



Pirkanmaan lämpö- ja lämpövoimalaitosten tuhkan loppukäyttö

Mikko Manninen

Opinnäytetyö
joulukuu 2013
Metsätalouden
koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Metsätalouden koulutusohjelma

MANNINEN, MIKKO:

Pirkanmaan lämpö- ja lämpövoimalaitosten tuhkan loppukäyttö

Opinnäytetyö 30 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Joulukuu 2013

Puupolttoaineilla on aina ollut suuri merkitys Suomen energiantuotannolle. Puu oli pitkälle 1800-luvulle ainoa polttoaine Suomessa. Vaikka sen jälkeen energiantuotantoon on tullut monia muita polttoaineita ja energialähteitä, puupolttoaineet ovat säilyttäneet tärkeän aseman nykyaikaan saakka. Vuonna 2012 puupolttoaineet nousivat jälleen suurimmaksi yksittäiseksi energialähteeksi Suomessa.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Pirkanmaan lämpö- ja lämpövoimalaitoksien tuottaman tuhkan määrää, laatua ja käyttökohteita. Opinnäytetyö toteutettiin osana Suomen metsäkeskuksen Pirkanmaan alueyksikön Moteista megawateiksi -hanketta. Hankkeen tärkeimmät tavoitteet ovat edistää kiinteiden biopolttoaineiden, erityisesti puun, käyttöä ja siihen liittyvää yrittäjyyttä Pirkanmaalla.

Selvitys toteutettiin alkutalvesta 2013 sähköpostitse ja puhelimitse tehdyllä kyselyllä. Kyselyyn valittiin kahdeksan Pirkanmaan lämpö- ja lämpövoimalaitosta, joista saatiin vastaus seitsemältä. Kyselyyn mukaan valitut laitokset tuottavat vuodessa noin 46 000 tonnia tuhkaa. Suurin tuhkan loppukäyttökohde laitoksilla oli maarakennuskäyttö, erityisesti käyttö kaatopaikkarakenteisiin. Tuhkaa käytettiin myös metsälannoitteeksi.

Kyselyyn mukaan valituilla laitoksilla oli kaikilla selkeä tuhkan loppukäyttökohde. Vaikka tuhka on hyvä materiaali myös maarakentamiseen, olisi erityisesti metsälannoitteeksi soveltuvan tuhkan toimittamista metsälannoitteeksi syytä lisätä. Näin saataisiin varsinkin puupolttoaineiden poltosta syntyneen tuhkan sisältämät ravinteet takaisin kiertoon ja puuston kasvua lisättyä.

Asiasanat: tuhka, Pirkanmaa, määrät, käyttö

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree programme in forestry

MANNINEN, MIKKO:

The Use of Ashes from Heating and CHP Plants in Pirkanmaa

Bachelor's thesis 30 pages, appendices 2 pages
December 2013

Wood based fuels have always been very important for Finnish energy production. In the early 19th century wood was the only fuel in Finland. Even though many fuels and energy sources have become to use after that, wood based fuels have remained their important status in Finnish energy production. In 2012, wood based fuels were the most used energy source in Finland

The main purpose of this thesis was to investigate the quantity, quality and after use destinations of ashes that were produced in heating and CHP plants in Pirkanmaa. The thesis was part of Moteista megawateiksi -project.

The data were collected from seven different heating and CHP plants in Pirkanmaa. The data were collected by an e-mail and phone survey in autumn 2013. The main results were that plants produce 46 000 tons of ash annually. Most of the ash is used in earthworks but some of it was also used as forest fertilizer. The findings indicate that plants have clear plans for ashes they produce. Even if ash is good material in earthworks, it would be good for forestry and tree production if ash could be also used as forest fertilizer as much as possible.

Key words: ash, Pirkanmaa, quantity, use

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	PUUPOLTTOAINEIDEN KÄYTTÖ SUOMESSA.....	6
2.1	Historia.....	6
2.2	Nyky aika.....	6
2.2.1	Määrät	7
2.3	Tulevaisuus	10
2.3.1	Tavoitemäärät.....	11
2.4	Pirkanmaan lämpö- ja lämpövoimalaitokset.....	11
3	TUHKAN MUODOSTUMINEN, OMINAISUUKSIA JA KÄSITTELY	13
3.1	Tuhka	13
3.1.1	Polttoaineen vaikutus tuhkaan	13
3.1.2	Polttotekniikan vaikutus tuhkaan	14
3.2	Tuhkan käsittely.....	15
4	TUHKAN LOPPUKÄYTTÖ	17
4.1	Metsälannoituskäyttö	17
4.1.1	Yleistä metsälannoituksesta	17
4.1.2	Tuhkalannoitus	18
4.2	Muu käyttö	19
4.2.1	Maarakennus	19
4.2.2	Muita käyttökohteita	20
4.3	Tuhkan loppukäytön lainsäädäntö	21
5	KYSELY TUHKAN LOPPUKÄYTTÖSTÄ	22
5.1	Kyselyn toteuttaminen	22
5.2	Käytetyt polttoaineet	22
5.3	Tuhkan määrä ja laatu	23
5.4	Tuhkan loppukäyttö	24
6	POHDINTA.....	26
	LÄHTEET.....	27
	LIITTEET	29
	Liite 1. Kysely laitoksille	29

1 JOHDANTO

Suomen metsäkeskuksen Pirkanmaan alueyksikössä on käynnissä Moteista megawateiksi -hanke. Hankkeen tavoite on edistää kiinteiden biopolttoaineiden, erityisesti puupolttoaineiden, käyttöä ja siihen liittyvää yrittäjyyttä Pirkanmaalla. Hankkeen toteutusaika on 2011–2014. Hankkeen tärkeimpiä tehtäviä ovat kunnissa tehtävä aktivointityö, potentiaalisten biolämmityskiinteistöjen kartoitus, koulutusten ja retkeilyjen järjestäminen sekä neuvonta. (Moteista Megawateiksi, 2013.)

Myös tämä opinnäytetyö on osa Moteista megawateiksi -hanketta. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Pirkanmaan puupolttoaineita ja turvetta käyttävien lämpö- ja lämpövoimalaitosten tuottaman tuhkan määrää, laatua ja loppukäyttökohteita.

2 PUUPOLTTOAINEIDEN KÄYTTÖ SUOMESSA

2.1 Historia

Puupolttoaineilla on aina ollut tärkeä rooli Suomen energiantuotannossa. Pitkälle 1800-luvulle puu oli ainoa polttoaine Suomessa, ja yhdessä vesivoiman kanssa ne olivat ainoat energialähteet. Puuta käytettiin energialähteenä niin kotitalouksissa, teollisuudessa kuin liikenteessäkin. Suomen ensimmäisessä, C.W. Gyldénin tekemässä, metsävarojen ja – käytön arvioinnissa polttopuun osuuden arvioitiin olevan yli puolet puuraaka- aineen kokonaiskäytöstä. (Pakkanen & Leikola 2011, 430.)

Ensimmäisen kerran Suomeen tuotiin kivihiihtä jo 1800-luvulla, ja 1900-luvulla muiksi energiantuotannon vaihtoehtoiksi tuli esimerkiksi öljy, ydinvoima ja kaupallinen tuuli-voima. Puupolttoaineet olivat kuitenkin läpi 1900 -luvun tärkeä osa Suomen energiatuotantoa, joskin vaihtelu on ollut suurta. Etenkin molemmat maailmansodat nostivat puupolttoaineiden osuutta energiantuotannossa. (Pakkanen & Leikola 2011, 430, 454.)

Nykyinen käytäntö käyttää hakkuutähteitä ja kantoja energiantuotannossa ei ole kovinkaan uusi asia, vaan ensimmäiset metsäyhtiöt rupesivat käyttämään näitä jo vuonna 1973 (Pakkanen & Leikola 2011, 466). Metsäntutkimuslaitoksen tilastojen mukaan puupolttoaineiden käyttö onkin kasvanut määrällisesti lähestulkoon joka vuosi vuodesta 1980 asti. Myös osuus energian kokonaiskulutuksesta on ollut hienoisessa kasvussa, varsinkin aivan viime vuosina. (Metsätilastollinen vuosikirja 2012, 289.)

