

TAPIO 

TUHKKA OSANA KESTÄVÄÄ LIIKETOIMINTAA

**OPAS TUHKAN TUOTTAJILLE
JA KÄYTTÄJILLE**

Arnkil, N., Joensuu, S., Kauppila, M., Kontinen, K. Kotiharju, A., Lahti, E. & Tenhola, T. 2020.
Tuhka osana kestäväää liiketoimintaa – Opas tuhkan tuottajille ja käyttäjille. Tapion raportteja 42. Tapio Oy.
ISBN 978-952-5632-93-4ISSN 2342-804X(pdf)

Opas päivitetty 16.11.2021.

Tapio Oy ei anna käyttäjälle takuuta tässä teoksessa olevan tiedon ajantasaisuudesta, virheettömyydestä tai käyttökel-
poisuudesta tiettyyn nimenomaiseen tarkoitukseen. Tapio Oy ei myöskään millään tavoin takaa teoksen käyttäjälle
tietyn tai halutun lopputuloksen saavuttamista kaikissa olosuhteissa. Tapio Oy ei vastaa suhteessa käyttäjään kulusta,
menetyksestä tai vahingosta, joka mahdollisesti aiheutuu tämän materiaalin käyttämisestä.

Kannen kuva: Tommi Tenhola.

ALKUSANAT	5
TERMIT	6
JOHDANTO.....	7
Tuhkan hyödyntämisessä on monia mahdollisuuksia	7
Kiertotalous ja yritysvastuu edistävät tuhkien hyötykäyttöä	7
Tuhka yritysten ympäristöjärjestelmissä, yritys vastuuraportoinnissa ja viestinnässä	8
Tutkimus ja käytännön kokemukset tukevat hyödyntämistä	9
Tunnistetut haasteet ja niiden purkaminen	9
Metsätoimijoiden näkemyksiä tuhkan käytöstä - Case Pohjois-Karjala	11
TUHKAN LUOKITTELU JA SOVELTUVUUS HYÖTYKÄYTTÖÖN	13
Tuhkajakeiden luokittelu.....	13
Lannoitekäyttöön soveltuvat tuhkat.....	15
Maarakennukseen soveltuvat tuhkat	15
Tuhkan laadun seuranta	16
Omavalvonta lannoitteen valmistuksessa	16
Laadunvarmistus maarakentamisessa	18
TUHKAN TUOTANTO- JA KÄYTTÖPOTENTIALI	19
Tuotantomäärät alueittain	19
Materiaalipankit ja paikkatiedon hyödyntäminen.....	20
Tuhkan tuotannon paikkatiedot.....	20
Tuhkan potentiaaliset käyttökohteet	23
Tuhkalannoitukseen soveltuvat kohteet	23
Maarakennuskäytössä mahdollisuuksia	24
TUHKAN KÄYTTÖ METSÄLANNOITTEENA	26
Yleistä.....	26
Ravinnepitoinen tuhka lannoituskäytössä	26
Lannoituskohteiden valinta	27
Vaikutukset puustoon ja kasvuun	28
Suometsät.....	28
Kangasmetsät.....	29
Entiset turvetuotantoalueet ja suopellot.....	30
Lannoitelainsäädäntö.....	30

Lannoiteasetus.....	30
Kemeralaki ja -asetus.....	31
Tuotantolaitokselta metsään	32
Tuhkan esikäsittely	32
Tuhkan varastointi ja kuljetus	33
Tuhkalannoituksen toteuttaminen	34
Lannoitus suunnitelma	34
Tuhkan levittäminen	35
Tuhkalannoituksen kannattavuus	38
Tuhkalannoituksen ympäristövaikutukset.....	39
Tuhkan sisältämät haitalliset aineet	39
Vesistövaikutukset.....	39
Maaperävaikutukset ja raskasmetallien pidentyminen.....	40
Marjojen ja sienten raskasmetallipitoisuudet	41
Kasvihuonekaasupäästöt	41
Muut vaikutukset	42
TUHKAN KÄYTTÖ METSÄTIENRAKENNUKSESSA	44
Potentiaaliset käyttökohteet.....	44
Lainsäädäntö.....	45
MARA-asetus	45
Ilmoitusmenettely ja ympäristölupakäytäntö	48
Materiaaliketju.....	52
Talteenotto.....	52
Varastointi ja käsittely	52
Kuljetus.....	52
Työmenetelmät ja toteutus	53
Levittäminen	53
Kunnossapito	53
Laadunvarmistus	53
Kustannukset ja hyödyt	54
TUHKAN HYÖDYNTÄMISKETJUT	55
Liiketoiminnan reunaehdot	55
Liiketoimintaverkoston muodostuminen.....	56
Lannoite- ja maanrakennuskäytön yhteistyöverkostot.....	58

Esimerkki alueellisesta toimijaverkostosta	59
Yritysryhmien kokoaminen tuhkan hyödyntämisessä	60
Tietoa ja apua liiketoiminnan suunnitteluun	62
AINEKSIA VIESTINTÄÄN	63
Tuhka tiivistetysti	63
Usein kysytyt kysymykset	64
KIRJALLISUUS.....	66

Alkusanat

Metsä- ja energiateollisuudessa syntyy vuosittain keskimäärin lähes 600 000 tonnia puu- ja turvetuhkaa. Kaikkiaan erilaisia tuhkia arvioidaan syntyvän lähes 1,5 miljoonaa tonnia vuodessa. Puu- ja turveperäinen tuhka sisältää hyödyllisiä ravinteita, joiden palauttaminen metsään on sekä metsänkasvatuksellisesti että ekologisesti perusteltua. Tuhka soveltuu hyvin myös metsätienrakennuksen materiaaliksi ja sen käytöstä on saatu viime aikoina erittäin hyviä kokemuksia.

Tuhkalannoitusten lisäämiseen saatiin uutta vauhtia, kun Valtioneuvosto hyväksyi Kemera-asetuksen tuhkalannoitusten tuen laajentamisesta. Tuen myöntämisen edellytyksistä poistui vaatimus puuston ravinne-epätasapainon osoittamisesta. Tämä mahdollistaa sen, että metsien tuhkalannoitukseen voidaan myöntää tukea entistä useammille hankkeille. Tavoitteena on kolminkertaistaa tuhkalannoituksen määrä 30 000 hehtaariin vuodessa.

Tuhkalannoituksen kasvua lisäävä vaikutus voi näkyä suometsissä useiden vuosikymmenten ajan. Hyvin kasvavat suopuustot sitovat hiiltä ja hillitsevät näin osaltaan ilmastonmuutosta. Tuhkan käyttö lannoitteena edistää myös kiertotaloudelle asetettujen tavoitteiden saavuttamista. Kaatopaikoille vietävän tuhkan määrä vähenee, kun metsän lannoitukseen kelpaava tuhka saadaan hyötykäyttöön.

Tuhkalannoituksen määrän lisääntyessä korostuu myös tuhkan ympäristövastuullinen käyttö.

Tapion, Suomen metsäkeskuksen ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun yhteisessä Vastuullista liiketoimintaa tuhka -hankkeessa kehitetään toimintamalleja, joilla tuhkan hyötykäyttöä voitaisiin lisätä. Tavoitteena on saada tuhkaa enemmän hyötykäyttöön ja samalla edistää tuhkaan liittyvää yritystoimintaa metsälannoituksessa, metsätien rakentamisessa ja niitä tukevilla palveluilla.

Tähän oppaaseen on koottu tuhkaan liittyvä tietous ja hyvät käytännöt tuhkan tuottajille ja hyötykäyttäjille. Oppaassa käsitellään tuhkan ominaisuuksia, laatua ja vaikutuksia. Tuhkan hyötykäyttökohteina esitellään tuhkaa metsätien rakennuksen materiaalina sekä metsälannoituksessa. Opasta täydennetään hankkeen kuluessa erityisesti paikkatiedon hyödyntämismahdollisuuksista tuhkan käytössä.

Hanke toteutetaan 2019–2021 EU:n maaseuturahaston sekä maa- ja metsätalousministeriön tuella.

Helsingissä 30. kesäkuuta 2020

Olli Äijälä

Liiketoimintajohtaja

Tapio Oy

Termit

Kiertotalous

Kiertotalouden keskeisenä tavoitteena on säästää luonnonvaroja ja hyödyntää materiaalit tehokkaasti ja kestävästi. Kiertotalous on talousmalli, jossa ei tuoteta jatkuvasti lisää tavaroita. Kulutus perustuu omistamisen sijasta palveluiden käyttämiseen: jakamiseen, vuokraamiseen sekä kierrättämiseen. Materiaaleja ei lopuksi tuhota, vaan niistä syntyy yhä uudeen uusia tuotteita.

MARA-asetus

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. (843/2017)

Leijupeti

Polttokattilassa oleva kvartsihiekan muodostama kerros, joka saadaan liikkeeseen ja irti kattilan tulipesän pohjasta ilmavirralla. Kerroksen lämpötila on noin 700 °C.

Leijupetihiekka

Leijupetihiekalla tarkoitetaan leijukerroslaitoksen polttoprosessista poistettavaa hiekkapetimateriaalia tai poltossa hienontunutta hiekkapetimateriaalia, joka erottuu savukaasusta joko kattilassa tai savukaasujen puhdistuksessa.

Lentotuhka

Bioenergiatuotantolaitosten savukaasuista erotettava tuhka- ja leijupetijätettä.

Pohjatuhka

Kattilan pohjalle kerääntyvä arinatuhka tai poistettavan leijupetimateriaalin mukana poistuva tuhka- ja leijupetijätettä.



Kuva 1. Maa- ja metsätalousministeriön lannoiteasetus määrittelee lannoitteeksi soveltuvien tukkien vähimmäisravinnepitoisuudet sekä haitallisten aineiden enimmäispitoisuudet. Kuvaaja: Vesa Turpeinen.

Johdanto

Tuhkan hyödyntämisessä on monia mahdollisuuksia

Metsä- ja energiateollisuudessa syntyy vuosittain keskimäärin lähes 600 000 tonnia puu- ja turvetuhkaa. Kaikkiaan erilaisia tuhkia arvioidaan syntyvän lähes 1,5 miljoonaa tonnia vuodessa. Puu- ja turveperäinen tuhka sisältää hyödyllisiä ravinteita, joiden palauttaminen metsään on sekä metsänkasvatuksellisesti että ekologisesti perusteltua.

Tuhkan sisältämät ravinteet ovat sopivassa suhteessa, jonka vuoksi tuhkaa on hyödynnetty esimerkiksi soilla terveyslannoitteena. Sen sijaan puhtaan turvetuhkan ravinnepitoisuus ei ole riittävä lannoitekäyttöön. Tavoitteena pitäisikin olla jatkossa tuhkien tarkempi lajittelu jo tuotantolaitoksella. Tuhkia, jotka eivät esimerkiksi ravinnepitoisuuden vähäisyyden johdosta sovellu lannoitekäyttöön, voidaan hyödyntää esimerkiksi maarakentamiseen tai muihin alla mainittuihin tarkoituksiin.

