2012, 6–7.)

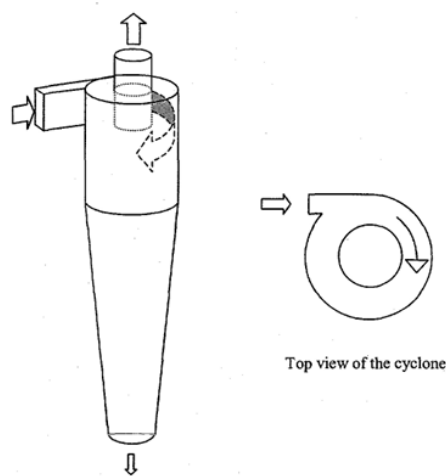
Taulukko 4. Pölynerotusmenetelmien erotusasteita prosentteina (tiedot Huhtinen ym. 2004, 256)

Puhdistin	Hiukkaskoko 0,5 µm	Hiukkaskoko yli 0,5 µm
Sykloni	alle 40 %	50-97 %
Multisykloni	alle 60 %	75-100 %
Sähkösuodatin	70 %	97-100 %
Pesuri	90 %	98-100 %
Letkusuodatin	99,5 %	100 %

3.4.1 Sykloni ja multisykloni

Sykloni on hankintahinnaltaan edullinen ratkaisu. Sen heikkoutena on tukkeutumisriski savukaasun sisältäessä paljon hiukkasia tai kosteutta. Lisäksi sen pienhiukkasten erotuskyky savukaasuista on heikko. Syklonit soveltuvat hyvin käytettäväksi pienille arinakattiloille niiden savukaasujen kuivumisen ja pienten hiukkaspitoisuuksien ansiosta. Syklonit ovat pienien kattiloiden savukaasujen puhdistuksessa hyvin yleinen ja kustannustehokas ratkaisu. (Flyktman ym. 2012, 22.)

Pölypitoinen kaasu voidaan johtaa sykloniin tangentiaalisesti tai aksiaalisesti. Sykloniin ohjattavan kaasun nopeus on tyypillisesti 15–20 m/s, jossa se ohjataan johtosiipien avulla spiraalimaiseen liikkeeseen kohti syklonin pohjaa. Massavaikutuksen takia pölyhiukkaset sinkoutuvat päin syklonin seiniä ja valuvat syklonin pohjalla olevaan poistokanavaan. Puhdistunut ilma imetään pois syklonin keskeltä, kuten kuvioista 3 on esitetty. Syklonin erotusaste on verrannollinen syklonin halkaisijaan, joten sen erotusastetta saadaankin nostettua jakamalla savukaasut useampaan pieneen sykloniin yhden sijasta. Tätä useasta syklonista koostuvaa järjestelmää kutsutaan multisykloniksi. (Huhtinen ym. 2004, 253.)



Kuvio 3. Sykloni tangentiaalisella tulokanavalla (Fredriksson 1999, 16)

3.4.2 Sähkösuodatin

Sähkösuodatin on hyvin tehokas ja pitkäikäinen, mutta hankintakustannuksiltaan melko kallis. Se soveltuu hyvin suurien savukaasumäärien puhdistukseen (Huhtinen ym. 2004, 253) ja onkin Flyktmanin ja muiden (2012, 22) mukaan varma ratkaisu leijukattiloihin, joissa poltetaan puuta tai turvetta.

Aluksi savukaasu tulee sähkösuodattimen ionisointivyöhykkeelle, jossa savukaasun sisältämät kiinteät hiukkaset varautuvat negatiivisesti. Tämän jälkeen savukaasut menevät voimakkaan sähköisen kentän läpi, jossa negatiivisesti varautuneet hiukkaset tarttuvat erotuselektrodeihin. Kiinnittynyt pöly poistetaan erotuselektrodeista ravistimilla tai vesihuuhtelulla riippuen siitä onko kyseessä kuuma- vai märkäsähkösuodin. (Huhtinen ym. 2004, 252–253.)

3.4.3 Savukaasupesuri

Energiantuotannossa savukaasupesureilla tuhkan erottaminen savukaasuista on harvinaista, sillä erotuksessa syntyvän veden puhdistaminen vaatii kalliiden järjestelmien hankkimista (Huhtinen ym. 2004, 255). Savukaasupesureita käytetään Suomen lämpölaitoksilla yleensä rikin poistoon ja niiden edessä on tyypillisesti jokin hiukkaserotin. Savukaasupesurien yhteyteen on lähes aina asennettu lämmöntalteenotto, jolla savukaasujen vesihöyryn lauhtumisesta syntyvä lämpö saadaan hyödynnettyä kaukolämmön paluuveden lämmitykseen. (Flyktman ym. 2012, 22.)

Savukaasupesurissa pieniksi pisaroiksi muutettu vesi syötetään vastavirtaan savukaasujen kanssa, jolloin savukaasuissa olevat kiinteät hiukkaset muodostavat suurempia pisaroita veden kanssa. Nämä muodostuneet pisarat erotetaan savukaasuista pisaranerottimilla. (Joronen, Kovács & Majanne 2007, 49.)

3.4.4 Letkusuodatin

Letkusuodattimien erotusaste on muita erotustapoja parempi ollen yli 99 %. Sen käyttö ei ole yleistä pienten kattiloiden savukaasupuhdistuksessa tulipaloriskin sekä suurten hankita- ja käyttökustannusten vuoksi. (Flyktman ym. 2012, 7.)

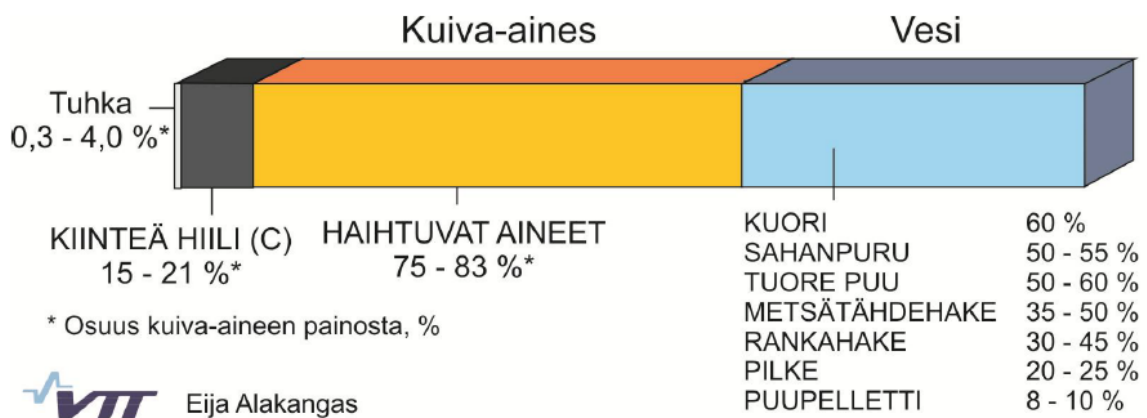
Letkusuodatin muodostuu kehikkoihin asennetuista pusseista joiden toinen pää on avonainen. Pussit on valmistettu suodatinkankaasta, joiden maksimi käyttölämpötila materiaalista riippuen on 200–250 °C. Savukaasu johdetaan letkusuodattimen läpi, jolloin kiinteät hiukkaset jäävät suodatinkankaan pintaan ja puhdistunut savukaasu jatkaa matkaansa suodatuskankaanläpi. Suodatuskangasta voidaan puhdistaa ravistimien, ultraäänien tai paineilmasykyäysten avulla. Aika ajoin on myös mahdollista kääntää savukaasujen kulkusuuntaa hetkellisesti, jolloin suodatinkankaan toiselta puolelta tuleva puhdistettu savukaasu puhdistaa suodatinkankaita. (Huhtinen ym. 2004, 253.)

3.5 Tuhkan keräys

Tuhkat siirretään kattilasta kuljetusjärjestelmän avulla joko vaihtolavalle tai tuhksiiloon odottaen niiden poisvientä lämpölaitokselta. Tyypillisiä pohjatuhkien kuljetusjärjestelmiä ovat ruuvi-, raappa ja kolakuljettimet. Lentotuhkia voidaan siirtää mekaanisten kuljettimien lisäksi myös

4.1 Puu

Puun kemialliseen koostumukseen vaikuttavat monet tekijät kuten puulaji, vuodenaika, puun ikä, kasvupaikka ja se mistä puun- osasta tai jakeesta on kyse (Alakangas ym. 2016, 54–55; Raiko ym. 2002, 270). Kuviossa 5 esitetään puun kemiallista koostumusta. Puun poltossa syntyvässä tuhassa on keskimäärin 5–40 % kalsiumia, 0,5–10 % kaliumia, 0,2–3 % fosforia ja alle 0,1 % booria. Puu- tuhka soveltuu hyvin metsälannoituskäyttöön, sillä siinä on tyypeä lukuun ottamatta kaikki puiden tarvitsemat raaka-aineet oikeissa suhteissa. (Huotari 2012, 6.)