2.2 Nykyaika

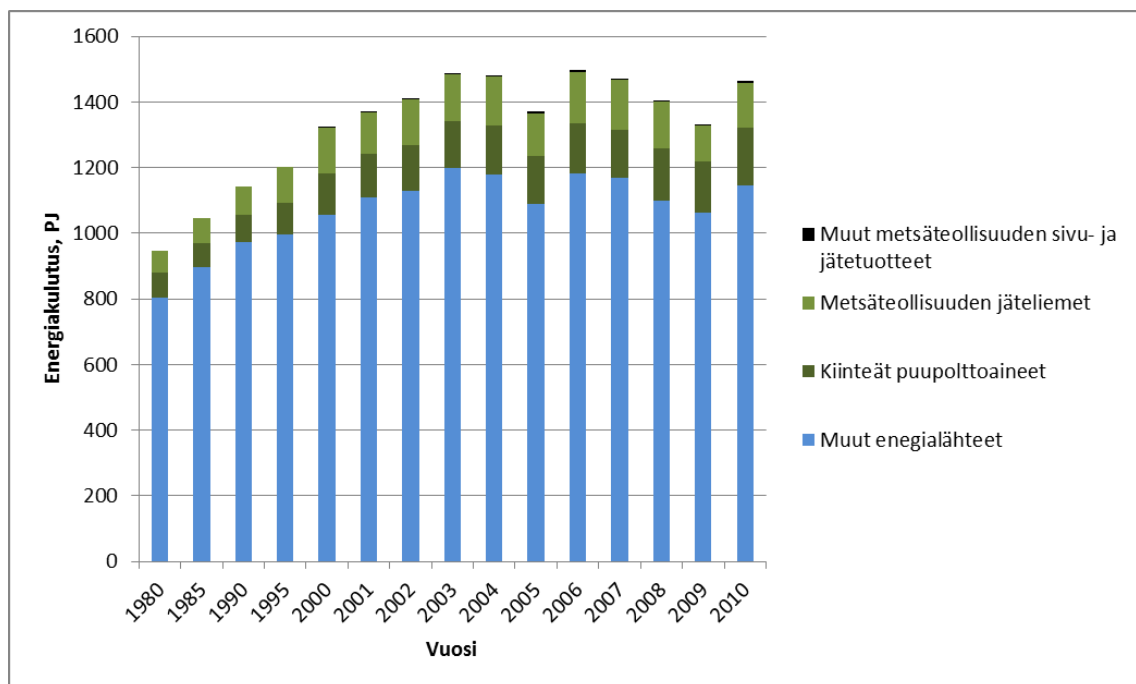
Nykyään puupolttoaineilla tarkoitetaan kaikkia alun perin puusta lähtöisin olevia polttoaineita, joita käytetään energian tuotannossa. Metsäntutkimuslaitos pitää vuosittaista tilastoa puupolttoaineiden kulutuksesta. Metsäntutkimuslaitoksen tilastoissa puupolttoaineet jaetaan kiinteisiin, nestemäisiin ja muihin puupolttoaineisiin. (Metsätilastollinen vuosikirja 2012, 279.)

Kiinteillä puupolttoaineilla tarkoitetaan lämpö- ja voimalaitosten käyttämiä puupolttoaineita sekä puun pienkäyttöä. Lämpö- ja voimalaitosten käyttämistä kiinteistä puupolttoaineista tärkeimpiä ovat metsähake ja metsäteollisuuden puunkäytön sivutuotteena

syntyvä kuori. Puun pienkäytöllä tarkoitetaan pienasuuntojen, vapaa-ajan asuntojen sekä maatilojen polttopuun käyttöä sisältäen pilkkeen, hakkeen ja pelletin. Nestemäisillä puupolttoaineilla tarkoitetaan lähinnä sellunkeiton sivutuotteena syntyvää mustalipeää. Muilla puupolttoaineilla tarkoitetaan polttoaineita, joita käytetään energiantuotantoon vain pieniä määriä, kuten mäntyöljy ja jätepaperi. (Metsätilastollinen vuosikirja 2012, 279.)

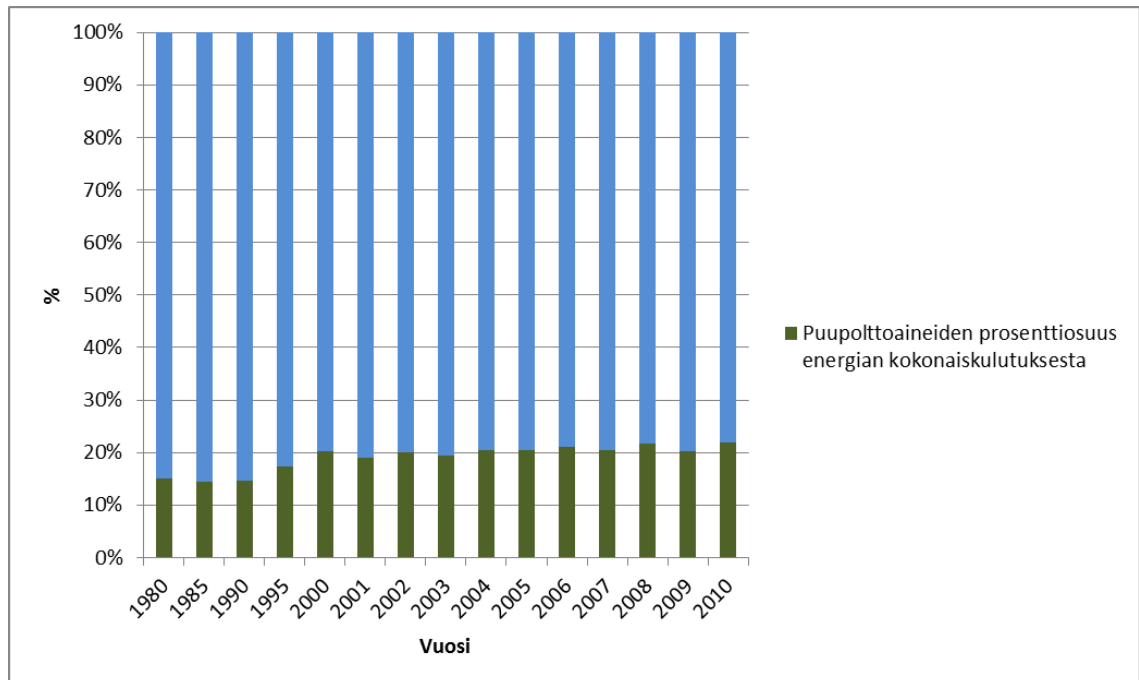
2.2.1 Määrät

Energian kokonaiskulutus on vuodesta 1980 asti kasvanut lähes joka vuosi. 2000-luvulla energian vuotuinen kokonaiskulutus on vaihdellut 1300–1500 petajoulen (PJ:n) välillä. Puupolttoaineiden kulutus on kasvanut hienoisesti 2000-luvulla, vuonna 2000 kulutus oli 268 PJ ja vuonna 2010 noin 320 PJ. Suurin kasvu puupolttoaineissa on ollut kiinteillä puupolttoaineilla. Vuonna 2000 kiinteiden puupolttoaineiden kulutus oli 127 PJ ja vuonna 2010 jo 179 PJ. Metsäteollisuuden jäteliemien kulutus on pysynyt melko samana noin 140 PJ:ssa, toki metsäteollisuuden suuret puunkäyttövuodet 2003–2007 näkyvät tilastoissa. (Metsätilastollinen vuosikirja 2012, 289.)



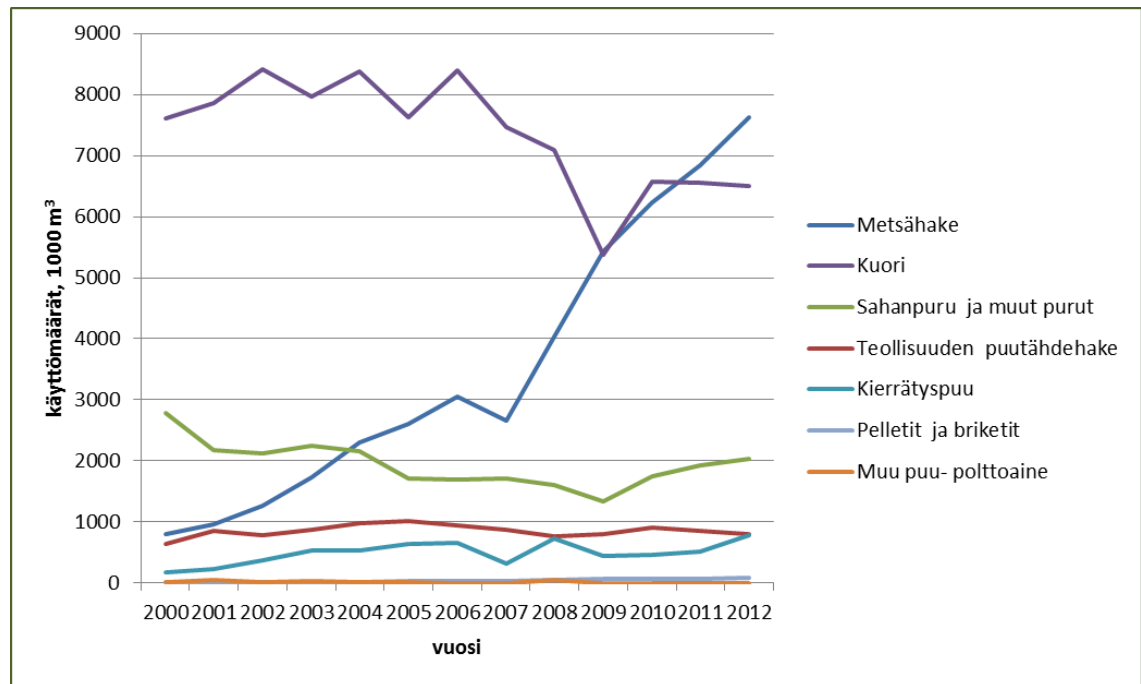
KUVIO 2. Puupolttoaineiden osuudet energian kokonaiskulutuksesta Suomessa (Metsätilastollinen vuosikirja 2012, 289).