Kaivannaisteollisuudessa tuhkaa on hyödynnetty muun muassa kaivoskuilujen täytössä sivukiven ohella kovettavana sideaineena. Tuhka parantaa täytön lujuutta selvästi. Kokeissa on käytetty sideaineena eri poltoissa syntyntä lentotuhkaa. Tulokset ovat olleet hyviä.

Sementtiteollisuudessa on perinteisesti käytetty kivihiilen polton lentotuhkaa sementin valmistuksen raaka-aineena. Tuhkaa lisätään sementinvalmistusprosessiin, jossa se toimii pääasiassa alumiinin ja piin lähteenä. Puun poltossa syntyvä lentotuhka ei ole ominaisuuksiltaan sementtiteollisuuden käyttöön soveltuvaa; sen sijaan turpeen poltossa syntyvä lentotuhka muistuttaa alkuaineominaisuuksiltaan kivihiilen lentotuhkaa, ja on siten hyvin käyttökelpoista raaka-ainetta sementin ja betonin valmistusprosessiin.

Betonin tuotannossa kuivalla lentotuhkalla voidaan korvata sementtiä. Samalla lentotuhkan käyttö vähentää hienojen, yleensä kalliimpien kiviaineslajikkeiden tarvetta. Tuhkan hyödyntäminen parantaa siten betoninvalmistuksen kustannustehokkuutta ja samalla betonin laatua.

Tuhkan kaatopaikkakelpoisuutta arvioidaan jätelaissa (646/2011) ja valtioneuvoston asetuksessa kaatopaikoista (Vna 331/2013). Asetuksessa annetaan raja-arvot jätteen ominaisuuksille, jotta se voitaisiin sijoittaa pysyvästi kaatopaikoille.

Kiertotalous ja yritysvastuu edistävät tuhkien hyötykäyttöä

Suomi tavoittelee paikkaa kiertotalouden kärkimaana, jolloin taloudellinen kilpailukyky ja hyvinvointi ei enää kulje käsi kädessä luonnonvarojen käytön kanssa, vaan ratkaisut löytyvät materiaalien tehokkaasta kierrosta ja niihin liittyvistä palveluista. Kansallinen biotalousstrategia ohjaa korvaamaan fossiilisia raaka-aineita biopohjaisilla sekä hyödyntämään tuotteiden valmistusprosesseissa syntyneet materiaalivirrat muissa tuotteissa.

Suomen kiertotalouden tiekartassa-yritykset ovat keskeisessä roolissa sen tavoitteisiin pääsyn kannalta. Yritykset ovat keskeisiä muutoksen tekijöitä vastuullisen raaka-aineiden käytön ja sivuvirtojen tehokkaamman hyödyntämisen kannalta. Vastuullinen liiketoiminta ja siihen nivoutuva kiertotalousajattelu on yrityksille keino varautua raaka-aineisiin ja ympäristönormeihin liittyviin tulevaisuuden riskeihin. Toisaalta niille yrityksille, jotka ovat varautuneet esimerkiksi ympäristönormien muutoksiin

ennalta, saattaa aueta ikkuna kustannus- tai markkinajohtajuuteen tulevaisuudessa. Vastuullisuus ja kiertotalous ovat yrityksille myös keino osallistua ekologisen kestävyuden turvaamiseen. Vastuullisuuteen panostaminen näkyy myös monien menestyneiden yritysten brändissä ja viestinnässä.

Yritysvastuuverkosto FIBSin 2019 tehdyn kyselytutkimuksen mukaan 99 prosenttia yrityksistä uskoo vastuullisuuden olevan liiketoiminnan kannalta olennainen tekijä. Vastuullisuustoiminnan kannalta kiertotalous nähtiin toiseksi merkittävämmäksi teemaksi ilmastonmuutoksen jälkeen eettisyyden ohella.

Sitran Kiertotalouden kiinnostavimmat -listauksessa esitellään kotimaisia kiertotalouden yritys-esimerkkejä. Listalta löytyy Ecolan Oy, joka on rakentanut brändinsä ja tuotteensa vahvasti kiertotalouden ja sivuvirtojen hyödyntämisen edelläkävijyyden ympärille. Ecolan on esimerkki tuhkaan perustuva kiertotalousliiketoiminnasta. Ecolan vastaanottaa tuhkaa voimalaitoksilta, analysoi tuhkan ominaisuudet ja ohjaa tuhkat niiden ominaisuuksien perusteella metsälannoitteiden tai maanrakennustuotteiden raaka-aineeksi. Lopputuotteina syntyy Ecolan Silva -metsälannoitteita sekä Ecolan Infra TR -uusiomateriaalia, joka korvaa neitseellistä kiviainesta infrarakentamisessa. Tuhkan tuottajat maksavat tuhkien vastaanottamisesta Ecolanille vastaanottomaksun. Loppukäyttäjät saavat hyödynnettäväkseen kiertotalouden mukaisesti jalostettuja, tasalaatuisia tuotteita, joilla on pienempi hiilijalanjälki kuin muilla vastaavilla tuotteilla.

Tuhka yritysten ympäristöjärjestelmissä, yritysvastuuraportoinnissa ja viestinnässä

Useat tuhkaa sivutuotteena tuottavat voimalaitokset hyödyntävät ympäristöjärjestelmiä (kuten ISO 14001:2015) ja noudattavat niiden mukaista jatkuvan parantamisen periaatetta. Ympäristöjärjestelmät edellyttävät tuotettujen sivuvirtojen raportoimista ja kannustavat avoimuuden periaatteeseen. Esimerkiksi Fortum raportoi tuhkan tuottamis-, hyötykäyttö- ja loppusijoitusmääristään Kestävän kehityksen raportissaan. Sen Euroopassa toimivien laitosten tuhkasta 65 % menee hyötykäyttöön, kuten raaka-aineeksi rakennusteollisuuteen, tienrakennukseen ja maanparannusaineeksi sekä kaivos-täyttöön.

Vaasassa toimiva Vaskiluodon voima kertoo verkkosivuillaan, että tuotannon sivutuotteet hyödynnetään 100-prosenttisesti. Tuhkaa syntyy vuodessa 70 000 tonnia ja sitä on hyödynnetty lähialueen kohteissa kuten huvipuiston pysäköintialueella, maakunnan ohitustien rakenteissa, raviradalla ja tuulivoimapuiston tiestössä ja varastointikentällä.

Sivuvirtojen hyödyntämisen kehittäminen on merkittävää toimintaa myös tuhkan tuottajille. Esimerkiksi UPM:n tavoitteena on saavuttaa kaatopaikkajätteen nollassa vuoteen 2030 mennessä. Yhtiö kertoo vuoden 2019 vastuuraportissa yrityksen toiminnan vaikutuksia arvioidessaan, että yrityksen tuhkan hyötykäytön arvo raaka-aineena on 18 miljoonaa euroa. Sen tuottamasta kiinteästä jätteestä suurin osa on bioenergian tuotannossa syntyvää tuhkaa. Vuonna 2019 96 % tuhkasta käytettiin hyödyksi maanrakentamisessa, sementti- ja tiiliteollisuudessa tai lannoitteena. Kierrätykseen sopimaton tuhka viedään toistaiseksi vielä kaatopaikalle. Vuonna 2019 yhtiö teki läpimurron tuhkan kierrätysinovaatiolla, jonka avulla kolmasosa tehdään paperintuotannossa käytetystä kalsiumkarbonaatista voidaan korvata kierrätetyllä tuhalla. Innovaatiolla on lukuisia UPM:n toimintaa tehostavia ympäristöhyötyjä.

Tutkimus ja käytännön kokemukset tukevat hyödyntämistä

Tuhkan maarakennuskäytöstä on tehty viimeisen kymmenen vuoden aikana lukuisia selvityksiä ja ohjelmia. Tällä hetkellä valtakunnallisella tasolla merkittävimmät aiheeseen liittyvät ohjelmat ovat [UUMA2](#) ja vuonna 2018 alkanut [UUMA3](#). Kyseiset ohjelmat ovat keskittyneet tuhkaan ja sen hyödyntämiseen liittyvän neuvontamateriaalin ja ohjeistuksen tuottamiseen. Esimerkiksi UUMA3-ohjelma vie uusiomateriaalien maarakentamista konkreettisesti käytäntöön: ohjelmassa keskitytään mm. väylän päällysrakenteisiin ja esimerkiksi uusiomateriaalien kaava- ja yleissuunnitteluun.

Viime vuosikymmenellä Tapion vetämissä tuhkahankkeissa ja Lahden ammattikorkeakoulun ja Tapion yhteisessä ARVO-TUHKA hankkeessa on keskitytty erityisesti yksityis- ja metsäteihin sekä tuhka-murske- ja tuhkapatjarakenteisiin. Hankkeilla on saatu arvokasta tietoa tuhkakäsittelyjen ympäristö-vaikutuksista ja tuhkan merkityksestä tien kantavuuden parantajana. Myös Lukessa on panostettu metsäteiden tuhkarakenteiden ympäristövaikutusten ja kantavuuden tutkimukseen.

Nykykaikaisen metsänhoidon osana metsälannoituksesta on tutkimustietoa jo viime vuosisadan alkupuolelta lähtien. Tuhka oli jo 1900-luvun alkupuolella mukana selvitettäessä erilaisten maanparan-nusaineiden tehoa puuston kasvuun. Luonnonvarakeskuksella on koesarjoja erilaisten maanparan-nusaineiden ja kaupallisten lannoitteiden käytöstä ja eri aineiden vaikutuksista puustoon erityisesti soilla.

Tiedot tuhkalannoituksen hyvistä tuloksista ovat olleet tiedossa jo pitkään, mutta tuhkan käyttöä haittasi metsälannoitustoiminnan vilkkaimman jakson aikana 1960–1980 -luvuilla sen saannin satun-naisuus. Lisäksi tuhkan rakeistusta ei vielä ollut kehitetty, jolloin irtotuhkan levityksen ongelmat sekä levitysmenetelmien kehittymättömyys vähensivät kiinnostusta tuhkaan. Pääosa metsälannoituksesta onkin toteutettu kaupallisilla kivennäislannoitteilla. Levitysmenetelmät soveltuivat parhaiten rakeis-tetun lannoitteen levittämiseen. Vasta tuhkan rakeistamisen kehittäminen on luonut edellytykset tuhkalannoituksen kehittymiselle.