Kuvio 5. Puun koostumus (Alakangas ym. 2016, 55)

Metsäpolttoaine on mekaanisin menetelmin aiemmin hyödyntämättömästä puuraaka-aineesta valmistettua polttoainetta. Metsäpolttoaineesta voidaan käyttää myös nimitystä energiapuun. Energiapuun raaka-aine koostuu hakkuutähteistä, latvusmassasta, harvennuspuusta ja kannoista. (Alakangas ym. 2016, 14.) Kuvio 4 nähdään, että energiapuun osuus koko kaukolämmöntuotannosta vuonna 2023 oli suurin ja kattoi peräti 30 % kaikista käytetyistä energialähteistä. Energiapuusta tehtävä hake voidaan lajitella karkeasti kolmeen luokkaan, jotka ovat metsätähdehake, kokopuu- ja rankahake (Kaukolämpötilastot 2024, 14). Kokopuu- ja rankahakkeen valmistukseen käytetään karsimattomia puita, rankahakkeeseen karsittuja rankoja ja metsätähdehake muodostuu latvoista, oksista, raivauspuusta ja kannoista. (Alakangas ym. 2016, 66.) Kokopuu- ja rankahakkeen tehollinen lämpöarvo on 19–20,5 MJ/kg ja tuhkapitoisuus 0,7–1,6 % kuiva-aineen painosta (mts. 77–78). Metsätähdehakkeen lämpöarvo ja tuhkapitoisuus vaihtelevat paljon riippuen mm. puulajista, puun iästä ja siitä mistä osasta puuta se valmistetaan (mts. 74).

Puun jalostusteollisuuden sivutuotteita saadaan puuta käsitteleviltä laitoksilta kuten sahoilta ja höyläämöiltä sekä paperi- ja sellutehtailta. Saatavia sivutuotteita ovat muun muassa sahanpuru, kuori, hiontapöly, kutterilastut ja tasauspätkät (Mts. 16). Kuvion 4 mukaisesti kaukolämmöntuotannossa eniten käytetyt puunjaloitusteollisuuden sivutuotteet ovat sahanpuru ja kuori. Puun kuoren lämpöarvo on 19–32 MJ/kg ja on siitä syystä hyvä polttoaine. Haittapuolena kuorella on sen korkea tuhkapitoisuus, joka on puulajista riippuen 1,5–3,4 % kuiva-aineen painosta. (Mts. 81–83.) Sahanpurun tehollinen lämpöarvo on 18,9–19,2 MJ/kg ja tuhkapitoisuus 0,4–1,1 % kuiva-aineen painosta (mts. 86).

Kaukolämmön tuotannon polttoaineissa muuhun biomassaan kuuluvat vielä kierrätyspuu ja puupelletit. Puupelletit valmistetaan tyypillisesti mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteista kuten kuivasta purusta, hiontapölystä ja kutterinlastusta. Pelletin valmistuksessa raaka-aine jauhatetaan, jonka jälkeen jauhatettua massaa puristamalla saadaan muodostettua kiinteitä pellettejä, joiden kosteus on hyvin alhainen. Pellettien lämpöarvo on 14–17,5 MJ/kg ja tuhkapitoisuus vain noin 0,5 % kuiva-aineen painosta. (Mts. 95–96.)

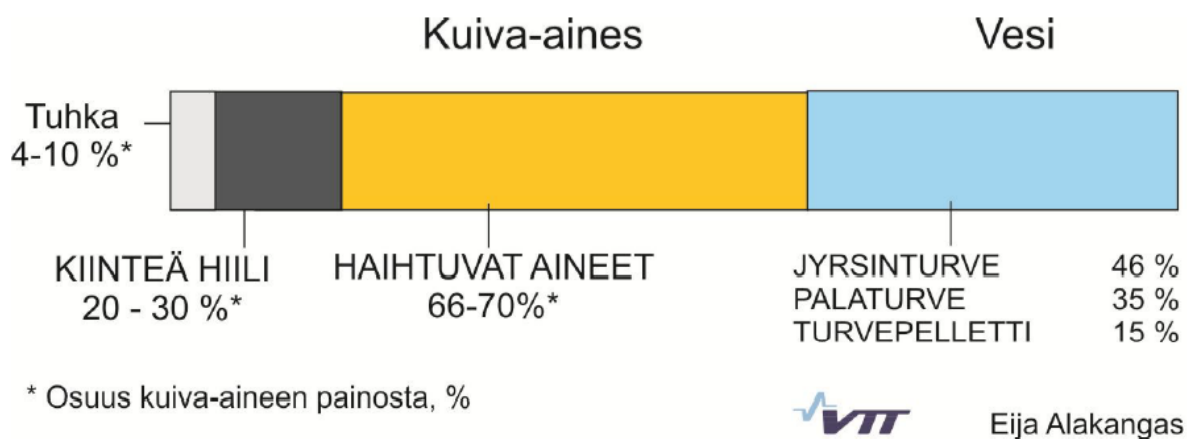
Käytöstä poistettu puu voidaan jakaa kierrätyspuuhun, kierrätyspolttoaineisiin ja vaarallisiin jätteisiin. Alakankaan ja muiden (2016) mukaan käytöstä poistettu puu luokitellaan neljään eri luokkaan, jotka ovat A, B, C ja D. Luokat A ja B ovat kierrätyspuuta ja kuuluvat biopolttoaineisiin, eikä niiden polttoon sovelleta jätteenpolttoasetuksia. Luokka A koostuu kemiallisesti käsittelemättömästä puutähteestä. Luokkaan B kuuluvat kemiallisesti käsitelty puu, jos se ei sisällä luonnonpuuta enempää halogeenisia orgaanisia yhdisteitä tai raskasmetalleja. Luokkaan C kuuluvat puutähteet, jotka sisältävät luonnonpuuta enemmän orgaanisia halogeenisia yhdisteitä ja raskasmetalleja, mutta eivät sisällä puunkyllästysaineita. Luokkaan C sovelletaan jätteenpolttoasetusta ja siihen kuuluvat puujätteet luokitellaan kierrätyspolttoaineisiin. Luokan D puu sisältää puunkyllästysaineita ja on vaarallista jätettä. (Alakangas ym. 2016, 104.)

4.2 Turve

Turve muodostuu kuolleista kasveista ja niiden osista kosteissa oloissa maatumalla. Suolla hapen puutteen ja runsaan veden seurauksena kuolleet kasvit eivät pääse maatumaan täydellisesti, josta muodostuu turvekerros. (Alakangas ym. 2016, 119.) Turpeen uusiutumisenopeus on hyvin hidasta minkä vuoksi hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneli IPCC:n (2006) määritelmän mukaan turve ei

kuulu biopolttoaineisiin. Kaukolämmön tuotannossa käytetään pala- ja jyrsinturvetta, joista jyrsinturve on huomattavasti yleisempi kuten kuviosta 4 voidaan huomata. Jyrsinturve sisältää erikokoisia turverakeita ja pölymäistä turvetta. Se voi sisältää myös pieniä määriä maatumattomia tai huonosti maatuneita kasvinosia. Palaturve puolestaan muodostuu mekaanisen muokkauksen seurauksena syntyneistä turvepaloista. (Alakangas ym. 2016, 10, 15.)

Kuviosta 6 on esitetty, että turpeen tuhkapitoisuus on 4–10 %. Verrattaessa turpeen tuhkapitoisuutta kuviossa 5 esitettyyn puun tuhkapitoisuuteen 0,3–4,0 % havaitaan turpeen sisältävän tuhkaa huomattavasti puuta enemmän. Turpeen tuhka ei ole yhtä ravinnerikasta kuin puutuhka. Turvetuhka sisältää 5–10 % kalsiumia, 0,2–0,4 % kaliumia, 0,5–2 % fosforia ja alle 0,01 % booria. (Huotari 2012, 6.)