Kuviosta 2 nähdään puupolttoaineiden osuus energian kokonaiskulutuksesta Suomessa. Vuonna 1980 puupolttoaineiden osuus energian kokonaiskulutuksesta oli 15 %, josta osuus kasvoi 20 %:iin vuoteen 2000 mennessä. 2000-luvulla muiden energiatuotantomuotojen kasvaessa puupolttoaineiden osuus on pysynyt noin 20 %:ssa, vaikka puupolttoaineiden käyttömäärät ovat kasvaneet.



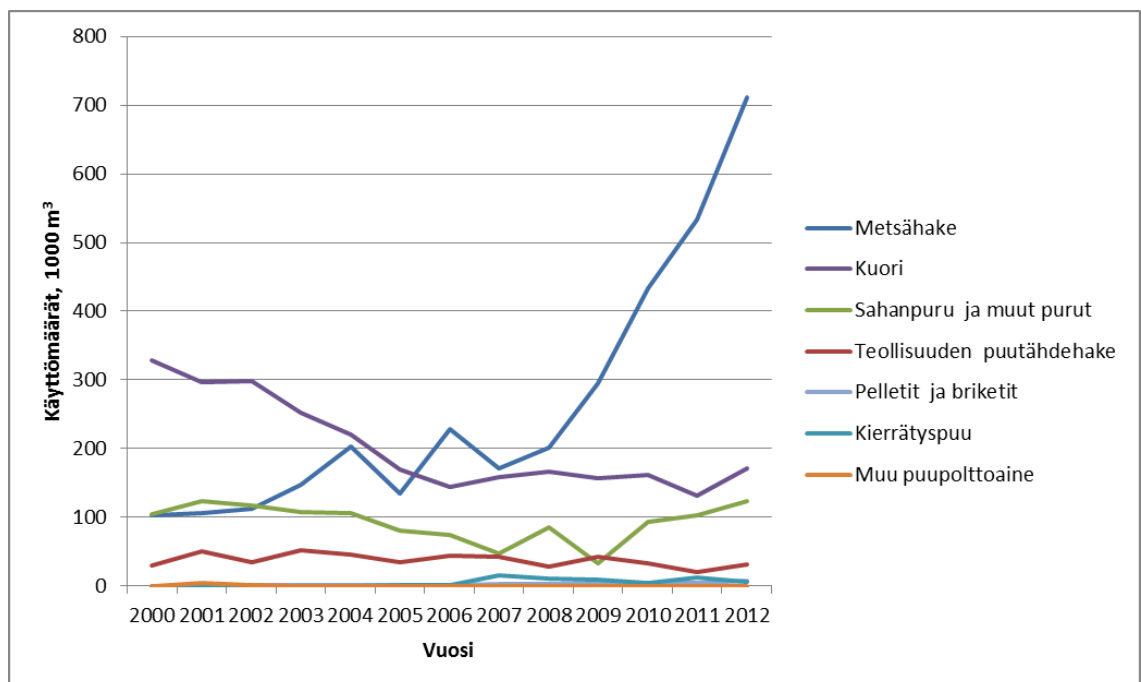
KUVIO 3. Puupolttoaineiden prosenttiosuus energian kokonaiskulutuksesta Suomessa (Metsätalastollinen vuosikirja 2012, 289).

Vaikka puupolttoaineiden kokonaiskäyttömäärät ovat kasvaneet, kuviosta 3 huomataan että kaikkien puupolttoaineiden käyttömäärät eivät ole kasvaneet. Metsäteollisuuden sivutuotteiden eli kuoren, teollisuuden puutähdehakkeen sekä sahanpurun ja muiden purujen käyttömäärien pieneneminen selittyy metsäteollisuuden puun käytön pienene- misellä. Ainoa voimakas käyttömäärien kasvu on ollut metsähakkeella ja se onkin nykyään suurin yksittäinen kiinteä puupolttoaine.



KUVIO 4. Kiinteiden puupolttoaineiden käyttömäärät Suomessa vuosina 2000–2012 (Metinfo Tilastopalvelu)

Kuviosta 4 nähdään, että Pirkanmaalla käyttömäärien muutokset ovat melko samanlaisia koko maan muutoksien kanssa. Myös Pirkanmaalla kuoren käyttö on laskenut, mutta teollisuuden puutähdehakkeen sekä sahanpurun ja muiden purujen käyttö on pysynyt tasaisempana kuin koko maassa. Myös Pirkanmaalla voimakas kasvu on tapahtunut metsähakkeen käytössä.



KUVIO 5. Kiinteiden puupolttoaineiden käyttömäärät Pirkanmaalla vuosina 2000–2012 (Metinfo Tilastopalvelu).

2.3 Tulevaisuus

Suomi on sitoutunut moniin kansainvälisiin ja Euroopan unionin sisäisiin sopimuksiin ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. Näistä kansainvälisesti tärkein on YK:n ilmastopöytäkirja. Sopimusta on tarkennettu Kioton pöytäkirjalla, jonka toinen velvoitekausi alkoi vuonna 2013. Sopimuksessa mukana olevat maat sitoutuvat vähentämään kasvihuonepäästöjä perusvuoden tasolta (useimmiten vuosi 1990) vuoteen 2020 mennessä tietyn prosenttimäärän. Euroopan unionilla tämä prosenttimäärä on 20. Tämä sama tavoite sisältyy myös Euroopan unionin ilmasto- ja energiapakettiin ja tunnetaan ns. 20-20-20 tavoitteena. Tämä tarkoittaa, että Euroopan unioni on sitoutunut vähentämään kasvihuonepäästöjä 20 prosentilla vuoden 1990 tasolta vuoteen 2020 mennessä. (Työ- ja elinkeinoministeriö: EU:n energiayhteistyö 2013; Ympäristöministeriö: Ilmastonmuutoksen hillitseminen 2013.)

Edellä mainittujen tavoitteiden lisäksi kansallisella tasolla Suomen tavoitteena on nostaa uusiutuvan energian osuus 38 prosenttiin energian loppukulutuksesta. Osa tästä tavoitteesta voidaan toteuttaa lisäämällä puuperäisten polttoaineiden käyttöä. Tulevaisuuden metsäpolitiikan keskeiset linjaukset löytyvät Maa- ja metsätalousministeriön koordinoimasta Kansallisesta metsäohjelmasta (KMO) 2015. Sen ohjelmakausi kestää vuoteen 2015, mutta visiot ja tavoitteet ulottuvat vuoteen 2020 saakka. Kansallisen metsäohjelman 2015 visio on, että vuonna 2020 Suomen metsäala on vastuullinen biotalouden edelläkävijä, metsiin perustuvat elinkeinot ovat kilpailukykyisiä ja kannettavia, ja että metsäluonnon monimuotoisuus ja muut ympäristöhyödyt ovat vahvistuneet. (Kansallinen metsäohjelma 2015 2011, 5, 10; Maa- ja metsätalousministeriö: Metsäpolitiikan kulmakivet kansallisessa metsäohjelmassa 2013; Ympäristöministeriö: Kansallinen ilmastopolitiikka 2013.)

Kansallisen metsäohjelman lisäksi metsäenergian käyttöä ohjaavat Suomen Metsäkeskuksen alueyksiköiden tekemät alueelliset metsäohjelmat. Alueelliset metsäohjelmat pohjautuvat Kansalliseen metsäohjelmaan. Uusin Pirkanmaan alueellinen metsäohjelma vuosille 2012–2015 on julkaistu vuoden 2012 alussa. (Metsäkeskus: Pirkanmaan metsäohjelma 2011.)