Biotalousmurros alkoi 1990-luvun alkupuolelta. Siirtyminen öljystä ja kivihiilestä uusiutuvan polt-toaineen käyttöön johti vähitellen tuhkamäärien kasvuun. Kokonaislannoitusmäärät alkoivat nousta vähitellen. Tällä hetkellä vuotuinen metsälannoituspinta-ala on 45 000–60 000 hehtaaria, josta tuh-kalannoitusta on runsaat 10 000 hehtaaria.

Tunnistetut haasteet ja niiden purkaminen

Tiedon saanti ja vähäinen ohjeistus

Tuhkan tehokkaamman hyödyntämisen hidasteena niin maarakennus, tie- kuin lannoituskäytössä ovat tiedon puute ja sen takia riittämätön ohjeistus¹. Tiedon puutteen takia tuhkan potentiaaliset käyttäjät ovat olleet epävarmoja tuhkan ympäristökelpoisuudesta ja teknisestä soveltuvuudesta². Pelko siitä, että tuhkan sisältämät raskasmetallit päätyvät haitallisessa määrin luontoon voi aiheuttaa epävarmuutta sen hyödyntämiseen. Metsien tuhkalannoituksen mahdollisuudet eivät ole aina sel-keitä edes metsäalan ammattilaisille saati metsänomistajille³. Eri kyselyissä on todettu muun

¹ Kiviniemi ym. 2012

² Korpijärvi ym. 2009

³ Ojala 2010

muassa, että tuhkalannoituksen markkinointia helpottaisi, mikäli metsätoimijoiden käytössä ja taustatukena olisi asiantuntijoiden kirjoittamia artikkeleita tuhkan hyödyllisistä ominaisuuksista ja vaikutuksista puuston kasvuun sekä helppotajuisia laskelmia tuhkalannoituksen kannattavuudesta pitkällä aikajaksolla.

Monella isolla tuhkan tuottajalla on tällä hetkellä toimiva ketju tuhkan hyötykäytön organisoimiseksi. Mikäli kaikkien pienten lämpölaitosten ja tuhkan tuottajien tuhkat haluttaisiin hyötykäytön piiriin, pitäisi kehittää pieniä toimivia ketjuja, jotka paikallisesti toimien voisivat vähillä kuljetusetäisyyksillä toimien toimittaa paikallista tuhkaa lannoitteeksi ja muuhun hyötykäyttöön. Tällä hetkellä edellä kuvatulta paikalliselta tuhkan hyödyntämiseltä puuttuu muun muassa käytäntöä palveleva rekisteri - ”kauppapaikka” - jossa tuhkan tuottajat ja käyttäjät kohtaavat.

Tuhkan monimuotoisuus ja laatuvariaatio

Tuotteistaminen

Tuhkista puhutaan usein yhtenä tuoteryhmänä, mutta todellisuudessa ne ovat useiden tuottajien erilaisista raaka-aineista erilaisissa prosesseissa tuottama joukko erilaatuista tuhkaa. Tuhkan laatuun vaikuttavat poltettava raaka-aine, mistä osasta kattilaa tuhka on kerätty (lento- vai pohjatuhka) sekä polttoprosessi. Tuhkan laatu vaihtelee myös samalla laitoksella.

Tulevaisuuden yhtenä tavoitteena onkin, että sopivalla fraktioinnilla tuhkat voitaisiin lajitella eri käyttötarkoituksiin. Lajittelu edistäisi tuhkan tuotteistamista jo sen syntypisteessä. Tämä voisi johtaa myös siihen käytäntöön, että tuhkan raaka-aineelle muodostuisi jo alkuvaiheessa jokin hinta, jolloin myös tuhkan tuottaja kiinnostuisi tuhkasta ja prosessin kehittämisestä enemmän. Tällöin syntyisi myös tuhkalajitteita eri käyttöön, jolloin eri käyttömuodot eivät kilpailisi toistensa kanssa raaka-aineesta.

Edellä kuvatulla kehitysprosessilla voitaisiin vaikuttaa tuotantoprosessiin ja syntyvän raaka-aineen laatuun. Koska tuhka on toistaiseksi ollut pääasiassa voimalaitosten energiantuotannon sivuvirta, ei olla katsottu kannattavaksi vaikuttaa prosessiin tuhkan laadun parantamiseksi.

Käsittely

Käsittämätön irtotuhka on erittäin hienojakoista ja helposti pölyävää. Tuhkan pölyäminen lisää käsittelykustannuksia. Kuljetuksen ja levityksen helpottamiseksi sekä pölyämisestä aiheutuvien ympäristö- ja terveysriskien poistamiseksi tuhka on esikäsiteltävä ennen levitystä. Tuhkan pölyäminen lisää käsittelykustannuksia. Muun muassa energiantuotantolaitoksella tuhkan parissa työskenteleviä henkilöitä koskien on laadittu tarkat työskentely- ja työsuojeluohjeet sekä määräykset työskentelyta-voista. Tuhkan pölyhaittojen aiheuttamiin työsuojeluongelmiin havahduttiin 1980-luvulla.

Metsäntutkimuslaitoksessa tutkittiin erilaisia tuhkan levittämistä helpottavia menetelmiä, joilla voitaisiin parantaa tuhkan levittämisen pölyhaittoja. Tuolloin kehitettiin muun muassa tuhkan rakeistus- ja pelletöintimenetelmiä. Helikopterilevityksessä sallitaan vain rakeistetun tai pellettituhkan käyttö pölyämisiongelman minimoimiseksi.

Pölyämistä voidaan vähentää tuhkan itsekovetuksella, pelletöimällä tai rakeistamalla. Rakeistaminen on tällä hetkellä yleisempi käytäntö kuin pelletöinti⁴. Itsekovettumiseen verrattuna rakeistettu tai

⁴ Huotari 2012

pelletöity tuhka kovettuu nopeammin, se pölyää vähemmän ja sen loppukosteus on pienempi. Pienempi loppukosteus vähentää esimerkiksi kuljetus- ja levityskustannuksia.

Tuhkan raja-arvot

Ympäristölainsäädännössä ja siihen liittyvissä asetuksissa sekä lannoitelainsäädännössä määritellään tuhkan haitta-aineiden pitoisuuksille raja-arvot. Kyseiset raja-arvot määrittävät tuhkan soveltuvuuden eri käyttötarkoituksiin. Laitosten polttotekniikasta ja kattiloista johtuen tuhkan sisältämien raskasmetallien ja muiden haitta-aineiden pitoisuudet saattavat vaihdella hyvin paljon ja ylittää eri käyttömuodoille asetetut raskasmetallipitoisuuksien raja-arvot. Samoin tuhkien laatu saattaa vaihdella, mikä voi aiheuttaa niiden hyödyntämiseen liittyviä ongelmia. Tiedossa on tapauksia, että joltakin alueelta ei tarvittaessa löydy esimerkiksi maarakennusasetuksen vaatimuksia täyttävää tuhkkaa. Tuhkassa voi myös olla liian alhaiset ravinnepitoisuudet lannoitusta ajatellen, erityisesti silloin kun puutuhkassa on turvetuhkaa mukana.

Tuhkan laatua voidaan parantaa erilaisin käsittelymenetelmin. Yksinkertaisimpia menetelmiä ovat luokittelut, jotka voidaan tehdä kuivalle materiaalille. Liukoisia aineita voidaan poistaa erilaisilla pesuilla, ja raskasmetallien poistoon soveltuvat erilaiset kuumennusmenetelmät.⁵

Korkeat logistiset kustannukset

Kuljetus

Yhtenä hyödyntämisen esteenä on tuhkan kuljettamisen pitkät välimatkat hyödyntämiskohteisiin. Tuhkan mahdolliset hyötykäyttökohteet sijaitsevat harvoin voimalaitoksen läheisyydessä. On arvioitu, että tuhkan taloudellinen maksimi kuljetusetäisyys tuotantopaikalta käyttöpaikalle olisi enintään 100 kilometriä.

Varastointi

Sekä maarakentamiseen että lannoitukseen tarvitaan tuhkkaa yleensä kerralla suuria määriä. Pieniltä laitoksilta syntyviä pieniä tuhkaeriä täytyy kerätä pitemmällä aikavälillä ja välivarastoida. Välivarastointi lisää investointikustannuksia. Varastointi vaatii yleensä katettua varastoa tai tuhkan peittämistä varastoinnin ajaksi, jotteivät tuhkan sitoutumisominaisuudet heikkene.

Levitys lannoitekäytössä

Tuhkaa tarvitaan lannoitekäytössä suurempi määrä kuin keinolannoitteita, mikä lisää kustannuksia. Tuhkalannoitusta markkinoidessa pitäisikin korostaa sen pitkäaikaista vaikutusta puuston kasvuun sekä kykyä parantaa maaperän kasvukuntoa. Irtotuhkan levittämisessä lannoitteeksi on käytännön haasteena sen pölyäminen.

Metsätoimijoiden näkemyksiä tuhkan käytöstä - Case Pohjois-Karjala

Viitteitä metsäalan ammattilaisten näkemyksistä tuhkan hyödyntämisestä saadaan vuonna 2015 Vapon toteuttamasta kyselytutkimuksesta Pohjois-Karjalan alueella (21 vastaajaa). Vastausten perusteella voidaan todeta, että alueen metsäammattilaiset suhtautuivat valtaosin myönteisesti tuhkan käyttöön metsälannoitteena ja sen hyödyntämiseen muun muassa metsäteissä.

⁵ Korpijärvi ym. 2009

Tutkimuksessa nousi vahvasti esille se, että metsäammattilaisten mielestä tuhkan hyötykäytön mahdollisuuksista tarvittaisiin lisää tiedotusta ja markkinointia. Hyötykäytön esteinä nähtiin ensisijaisesti sen suurista määristä johtuva levityskustannusten kalleus muihin lannoitteisiin verrattuna. Lisäksi raskasmetalleihin liittyvät kysymykset nousivat esille useassa vastauksessa. Tähänkin voitaisiin vaikuttaa tehokkaammalla ja avoimella tutkitun tiedon välittämisellä.

Tuhkan luokittelu ja soveltuvuus hyötykäyttöön

Tuhkajakeiden luokittelu

Suurin osa Suomessa tuotetusta tuhkasta syntyy lämmön tuotannossa sekä sähkön ja lämmön yhteistuotannossa puun-, turpeen- ja kivihiilen tai jätteen poltossa. Laitosten polttoprosessissa palamattomat aineet muodostavat tuhkan. Tuhkalaadut luokitellaan Suomessa niiden keräyspaikan ja poltto-prosessin polttoainekoostumuksen mukaan kivihiilen polton-, seospolton- sekä rinnakkaispolton tuhkiin. Yleisenä jakona voidaan todeta, että kattilan pohjalle kerääntyvä tai poistettavan leijupetihiekan mukana poistuva tuhka on *pohjatuhkaa* tai *kuonaa*, ja savukaasuista erotettava tuhkajae taas on *lentotuhkaa* (Taulukko 1).