Kuvio 6. Turpeen koostumus (Alakangas ym. 2016, 120)

5 Tutkimustulokset

Haastatteluissa saatiin tiedot 22 yrityksen 77 lämpölaitosyksiköstä, joista kaikki sijaitsi omalla tontillaan. Päätoimisia kiinteää polttoainetta polttavia kattiloita oli näissä kaikkiaan 96 kappaletta. Kattiloista 29 sijaitsee Etelä-Pohjanmaalla, 24 Pohjois-Savossa, 20 Pohjois-Pohjanmaalla, 18 Etelä-Savossa, 3 Pirkanmaalla ja 2 Keski-Pohjanmaalla.

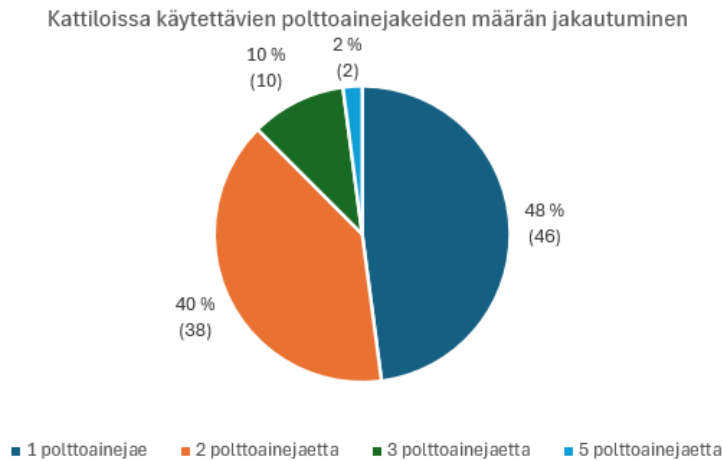
5.1 Kattiloiden tehot ja polttoaineet

Kattiloiden nimellistehot vaihtelivat 0,2–90 MW välillä. Kattiloista vähän alle kolmannes (30 %) oli nimellisteholtaan maksimissaan 1 MW tehoisia, 1,1–5 MW tehoisia kattiloita oli lähes puolet (41 %), 5,1–10 tehoisia kattiloita vajaa viidennes (19 %) ja yli 10 MW tehoisia kattiloita vain joka kymmenes (10 %). Yli kolme neljäsosaa (78 %) kaikista kattiloista oli arinakattiloita, joihin mukaan on laskettu pellettikattilat. Toiseksi yleisimpänä tulivat leijukerroskattilat reilulla kymmenesosalla (11 %), jonka lisäksi mukaan mahtui kaasutinkattiloita (5 %), pölykattiloita (4 %) ja yksi rumpukattila (1 %). Taulukossa 5 on esitetty kattiloiden polttotekniikoiden jakaantumista eri kokoluokissa, josta voidaan havaita arinakattiloiden osuuden pienenevän kattilan nimellistehon kasvaessa.

Taulukko 5. Kattiloiden määrät kattilan nimellistehojen ja polttotekniikoiden mukaan

Kattilan koko ja polttotekniikka					
N	1MW ja alle	1,1-5MW	5,1-10MW	Yli 10MW	Kaikki
	29	39	18	10	96
	%	%	%	%	%
Arina	100 %	82 %	72 %	10 %	78 %
Leijupeti	0 %	8 %	11 %	60 %	11 %
Muu	0 %	10 %	17 %	30 %	10 %
Yht.	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

Kattiloissa käytettiin polttoaineina biopolttoaineita ja turvetta. Kuviossa 7 esitetään, kuinka monta eri polttoainejaetta kattiloissa oli käytössä. Kattiloista lähes puolessa (48 %) käytettiin yhtä polttoainejaetta, lähes yhtä monta kattilaa (40 %) käytti kahta polttoainejaetta, kymmenes (10 %) käytti kolmea ja vain 2 % käytti viittä jaetta.



Kuvio 7. Kattiloissa käytettävien polttoainejakeiden määrän jakautuminen

Kuviossa 8 kuvataan kuinka monessa kattilassa mitäkin polttoainejakeita käytettiin ja käytön suhdetta kaikkiin kattiloissa käytettyihin polttoainejakeisiin. Kuviossa 8 ei oteta kantaa poltettujen polttoaineiden määriin. Energiapuuta käytettiin lähes puolessa kattiloista (48 %) ja turve oli käytössä neljäsosassa kattiloita (25 %). Turpeen poltto tapahtui pääosin seospolttona muiden polttoaineiden kanssa ja vain yhdessä (3 %) turvetta polttavista kattiloista poltettiin pelkkää turvetta. Niemellisteholtaan enintään 1 MW olevissa kattiloissa poltettiin lähes pelkästään (97 %) vain yhtä polttoainejakeita, joka oli energiapuu tai pelletti. Muissa kokoluokissa yhtä polttoainejakeita polttavia kattiloita oli vain neljännes (25 %).

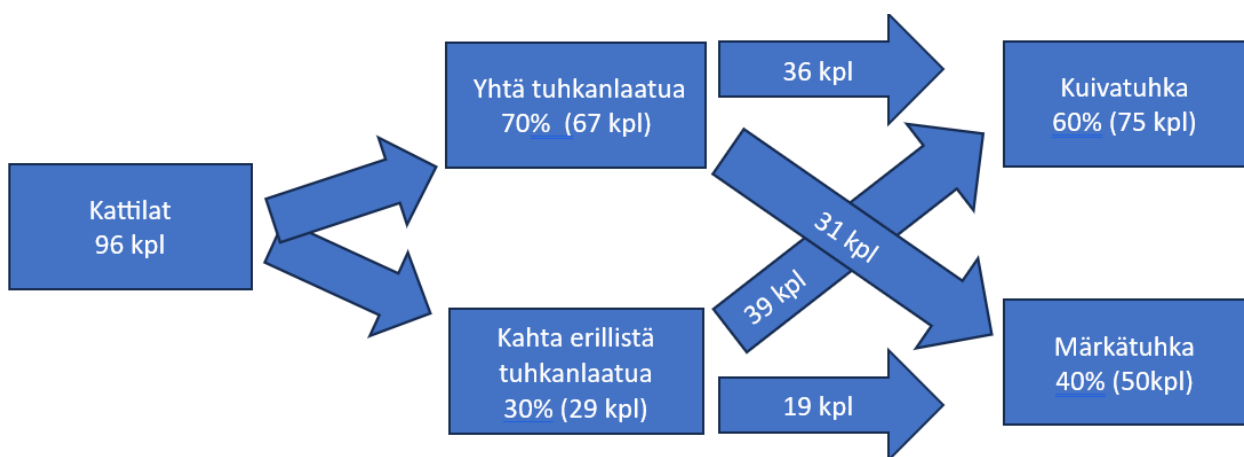


Kuvio 8. Kattiloissa käytettävien polttoainejakeiden jakautuminen

5.2 Kattiloista syntyvät tuhkat ja niiden säilytys lämpölaitoksilla

Kattiloista syntyvien tuhkien määriä ei saatu kartoitettua, sillä niiden ilmoitustavat vaihtelivat suuresti. Osa vastaajista ilmoitti tuhkan määrän tonneina ja osa kuutioina. Osassa vastauksista tuhkien määriä oli yhdistetty koskemaan useampaa kattilaa ja joistain kattiloista tuhkan määriä ei saatu ollenkaan. Osa ilmoitetuista tuhkan painoista sisälsi vettä, eikä suurimmassa osassa ollut tietoa kuinka suuri veden osuus oli. Myöskään vastaajien tapa arvioida tuhkien määrää ei ollut vertailukelpoista, sillä kaikilla vastaajilla ei ollut saatavissa tarkkoja tietoja syntyneistä tuhista. Osa vastaajista arvioi tuhkien määrää tontilta vietyjen tuhkamäärien perusteella, eikä tämä välttämättä vastannut vuoden aikana syntyneitä tuhkia. Osa vastaajista laski tuhkien määrän poltetusta polttoaineesta ja osa konttien tyhjennyskerroista. Syntyviä tuhkia käsitelläänkin tässä opinnäytetyössä kattiloittain, eikä siinä oteta kantaa tuhkien määriin.