2.3.1 Tavoitemäärät

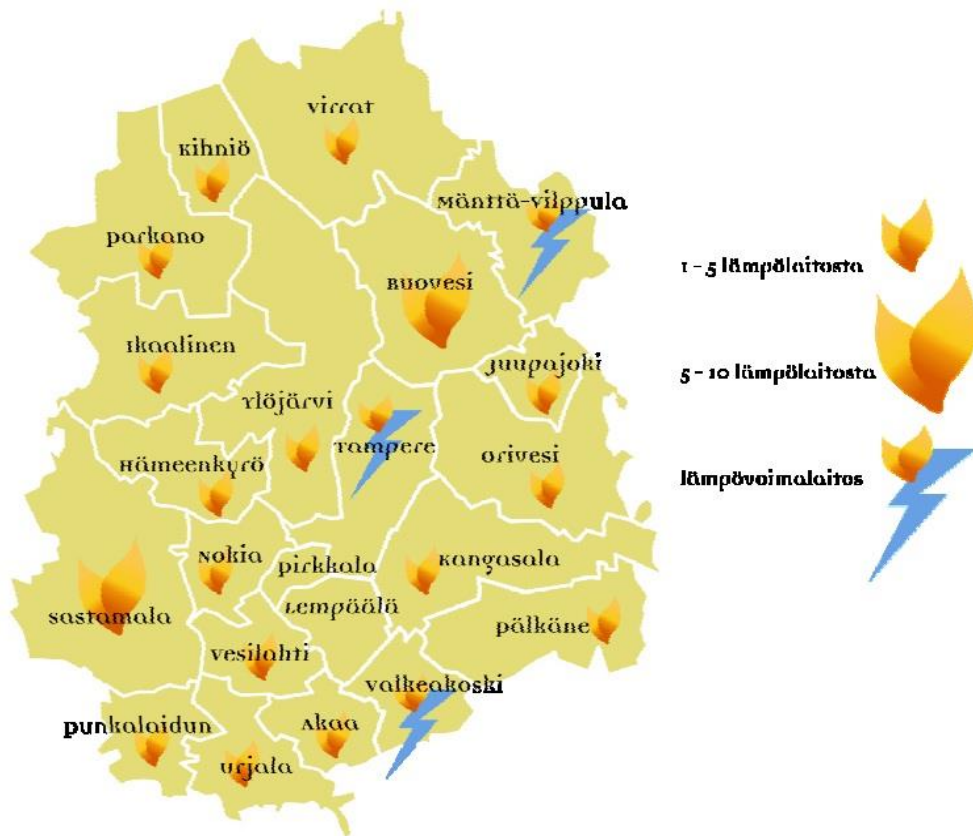
Kansallisen metsäohjelma 2015:n tavoitteet vaikuttavat puupolttoaineiden käyttöön sekä suoraan, että välillisesti. Kansallisessa metsäohjelmassa 2015 on suora tavoite metsähakkeen käytölle, joka on 8-12 miljoonaa m³ vuodelle 2015. Sen lisäksi tavoitteissa on ainespuulle tavoitehakkuukertymä 65–70 miljoonaa m³ vuodelle 2015, joka toteutessaan nostaisi metsäteollisuuden sivutuotteiden kertymää nykyiseen verrattuna.

TAULUKKO 1. Kansallisen metsäohjelman 2015 tavoitteita (Kansallinen metsäohjelma 2015 2011, 12).

tavoite 2015	
Ainespuun hakkuukertymä, milj. m ³ /vuosi	65–70
Metsähakkeen käyttö, milj. m ³ /vuosi	8-12

2.4 Pirkanmaan lämpö- ja lämpövoimalaitokset

Laitoksen nimitys riippuu siitä, tuottaako laitos pelkästään lämpöä vai myös sähköä. Lämpölaitoksella tuotetaan pelkästään lämpöä ja lämpövoimalaitoksella tuotetaan lämmön lisäksi sähköä. Vuoden 2011 lopussa Pirkanmaalla oli 41 lämpöyritystä. Alla olevassa kartassa on esitetty lämpö- ja lämpövoimalaitosten lukumäärät paikkakunnittain Pirkanmaalla. (Hiitelä 2013.)



KUVIO 1. Pirkanmaan lämpö- ja lämpövoimalaitokset

3 TUHKAN MUODOSTUMINEN, OMINAISUUKSIA JA KÄSITTELY

3.1 Tuhka

Kiinteitä polttoaineita, kuten puupolttoaineita ja turvetta, poltettaessa syntyy tuhkaa. Tuhka on palamatta jäänyttä epäorgaanista ainesta. Tuhkan pääainesosat ovat piidioksidi, alumiinioksidi sekä rauta-, kalsium- ja magnesiumoksidit. Näiden lisäksi tuhkassa on monia muita alkuaineita ja ravinteita. Syntyvän tuhkan määrään ja koostumukseen vaikuttavat käytetty polttoaine, polttoprosessi sekä tuhkan keräyspaikka prosessissa. Suomessa arvioidaan syntyvän noin 600 000 tonnia puu-, turve- ja sekatumhua vuosittain. (Energia Suomessa 2004, 157; Huotari 2012, 6; Ojala 2012, 4.)

3.1.1 Polttoaineen vaikutus tuhkaan

Käytetty polttoaine vaikuttaa syntyvän tuhkan määrään ja ravinnepitoisuuksiin. Puun ja puunosien tuhkapitoisuus on pienempi kuin turpeen. Myös eri puulajeilla on eroja tuhkapitoisuuksia, mutta käytännön loppukäytön kannalta ne ovat merkityksettömän pieniä. Kuorettoman puun tuhkapitoisuus on usein alle 0.5 % ja havupuiden kuoren tuhkapitoisuus on noin 2 %. Turpeen tuhkapitoisuus on noin 5 %. Alla olevassa taulukossa 2 on esitetty eräiden puupolttoainelajien keskimääräisiä tuhkapitoisuuksia. (Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia 2000, 37–38, 90.)

TAULUKKO 2. Eräiden puupolttoainelajien keskimääräisiä tuhkapitoisuuksia (Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia 2000, 38).

Puupolttoainelaji	Tuhkapitoisuus, %
Kokopuuhake	0,6
Hakkuutähdehake	1,3
Hakkuutähdehake, kuusi	2,0–6,0
Kantohake	0,5
Kuori	1,6–2,8

Puu- ja turvetuhkalla on eroa myös ravinnepitoisuuksissa. Loppukäyttömuodoissa tuhkan ravinteisuudella on merkitystä lähinnä lannoituskäytössä. Lannoituskäytössä, erityisesti metsän tuhkalannoituksessa tärkeimmät ravinteet ovat fosfori, kalium ja boori. Varsinkin näiden ravinteiden pitoisuudet ovat puutuhkassa suuremmat kuin turvetuhkassa. Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa 3 on vertailtu puu- ja turvetuhkien ravin-

nepitoisuuksia tarkemmin. Puhtaita puu- ja turvetuhkia kuitenkin syntyy suhteellisen vähän Suomen lämpö- ja voimalaitoksissa, vaan tuhka on näiden muodostamaa sekaturhua. Sekaturhan ravinnepitoisuudet vaihtelevat käytettyjen polttoainesuhteiden mukaan, ja tarkasti ne saa selville tuhka-analyysillä.

TAULUKKO 3. Puu- ja turvetuhkan keskimääräisiä ravinnepitoisuuksia (Tuhkan käyttö metsälannoitteena 2012, 6).

Ravinne	Puutuhka, %	Turvetuhka, %
Fosfori, P	0,2-3,0	0,5-2,0
Kalium, K	0,5-10,0	0,2-0,4
Kalsium, K	5,0-40,0	5,0-10,0
Boori, B	0,1	0,01

3.1.2 Polttotekniikan vaikutus tuhkaan

Turpeen ja puupolttoaineiden poltossa kaksi yleisintä polttotekniikkaa ovat arinapoltto ja leijukerrosolotto. Molemmat tekniikat voidaan jakaa vielä tarkempaan alatekniikoihin, mutta pääperiaate on kaikissa sama. Polttotekniikan vaikutus tuhkaan liittyy lähinnä tuhkan jakautumiseen pohja- ja lentotuhkaan, mikä poikkeaa arina- ja leijukerrosolotossa. (Energia ja ympäristö 1999, 60.)

Arinapoltto on vanhin kiinteän puupolttoaineen poltossa käytetty tekniikka. Arinapoltoissa polttoaine syötetään joko kiinteälle tai liikkuvalla arinalle, jossa palaminen tapahtuu. Arinapolton ongelmia ovat mm. palamisen vaikea hallinta, polttoaineen epätasainen jakaantuminen ja palaminen arinalla sekä kattilan kuonaantumisongelmat. Näiden takia arinapoltto soveltuu lähinnä pienien kattiloiden tekniikaksi, yleensä kattilat ovat tehoaan alle 5 MW. Ongelmista huolimatta suurin osa pienistä alle 5 MW:n tehoisista kattiloista on arinakattiloita. (Energia ja ympäristö 1999, 60.)

Suurissa, yli 5 MW:n tehoisissa kattiloissa yleisempi polttotekniikka on leijukerrosolotto. Leijukerrosolotossa polttoaineen palaminen tapahtuu palamattomasta aineesta koostuvassa patjassa. Patjamateriaalina voidaan käyttää esimerkiksi hiekkaa tai poltossa syntyvää tuhkaa. Patja saadaan leijumaan kattilassa puhaltamalla ilmaa sen alle. Leijukerrosoloton hyviä puolia ovat siinä syntyvien päästöjen vähäisyys sekä sen soveltuminen myös kostealle ja heikompileatuiselle polttoaineelle. Päästöjen vähäisyys johtuu lähinnä

korkeasta palamislämpötilasta ja tehokkaasta palamisesta. Soveltuvuus kostealle ja heikkompilaatuiselle polttoaineelle johtuu patjaan varastoituvasta suuresta lämpöenergiasta. (Energia ja ympäristö 1999, 63.)