Taulukko 1. Tuhkien luokitteluun käytetyt määritelmät (lähde: Tuhkarakentamisen käsikirja).

	Nimike	Määritelmä
Keräys- paikka	Pohjatuhka	Kattilan pohjalle kerääntyvä tai poistettavan leijupetimateriaalin mukana poistuva tuhkajae
	Lentotuhka	Savukaasuista erotettava tuhkajae
Poltta- aine- koostumus	Kivihiilen poltto	Kivihiilen polton lentotuhka
	Seospoltto	Tavanomaisten polttoaineiden seospoltto
	Rinnakkaispoltto	Jätteiden ja tavanomaisten polttoaineiden rinnakkaispoltto

Pienet kotimaisten polttoaineiden kattilat ovat Suomessa yleensä arinakattiloita ja suuremmat tavallisesti leijukerroskattiloita.

Arinakattiloissa polttoaine poltetaan arinan päällä ja suurin osa tuhkasta putoaa arinan läpi, jonka jälkeen se poistetaan joko kuivana tai märkänä. *Leijukerrospoltoissa* lähes kaikki tuhka otetaan talteen sähkösuotimilta ja palamattoman osuus on hyvin toimivassa poltossa pieni, alle 10 prosenttia. Pohjatuhkaa on leijukattiloissa kaikesta tuhkasta noin viidesosa ja se sisältää runsaasti leijutushiekkaa ja palamatonta ainesta. Arinapoltoissa palamattoman osuus tuhkassa on usein suurempi kuin leijupolton lentotuhkassa.

Myös se, poistetaanko tuhka kattilasta märkänä vai kuivana vaikuttaa tuhkan jatkokäsittelyyn. Kuivana poistettu tuhka on helpompi jatkojalostaa, mutta se pölyää ja voi väärin poistettuna tai säilytettyinä sytyttää tulipalon. Arinalaitoksilla tuhkat pudotetaan usein vesialtaaseen jäähtymään. Märkänä poistettu tuhka on helpompi käsitellä laitoksella, mutta jos tuhkan kovettuminen alkaa itsestään, on siitä myöhemmin vaikea saada tasalaatuista levitettäväksi.

Alla olevassa taulukossa on kuvattu karkeasti eri tuhkalatujen soveltumista hyötykäyttöön. Tuhkat on luokiteltu sekä keräystavan että polttoprosessissa olevan polttoainekoostumuksen mukaan. Lisäksi mukana on EU:n alueella noudatettavan jätteiden EWC (European Waste Code) -luokituksen mukainen jättekoodi. EWC-koodin tunnusnumero on kuusinumeroinen (xx.yy.zz) koodi, jossa neljä ensimmäistä numeroa kuvaa jätteen alkuperätoimintaa ja sen alatoimialoja ja kaksi viimeistä numeroa jätteen laatua.

Taulukko 2. *Polttoprosesseissa syntyvän tuhkan EWC-luokittelu (Valtioneuvoston asetus jätteistä 179/2012) sekä eri tuhkalatujen soveltuminen hyötykäyttöön.*

Jäteluokka	Jättekoodi	Soveltuminen karkeasti
Kivihiilen poltossa syntyvä lentotuhka	10 01 02	Sementinvalmistus Maarakennus
Pohjatuhka, kuona ja kattilatuhka	10 01 01	Maarakennus
Turpeen ja käsittelemättömän puun poltossa syntyvä lentotuhka	10 01 03	Metsälannoitus Maarakennus
Rinnakkaispoltossa syntyvät lentotuhkat	10 01 16 10 01 17	Metsälannoitus Maarakennus
Rinnakkaispoltossa syntyvät pohjatuhkat	10 01 14 10 01 15	Maarakennus
Leijupetihiekka	10 01 24	Maarakennus
Kaasujen puhdistuksessa syntyvät jätteet, savukaasujen rikinpoistojätteet	10 01 05 10 01 07 10 01 18 10 01 19	Ei sovellu maarakentamiseen tai lannoitekäyttöön ilman puhdistusprosessia
Öljyn poltossa syntyvä lentotuhka ja kattilatuhka	10 01 04	Ei sovellu maarakentamiseen tai lannoitekäyttöön ilman puhdistusprosessia
Jätteiden poltossa syntyvä pohjatuhka ja kuona	19 01 12	Ei sovellu maarakentamiseen tai lannoitekäyttöön ilman puhdistusprosessia
Kaasujen käsittelyssä syntyvät kiinteät jätteet, jätteenpolto	19 01 07	Ei sovellu maarakentamiseen tai lannoitekäyttöön ilman puhdistusprosessia
Kattilatuhka, joka sisältää vaarallisia aineita	19 01 15	Ei sovellu maarakentamiseen tai lannoitekäyttöön ilman puhdistusprosessia

Lannoitekäyttöön soveltuvat tuhkat

Tuhkalannoitukseen soveltuvia tuhkia ovat pääasiassa vain turpeen ja käsittelemättömän puun poltossa syntyvä lentotuhka sekä puun tai turpeen poltosta (rinnakkaispoltossa) syntyvät pohjatuhkat.

Leijukerroskattiloiden pohjatuhkaa ei pitäisi levittää metsään, koska se koostuu suurimmalta osin hiekkaa sisältävästä petimateriaalista, mutta lentotuhka on yleensä hyvin palanutta ja homogeenista. Arinakattilasta pohjatuhka soveltuu lannoitteeksi paremmin, mikäli se on hyvin palanutta. Se sisältää vähemmän raskasmetalleja kuin lentotuhka. Maa- ja metsätalousministeriön lannoiteasetus määrittelee lannoitteeksi soveltuvien tuhkien vähimmäisravinnepitoisuudet sekä haitallisten aineiden enimmäispitoisuudet (kts. Lannoitelainsäädäntö).

MMM:n lannoiteasetuksen mukaan lannoitukseen soveltuvalla puun ja turpeen tuhalla tarkoitetaan sivutuotetta, joka muodostuu poltettaessa

- turvetta
- puuhaketta
- kuorijätettä
- ensiömassan tai massasta valmistettavan paperin tuotannon yhteydessä syntyvää kuituainetta sisältävää kasviperäistä jätettä
- luokan A biopolttoaine
- luokan B biopolttoaine kattilalaitoksista, joiden teho on vähintään 1 MWTH
- peltobiomassoja, kuten ruokohelpi, olki, vilja, öljykasvit, paju ja järviruoko

tai näiden seosta sekä puu-, turve- tai kasvibiomassapohjaisen polttoaineen valmistuksessa syntyvää tuhkaa. Poltossa voidaan käyttää myös muita edellä mainittuihin raaka-aineisiin verrattavia puhtaita puuperäisiä aineksia. Tuhkan hyötykäyttämiseksi on tärkeää erotella metsälannoitukseen sopivat tuhkaerät jo voimalaitoksilla.

Maarakennukseen soveltuvat tuhkat

Maarakennukseen soveltuvat kivihiilen poltossa syntyvä lentotuhka, pohjatuhka, kuona ja kattilatuuhka, eräät rinnakkaispoltossa syntyvät pohjatuhkat sekä leijupetihiekka. MARA-asetus määrittelee maarakennukseen soveltuvien tuhkien haitta-ainepitoisuuksien raja-arvot.

Jätteen, öljyn, kaasujen tai vaarallisten aineiden poltossa syntyviä tuhkia ei ilman kalliita puhdistusprosesseja voida hyödyntää lannoite- tai maarakennustarkoituksiin.

Pohja- ja lentotuhkan suhteelliset määrät riippuvat polttotekniikasta. Yleisimmät polttotekniikat ovat arina- ja leijupoltto. Arinapolton ja leijupolton pohjatuhkat eroavat toisistaan huomattavasti, koska leijupolton tukiaineena käytettävää hiekkaa on runsaasti pohjatuhkassa. Arinapoltossa tuhkan partikkelijakauma on suurempi ja pohjatuhka sisältää myös hienompia jakeita.

Lentotuhkien haitta-aineiden liukoisuudet voivat muuttua erilaisten käsittelyiden vaikutuksesta. Muun muassa seuraavanlaisia käsittelyjä voidaan tehdä lentotuhkalle:

- Lentotuhkan vanhentaminen: Varastointi kostutettuna, jolloin tapahtuu mineralisoitumista, joka sitoo eräitä haitta-aineita niukkaliukoiseen muotoon (mm. barium ja fluoridi).
- Lentotuhkan stabiloiminen tai seostaminen: Ominaisuuksien jalostaminen side- tai seosaineilla, joilla voidaan side- tai seosaineesta riippuen pienentää eräiden haitta-aineiden liukoisuuksia.
- Lannoitetuhkan rakeistamisprosessi jossakin määrin pienentää haitta-aineiden liukoisuuksia.
- Lentotuhkan tiivistäminen: Tiivistyminen ja lujittuminen maarakennuksessa voi myös vaikuttaa haitta-aineiden liukoisuuksiin.

Tuhkan laadun seuranta

Omavalvonta lannoitteen valmistuksessa

Ruokavirasto ohjeistaa ja valvoo lannoitealan toimintaa ja lannoitevalmisteita. Tuhkien lannoituskäyttö on mahdollista Ruokaviraston laitosrekisteröinnin jälkeen. Tämän lisäksi Ruokavirastoon pitää vuosittain raportoida laitoskohtaisesti tuhkien lannoituskäytöstä.

Tuhkasta tulee teettää analyysi sen soveltuvuuden varmistamiseksi lannoitevalmistekäyttöön. Tuhkasta selvitetään siinä olevien raskasmetallien ja ravinteiden määrä. Tuhka-analyysit tulee tehdä lämpölaitoskohtaisesti. Tuhkan laatuun vaikuttavat mm. käytettävä polttoaine, polttoaineseos ja polttomenetelmä, kattilaratkaisu sekä muut olosuhdetekijät.

Tuhkan luovuttaminen lannoitevalmistekäyttöön edellyttää omavalvontajärjestelmää. Omavalvontajärjestelmällä toimija varmistaa, että tuhka ja sen käsittely lannoitteena täyttävät sille lainsäädännössä asetetut vaatimukset. Omavalvonnasta laaditaan kirjallinen suunnitelma, joka toimitetaan Ruokaviraston lannoitevalmistevalvontaan.

Kirjallisen suunnitelman tulee sisältää muun muassa:

1. vastuussa olevat henkilöt ja suunnitelma henkilökunnan perehdyttämisestä
2. tuotekohtaiset tiedot lannoitevalmisteen raaka-aineista, niiden alkuperästä ja laadusta.
3. toimenpiteet, joilla varmennetaan eräkohtainen jäljitettävyyttä
4. tuotanto- ja toimintaprosessien kuvaukset
5. toimintaohjeet häiriötilanteita varten
6. laadunvalvonta- ja näytteenottosuunnitelma koskien raaka-aineita, tuotantoa ja lopputuotetta
7. toimenpiteet, joihin ryhdytään, mikäli lannoitevalmiste tai niiden raaka-aine ei täytä sille asetettuja laatuvaatimuksia tai on vanhentunut,
8. kuvaus lannoitevalmisteiden ja niiden raaka-aineiden maahantuonti-, varastointi-, säilytys- ja kuljetusjärjestelyistä sekä näihin liittyvien dokumenttien sisällöstä ja arkistoinnista.