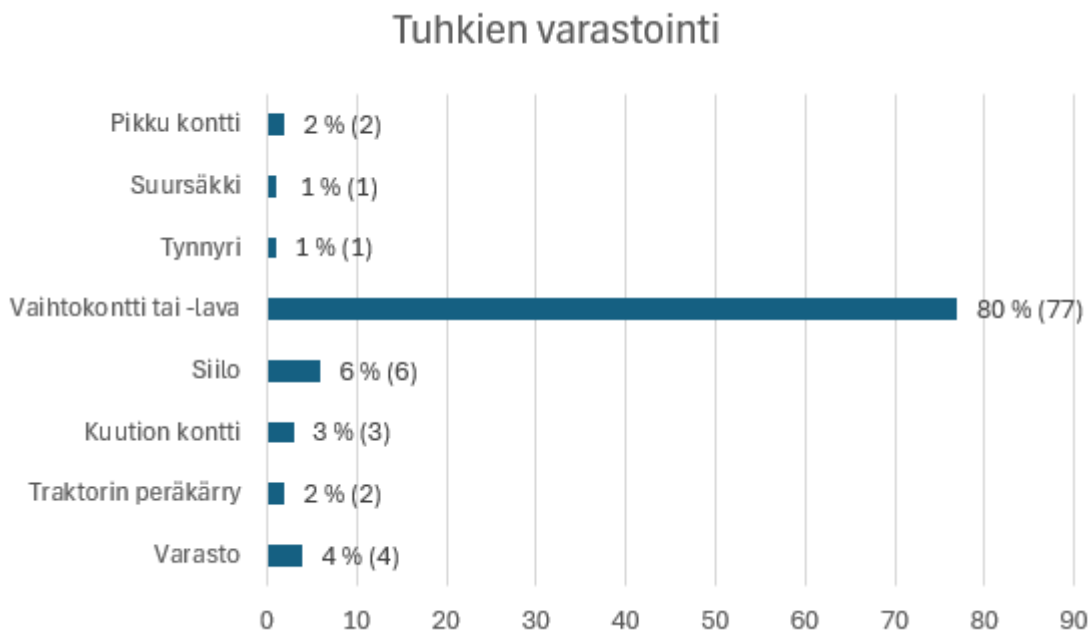
Kuviossa 9 on havainnollistettu tuhkien jakaantumista kuiva- ja märkätuhkiin. Kattiloista vajaassa kolmanneksessa (30 %) kerättiin erillisesti pohja- sekä lentotuhkaa ja suurimmasta osasta (70 %) tuli vain yhtä tuhka laatua. Suurin osa (60 %) kerätyistä tuhista oli kuivatuhkaa. Märkätuhkan kosteusprosentti saatiin tietää neljäsosasta (25 %) märkätuhkia ja se vaihteli 11–49-prosentssiksi välillä.



Kuvio 9. Tuhkan jakautuminen kuiva- ja märkätuhkiin

Kuviossa 10 on esitetty, kuinka kattiloiden tuhkat varastoitiin laitoksilla. Suurin osa (80 %) kattiloiden tuhista kerättiin kuorma-auton vaihtolavalle tai -konttiin, jolla ne kuljetettiin pois. Toiseksi yleisimpänä (6 %) tapana oli säilöä tuhkat siiloon, josta ne purettiin kuorma-autoon tai rekkaan.

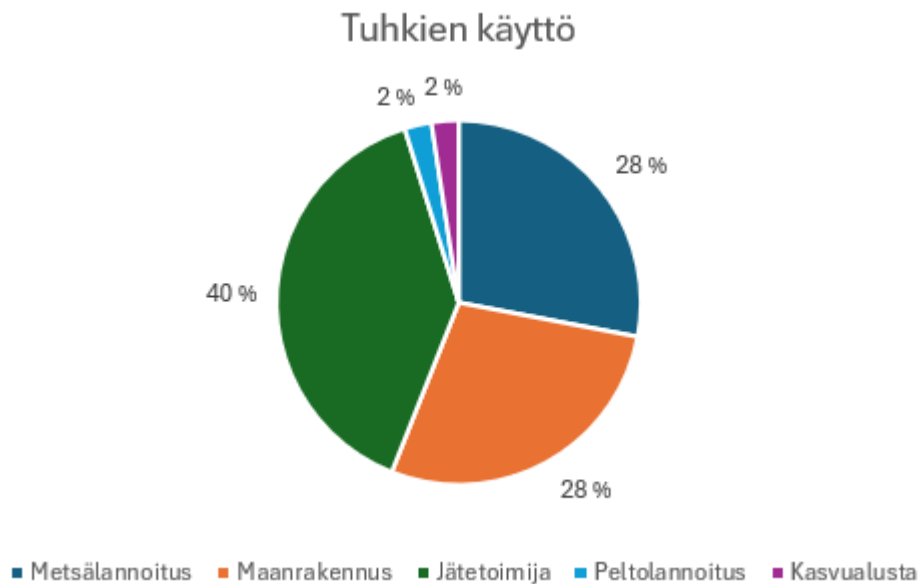
Muutamassa (4 %) tapauksista tuhka varastoitiin lämpölaitoksen tontilla olevaan kasaan tai varastoon ennen niiden pois vientiä. Muita tapoja säilöä tuhkia lämpölaitoksilla olivat traktorin peräkärri (2 %), säkittää tuhka suursäkkeihin (1 %), lastata tuhka kuution kontteihin (3 %), imuroida tuhka tynnyreihin (1 %) ja kerätä tuhka pyöräkoneen kauhalla kuljetettavaan parin kuution konttiin (2 %).



Kuvio 10. Tuhkien varastointi

5.3 Tuhkien käyttö ja siitä syntyvät kustannukset

Kuviosta 11 esitetään, että kaikista 125 tuhkajakeesta lähes puolet (40 %) menee jätetoimijalle, jossa se tuhkan laadusta riippuen menee vaarallisten jätteiden stabilointiin, penkan rakentamiseen tai loppusijoitettavaksi. Suurimmassa osassa (88 %) tuhkia niiden laatua oli tutkittu jollakin tasolla. Tutkituista tuhista vajaa puolet (39 %) oli todettu lannoituskelpoiseksi. Täytyy huomioda, ettei kaikkien tuhkien osalta ollut tutkittu lannoitekelpoisuutta. Tuhkista, joiden oli todettu olevan lannoituskelpoisia yli kolmannes (35 %) päättyi kuitenkin muuhun kuin lannoituskäyttöön.



Kuvio 11. Kaikkien tuhkien käyttö jaettuna käyttökohteittain

Viidestätoista tuhkejakeesta, joiden laatua ei ollut tutkittu ollenkaan (12 %), lähes kaikki (93 %) tuli kattiloista, joiden nimellisteho oli maksimissaan 1 MW ja loput (7 %) 1,1–5 MW nimellistehoon kuuluvasta kattilasta. Kaikissa edellä mainituissa tapauksissa tuhkat tulivat pohjatuhkina, eikä erillisiä lentotuhkia tullut. Näistä tuhista suurin osa meni metsälannoitukseen (80 %), toiseksi yleisin (13 %) käyttökohde oli peltolannoitus ja yhdessä tapauksessa (7 %) tuhkat menivät jätetoimijalle.

Suurimmasta osasta (85 %) lannoituskäyttöön menevästä tuhkasta tuhkan tuottaja maksoi kuljetuksen, reilussa kymmenesosassa (13 %) tuhkan tuottajalle ei aiheutunut tuhkista mitään kuluja ja yhdessä tapauksessa (2 %) tuhkan tuottaja sanoi maksavansa tuhkasta tonniperusteista hintaa, johon sisältyi kuljetukset. Suurimmassa osassa (66 %) kuljetuskustannuksia ei avattu tarkemmin eikä näistä saatu euromääräisiä arvioita. Kuljetuskustannuksista saatujen (34 %) arvioiden perusteella kuljetuskustannukset olivat 10–20 euroa tonnilta.

Maanrakennuskäyttöön ohjautuvista tuhkejakeista suurimmasta osasta (66 %) tuhkan tuottaja joutui maksamaan kuljetuksen lisäksi vastaanottomaksua. Loput (34 %) maanrakennukseen käytettävistä tuhista menivät tuhkan tuottajien omiin maanrakennuskohteisiin. Vain yhden tuhkan (4 %) osalta saatiin tietää maanrakennukseen menevän vastaanottomaksun suuruus, joka oli 10 euroa tonnilta.

Kaikista jätetoimijoille toimitetuista tuhista meni kuljetuksen lisäksi vastaanottomaksu. Jätteen menneiden tuhien tonnikohtaisia hintoja saatiin viidesosasta (20 %) tuhista ja ne olivat saatujen arvioiden mukaan noin 100 euroa tonnilta, sisältäen kuljetuksen ja vastaanottomaksun.