Kiinteitä polttoaineita poltettaessa syntyy sekä pohjatuhkaa että lentotuhkaa. Pohjatuhka on arinan pohjalle tai leijukerroksena käytettävään materiaaliin kerääntyvää tuhkaa. Lentotuhka on palamisen savukaasuista erotettavaa tuhkaa. Yleensä sekä arina- että leijukerros-poltossa syntyy molempia tuhkamutoja. Leijukerros-poltossa lentotuhkan osuus on noin 80–100 % ja pohjatuhkan osuus on noin 0–20 %. Arinapoltossa lentotuhkan osuus on noin 5–40 % ja pohjatuhkan osuus on noin 60–95 %. Lento- ja pohjatuhkan suurin ero on erilainen raekoko; lentotuhka on hienompaa kuin pohjatuhka. Lisäksi leijukerros-poltossa syntyvässä pohjatuhkassa on mukana leijukerros-materiaalia, jota arinapolton pohjatuhkassa ei ole. (Tuhkarakentamisen käsikirja 2012, 8,9,13.)

3.2 Tuhkan käsittely

Käsittelemätön tuhka on hyvin hienojakoista ja pölyävää. Sen takia tuhkan käsittelyn helpottamiseksi tuhkaa stabiloidaan. Käytettäviä menetelmiä on monia, mutta kaikissa on kyse tuhkan kovettamisesta veden avulla. Yleisimmät menetelmät ovat itsekovetus ja rakeistus. (Tuhkalannoitus 2008, 8-9.)

Itsekovetuksessa tuhkaan sekoitetaan vettä, jonka jälkeen se kasataan ja annetaan kovettua itseksensä. Itsekovetettu tuhka sisältää monen kokoisia rakeita ja pölyä vielä jonkin verran, kuitenkin huomattavasti vähemmän kuin käsittelemätön. Rakeistus on tehokkain tuhkan stabiloimismenetelmä. Rakeistuksessa tuhkaan sekoitetaan vettä, jonka jälkeen sitä sekoitetaan rakeiden aikaan saamiseksi. Rakeistuksessa syntyvien rakeiden koko vaihtelee, mutta tavoitteena on hieman alle senttimetrin halkaisija. Rakeistettu tuhka pölyä vielä itsekovetettuaikin vähemmän. (Tuhkalannoitus 2008, 9-10.)



KUVA 1. Itsekovetettyä tuhkaa (Tuhkalannoitus 2008, 9).



KUVA 2. Rakeistettua tuhkaa (Tuhkalannoitus 2008, 7).

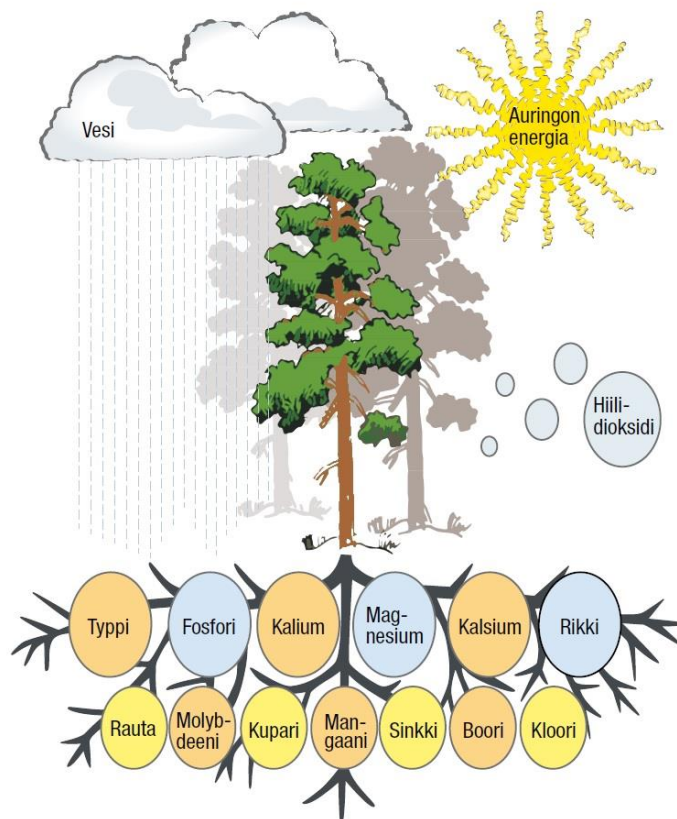
4 TUHKAN LOPPUKÄYTTÖ

4.1 Metsälannoituskäyttö

4.1.1 Yleistä metsälannoituksesta

Puut tarvitsevat kasvaakseen riittävästi valoa, lämpöä, vettä ja ravinteita. Minimitekijä on se tekijä, jonka puute tai rajallisuus rajoittaa kasvua. Minimitekijä vaihtelee riippuen monista eri tekijöistä. Sekä kivennäis- että turvemaisilla minimitekijä on yleensä ravinteiden puute, turvemaisilla myös ravinteiden epätasapaino on yleistä. (Metsänlannoitusopas n.d., 4.)

Puiden kasvuun tarvitsemia ravinteita on ainakin 16 erilaista. Nämä ravinteet voidaan jakaa pää- ja hivenravinteisiin. Pääravinteita ovat typpi, fosfori, kalium, kalsium, magnesium ja rikki. Hivenaineita puolestaan ovat rauta, mangaani, kupari, sinkki, boori, molybdeeni ja kloori. Kivennäis- ja turvemaiden ravinteikkuudessa on suuria eroja. Puiden kasvun minimitekijä on yleensä siis ravinteiden puute, kivennäismailla typen ja turvemaisilla lähinnä kaliumin sekä fosforin. (Metsänlannoitusopas n.d., 4.)



KUVA 3. Puun kasvutekijät (Metsänlannoitusopas n.d., 4.)

Metsänlannoitus voidaan jakaa kahteen eri lannoitusmuotoon: kasvatuslannoitukseen ja terveyslannoitukseen. Kasvatuslannoituksen tavoitteena on pelkästään lisätä puuston kasvua. Kasvatuslannoitus toteutetaan lisäämällä maaperään sellaisia ravinteita, joiden puute rajoittaa puiden kasvua. Terveyslannoituksen tavoitteena on korjata maaperän ravinnetasapainoa, joka aiheuttaa puustossa kasvuhäiriöitä tai jopa kuoleman. (Tapion taskukirja 2008, 197.)

Lannoituksen tarpeellisuutta voidaan arvioida monella eri tavalla. Kasvatuslannoitukseen on olemassa valmiita ravinnesuositustaulukoita, joissa kerrotaan ravinnemäärä hehtaaria kohden kasvupaikkatyyppin mukaan. Nämä ovat kuitenkin vain yleisohjeita. Ravinnepuutoksia voi arvioida silmämääräisesti ravinnepuutosoireiden mukaan ja tarkemmin maaperä- ja neulasanalyysillä. (Tapion taskukirja 2008, 198–202.)

4.1.2 Tuhkalannoitus

Koska tuhka ei sisällä typpeä, sen käyttö lannoitteena rajoittuu pääasiassa turvemaille. Kohteesta riippuen tuhkalannoitus soveltuu sekä kasvulannoitteeksi, että terveyslannoitteeksi. Parhaimpia kohteita turvelannoitukselle kasvatuslannoitusmielessä ovat luontaisesti runsastyyppiset suometsät, joiden turvekerroksen paksuus on yli 30 cm ja joilla puuston kasvun minimitekijöinä ovat fosforin ja kaliumin puute. Kasvupaikan ravinteisuutta voi arvioida karkeasti silmämääräisesti turpeesta ja puustosta. Turpeen typpipitoisuutta voi arvioida puristamalla turvetta kädessä. Jos turve hajoaa puuromaiseksi massaksi ja kämmenen avaamisen jälkeen ei kimmoa ennalleen, turpeessa on yleensä tarpeeksi typpeä. Fosforin ja kaliumin voimakkaan puutoksen huomaa neulasten tai lehtien värioreina, kasvun taantumisena ja runkovikoina. Ravinteiden tarkat pitoisuudet saa selvitettyä teettämällä ravinneanalyysin, joko turve- tai neulasanalyysin. (Tuhkalannoitus 2008, 11; Tuhkan käyttö metsänlannoitteena 2012, 41–42.)

Taulukosta 4 nähdään tärkeimpien ravinteiden suositellut levitysmäärät hehtaaria kohden. Koska tuhkan ravinnepitoisuudet ovat verraten pieniä, tuhkaa täytyy levittää kilomääräisesti paljon, yleensä suositellaan 4000–5000 kilogrammaa tuhkaa hehtaarille. Puuston kasvun parantuminen alkaa 3-4 vuoden kuluttua tuhkalannoituksen suorittamisesta. Tuhka on hyvin pitkäikäisesti vaikuttava lannoite, puuston ravinnetila pysyy vähintään tyydyttävänä ainakin 20 vuotta lannoituksesta (Tuhkalannoitus 2008, 13,16; Tuhkan käyttö metsälannoitteena 2012, 41.)