Omavalvontasuunnitelmassa tulee huomioida toiminnan luonne, siihen liittyvät riskit ja menettelyt, joilla valvonta toteutetaan. Valmistusprosessissa valvottavana kohteena ovat raaka-aineiden ja tuotteiden ominaisuuksien lisäksi myös prosessiparametrit.

Kirjanpito

Omavalvonnin toteuttamisesta on pidettävä kirjaa. Kirjanpidon tulee sisältää lannoitevalmisteiden tai niiden raaka-aineiden laadun ja turvallisuuden varmistamiseen ja kriittisiin valmistus- ja käsittelyvaiheisiin liittyvät tulokset ja viralliset todistukset sekä asiakirjat poikkeamatilanteista ja niiden korjaamiseksi tehdyistä toimenpiteistä. Kirjanpidon on oltava helposti tarvittaessa saatavilla valvontaviranomaisen tarkastaessa yrityksen toimintaa.

Näytteenotto

Näytteenoton tavoitteena on saada koko erää edustava riittävän kokoinen näyte. Näyte on otettava siten, että se edustaa koko tutkittavaa erää (max. 1000 tonnia) mahdollisimman hyvin. Esimerkiksi mekaanisissa seoslannoitteissa voi epähomogeenisuuden vuoksi olla suuria vaihteluja pitoisuuksissa tarkastettavan erän eri osissa. Tuhkan varastokasaan tehdään pyöräkuormaajalla kasan koosta ja olosuhteista riippuen joko yksi tai useampia leikkauksia mahdollisimman lähelle keskikohtaa ja kasan pohjaan asti. Leikkauspinnoilta otetaan mahdollisimman monta osanäytettä (10–140) siten, että vähintään 30 cm pintakerroksesta jää pois.

Taulukko 3. *Osanäytteiden lukumäärä suhteessa tuhkaerän kokoon.*

Erän koko (t)	Osanäytteiden lkm
≤ 5	10
50	32
100	45
250	71
500	100
1000	140

Osanäytteet kootaan riittävän isoon astiaan ja sekoitetaan huolellisesti. Pienellä lapiolla tai kauhalla lapioidaan hyvin sekoitetusta kokoomanäytteestä pieniä määriä näytepusseihin (noin 1 kg). Tarvittava näytemäärä kannattaa varmistaa laboratoriolta, johon näyte lähetetään analysoitavaksi.

Tarkempaa tietoa lannoitevalmistealan toimijan omavalvonnasta ja näytteenotosta ruokaviraston sivuilta: <https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/rehu--ja-lannoiteala/lannoitevalmisteet/lannoitelan-toiminta/omavalvonta/>.

Analysointi

Lannoitevalmisteiden tuoteseloste- ja omavalvontatutkimukset voidaan teettää laboratorioissa, jossa on käytössä lannoitevalmisteiden analysointiin tarkoitetut menetelmät.

Laadunvarmistus maarakentamisessa

Laadunvarmistusjärjestelmä

Tuhka luokitellaan jätteeksi. Jätteen tuottajalla on MARA-asetuksen mukaan oltava dokumentoitu laadunvarmistusjärjestelmä, jolla varmistetaan, että luovutettava jäte täyttää sille asetetut ympäristökelpoisuusvaatimukset. Järjestelmän olemassaololla ilmaistaan myös, että laadunvalvonta on säännöllistä ja suunnitelmallista ja että näytteenotto on järjestetty vaatimukset täyttävällä tavalla. Lisäksi toiminnassa varmistetaan, että erilaiset jätejakeet pidetään erillään niiden synty- ja varastopaikoilla.

Laadunvarmistusjärjestelmässä kuvataan:

- syntyvät jätteet ja niiden nimikkeet sekä arvio vuotuisesta syntymäärästä
- näytteenoton ohjeistus, kuten näytteenoton kohdentaminen ja osanäytteiden ottoa koskeva suunnitelma
- vastuuhenkilöt ja heidän pätevyytensä
- seuranta- ja raportointitavat.

Näytteiden otto

Tuhkan osalta analyysit tehdään kokoomanäytteistä, jotka koostuvat edustavista osanäytteistä. Osa-
näytteiden otto tapahtuu tuhkan "jatkuva virrasta". MARA-asetuksen mukaan yhteen kokoomanäytteeseen pitää tuhkavirrasta ottaa vähintään 50 osanäytettä jokaista 5000 tonnin erää kohti.

Ennen luovutusta hyödynnettäväksi vähintään yhdestä kokoomanäytteestä pitää analysoida MARA-asetuksen (VNA 843/2017) liitteessä 1 mainittujen haitta-aineiden liukoisuudet ja pitoisuudet. Liukoisuustestaus toteutetaan tuhkan tuottajan valinnan mukaan joko ravistelu- tai läpivirtaustestillä.

Tuhkan tuotanto- ja käyttöpotentiaali

Tuotantomäärät alueittain

Tuhkaa syntyy suomalaisissa polttolaitoksissa kaikkiaan noin 1,5 miljoonaa tonnia vuodessa, valtaosa siitä lämmön tuotannossa sekä sähkön ja lämmön yhteistuotannossa puun-, turpeen- ja kivihiilen poltossa. Monet polttolaitokset pystyvät muuttamaan polttoaineiden suhteita markkinatilanteen mukaisesti.

Biomassa-atlaksessa erilaiset tuhkakajakeet on eroteltu toisistaan eurooppalaista jätteiden [EWC](#) (European Waste Code) -luokitusta käyttäen (kuva 2). Energiategollisuus ry:ssä (ET) tehtiin kesällä 2015 jäsenyrityksille sekä kaukolämmön tukkumyyjille tilastokysely koskien polttolaitosten tuhkia, niiden varastointia, hyötykäyttöä ja loppusijoitusta. Yhteensä tuhkaa syntyi kyselyn perusteella n. 1,34 milj. tonnia, josta puu- ja turvetuhkaa oli noin 0,51 milj. tonnia.

Maakunta	Pohjatuhka, kuona ja kattilatuhka	Hiilen poltossa syntyvä lentotuhka	Turpeen ja käsittelemättömän puun polton lentotuhka	Rinnakkaispolton pohjatuhka, kuona ja kattilatuhka	Rinnakkaispolton lentotuhka	Kaikki yhteensä
Etelä-Karjala	8701		15305			24006
Etelä-Pohjanmaa	7238		21652			28890
Etelä-Savo	5336		7917			13253
Kainuu	4872		5258			10130
Kanta-Häme	2552		6175	368		9095
Keski-Pohjanmaa	1069		9808			10877
Keski-Suomi	9586		90196			99782
Kymenlaakso	7792	5789	8126			21707
Lappi	4374		21848			26222
Pirkanmaa	15		63247		10454	73716
Pohjanmaa	11537	101358				112895
Pohjois-Karjala	639		3974	250	664	5527
Pohjois-Pohjanmaa	2005		85311	1837		89153
Pohjois-Savo	9191		20249	973	7863	38276
Päijät-Häme	19564	46370	575			66509
Satakunta	38769	1607	5421	8852	34503	89152
Uusimaa	28428	144641	15370			188439
Varsinais-Suomi	12213	48960	2969			64142
Kaikki yhteensä	173881	348725	383401	12280	53484	971771

Kuva 2. ELY-keskuksille vuodelta 2017 ilmoitetut määrät (1000 kg) Biomassa-atlas -verkkopalvelusta.

Eri sektoreilla ja erikokoisissa polttolaitoksissa syntyvien tuhkamäärien tilastointi on erittäin puutteellista ja hajanaisesti toteutettu. Siten vuosittain syntyvien, hyötykäyttökelpoisten tuhkamäärien tarkempi arviointi ja kokonaiskuvan luominen tuhkaan liittyvän liiketoiminnan edistämiseksi on erittäin haasteellista.

Suurimmat tuhkan tuottajat ilmoittavat tuottamansa tuhkan tiedot ELY-keskuksille. Luonnonvarakeskus ja Tapio Oy ovat vuonna 2018 koonneet tuhkan tuotantomäärien tietoja Biomassa-atlas -verkkopalveluun. Biomassa-atlaksen karttapalvelun avulla voidaan selvittää esim. maakunta- tai kuntatasolla viranomaisille ilmoitetun tuotetun tuhkan määrä EWC-koodein luokiteltuna. Tätä tietoa voi

käyttää tuhkan hyötykäytön karkeaan strategiseen suunnitteluun. Biomassa-atlaksessa ei kuitenkaan ole yksittäisten tuotantolaitosten tai tuhkaerien paikkatietoja tai tuhkan haltijoiden yhteystietoja.

Materiaalipankit ja paikkatiedon hyödyntäminen

Tuhkan tuotannon paikkatiedot

Tuhkan tuotannon ja tuhkaerien paikkatiedot

Motiva Oy on toteuttanut 2019 Ympäristöministeriölle Materiaalitori-palvelun (materiaalitori.fi), jossa tuhkan tuottajat voivat ilmoittaa tuottamansa tuhkan määrän ja sijainnin sekä yhteystietonsa. Näiden tietojen avulla hyötykäytöstä kiinnostuneet toimijat voivat löytää sopivaa tuhkaa. Materiaalitori on julkisin varoin toteutettu palvelu, jossa on mahdollista ilmoittaa myös muiden jätteiden ja sivuvirtamateriaalien paikkatietoja.

Tuhkan tuottajat voivat Materiaalitorin ilmoituksessaan antaa hyvinkin yksityiskohtaiset tiedot toiminnassaan syntyvästä tuhkasta, koska ilmoitukseen voi liittää myös liitetiedostoja. Myös tuhkaa hyötykäyttöä varten etsivät toimijat voivat tehdä Materiaalitorille ilmoituksia.

Tuhkan hyötykäytön kannalta on erityisen tärkeää tietää, mihin käyttötarkoitukseen tuhkaerä soveltuu. Tämän vuoksi materiaalitorille on lisätty tuhkan käyttötarkoitukseen perustuva luokittelu. Näin tuhkan tuottaja voi ilmoituksessaan kertoa, mihin käyttötarkoitukseen hänen tarjoamansa tuhka soveltuu.