5.4 Metsätuhkalannoituksen haasteet

Kahdestakymmenestä vastaajasta suurin osa (70 %) kertoi, että heidän tuhistaan meni muuhunkin kuin lannoituskäyttöön. Näistä kuusi kertoi suurimpana esteenä lannoitustuhkan kysynnän puutteen tai korkean hinnan. Myös yksi vastaaja, jonka tuhkat menivät metsälannoitukseen, kertoi heidän yhteistyökumppaninsa läjitysalueen täyttyvän, koska tuhalle metsälannoituksessa ei ole kysyntää. Kaksi vastaajaa tarvitsi tuhkan omaan maanrakennuskäyttöön ja yhdellä oli menossa siirtymä eli maanrakennuskäyttöön menneet tuhkat olivat vaihtumassa lannoituskäyttöön. Viiden vastaajan mukaan heidän tuhkinsa eivät täyttäneet lannoituskäytön edellyttämiä raja-arvoja.

Kaksi vastaajaa kertoi, että tuhassa ei ollut riittävästi ravinteita lannoituskäyttöön, mikäli poltossa turpeen osuus oli suuri. Lisäksi toinen näistä vastaajista totesi ongelmaksi tuhkan happamuuden ja toinen puolestaan liian korkeat raskasmetallipitoisuudet. Kolmella vastaajista palamattoman hiilen osuus oli liian suuri ja kahdella oli ongelmana liian suuri kromin pitoisuus. Muita mainittuja raja-arvon ylityksiä oli arseenin, lyijyn ja nikkelin kohdalla. Lisäksi kaksi vastaajaa kertoi raja-arvojen menneen yli yksilöimättä minkä osalta arvot olivat ylittyneet.

Tuhkan laatuun vaikutti vastaajien mukaan eniten poltettava polttoaine. Polttoaineen valintaan tuhkan laadulla ei kuitenkaan koettu olevan vaikutusta, vaan sitä ohjaavat polttoaineen saatavuus ja hinta sekä kattilan ominaisuudet. Yksi vastaajista uskoi, että palamattoman hiilen määrää saataisiin laskettua ajamalla pienemmillä tehoilla ja toinen kertoi, että heillä palamattoman hiilen määrä oli vähennetty teknisillä ratkaisuilla. Pyrittäessä teknisillä ratkaisuilla parantamaan palamista, syynä ei ollut tuhkan laadun parantaminen, vaan polttoaineen tehokkaampi hyödyntäminen. Vastaajat, joilla raja-arvot ylittyivät kromin osalta, uskoivat kromin tulevan arinarauhoista ja toinen vastaajista kertoi selvittävänsä, onko asialle tehtävissä jotain. Muita vastaajien esiin tuomia seikkoja tuhkanlaadun parantamiseksi, olivat tuhkan happamuuden säätö, primääri-ilman parannukset ja pesurilietteiden erottaminen muista tuhista.

5.5 Lämpölaitosten tarpeet metsätuhkalannoituksen lisäämiseksi

Vastaajista kahdeksan kertoi halustaan toimittaa tai lisätä tuhkan toimittamista metsälannoituskäyttöön, jos he löytäisivät kohtuuhintaisen yhteistyökumppanin. Toimijalta edellytettiin varmuutta logistiikan osalta, sillä yleensä tuhkat kerättiin lavalle tai konttiin, jonka vaihtaminen oli laitoksen toiminnan kannalta kriittistä. Varalavojen käyttö nähtiin ongelmallisina muun muassa tilanpuutteen ja jäätymisriskin vuoksi. Myös usean eri toimijan käyttö nähtiin erään vastaajan mielestä ongelmallisina, jonka vuoksi toimialla pitäisi olla valmius toimittaa lannoitukseen soveltumattomat tuhkat eteenpäin.

Metsälannoituksen raja-arvoja pidettiin kireinä ja vastaajat nostivat esiin, että esimerkiksi tuhkia sekoittamalla tai tuhkien käyttö maapohjaperusteisesti lisäisi metsälannoitukseen käytettävän tuhkan määrää.

Yksi vastaajista koki, ettei riittävää neuvontaa tuhkan metsälannoitukseen liittyvän lainsäädännön tulkinnasta ollut saatavilla. Asian korjaamiseksi esitettiin yhtenäistä paikkaa jonne metsätuhkalannoitusta koskevat tiedot olisi kerätty ja josta olisi mahdollista saada tukea aiheeseen liittyen. Lisäksi lainsäädännössä tulisi välttää viittauksia maksullisiin standardeihin, jotta lain tulkinta olisi mahdollista ilman lisäkuluja.

Eräs vastaajista totesi, etteivät omat resurssit riitä selvittämään tuhkan käytön mahdollisuuksia. Hän olisi valmis maksamaan asiantuntijan laatimasta toimenpidesuunnitelmasta tuhkan käytölle.

5.6 Lämpölaitosten tulevaisuuden näkymät

Kahdentoista vastaajan (60 %) mukaan polttamisen määrän lämmön tuotannossa arvioitiin pysyvän tulevaisuudessa samalla tasolla. Näistä yksi toi esiin, että heille on tulossa uusi biokattila ja sähkökattiloita, joten polttamisen määrän hän uskoi pysyvän nykyisellä tasolla. Eräällä vastaajalla oli sähkökattiloita ja hän mainitsikin polttamisen määrän riippuvan tulevaisuudessa sähkön hinnan kehityksestä.

Vastaajista seitsemän (35 %) ilmoitti että heille on suunnitelmissa tai jo tulossa sähkökattiloita. Näistä kahdella oli suunnitteilla lisäksi lämmöntalteenottojärjestelmien hankinta. Näillä sähköistys

hankkeilla tulee olemaan polttamista pienentävät vaikutukset, mutta yksikään vastaaja ei uskonut niiden täysin korvaavan polttamista. Yksi vastaajista (5 %) kertoi, että heille on tulossa lisäkapasiteettiä 10-vuoden sisällä, joka lisää polttamisen määrää, jos lämmöntuotantoon polttavilla ratkaisuilla päädytään.

Neljä vastaajista (20 %) ilmoitti, että he aikovat vähentää tai luopua kokonaan turpeen käytöstä. Kaksi vastaajista (10 %) kertoi aikovansa tehostaa savukaasujen tuhkan talteenottoa, joista toinen aikoi asentuttaa savukaasupesurin ja toinen sähkösuodattimen. Muilla vastaajilla (70 %) ei ollut suunnitelmissa tuhkan laatuun vaikuttavia muutoksia.

6 Johtopäätökset

Lämpölaitoskenttä on hyvin hajanainen ja siellä vallitsee monenlaisia käytänteitä, niin tuhkan laadun selvittämisessä, tuhkan määrän dokumentoinnissa kuin tuhkan loppusijoituksessakin. Lämpölaitostoimijoista suurin osa kokee tuhkien hyödyntämisen lannoituskäytössä tärkeänä, mutta suurin tuhkan käytön määrittäjä on siitä syntyvät kustannukset. Lämpölaitosten päätehtävä on tuottaa lämpöä ja tuhka on sivutuote. Lämpölaitokset ovat pääosin pieniä, eikä niillä ole resursseja, tuhkan parantamiseen, logistiikka järjestelmien kehittämiseksi tai metsätuhkalannoituksen markkinointiin. Jos metsätuhkalannoitusta haluttaisiin lisätä, tulisi alalle saada metsätuhkalannoitukseen erikoistuneita ulkopuolisia toimijoita, jotka ottaisivat tuhkien jatkojalostamisen ja eteenpäin saattamisen hoitaakseen. Huomioitavaa on, että pienistä laitoksista, joiden tuhkia ei tutkittu, suurin osa tuhkista meni lannoituskäyttöön. Suurempiin laitoksiin kohdistuva tiukempi säätely voikin osaltaan vähentää halukkuutta ohjata tuhkia lannoituskäyttöön.

Lämpölaitokset eivät tällä hetkellä usko polttamisen loppuvan lähitulevaisuudessa, mutta turpeen käytön uskotaan vähentyvän entisestään. Tämän takia tulevaisuudessakin lämpölaitoksista tulee syntyämään ravinnerikasta puupohjaista tuhkaa, jota pystyttäisiin hyödyntämään vielä nykyistäkin enemmän metsälannoituksessa.

7 Pohdinta

7.1 Työn tavoitteet ja tutkimustulokset

Opinnäytetyön tavoitteena oli hankkia tietoja, joiden avulla lämpölaitosten tuhkien käytön lisäämistä metsätuhkalannoituksessa on mahdollista arvioida ja kehittää. Tavoitteena oli, että Heleä-hanke pystyy vertaamaan Keski-Suomesta tehtyjen haastattelujen tuloksia opinnäytetyöhön. Tutkimuskysymysten ratkaisemiseksi tietoja hankittiin haastattelemalla lämpölaitostoimijoita puhelimitse. Tutkimuskysymyksiä olivat:

- Minkä laatuista tuhkia lämpölaitoksilla tuotetaan ja paljonko?
- Mitä voidaan tehdä lämpölaitosten tuhkien käytön lisäämiseksi metsälannoituksessa?