TAULUKKO 4. Tärkeimpien ravinteiden levitysmäärät turvemaiden lannoituksessa (Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille 2007, 50)

	kg/ha
Fosfori, P	40–50
Kalium, K	80–100
Boori, B	1,5–2,5

4.2 Muu käyttö

4.2.1 Maarakennus

Maarakennuksessa tuhkia voidaan käyttää sellaisenaan tai seostettuina toisen aineen kanssa. Käyttökohteita ovat esimerkiksi tierakentaminen, kenttärakentaminen, kaato-paikkarakenteiden rakentaminen ja maisemointi. Maarakennuksessa tuhkia käytetään korvaamaan erilaisia luonnon kiviaineksia. Koska pohja- ja lentotuhkan raekoko poikkeaa toisistaan, niillä on maarakentamisessa eri käyttökohteet. Hienompaa lentotuhkaa käytetään korvaamaan 0-23 millimetristä kiviainesta ja karkeampaa pohjatuhkaa käytetään korvaamaan hiekkaa. Tuhkan etuja maarakennuskäytössä on sen keveys, hyvästä tiivistymisestä johtuva hyvä kantavuus sekä luonnon kiviaineksia säästävä vaikutus. (Huttunen 2005, 3; Tuhkarakentamisen käsikirja 2010, 22–23.)

Metsätalouteen eniten liittyvä tuhkan loppukäyttö maarakentamisessa on tuhkan käyttö metsäteiden rakentamisessa ja perusparannuksessa. Aiheeseen liittyen on tällä hetkellä käynnissä hankkeita, esimerkiksi Metsäntutkimuslaitoksen ja Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion vetämät hankkeet. Hankkeiden tarkoituksena on lisätä tietämystä tuhkan soveltuvuudesta metsätierakentamiseen ja tuhkan käytön ympäristövaikutuksista. (Schäfer 2011.)

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion vetämässä hankkeessa kalliomurskeesta ja tuhkaista tehdään erilaisia seossuhteita, jota käytetään koetiepatkien pintamateriaalina. Tuhka on turve- ja puuperäistä. Hankkeessa selvitetään eri seossuhteiden teknistä soveltuvuutta metsätierakentamiseen sekä tuhkan käytön ympäristövaikutuksia erityisesti ottamalla näytteitä pinta- ja pohjavesistä. Metsäntutkimuslaitoksen vetämässä hankkeessa

koetiepätkien pinnassa on aina murskekerros. Murskekerroksen alla on eripaksuinen tuhka-kerros tai tuhka/murske -seoskerros. Myös tässä hankkeessa seurataan tien kestämisen lisäksi tuhkan vaikutusta vesistöön. (Kaakkurivaara 2012; Tuhkan käyttö tienrakennuksen... 2013.)

UPM on kokeillut tuhkan käyttöä omilla metsäteillään usean vuoden ajan. Alla olevassa kuvassa 4 on esitetty UPM:n käyttämä menetelmä tuhkan käytössä. Metsätien runkoon tehdään 25–35 senttimetrin paksuinen tuhkapatja, ja sen päälle 10 senttimetrin paksuinen murskekerros. UPM:n kokemuksen mukaan tuhka kovettuu parantaen tien kantavuutta ja tuhkan ainesosien leviäminen ympäristöön on vähäistä. (Mäki 2013, 30–31).



KUVA 4. Tuhkatien kaaviokuva (Mäki 2013, 31).

4.2.2 Muita käyttökohteita

Tuhkaa voidaan käyttää käytöstä poistettujen turvetuotantoalueiden lannoituksessa. Turvetuotannosta poistettujen alueiden maaperässä on yleensä runsaasti typpeä, mutta vähän muita ravinteita, erityisesti fosforia ja kaliumia. Tästä johtuen tuhkalannoituksen on huomattu parantavan turvetuotannosta poistetuille alueille perustettujen metsiköiden, erityisesti energiapuuviljelmien, kasvua. (Huotari 2012, 24; Myllylä 2013, 24–26.)

Vapo on käyttänyt tuhkaa myös turvetuotannosta poistetulle alueelle rakennettavan kosteikon perustamisessa. Kosteikkoa on tarkoitus aluksi käyttää turvetuotantoalueen veden käsittelyssä ja turvetuotannon loputtua alueella siitä on tarkoitus muodostaa järvi. Tuhkaa käytetään perustamisvaiheessa vauhdittamaan kylvetyn rehusiemeneseoksen kasvua. (Myllylä 2013, 26.)

4.3 Tuhkan loppukäytön lainsäädäntö

Tuhkan loppukäyttöön sovellettava lainsäädäntö riippuu tuhkan loppukäyttökohteesta. Tärkeimmät loppukäyttöön liittyvät lait ovat ympäristönsuojelulaki, jätelaki, jäteverolaki ja lannoitevalmistelaki. Lisäksi joissain tapauksissa sovelletaan Valtioneuvoston asetusta eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa eli niin sanottua MARA-asetusta. Uuden, 1.5.2012 voimaan tulleen jätelain mukaan tuhka ei automaattisesti ole jätettä, vaan se voidaan luokitella sivutuotteeksi. Tämä helpottaa suuresti tuhkan loppukäyttöä. (Karvonen, Pesonen, Kuokkanen & Kuokkanen 2012, 13.)

Jos tuhkaa käytetään lannoitteena, siihen sovelletaan lannoitevalmistelakia ja –asetusta. Lannoitevalmisteasetuksessa määritellään tuhkan sisältämien haitallisten metallien enimmäispitoisuudet sekä metsälannoitteena käytettävän tuhkan vähimmäisravinnepitoisuudet. Vähimmäisravinnepitoisuusrajoista tärkeimmät metsälannoituskäytössä ovat kaliumin ja fosforin yhteenlaskettu pitoisuus, jonka pitää olla yli 2 % sekä kalsiumin pitoisuus, jonka pitää olla yli 6 %. Haitallisten metallien enimmäispitoisuuksista esimerkkeinä voi mainita elohopean, jonka pitoisuus ei saa olla yli 1 mg/kuiva-aine kg sekä kadmium, jonka pitoisuus ei saa olla yli 25 mg/kuiva-aine kg. Pääsääntöisesti puutuhkalla ja puu- turvesekatuhkalla nämä arvot ovat rajojen mukaiset. (Karvonen ym. 2012, 15–16.)

Jos tuhkaa käytetään maarakennuksessa, siihen sovelletaan joko ympäristönsuojelulakia tai MARA-asetusta. MARA-asetuksessa määritellään sen soveltamisalaan kuuluvat jätteet sekä niiden sisältämien haitallisten aineiden maksimipitoisuudet ja liukoisuusrajarvot. Jos nämä edellytykset täyttyvät, riittää tuhkan käyttöön asetuksen mukainen ilmoitusmenettely. Jos edellytykset eivät täyty, tarvitaan ympäristönsuojelulain mukainen ympäristölupa. (Karvonen ym. 2012, 17–18.)

Vuoden 2011 voimaan tulleen uuden jäteverolain mukaan kaatopaikalle toimitettavasta jätteestä, tässä tapauksessa tuhkasta, jonka käyttö on teknisesti ja ympäristön kannalta mahdollista täytyy maksaa jätevero. Vuoden 2013 alusta asti veron suuruus on ollut 50 euroa tonnilta. (Karvonen ym. 2012, 14.)

5 KYSELY TUHKAN LOPPUKÄYTÖSTÄ

5.1 Kyselyn toteuttaminen

Kysely toteutettiin sähköpostitse lähetetyllä kyselylomakkeella (Liite 1) sekä puhelimitse. Kyselyyn valittiin kahdeksan Pirkanmaan suurinta lämpö- ja lämpövoimalaitosta. Kysely lähetettiin sähköpostitse ensimmäisen kerran laitoksille marraskuun puolivälissä. Laitoksille, joista ei vastausta saatu, lähetettiin uusi sähköposti joulukuun alussa. Jos vastausta ei saatu vielä, pyydettiin vastauksia puhelimitse. Kahdeksasta tutkimukseen valitusta laitoksesta vastaus saatiin seitsemältä laitokselta.

5.2 Käytetyt polttoaineet

Tutkimukseen valittiin vain laitoksia, jotka käyttävät pelkästään puupolttoaineita tai puupolttoaineita ja turvetta. Kuten edellä on kerrottu, käytetty polttoaine vaikuttaa syntyvän tuhkan ravinnepitoisuuksiin. Loppukäytön kannalta tärkeimmät ravinteet ovat kalium, fosfori ja boori, joita on puutuhkassa enemmän kuin turvetuhkassa.