Materiaalitorin käyttämät tuhkaluokat tuhkan käyttötarkoituksen perusteella ovat seuraavat:

- 1) tuhkalannoitteena maa- ja puutarhataloudessa
- 2) tuhkalannoitteena maisemoinnissa ja viherrakentamisessa
- 3) tuhkalannoitteena metsätaloudessa
- 4) tuhka maarakentamisessa väylällä peitettynä rakenteena
- 5) tuhka maarakentamisessa väylällä päällystettynä rakenteena
- 6) tuhka maarakentamisessa kenttänä peitettynä rakenteena
- 7) tuhka maarakentamisessa kenttänä päällystettynä rakenteena
- 8) tuhka maarakentamisessa vallina peitettynä rakenteena
- 9) tuhka maarakentamisessa teollisuus- ja varastorakennuksen pohjarakenteena
- 10) tuhka maarakentamisessa tuhkamursketiessä

Materiaalitorilla on myös ns. hakuvahti, johon käyttäjä voi määritellä omat asetuksensa. Hakuvahti-toiminnon avulla tuhkan tuottajat ja käyttäjät voivat saada sähköpostiinsa tiedon, kun uusia kiinnostavia ilmoituksia tulee Materiaalitorille.

Tuhkan käytössä tarvittavat paikkatietojärjestelmät

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (ns. MARA-asetus) edellyttää, että tuhkaa maarakentamiseen käyttävän toimijan on tehtävä ilmoitus valtion valvontaviranomaiselle ympäristönsuojelun tietojärjestelmään rekisteröintiä varten. Ilmoituksen pitää sisältää tiedot hyödyntämispaikan sijainnista koordinaatteineen merkittynä asemapiirroksen tai karttaan,

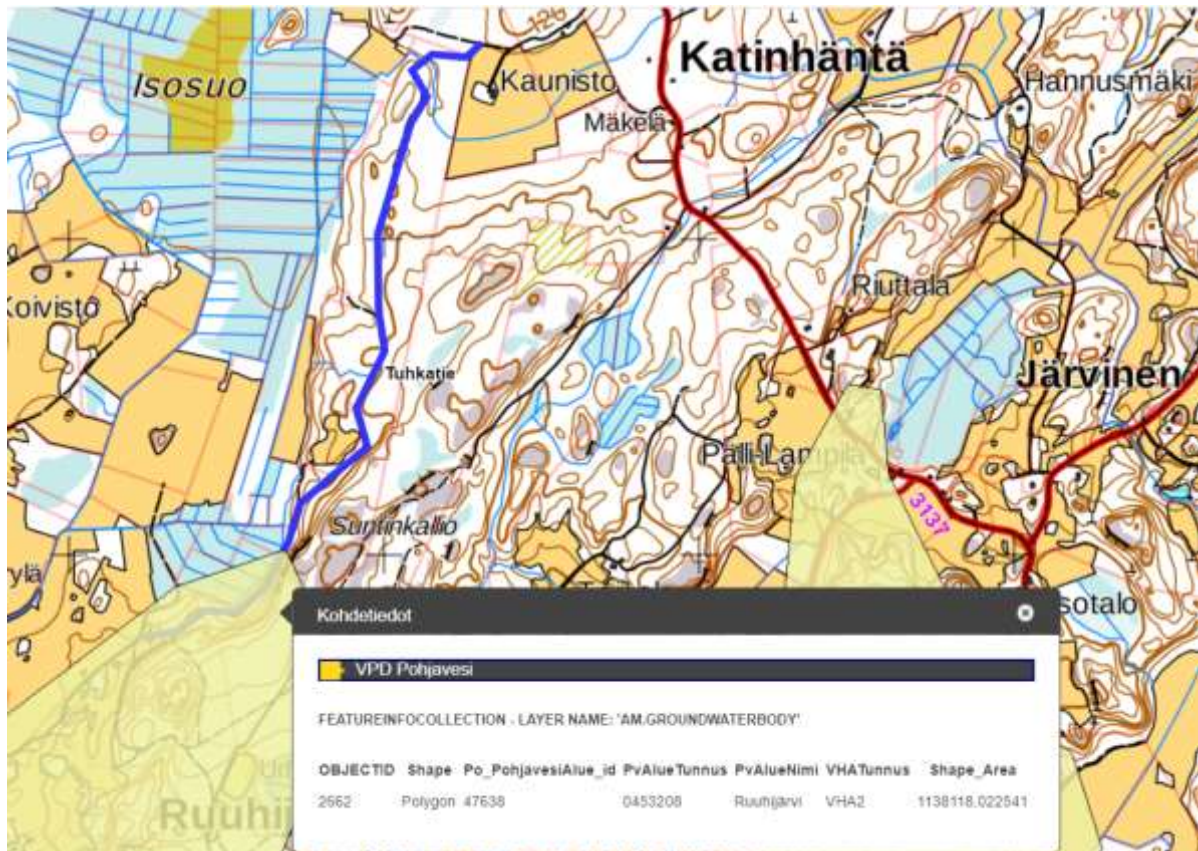
johon tuhkarakenne on rajattu. Lisäksi säädökset edellyttävät, että karttaan on merkitty hyödyntämispaikan läheisyydessä sijaitsevat pohjavesialueet ja niiden luokat sekä vedenottoaikat ja vesistöt.

Maanmittauslaitoksen Paikkatietoikkuna on käyttökelpoinen työkalu tuhkan käyttöpaikkojen koordinaattien ja karttojen tuottamiseen, joita tarvitaan viranomaiselle tehtävässä ilmoituksessa. Paikkatietoikkuna on julkisin varoin toteutettu ilmainen karttapalvelu, jossa rekisteröitynyt käyttäjä voi tarkastella omia paikkatietojaan yhdessä monipuolisten taustakattojen kanssa. Paikkatietoikkuna ja ohjeet rekisteröitymiseen löytyvät osoitteesta <https://kartta.paikkatietoikkuna.fi/>.

Maarakentamisessa tuhkaa käyttävä toimija voi digitoida käyttämänsä tuhkan paikkatiedot omalle käyttäjätililleen Paikkatietoikkunaan. Näin tuhkan digitaaliset paikkatiedot säilyvät myös jatkossa toimijan hallussa ja tiedossa.

Käyttäessään tuhkaa maarakentamisessa, toimija voi digitoida käyttöpaikan viivamaisena tai alueamaisena alueena Paikkatietoikkunaan. Paikkatietoikkunassa käyttäjä voi hakea taustalle pohjavesialueiden rajat sekä vedenottoaikat ja vesistöt. Mikäli jotain esim. vedenottoaikkaa ei ole vielä taustaineistoissa, voi käyttäjä digitoida sen itse, ja lisätä sille karttatekstin. Kun kartta on valmis, käyttäjä voi ottaa sen pdf-tiedostona tai paperille tulostettuna viranomaisilmoituksensa liitteeksi.

Paikkatietoikkunasta voi myös katsoa Mara-ilmoituslomakkeelle tarvittavat koordinaattitiedot. Koordinaattitiedot voi katsoa myös Maanmittauslaitoksen Karttapaiikka -palvelusta <https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaiikka/>, mutta sinne ei voi pysyvästi tallentaa omia paikkatietojaan. Karttapaiikan taustakartoissa ole myöskään pohjavesialueita, vaan ne löytyvät Paikkatietoikkunasta.



Kuva 3. Paikkatietoikkunalla tuotettu kartta, jolle käyttäjä on digitoinut suunnitellun tuhkatien ja ottanut tausta-aineistoksi maastokartan sekä keltaisella korostetut pohjavesialueet.

Tuhkan paikkatiedot hyödyntämispaikan omistajalle

Jätteen luokiteltavan tuhkan käyttäminen maarakentamiseen edellyttää aina kiinteistön omistajan luvan. Näin ollen esim. tiekunnan on hankittava lupa kaikkien niiden kiinteistöjen omistajilta, joiden kiinteistöjen alueella käytetään tuhkaa tienrakentamisessa tai sen kunnostamisessa. Asiaa valvovien viranomaisten nykytulkinnan mukaan riittää, että lupa on saatu sähköpostilla.

Maanomistajan luvan pyytämistä varten ei välttämättä tarvita koordinaatteihin perustuvia paikkatietoja, sillä maanomistaja voi antaa luvan tuhkan käyttöön kiinteistöllään vapaamuotoisemminkin. Kuitenkin lupaa pyydetessä olisi hyvä pystyä esittämään tuhkan käyttöpaikat maanomistajille karttatietona. Näin maanomistaja tietäisi, missä kohdissa kiinteistöä tuhkaa on käytetty. Tuhkan käytön paikkatiedot voi esittää maanomistajille samoilla Paikkatietoikkunan kartoilla, joita käytetään viranomaisille tehtävissä ilmoituksissa.

Tuhkan potentiaaliset käyttökohteet

Tuhalannoitukseen soveltuvat kohteet

Puutuhka sisältää kaikkia niitä ravinteita, joita puut ja muu kasvillisuus tarvitsevat kasvaakseen, lukuun ottamatta typpeä, joka poistuu puun poltossa savukaasujen mukana. Puutuhka on hyvä fosforin ja kaliumin lähde, mitä voitaisiin käyttää nykyistä paljon enemmän ja samalla korvata keinolannoitteiden käyttöä metsälannoituksessa.

Tuhalannoitusta tehdään tällä hetkellä koko Suomessa noin 10 000–15 000 hehtaaria vuodessa. Kangasmaita on lannoitettu typpilannoitteilla ennen vuotta 1998 yhteensä 1,5 milj. hehtaaria; näiden lannoitusten kasvunlisäys on ollut yhteensä noin 16 milj. mottia⁶. Vuotuinen lannoitusala on siis vähentynyt murto-osaan 1970-luvun alun yli 200 000 hehtaarin huippuvuosista.

Itä-Suomen yliopiston koordinoimassa FORBIO-hankkeessa on tehty puuntuotannon skenaario-analyysjä metsäbiomassan tuotannon tehostamisen näkökulmasta, ottaen huomioon eri ekosysteemipalvelut, riskien hallinta ja ilmastonmuutos. Lannoitusala oli laskelmissa noin 100 000 hehtaarin luokkaa. Myös metsänhoitoyhdistysten laskelmissa lannoituspinta-ala on ollut 100 000–200 000 hehtaaria vuodessa, mutta lannoitusala on jäänyt yhdistysten hankkeissa kauaksi tästä tavoitteesta.⁷

Puutuhka sisältää ravinteita, joiden palauttaminen metsään on sekä metsänkasvatuksellisesti että ekologisesti perusteltua, kun otetaan huomioon tuhkan laatu ja määrä, kasvupaikkatyyppi sekä metsikön kehitysvaihe. Lannoitteena käytettävä tuhka voi muodostua kasviperäisten raaka-aineiden sekä lannan poltosta. Tuhalannoitteiden on täytettävä lannoitevalmisteille asetetut yleiset ja tyyppinimikohtaiset vaatimukset.