Tuhkan laatuun vaikuttavista asioista saatiin selvitettyä kattiloiden polttotekniikat ja niissä käytetyt polttoaineet. Lisäksi saatiin tietää, paljonko kuiva- ja märkätuhkajakeita kattiloista muodostuu, kuinka monessa kattilassa pohja- ja lentotuhkia kerätään erilleen ja onko tuhkien laatuja tutkittu. Opinnäytetyössä ei saatu vastausta tuhkan määrästä, sillä ilmoitettujen tuhkamäärien vertailukelpoisuus osoittautui heikoksi. Osa haastateltavista ei ollut myöskään ennako-ohjeista huolimatta selvittänyt tuhkien määriä haastattelua varten. Tämä voi johtua siitä, että tuhkien määrän selvittäminen ei ole kovin yksiselitteistä ja haastateltavat olivat yleensä hyvin kiireisiä. Tuhkista saadut tiedot jouduttiin tämän vuoksi esittämään kattiloista syntyvinä tuhkajakeiden määrinä. Tietojen esittäminen syntyneiden tuhkien määrinä olisi tarjonnut arvokasta tietoa tuhkien hyödynnettävyyden todellisesta potentiaalista, mutta tässä työssä siihen ei saatu vastauksia.

Tuhkan kosteudella on vaikutus tuhkan levitettävyyteen lannoitusikäytössä ja joidenkin vastaajien mukaan märkätuhkalle on lannoitusikäytössä enemmän kysyntää. Tietoperustan vastaisesti tutkimuksessa tuli esiin, että arinan lentotuhkista osa oli metsälannoituskelpoista. Toinen tietoperustan vastaisuus tuli esiin lento- ja märkätuhkan erilleen keräämisen osalta. Tuhkien erilleen kerääminen ei aina parantanut tuhkien käyttömahdollisuuksia lannoituksessa, vaan saattoi jopa huonontaa niitä, tiukkojen raja-arvojen vuoksi. Myöskään yleinen käsitys tuhkien soveltumattomuudesta peltolannoitukseen, ei pitänyt täysin paikkaansa, sillä pieni osa tutkituista tuhkista oli todettu peltolannoituskelpoisiksi ja menivät pelloille.

Opinnäytetyössä saatiin selville lämpölaitosten tuhkien varastointitavat, mikä on tärkeää suunniteltaessa metsätuhkalannoituksen logistiikkaa. Työssä saatiin myös selville, minne tuhkat menevät ja kuinka suuri osa lannoituskelpoisesta tuhkasta päätyy lannoituskäytön ulkopuolelle. Nämä tiedot auttavat hahmottamaan lämpölaitostuhkissa olevan potentiaalisen metsätuhkalannoituksen lisäämiseksi. Lisäksi saatiin selville, miksi tuhka ei ohjautunut metsälannoitukseen ja minkälaista apua lämpölaitostoimijat kokivat tarvitsevansa lannoituskäytön lisäämiseksi. Nämä tiedot ovat tärkeitä metsälannoituksen lisäämisen kannalta. Koska lämpölaitoksista syntyvän tuhkan määrä on suhteellisen pieni, jäävät tuhkista aiheutuvat kulutkin mataliksi. Tämä vaikuttaa haluun etsiä tuhkalle metsälannoituskohdetta. Lisäksi laitokset sijaitsevat usein maantieteellisesti kaukana toisistaan ja tuhkalavojen tyhjennysajankohdat määräytyvät tuhkalavojen täyttymisen mukaan. Tästä aiheutuva logistinen haaste on suuri este metsälannoituskäytölle.

Tuhkista syntyneet kustannukset ovat hyvin keskeisessä osassa määritettäessä tuhkan hävittämistä. Tuhkista syntyneistä kustannuksista saatiin tietoa lähinnä mistä kustannukset koostuivat eri käyttökohteittain. Euromääräisten vastausten osuus jäi pieneksi, minkä vuoksi niihin täytyy suhtautua kriittisesti eli vain suuntaa antavina tuloksina. Tulokset auttavat arvioimaan, kuinka paljon metsätuhkalannoituksesta koituvat kulut lämpölaitoksille saavat olla, jotta se olisi kilpailukykyinen vaihtoehto muihin tuhkan sijoitusvaihtoehtoihin nähden. Vaikka tuhkan määrästä ei saatu koottua yhtenäisiä tuloksia, kävi ilmi, että etenkin pienissä pellettikattiloissa tuhkan määrät ovat hyvin pieniä ja niistä syntyvien tuhkien hyödyntäminen kustannustehokkaasti metsälannoitukseen on haastavaa.

Työssä saatiin selville vielä lämpölaitosten mahdollisuutta vaikuttaa tuhkan laatuun sekä laitosten tulevaisuuden näkymiä tuhkan tuotannon näkökulmasta. Nämä tulokset ovat tärkeitä, sillä investointipäätökset metsätuhkalannoituksen kehittämiseksi vaativat ennustettavuutta tuhkan tuotannon jatkumisesta tulevaisuudessa. Vaikka viimeaikainen halpa sähkön hinta ja kohonneet polttoainekustannukset ovat vauhdittaneet kaukolämmön sähköistymistä, eivät lämpölaitostoimijat näe polttavan teknologian dramaattisesti vähenevän tulevaisuudessa. Haastateltavat eivät luota sähkön olevan halpaa tulevaisuudessa ja sähkön volatiili hinta estää pelkkään sähkölämmitykseen turvautumisen.

7.2 Työn luotettavuuden arviointi ja hyödynnettävyys

Määrällisen tutkimuksen luotettavuutta tarkastellaan validiteetin ja reliabiliteetin näkökulmista. Validiteetti kuvaa sitä, kuinka hyvin tutkimuksessa on onnistuttu tutkimaan oikeita asioita tutkimusongelman näkökulmasta ja se jaetaan sisäiseen- ja ulkoiseen validiteettiin. Reliabiliteetti taas kuvaa saatujen tulosten pysyvyyttä. (Kananen 2011, 118–119.)

Ulkoisen validiteetin näkökulmasta haastatteluihin osallistumisprosentti oli 81 %, mikä täyttää tilastollisen tutkimuksen asettamat vaatimukset luotettavalle tutkimukselle. Tuhkan hävittämisestä aiheutuneiden euromääräisten kustannusten vastausmäärät jäivät 4–34 %, joten näitä ei voida pitää luotettavina tietoina. Lämpölaitoksista ei ole saatavissa julkista rekisteriä, johon olisi mahdollista verrata tutkimuksessa käytettyä harkinnanvaraisesti valittua näytettä. Niinpä ulkoisen validiteetin näkökulmasta tarkasteltuna tuloksia voidaan käyttää vain näytteenä, eikä niistä voida tehdä kaikkia lämpölaitoksia koskevaa yleistystä. Työn alkuperäiseen tarkoitukseen eli toisten tulosten vertailukohdaksi tulokset soveltuvat.

Sisäisen validiteetin näkökulmasta katsottuna on huomioitava, ettei haastattelujen tekijällä ja analysoijalla ollut aiheeseen liittyvää koulutusta tai aiempaa kokemusta niistä. Sisältövaliditeetti pyrittiin varmistamaan tältä osin tutustumalla haastatteluja käsittelevään kirjallisuuteen ja tarkistamalla kyselyn pohjana olevat kysymykset tilaajalla. Lisäksi on huomioitava, että haastatteluissa saatuja tietoja ei ole vahvistettu, vaan ne perustuvat haastateltujen kertomaan.

Opinnäytetyössä kaikki työvaiheet dokumentoitiin ja perusteltiin hyvin, jolloin reliabiliteetin varmistaminen työn tarkistajilta tuli mahdolliseksi. Kananen (2011, 123–124) mukaan tämä on riittävä toimi opinnäytetyön reliabiliteetin varmistamiseksi, eikä ole järkevää lähteä tekemään uusintamittauksia tulosten pysyvyyden osoittamiseksi.

7.3 Työn eettisyyden arviointi

Haastateltavia ei painostettu missään vaiheessa osallistumaan haastatteluihin tai vastaamaan kysymyksiin. Haastateltaville ilmoitettiin haastattelun tarkoitus, ja että se tullaan tallentamaan. Työn tulokset esitettiin kootusti, ettei yksittäisen haastateltavan tietoja ollut mahdollista yksilöidä vastauksista. Näin pyrittiin varmistamaan, etteivät haastattelut aiheuta haittaa haastateltaville.