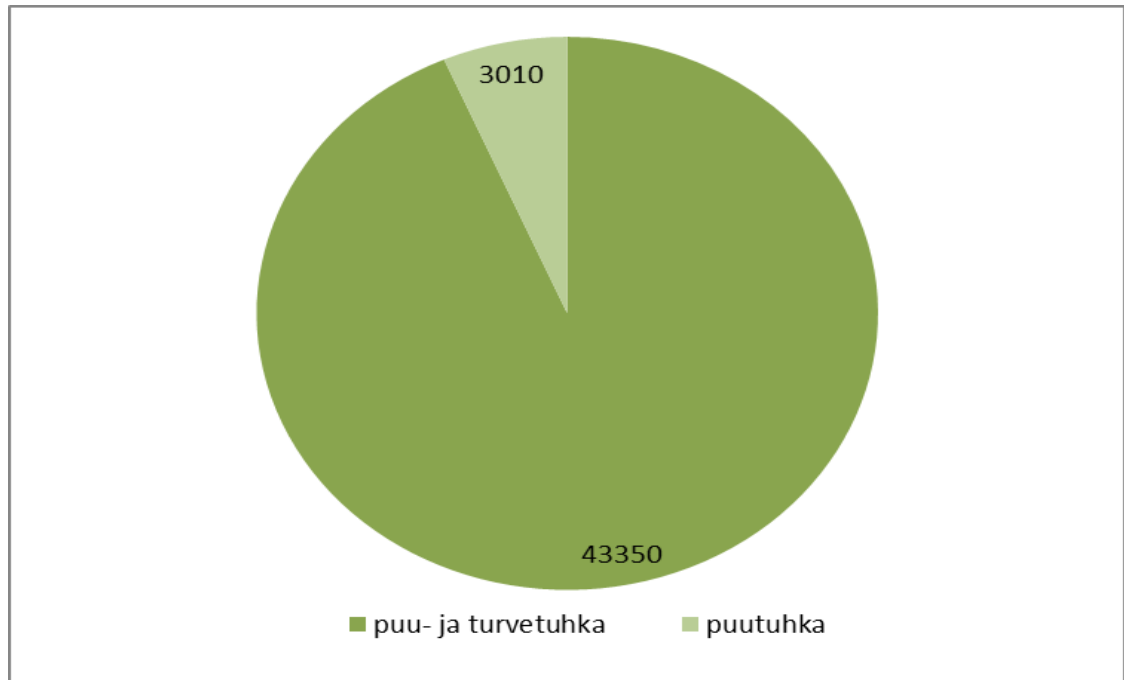
Kyselyyn valituista laitoksista neljä käyttää pelkästään puupolttoaineita ja kolme käyttää sekä puupolttoaineita että turvetta. Lisäksi kaksi laitosta käyttää myös muita polttoaineita. Puupolttoaineina laitokset käyttävät sekä metsäteollisuuden sivutuotteita että metsäenergiälajeja. Metsäteollisuuden sivutuotteista käytetään kuorta, kuivahaketta ja purua. Metsäenergiälajeista käytetään hakkuutähde-, kokopuu-, pienpuu- ja kantohaketta. Muut polttoaineet ovat puhdistamolietettä ja paperitehtaan hylkypaperia.

TAULUKKO 5. Laitosten käyttämien polttoaineiden suhteet.

Laitokset	polttoaineet		
	puupolttoaineiden osuus	turpeen osuus	muut
Laitos 1	100 %		
Laitos 2	100 %		
Laitos 3	100 %		
Laitos 4	29–38 %	55–60 %	2-16 %
Laitos 5	55 %	45 %	
Laitos 6	100 %		
Laitos 7	78 %	20 %	2 %

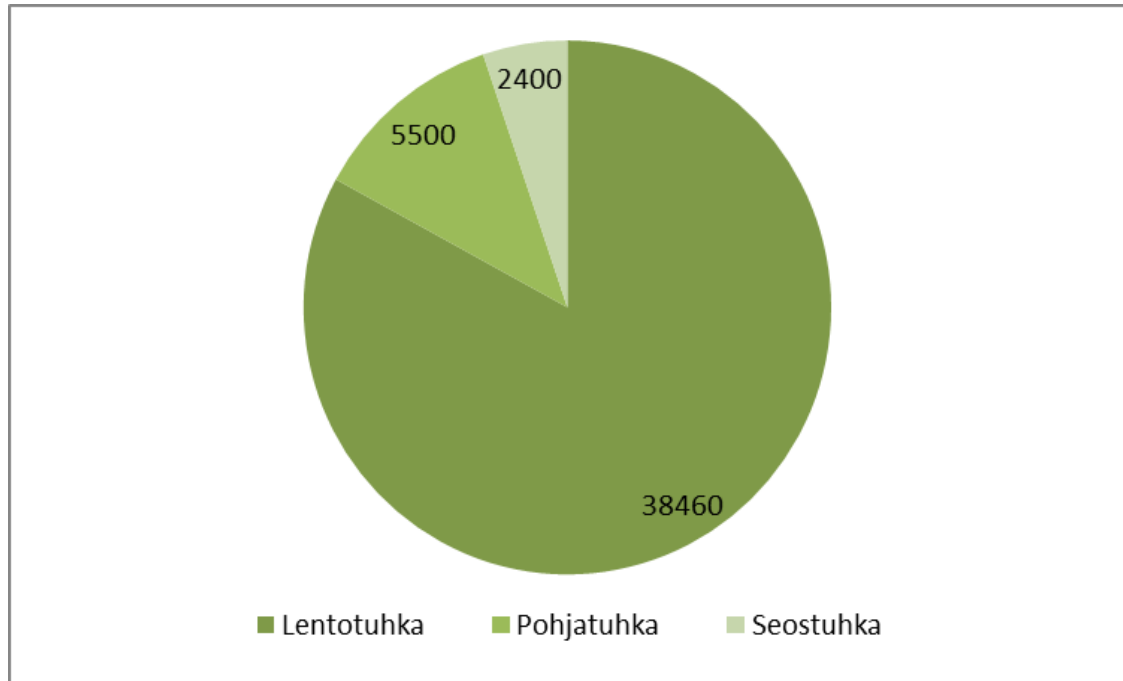
5.3 Tuhkan määrä ja laatu

Kuviossa 6 on esitetty laitosten tuottaman tuhkan jakautuminen puhtaaseen puutuhkaan sekä puu- ja turvesekatuhkaan. Kuten huomataan, vaikka lukumäärällisesti useampi laitos käyttää pelkkiä puupolttoaineita, on puhtaan puutuhkan osuus hyvin pieni, vain 3 010 tonnia vuodessa. Suurin osa syntyvästä tuhkasta on puupolttoaineiden ja turpeen yhteispoltosta syntyvää puu- ja turvetuhkaa, jota syntyy 43 350 tonnia vuodessa.



KUVIO 6. Laitosten tuottaman tuhkan jakautuminen puutuhkaan sekä puu- ja turvetuhkaan, 1 000 kg/vuosi.

Kuviossa 7 on esitetty laitosten tuottaman tuhkan jakautuminen lento-, pohja- ja seostuhkaan. Seostuhka syntyy, kun lento- ja pohjatuhka yhdistetään. Suurin osa, 38 460 tonnia vuodessa, on lentotuhkaa. Pohjatuhkaa syntyy 5 500 tonnia vuodessa ja seostuhkaa 2 400 tonnia vuodessa.



KUVIO 7. Laitosten tuottaman tuhkan määrä jaettuna lento-, pohja- ja seostuhkaan, 1 000 kg/vuosi.

Suurin osa laitoksista on analysoinut tuhkan lannoitekäyttöä varten. Yksi laitoksista ei ole analysoinut tuhkaa pitkään aikaan ja yhdellä laitoksella analysointi on parhaillaan käynnissä. Lopuista viidestä laitoksesta yksi laitos ilmoitti, että tuhka ei sovellu metsälannoitteeksi. Neljä laitosta ilmoitti tuhkan soveltuvan metsälannoitekäyttöön analyysin perusteella.

5.4 Tuhkan loppukäyttö

Taulukossa 6 on esitetty laitosten tuottaman tuhkan loppukäyttökohteet laitoksittain. Metsälannoitteeksi tuhkaa menee vain kahdelta laitokselta tällä hetkellä. Muiden laitosten tuottama tuhka menee tällä hetkellä eri maarakentamismuotoihin. Yksi laitos käyttää tuhkansa oman kentän pintamateriaalina. Kaksi laitosta vastasi tuhkan tämän hetkisen käytön olevan kaatopaikkarakenteiden tekemiseen. Kolme laitosta vastasi loppukäytön olevan maarakentaminen, tarkempaa kohdetta kertomatta.

TAULUKKO 6. Laitosten tuottaman tuhkan loppukäyttökohteet

Tuhkan käyttökohteet				
	Lannoitekäyttö	Maarakennus		
		Maarakennus yleisesti	Oma kenttä, levitys	Kaatopaikkarakenteet
Laitos 1	x			
Laitos 2			x	
Laitos 3	x			x
Laitos 4		x		
Laitos 5		x		
Laitos 6		x		
Laitos 7				x

Loppukäytön haasteita laitoksilla on monia. Ensimmäinen haaste on polttoaineen vaikutus tuhkan ravinteikkuuteen. Kaksi laitosta kertoi, että tuhkan käyttö metsälannoitteena ei ole käytännössä järkevää. Tämä johtuu turpeen suuresta osuudesta polttoaineena, joka vaikuttaa tuhkan ravinnepitoisuuksiin. Tuhkaa siis pitäisi levittää niin suuria määriä metsään, ettei se ole taloudellisesti kannattavaa. Toinen haaste on se, ettei metsälannoitekäyttöön toimitetulle tuhkalle saa hintaa, vaan tuhka on kustannustehokkaampaa käyttää omiin käyttökohteisiin jos sellaisia on. Kolmas haaste on tuhkan hyötykäyttöön liittyvät analyysi, lupamenettely ja byrokratia, jotka koettiin turhan raskaiksi ja vaikeiksi.