Tuhkaa suositellaan erityisesti ojitettujen turvemaiden lannoitukseen. Tuhalannoituksella voidaan lisätä puuntuotantoa erityisesti turvemaametsissä, joissa on runsaasti typpeä, mutta niukasti puustolle käyttökelpoisessa muodossa olevaa fosforia ja kaliumia.

Lannoitettaviksi valitaan sellaisia kohteita, joissa kuivatus toimii eikä liika vesi rajoita puiden kasvua. Lannoitettava alue kunnostusojitetaan tarvittaessa lannoituksen yhteydessä. Suositeltavat käyttömäärät vaihtelevat kohteista riippuen 3 000–8 000 kg hehtaarilla. Tuhalannoituksen vaikutusaika fosforilla on parhaimmillaan jopa 50 vuotta. Tuhkaa voidaan käyttää myös sellaisten kivennäismaiden lannoitukseen, joilla typpeä on riittävästi. Samoin kokopuukorjuun yhteydessä tuhalannoitus on suositeltavaa kivennäismaille.

Hyviä tuhalannoituskohteita ovat:

- Havupuuvaltaiset, paksuturpeisista soista ojituksen jälkeen kehittyneet turvekankaat, joissa pintakerroksen turve on pitkälle maatunutta ja sisältää runsaasti typpeä.
- Aiemmin fosfori-kalium-peruslannoitetut, paksuturpeisista soista ojituksen jälkeen kehittyneet turvekankaat, joissa pintakerroksen turve on pitkälle maatunutta.
- Paksuturpeiset, avosoista syntyneet varputurvekankaat, joissa pintakerroksen alla on kohdallisesti maatunutta, typpipitoisuudeltaan riittävän hyvää turvetta.

⁶ Kukkola & Nöjd 2000

⁷ Peltonen 2010

- Lannoituskohteiksi sopivimpia ovat hyvälaatuiset, riittävästi kasvatettavia puita sisältävät havupuuvaltaiset metsiköt.

Tuhkalannoitus soveltuu myös vanhojen turvetuotannosta poistettujen alueiden metsityslannoitukseen.

Maarakennuskäytössä mahdollisuuksia

Vuosittain Suomessa käytetään noin 100 miljoonaa tonnia kiviaineksia, joista osa voitaisiin korvata tuhkillä. Tuhkia ja kuonia voidaan käyttää maarakentamisessa korvaamaan luonnonkiviainesta joko sellaisenaan, tiivistettynä, seostettuna tai sideaineena. Tuhkat soveltuvat tie-, katu- ja kenttärakenteiden eri kerroksiin tuhkien laadusta riippuen. Tuhkan käytöstä esimerkiksi metsätienrakennuksen materiaalina on saatu viime aikoina erittäin hyviä kokemuksia.

Vuoden 2018 alusta voimaan tullut MARA-asetus (valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa) väljensi tuhkan käyttökohteita aiempaan verrattuna. MARA-asetuksen soveltamisalaa laajennettiin siten, että tuhkaa voidaan hyödyntää jatkossa metsäteiden ja yksityisteiden rakentamisessa.



Kuva 4. Tuhkamurskeseoksen lanaus. Kuvaaja Tommi Tenhola.

Tuhkarakentaminen on kuitenkin vielä suhteellisen uusi asia maarakentamisessa, eikä tuhkarakentamista käsitellä vielä suunnittelu-, rakentamis- tai laadunvalvontaohjeissa. Tuhkarakentamisesta on olemassa vain yksi yleispätevä ohjekirja, Tuhkarakentamisen käsikirja, jonka on julkaissut Ramboll vuonna 2012. Kirja sisältää yleispäteviä ohjeita tuhkan kanssa työskenteleville tahoille. Metsäteitä koskevat tuhkan käytön ohjeet sisältyvät Metsätehon ylläpitämiin ja päivittämiin Metsätienormeihin.

Tuhka luokitellaan edelleen jätteeksi, ja sitä saa sijoittaa maaperään joko MARA-asetuksen rajoissa tai ympäristöluvalla. Tulevaisuudessa tavoitteena on tuhkien tuotteistaminen maarakennuskäytössä, jolloin tuhkia ei enää luokiteltaisi jätteeksi. Tuhkan jäteluokittelun johdosta tuhkan käyttöä ohjaa sekä jätelaki että ympäristönsuojelulaki. Tuhkan käyttö rakentamisessa vaatii joko ilmoitusmenettelyn tai ympäristöluvan. Lupaprosessin etenemiseen vaikuttaa käytettävä tuhkan määrä sekä tuhkan laatu.

Maarakentamisessa tärkeitä ominaisuuksia ovat materiaalin optimivesipitoisuus, kuivatilavuuspaino, lujuus ja routivuus. Rakeisuus vaikuttaa tuhkien optimivesipitoisuuteen, tiivistymiseen, routivuuteen,

vedenläpäisevyyteen ja kapillaarisuuteen. Raakoista riippuen tuhkat luokitellaan routiviksi tai routimattomiksi. Tuhkan mahdollinen routivuus pitää huomioida käyttökohdetta valittaessa. Turve-, puu- ja seospolton tuhkan laatu vaihtelee yleensä enemmän kuin kivihiilituhkan.

Tuhkan käyttö metsälannoitteena



Kuva 5. Tuhkan lastaus maalevitystä varten. Kuvaaja: Kati Kontinen

Yleistä

Ravinnepitoinen tuhka lannoitusikäytössä

Tuhkan käytöllä maanparannusaineena on pitkä historia: Metsäntutkimuslaitoksen (nyk. Luonnonvarakeskus) ensimmäiset tuhkalannoituskokeet on tehty jo 1930-luvun lopulla. Kokemukset osoittavat, että tuhkalannoitus parantaa puuston ravinnetilaa pitkäaikaisesti. Puiden ravinnetilassa tapahtuviin muutoksiin vaikuttavat mm. kasvupaikan ravinteisuus, puulaji, levitetyn tuhkan määrä ja laatu sekä puuston ravinnetila ennen lannoitusta.

Karkeasti yleistäen voidaan todeta, että kangasmailla kasvavat metsät ovat typpirajoitteisia, turvemaiden paras lannoiteväste saadaan fosforilla ja kaliumilla. Näitä kahta ravinnetta on runsaasti tuhassa, mutta poltettavassa massassa ollut typpi poistuu savukaasujen mukana.

Puutuhka sisältää tyypeä lukuun ottamatta käytännössä kaikki puiden tarvitsemat ravinteet oikeissa suhteissa (taulukko 4). Puutuhkassa on puulajista ja poltettavasta puuositteesta riippuen keskimäärin

- 0,2–3 % fosforia (P)
- 0,5–10 % kaliumia (K)
- 5–40 % kalsiumia (Ca)
- alle 0,1 % booria (B).

Puutuhka sisältää lisäksi aina rautaa, joka sitoo tuhkan sisältämän fosforin tiukasti itseensä ja luovuttaa sen hitaasti kasvillisuuden käyttöön.

Turvetuhkassa erityisesti kalsiumin, kaliumin ja boorin pitoisuudet ovat matalampia kuin puutuhkassa. Turvetuhkassa ravinnepitoisuudet ovat keskimäärin

- 0,5–2 % fosforia
- 0,2–0,4 % kaliumia
- 5–10 % kalsiumia
- alle 0,01 % booria.

Taulukko 4. Esimerkki turvemaiden lannoitukseen soveltuvien lannoitteiden alkuainesisällöstä⁸.

Ravinne	Puutuhka*	Turvetuhka*	RautaPK**
Fosfori (P), %	1,5	1,1	8,0
Kalium (K), %	3,8	0,3	14,0
Kalsium (Ca), %	23,3	7,6	14,8
Magnesium (Mg), %	2,2	1,1,	0,4
Boori (B), %	0,03	alle 0,01	0,3

* Korpilahti, A. 2004 Puun- ja turvetuhkan analysointi ja analyysituloksia. Metsätehon raportti 172.

** Yara. 2008. Metsänlannoitusopas

Lannoituskohteiden valinta

Tällä hetkellä tuhkaa suositellaan erityisesti ojitettujen, runsastyppisten turvemaiden lannoitukseen, jossa puun kasvua rajoittaa kaliumin ja fosforin saatavuus. Nämä kasvupaikat ovat alkujaan olleet nevaisia ja märkiä soita. Ravinnetalouden häiriöitä esiintyy kuitenkin myös metsitetyillä suopelloilla ja turpeenostokenttien metsitysaloilla.

⁸Lähde mukaillen: Makkonen 2008

Lannoituskohteiden valinnassa on olennaista tunnistaa runsastyyppiset turvekangastyyppit ja puiden ulkoiset ravinnepuutosoireet. Tarvittaessa metsikön lannoitustarve voidaan varmistaa puiden neulasnäytteistä tehdyllä ravinneanalyysillä (taulukko 5). Turpeen typpimäärää voidaan arvioida silmävaraisesti pintaturpeen maatuneisuuden ja turvelajin avulla; eniten typpeä on hyvin maatuneessa saraturpeessa. Myös turpeen typpipitoisuus voidaan tarvittaessa määrittää tarkemmalla turveanalyysillä.

Taulukko 5. Tärkeimpien ravinteiden neulasanalyysin tulkinta turvemaiden metsissä.⁹

Mänty			Kuusi	
Ravinne	Ravinteiden ankara puutos	Ravinnetta sopivasti	Ravinteiden ankara puutos	Ravinnetta sopivasti
N, %	alle 1,2*	yli 1,3	alle 1,2*	yli 1,4
P, g/kg	alle 1,3	yli 1,6	alle 1,7	yli 2,3
K, g/kg	alle 4,0	yli 4,5	alle 5,0	yli 6,0
B, mg/kg	alle 5,0	yli 10,0	alle 7,0	yli 10,0

* Kohde liian karu lannoitettavaksi

Vaikutukset puustoon ja kasvuun

Suometsät

Tuhkalannoitus tuottaa parhaimman tuloksen kivennäisravinteiden puutoksista ja ravinne-epätasapainosta kärsivissä, ojitetuissa turvemaiden metsissä. Merkittävimmät tulokset on saatu ojitetuilla soilla, joissa ojituksen jälkeen puiden kasvu ei ole käynnistynyt luontaisesti eikä istutusten avulla.

Tuhkan käyttö metsälannoitteena voi vaikuttaa puuston ravinnetilaan nopeastikin: esimerkiksi puiden kasvua rajoittava kaliumin ja boorin puutostila on korjautunut usein jo levitystä seuraavana vuonna. Ulkoiset ravinnepuutosoireet häviävät puista yleensä jo tuhkan levitysvuonna ja neulasten väri muuttuu kellertävästä tummanvihreäksi. Tuhkalevitystä seuraavina vuosina neulasten massa ja elävien neulasvuosikertojen määrä, eli yhteyttävä neulaspinta-ala, kasvavat.