Puhelujen tallenteet siirrettiin puhelimesta heti haastattelun jälkeen Jyväskylän ammattikorkeakoulun tarjoamaan tietoturvalliseen pilvipalveluun, jotta haastattelujen tietoturva saatiin varmistettua. Haastattelujen analysointiin tehtyjä tiedostoja säilytettiin samassa pilvipalvelussa. Työn valmistuttua kaikki haastattelujen tallenteet ja niiden analysointiin tehdyt tiedostot poistettiin.

Työ toteutettiin parhaan ymmärryksen mukaan eikä siinä ole käytetty vääristelyä, plagiointia tai sepittämistä. Työssä on esitetty vain opinnäytetyön tekijän näkemyksiä, joiden muodostamiseksi käytettyihin lähteisiin on viitattu asianmukaisesti. Työlle ei asetettu ennakko olettamia, ettei tuloksiin tullut tahatonta vääristelyä.

7.4 Jatkokehitys

Työn aikana nousi esiin, ettei lämpölaitoksista ole olemassa julkisesti saatavissa olevaa rekisteriä. Kehitysehdotuksena on, että lämpölaitoksista tehtäisiin kattava julkisesti saatavilla oleva rekisteri, josta tulevaisuuden lämpölaitoksiin kohdistuvat tutkimukset pystyisivät helposti valitsemaan otannan. Lisäksi määrällisillä tutkimuksilla olisi mahdollisuus verrata otantaansa koko perusjoukkoon ja tehdä perusjoukkoa koskevia yleistyksiä.

Haastattelujen perusteella tuli esiin muutamia jatkotutkimusaiheita. Voisiko eri tuhkejakeita sekoittaa keskenään, jolloin niistä saataisiin metsälannoituskelpoisia? Miten lämpölaitoksissa syntyvien tuhkien määrät saataisiin selvitettyä ja miten tieto tulisi kerätä, jotta se olisi vertailukelpoista? Saadaanko metsätuhkalannoituksesta kannattavampaa varastointialueiden maantieteellisen sijoittelun avulla? Miksi metsätuhkalannoitukseen kelpaavalle tuhkalta ei ole kysyntää?

Usean haastateltavan mukaan tuhkan laatu kärsii sitä enemmän mitä tarkemmin tuhkat halutaan erottaa savukaasuista. Vastajien mukaan arinakattiloiden tehokas lentotuhkien kerääminen johtaa lentotuhkien raskasmetallipitoisuuksien nousemiseen, mikä vaikeuttaa tuhkien hyödynnettävyyttä lannoituskäytössä. Tuhkan erottaminen savukaasuista tulee tehostumaan tulevaisuudessa laitekannan uusiutumisen, lainsäädännön kiristymisen ja lämmön talteenottojärjestelmien yleistymisen seurauksena, joten olisi hyvä tietää millaisia vaikutuksia tällä tulee olemaan tuhkan laatuun. Tämän perusteella voisi olla hyödyllistä tutkia, kuinka suuri vaikutus tuhkanlaatuun eri tuhkanerotusmenetelmillä on.

Lähteet

- A 964/2023. Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista. Annettu 11.10.2023. Viitattu 10.1.2025. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2023/20230964>.
- Ainesosaluettelo. 2024. Ruokaviraston ylläpitämä kansallinen ainesosaluettelo. Viitattu 24.1.2025. <https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/kasvit/lannoitevalmisteet/lannoitevalmisteiden-ainosaluettelo.pdf>.
- Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen, J. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Technology 258. Yhteenveto Suomessa käytettävistä polttoaineista Teknologian tutkimuskeskus VTT:n internetsivuilta. Viitattu 7.1.2025. <https://publications.vtt.fi/pdf/technology/2016/T258.pdf>.
- Biograte. N.d. Kuva Biograte kattilasta VKK Group Oy:n internetsivuilta. Viitattu 17.1.2025. <https://vkkgroup.fi/ratkaisu/biograte/>.
- Ellonen, N., Alastalo, M. & Ala-Lahti, H. 2021. Kvantitatiivisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoaarkisto. Viitattu 10.2.2025. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvanti/tutkimus/asetelma/>.
- Flyktman, M., Impola, R. & Linna, V. 2012. Kotimaista polttoainetta käyttävien 0,5...30 MW kattilalaitosten tekniset ratkaisut sekä palamisenhallinta. Teknologian tutkimuskeskus VTT:n tekemä suositus energiateollisuuden internetsivuilta. Viitattu 9.1.2025. https://energia.fi/wp-content/uploads/2016/08/Pienten_polttolaitosten_palamisen_hallinta_loppuraportti.pdf.
- Fredriksson, C. 1999. Exploratory Experimental and Theoretical Studies of Cyclone Gasification of Wood Powder. Tohtorin väitöskirja. Luulajan teknillinen yliopisto. Konetekniikan laitos, energiatekniikan osasto. Viitattu 17.1.2025. <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/20041129>.
- Gango, A. & Kuokkanen, E. 2018. Biopohjaisen lentotuhkan hyötykäyttö lannoitteena. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun tekemän Erotustekniikan tutkimuskeskus -hankkeen loppuraportti. Viitattu 16.1.2025. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-344-092-0>.
- Heino, L. 2018. Voimalaitoksissa syntyvät tuhkat ja niiden hyötykäyttö Pohjois-Pohjanmaalla. Opin näytetyö, Oulun ammattikorkeakoulu, Maaseutuelinkeinojen tutkinto-ohjelma. Viitattu 21.1.2025. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018122822900>.
- Heleä - Vihreän siirtymän ratkaisuja tuhkan hyötykäytön ja tuhkalannoituksen lisäämiselle. N.d. Heleä hankkeen esittely Metsäkeskuksen internetsivuilla. Viitattu 24.2.2025. <https://www.metsakeskus.fi/fi/hankkeet/helea>.
- Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2004. Höyrykattilatekniikka. 6. p. Helsinki: Edita, Opetushallitus.
- Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2016. Voimalaitostekniikka. 3. p. Helsinki: Opetushallitus.

Huotari, N. 2012. Tuhkan käyttö metsälannoitteena. Oulu: Metla.

IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 2006. Hallitustenvälisen ilmastomuutospaneelin määritelmiä biopolttoaineisiin liittyvään sanastoon. Viitattu 15.01.2025. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/0_Overview/V0_2_Glossary.pdf.

Joronen, T., Kovács J. & Majanne, Y. 2007. Voimalaitoksen käyttö ja pääkomponentit. 2. p. Helsinki: Suomen Automaatioseura.

Kaukolämpötilastot. 2024. Kaukolämpötilastot Energia ry:n internetsivuilta. Viitattu 13.1.2025. <https://energia.fi/tilastot/kaukolampotilastot/>.

Kananen, J. 2011. Kvantti. Kvantitatiivisen opinnäytetyön käytännön opas. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja 118.

Kananen, J. 2015. Opinnäytetyön kirjoittajan opas. Näin kirjoitan opinnäytetyön tai pro gradun alusta loppuun. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja 202.

Kiviniemi, O., Sikiö, J., Jyrävä, H., Ollila, S., Autiola, M., Ronkainen, M., Lindroos, N., Lahtinen, P. & Forsman, J. 2012. Tuhkarakentamisen käsikirja, Energiantuotannon tuhkat väylä-, kenttä- ja maarakentamisessa. Opas tuhkarakentamiseen Energiateollisuus ry:n internetsivuilla. Viitattu 7.1.2025. https://energia.fi/wp-content/uploads/2016/10/tuhkarakentamisen_kasikirja.pdf.

Korpijärvi, K. & Raitila, J. 2023. Vierasblogi: Hyvälaatuiset tuhkat tarvitaan lannoituskäyttöön. Teknologian tutkimuskeskus VTT:n tutkijoiden kirjoittama blogi Tapion internetsivuilta. Viitattu 8.1.2025. <https://tapio.fi/blogit/vierasblogi-hyvalaatuiset-tuhkat-tarvitaan-lannoituskayttöön/>.

Lainsäädäntö. 2004. Ruokaviraston internetsivuille koottu lista lannoitteita koskevasta lainsäädännöstä ja kansallisista asetuksista. Viitattu 10.1.2025. <https://www.ruokavirasto.fi/kasvit/lannoite- valmisteen/lainsaadanto2/>.

Leinonen, M., Otonkorpi-Lehtoranta, K. & Heiskanen, T. 2017. Kyselyhaastattelu. Julkaisussa Tutkimushaastattelun käsikirja. Tampere: Kustannusosakeyhtiö Vastapaino, 87–110.