Vaikka kaikilla laitoksilla on jo nyt pääsääntöisesti niitä tyydyttävät ratkaisut tuhkan loppukäyttöön, usealla laitoksella mietitään jatkuvasti parannuskeinoja ja uusia kohteita. Myös hankkeen kautta tuleviin mahdollisiin uusiin loppukäyttökohteisiin ja ehdotuksiin suhtauduttiin positiivisesti.

6 POHDINTA

Kyselyyn vastanneiden seitsemän laitoksen vuodessa tuottama tuhkamäärä on noin 46 000 tonnia. Suurin osa tästä on puu- ja turvesekatuhkaa, vain noin 3 000 tonnia on puhdasta puutuhkaa. Myös lento- ja pohjatuhkaan jakautumisessa oli selkeä ero. Suurin osa, noin 38 000 tonnia on lentotuhkaa. Jakautuminen oli odotettavissa, sillä pelkän puun käyttö polttoaineena ei ole vielä kovin yleistä suurissa laitoksissa. Lisäksi suuret laitokset tuottavat juuri lentotuhkaa enemmän kuin pohjatuhkaa, sillä niissä käytetään leijukerros polttoa.

Jokaisella kyselyyn vastanneella laitoksella oli selkeä loppukäyttökohde tuhkalle. Määrällisesti suurin osa tuhkasta käytetään maarakennuksessa, vain kahdelta laitokselta tuhkaa lähti metsälannoitteeksi. Tämäkin on ymmärrettävissä, sillä jos turpeen osuus polttoaineesta kasvaa kovin suureksi, ravinnepitoisuudet tippuvat eikä tuhkan käyttö metsälannoitteena ole käytännössä kannattavaa. Lisäksi juuri lentotuhka on hyvä materiaali maarakennukseen sen hyvän tiivistyvyyden ja siitä seuraavan hyvän kantavuuden ansiosta.

Vaikka tällä hetkellä kaikki tuhka hyötykäytetään, olisi tuhkan loppukäytön ohjaaminen erityisesti metsälannoitukseen ja metsäteiden perusparantamiseen metsätalouden kannalta hyvä asia. Suomessa yleisesti, sekä myös Pirkanmaalla, on paljon suometsiä, joiden kasvua saisi kasvatettua paljonkin tuhkalannoituksella. Tästä hyötyisi niin metsänomistaja kuin metsäteollisuuskin. Myös monet metsätiet ovat kunnostuksen tarpeessa, sekä Pirkanmaalla että koko Suomessa. Tuhkan käytöstä metsäteiden rakentamisessa ja perusparantamisessa on olemassa lupaavia tuloksia. Myös metsäteiden hyvä kunto auttaa niin metsänomistajaa kuin metsäteollisuuttakin.

LÄHTEET

- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT tiedotteita 2045.
- Energia Suomessa. Tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset. 2004. 3. painos. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Hellgrén, M., Heikkinen, L., Suomalainen L. & Kala, J. 1999. Energia ja ympäristö. Helsinki: Hakapaino Oy.
- Hiitelä, J. 2012. Uusiutuvat energiaratkaisut ja lämpörittäisyys, puuenergian riittävyys Pirkanmaalla. Luettu 18.12.2013.
http://www.ekokumppanit.fi/lahilampo/uploads/lampoyrittajyys_ja_puuenergian_riittavyy_pirkanmaalla.pdf
- Huotari, N. 2012. Tuhkan käyttö metsälannoitteena. 2. painos. Vammalan kirjapaino Oy.
- Huttunen, E. 2005. Metsäteollisuuden lentotuhkien käyttö tie- katu- ja kenttärakenteissa. Suunnittelu- ja mitoitusohje. Luettu 17.12.2013.
<http://www.finncao.fi/pdf/mitoitusohje14032005.pdf>
- Kaakkurivaara, T. 2012. Uudet teknologiat alemman tieverkon rakentamisen ja ylläpidon apuna.
- Kansallinen metsäohjelma 2015. Metsäalasta biotalouden vastuullinen edelläkävijä.2011. Maa- ja metsätalousministeriö.
- Karvonen, L., Pesonen, J., Kuokkanen, V. & Kuokkanen, T. 2012. Tuhkan rakeistus Pohjois- Pohjanmaalla. Tuhkien jakeistus, niiden kemialliset ominaisuudet ja hyödyntämispotentiaali. Oulun yliopiston kemian laitoksen raportisarja 86. Oulu: Uniprint Oulu – Suomen yliopistopaino Oy.
- Maa- ja metsätalousministeriö: Metsäpolitiikan kulmakivet kansallisessa metsäohjelmassa. 2013. Luettu 4.12.2013. <http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/metsat/kmo.html>
- Metsäkeskus. 2013. Moteista Megawateiksi. Luettu 17.12.2013.
<http://www.metsakeskus.fi/moteistamegawateiksi>
- Metsäkeskus. 2011. Pirkanmaan metsäohjelma. Luettu 13.12.2013.
<http://www.metsakeskus.fi/metsakeskus-ja-alueet/alueet/pirkanmaa/alueellinen-metsaohjelma>
- Metsänlannoitusopas. N.d. Yara. Luettu 13.12.2013.
http://webtoprint.yara.com/kunder/pages/download.php?f=/images/store1/device/yara/library/ymark/ymark//ymark/j2012/m03/t14/0014864_2.pdf&PHPSESSID=ffedb1013ea6140e7d8d7ccf81700bf8
- Metsätilastollinen vuosikirja 2012. 2012. Metsäntutkimuslaitos.

Metsä vastaa. 2011. Tuhkan käyttö tienrakennuksen materiaalina. Luettu 17.12.2013.
<http://www.metsavastaa.net/tuhka-tien-rakennuksessa>

Myllylä, I. 2013. Tuhkaa hyötykäyttöön. VapoViesti 3/2013, 24–26.

Mäki, P. 2013. Kelirikkokestävä tuhkatie lisää leimikon arvoa. Metsän henki 1/2013, 30–31.

Ojala, E. 2010. Selvitys puu- ja turvetuhkan lannoite- sekä muusta hyötykäytöstä. Luettu. 14.12.2013. http://energia.fi/sites/default/files/tuhkaselvitys_eo_final.pdf

Pakkanen, E. & Leikola, M. 2011. Puut perille ja käyttöön. Metsäkustannus Oy.

Schäfer, H. 2011. Tuhka voisi korvata mursketta metsäteissä. Maaseudun tulevaisuus 19.9.2011.

Tuhkalannoitus. 2008. Metsäkustannus Oy.

Tuhkarakentamisen käsikirja. 2012. Energiatuotannon tuhkat väylä-, kenttä- ja maarakenteissa. Luettu. 17.12.2013.
http://www.infra.fi/files/3985_Tuhkarakentamisen_kasikirja.pdf

Työ- ja Elinkeinoministeriö: EU:n energiayhteistyö. 2013. Luettu 4.12.2013.
https://www.tem.fi/energia/eu_n_energiayhteistyö

Ympäristöministeriö: Ilmastonmuutoksen hillitseminen. 2013. Luettu 4.12.2013.
http://www.ymparisto.fi/FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen

LIITTEET

Liite 1. Kysely laitoksille

Kysely puu- ja turvetuhkan muodostumisesta

Voimalaitos ja polttoaineet

1. Mikä on kattilatyyppi?

arinakattila

leijupetikattila

muu, mikä?

2. Mitä polttoaineita käytätte? (puuperäiset polttoaineet ja turve)

3. Mitkä ovat polttoaineiden keskimääräiset osuudet vuositasolla?

Tuhka

4. Miten keräätte tuhkan?

5. Paljonko tuhkaa syntyy vuodessa? (puupolttoaineiden ja turpeen tuhka)

tn, lentotuhka, kuiva

tn, lentotuhka, märkä

tn, pohjatuhka, kuiva

tn, pohjatuhka, märkä

tn, seostuhka, kuiva

tn, seostuhka, märkä

6. Miten varastoitte tuhkan?

7. Yhdistetäänkö lentotuhka ja pohjatuhka?

Loppukäyttö

7. Mihin tuhka käytetään tällä hetkellä?

8. Onko tuhkaa analysoitu? (lannoitekäyttö)

10. Mikä on lannoitekäyttöön soveltuvan tuhkan osuus?

11. Onko tuhkan hyödyntämisen suhteen suunnitelmia?

12. Kommentteja.