Ohje tutkimustyyppiselle opinnäytetyölle. 2022. Haaga-Helian AMK-opinnäytetyöohje. Viitattu 27.1.2025. <https://www.haaga-helia.fi/sites/default/files/file/2022-02/tutkimustyyppinen-ont-ohje.pdf>.

Ojasalo, K., Moilanen, T. & Ritalahti, J. 2018. Kehittämistyön Menetelmät: Uudenlaista Osaamista Liiketoimintaan. 5. p. Helsinki: Sanoma Pro.

Pohjatuhkan poisto ja hyötykäyttö. 2023. Opiskelumateriaali höyrykattilatekniikan kurssilla, AMK.

Raiko, R., Hupa, M. & Saastamoinen, J. 2002. Poltto ja palaminen. 2. p. Helsinki: Teknillistieteelliset akatemit.

- Ranta, J. & Kuula-Luumi, A. 2017. Haastattelun keruun ja käsittelyn ABC. Julkaisussa Tutkimushaastattelun käsikirja. Tampere: Kustannusosakeyhtiö Vastapaino, 413–426.
- Ruusuvuori, J & Nikander, P. 2017. Haastatteluaineiston litterointi. Julkaisussa Tutkimushaastattelun käsikirja. Tampere: Kustannusosakeyhtiö Vastapaino, 427–444.
- SFS-EN ISO 17225-1:2021. Kiinteät biopolttoaineet. Laatuvaatimukset ja luokat. Osa 1: Yleiset laatuvaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 2.7.2021. Viitattu 17.1.2025. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.
- Timonen, I. 2022. Lämpölaitosmarkkinatutkimus ympäristöystävällisestä energiasta. Opinnäytetyö, Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma. Viitattu 5.2.2025. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202205097909>.
- Tuomi, J. & Sarajärvi, A. 2013. Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. 10. p. Helsinki: Tammi.
- Turvemaan tuhkalannoituskohteet. N.d. Kartta potentiaalisista tuhkalannoituskohteista Suomessa metsäkeskuksen internetsivuilta. Viitattu 6.2.2025. <https://metsakeskus.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=56e1ccf7506c40e297a113db3afc809e>.
- Vastuullisella metsälannoituksella ilmastohyötyjä. 2023. Esite metsälannoituksen ilmastohyödyistä Tapion internetsivuilta. Viitattu 8.1.2025. <https://tapio.fi/projektit/vastuullisella-metsalannoituksella-ilmastohyotyja/esite-vastuullisella-metsalannoituksella-ilmastohyotyja/>.

Liitteet

Liite 1. Haastattelun pohjana käytetyt apukysymykset

Kiinteää polttoainetta polttavien lämpölaitosten määrä? (mukaan ei lasketa CHP-laitoksia)

Laitosten sijainti?

Edellisten perusteella jokaisesta laitoksesta, jotka kuuluvat maantieteellisen rajauksen piiriin, tehdään alla oleva haastattelu.

Montako kattilaa kyseisellä laitoksella on?

Minkä polttotekniikan kattilaa käytetään? (arina-, leijupeti- vai joku muu kattila)

Kattilan nimellisteho? (MW)

Kattilassa käytettävät polttoaineet? (pääpolttoaineet)

Minkä verran kattilasta syntyy pohjatuhkaa vuodessa?

Minkä verran kattilasta syntyy lentotuhkaa vuodessa?

Onko tuhka kuiva- vai märkätuhkaa?

Erotellaanko eri tuhkajakeet? (lento- pohjatuhka ja mahdollisissa polttoaineen vaihtotilanteissa)

Miten tuhkaa säilytetään laitoksella? (kontti, siilo vai joku muu)

Onko tuhkan laatu selvitetty ja jos on, millainen se on? (soveltuuko metsälannoitukseen?)

Mihin tuhka käytetään/ loppusijoitetaan tällä hetkellä? (lannoitekäyttö, maanrakennus, kaatopaikka vai joku muu)

Millaisia kustannuksia tuhkan hävittämisestä tällä hetkellä syntyy?

Kun kaikki lämpölaitokset käyty läpi siirrytään alla oleviin kysymyksiin.

Jos tuhkaa ei vielä hyödynnetä metsälannoituksessa, minkä koette suurimmaksi esteeksi sille, ettei näin toimita?

Mitä koette tarvitsevanne tuhkan hyödyntämiseen metsälannoituskäytössä? (Tieto, taloudellinen tuki, neuvonta yms.)

Voiko laitoksenne tuhkien laatua parantaa jotenkin? (esim. polttoprosessia säätämällä tai laitehuolloin tai -investoinnein)

Onko teillä lämpölaitoksen tulevaisuuden käyttöön vaikuttavia suunnitelmia? (Esimerkiksi polttoaineen vaihto, laitoksen kattilakapasiteetin lisääminen tai vähentäminen, kattiloiden käyttöasteen muutokset, muutokset tuhkan keräys menetelmissä yms.)

Liite 2. Haastateltaville lähetetty saatekirje

Saatekirje

Tutkimuksen tausta

Opiskelen Jyväskylän ammattikorkeakoulussa energia- ja ympäristötekniikkaa. Teen tällä hetkellä opinnäytetyötä, jossa selvitän kiinteitä polttoaineita käyttävien lämpölaitosten tuhkan käyttöä. Työ toteutetaan osana kehityshanke Heleää, jonka tavoitteena on edistää tuhkan käyttöä metsälannoituksessa. Heleästä saatte lisätietoa sähköpostin liitteenä olevasta Heleä-hankkeen esitteestä.

Opinnäytetyö toteutetaan haastattelemalla kiinteitä polttoaineita käyttäviä lämpölaitoksia, jotka sijaitsevat seuraavissa maakunnissa: Pohjois-Savo, Etelä-Savo, Pirkanmaa sekä Etelä-, Keski- ja Pohjois-Pohjanmaa. Haastattelujen **ulkopuolelle** on rajattu voimalaitokset. Työn tavoitteena on saada tietoa lämpölaitoksissa syntyvistä tuhista, niiden käytöstä ja mahdollisista haasteista tuhkan hyödyntämisessä metsälannoitukseen. Näiden tietojen avulla Heleä-hanke voi vertailla Keski-Suomesta saamia tuloksia laajempaan alueeseen.

Pienten lämpölaitosten tuhkan käytöstä on tällä hetkellä saatavilla vain vähän tutkimustietoa, joten jokaisen haastatteluun osallistujan vastaukset ovat tärkeitä mahdollisimman kattavan kuvan saamiseksi. Saatava tutkimustieto auttaa Heleä-hanketta kehittämään menetelmiä resurssiviisaan tuhkan käytön tukemiseksi.

Haastatteluiden toteutus

Haastattelut toteutetaan puhelinhaastatteluna ja teille soitetaan ennalta sovittuna ajankohtana, joka löytyy sähköpostiviestistä. Haastattelupuhelut tallennetaan tietojen analysointia varten. Haastatteluista saatuja tallenteita ja tietoja käsitellään luottamuksellisesti ja ne tuhoetaan opinnäytetyön valmistuessa kevään 2025 aikana. Haastatteluista saadut tulokset esitetään opinnäytetyössä niin ettei yksittäistä vastaajaa pysty niistä tunnistamaan.

Haastatteluihin osallistuminen on vapaaehtoista. Lisäksi haastateltavalla on aina mahdollisuus jättää vastaamatta esitettyyn kysymykseen ilman tarvetta perustella päätöstään. Haastattelun kesto riippuu lämpölaitosten määrästä. Arviolta haastattelu kestää noin 15 minuuttia, jos lämpölaitoksia on yksi. Mikäli haastattelu koskee useampaa laitosta, tuo jokainen lisälaitos haastatteluun lisää pituutta noin 5 minuutin verran.

Haastatteluun valmistautuminen

Haastatteluun kannattaa valmistautua keräämällä tiedot vuoden 2024 (jos ei ole saatavilla riittää esim. keskimääräisen vuoden tiedot) osalta lämpölaitoksessa syntyneiden tuhkien laaduista ja määristä, käytetyistä polttoaineista, tuhkien käyttökohteista ja tuhkien hävittämisestä aiheutu-neista kustannuksista.

Kiitän teitä jo etukäteen halukkuudesta osallistua haastatteluun ja näin olla tukemassa Heleä-hanketta. Haastatteluun liittyvissä kysymyksissä tai mahdollisissa aikataulumuutoksissa voitte olla yhteydessä sähköpostin tai puhelimen välityksellä.

Ystävällisin terveisin

Sami Kettunen

044 *** ****

*****@student.jamk.fi