Puiden fosforinpuutos korjaantuu keskimäärin 3–4 vuoden kuluttua tuhkalannoituksesta, sillä fosfori liukenee tuhasta selvästi hitaammin kuin kalium. Tuhkalannoituksen vaikutusaika fosforilla on parhaimmillaan jopa 50 vuotta.

Tuhka ei sisällä typpeä, mutta tuhkalannoitus voi kuitenkin vaikuttaa puiden typpitalouteen joko muiden ravinteiden pitoisuuksien muutosten tai turpeen typpivarojen vapautumisen kautta maan hajoustoiminnan lisääntyessä.

Tutkimusten perusteella lannoituksen jälkeinen puuston ravinnetila on säilynyt suometsissä hyvänä käytetystä tuhkamäärästä riippuen noin 20–50 vuoden ajan. Kaliumin nopealiukoisuuden ja

⁹ Lähde mukaillen: Makkonen 2008

huuhtoutumisalttiuden vuoksi joillakin kohteilla voidaan tarvita kaksi lannoituskertaa metsikön kasvatusaikana, jotta puuston ravinnetila pysyisi hyvänä. Puutuhka on turvetuhkaa tehokkaampi neulasten kaliumpitoisuuden nostaja.

Vaikutukset kasvuun

Tuhkalannoituksen vaikutuksista turvemaiden puuston kasvuun on paljon tutkimustuloksia, ja vaikutukset on hyvin raportoitu. Tuhka lisää puuston kasvua hitaammin kuin kaupallinen PK-lannoite, mutta pitkällä aikavälillä tuhkalannoituksella saadaan jopa parempi, pitkäkestoinen ja voimakas kasvureaktio.

Tutkimusten mukaan tuhka lisää puuston kasvua 2–6 kuutiometriä hehtaarilla vuodessa. Mitä enemmän turpeessa on typpeä, sitä enemmän tuhka tuottaa lisäkasvua. Heikoilla-kin kohteilla kasvunlisäys on parhaimmillaan 3 kuutiometriä hehtaarilla vuodessa. Ehkäpä tunnetuin vanhoista tuhkalannoituskohteista on Muhoksen Leppiniemessä sijaitseva entisen nevasuon ojitusalue, johon levitettiin vuonna 1947 koivupuun tuhkaa 16 tonnia/ha. Olemassa oleva puusto oli tuolloin pientä taimikkoa. 2000-luvun lopussa puuston kokonaistuotos tuhka-alalla oli noin 630 m³/ha, kun taas lannoittamattomalla vertailualalla tuotos oli vain 60 m³/ha.

Kangasmetsät

Kangasmailla puiden kasvua rajoittaa maaperässä olevan käyttökelpoisen typen puute, mutta joskus myös boorista ja fosforista voi olla puutetta. Tuhkalannoituksen on havaittu nostavan erityisesti neulasten booripitoisuuksia, joten tuhka näyttää soveltuvan hyvin etenkin boorinpuutostilojen korjaamiseen.

Kangasmetsissä kasvunlisäys edellyttää tuhkan ohella typen lisäystä. Tuhkan ja typen yhteiskäytön on havaittu lisänneen puiden kasvua karuillakin kangasmailla pelkkää typpilannoitusta enemmän. Tuhkalannoitus voikin tehostaa kivennäismaiden puuston kykyä hyödyntää typpilisäystä ja sillä voidaan estää esimerkiksi ravinteiden epätasapainosta syntyviä puiden kasvuhäiriöitä. Tuhkalannoitusta voidaan myös käyttää esimerkiksi energiapuun korjuukohteilla, joissa neulasten, latvusten ja kokopuiden poisto on saattanut muuttaa metsikön ravinnetasapainoa.

Tuhkalannoituksen vaikutus puuston kasvuun kangasmailla saattaa kuitenkin jäädä melko pieneksi, ja lannoituksen kannattavuus voi siten olla heikko. Kasvumuutoksia on todettu yleensä vain kaikkein viljavimmilla kangasmailla. Tuhkalannoitus parantaa kangasmetsissä enemmän maaperää ja sen biologista aktiivisuutta kuin puiden kasvua. Vähäravinteisilla kasvupaikoilla puiden kasvu voi alkuun jopa heikentyä, koska happamuuden vähentyessä kasvualustan luontaiset typpivarat sitoutuvat hajottajaeliöstöön. Pitkällä aikavälillä (>10 vuotta) tuhkalannoituksen aiheuttama maan hajotustoiminnan vilkastuminen voi hieman parantaa puuston kasvua myös niukkatyppisillä kangasmailla.

Entiset turvetuotantoalueet ja suopellot

Tuhkalannoituksella on myönteinen vaikutus metsän syntyyn myös turvetuotannosta vapautuneilla suopohjilla. Tuhkalannoitteet (puu- ja turvetuhka ja niiden sekoitteet) moninkertaistavat kasvilajiston määrän ja nopeuttavat erityisesti hieskoivun taimien alkukehitystä.

Turvetuhkan puutuhkaa pienempi kaliumpitoisuuskin riittää peittävän kasvillisuuden syntyyn ja puuntaimien alkukehitykseen paljaalla suopohjalla. Siitä huolimatta puhdas turvetuhka sopii parhaiten vain metsikön alkulannoitukseksi. Nopeasti syntynyt peittävä aluskasvillisuus hidastaa suopohjan hienoaineksen kulkeutumista vesistöihin ja on metsityksen alkuvaiheessa jopa puuntaimia merkittävämpi hiilensitoja, joten tuhkalannoitus edistää myös ympäristönhoitoa turvetuotannosta vapautuvilla suopohjilla.

Lannoitelainsäädäntö

Lannoiteasetus

Tuhkan käyttöä metsälannoituksessa säätelee lannoitevalmistelainsäädäntö. Maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa lannoitevalmisteista (24/11) määritellään muun muassa metsään levitettävän tuhkalannoitteen vähimmäisravinnepitoisuudet sekä haitallisten aineiden enimmäispitoisuudet.

Tuhkalannoitteena tai sen raaka-aineena voidaan käyttää turpeen, peltobiomassan tai puun tuhkaa sekä eläinperäistä tuhkaa. Asetuksen liitteessä 1A7 kuvataan, millä tekniikalla ja minkälaisen materiaalin poltosta tuhka voi olla peräisin. Tuhkalannoitetta tuottava laitos tulee ilmoittaa Ruokaviraston rekisteriin.

Metsälannoitteena käytettävässä tuhassa ravinnepitoisuuksien on oltava vähintään seuraavat (MMM asetus 24/11):

- Kalium (K) + Fosfori (P) 2,0 %
- Kalsium (Ca) 6,0 %

Rakeistettuun tuhkalannoitteeseen saa lisätä epäorgaanisia lannoitevalmisteita sen käyttökelpoisuuden parantamiseksi tai vähimmäisvaatimusten täyttämiseksi. Jos tuhkalannoitevalmisteeseen on lisätty booria, sen levittäminen pohjavesialueella ja suojelualueilla on kielletty. Jos tuhkaan halutaan lisätä orgaanista ainetta, esimerkiksi biolietettä typpipitoisuuden lisäämiseksi, on Ruokavirastosta varmistettava käytettävää tuhkaa sekä lopputuotetta koskevat vaatimukset ja käyttörajoitukset.

Tuhkan lannoiteasetuksen mukaiset haitalliset metallit ja niiden enimmäispitoisuudet on lueteltu alla olevassa taulukossa. Lisäksi kadmiumin ja arseenin osalta on määritelty erilliset enimmäismäärät:

- Lannoitevalmisteiden käytöstä aiheutuva keskimääräinen kadmiumin enimmäiskuormitus ei saa ylittää 1,5 grammaa kadmiumia hehtaaria kohden vuodessa.
- Kadmiumia saa levittää tuhkalannoituksessa enintään 100 grammaa ja arseenia 160 grammaa hehtaarille 60 vuoden aikana.

Taulukko 6. Metsätaloudessa käytettävissä tuhkalannoitteissa tai niiden raaka-aineena käytettävässä tuhassa enimmäispitoisuus mg/kg kuiva-ainetta:

Enimmäispitoisuus	
Arseeni (As)	40
Elohopea (Hg)	1,0
Kadmium (Cd)	25
Kromi (Cr)	300
Kupari (Cu)	700
Lyijy (Pb)	150
Nikkeli (Ni)	150
Sinkki (Zn)*	4500

Metsätaloudessa enimmäispitoisuuden ylitys lannoitevalmisteena käytettävässä sivutuotteessa on sallittu ainoastaan sinkkiä suometsissä käytettäessä, silloin kun sinkin puute on kasvustosta todettu joko maaperä-, lehti- tai neulasanalyysillä. Tällöin maksimimäärä sinkkiä lannoitevalmisteena käytettävässä sivutuotteessa saa olla enintään 6 000 mg Zn/kg ka (*).

Kemeralaki ja -asetus

Voimassa olevan Kestävän metsätalouden määräaikaisen rahoituslain (Kemera) mukaan valtio tukee yksityismailla terveyslannoitusta omana työajanaan. Valtioneuvoston asetuksessa (594/2015) kestävän metsätalouden rahoituksesta määrätään tarkemmin terveyslannoituskohteista. 1.5.2020 voimaan tulleen muutoksen myötä käytettävän tuhkalannoitteen määrä ja tarpeellisuus tulee määrittää kasvupaikan perusteella. Tuettavan kohteen tulee vastata ravinnetasoltaan vähintään puolukkaturvekangasta.

Sen sijaan käytettävän boorilannoitteen määrä tulee määrittää puustossa havaittavien kasvuhäiriöiden ja neulasten väriavien perusteella, tai ravinneanalyysin avulla, taikka puuston kehityksen ja kasvuolosuhteiden perusteella.

Tuhkalannoite voidaan levittää myös talvella. Kustannustehokkuuden ja töiden oikea-aikaisen toteuttamisen kannalta tuhkalannoitus kannattaa turvemailla suunnitella ja toteuttaa suometsän hoidon yhteydessä.

Voimassa olevan Kemera-lain ja siihen liittyvän valtioneuvoston asetuksen mukaan terveyslannoitukseen saa tukea alla olevin ehdoin:

- Kohteen pinta-ala on vähintään 2 hehtaaria ja pienimmän kuvion koko 0,5 hehtaaria.
- Turvemaan kohde on ravinnetasoltaan vähintään puolukkaturvekangasta (Ptkg) vastaava ja alue on asianmukaisesti kuivatettu.
- Terveyslannoitusta tehdään tuhkalannoitteella ja boorilannoitteella.
- Tuen edellytyksenä on, että lannoituksen yhteydessä on kiinnitetty erityisesti huomiota toimenpiteiden vesistö- ja ympäristövaikutuksiin sekä mahdollisten haittojen vähentämiseen.

- Tuki on 30 prosenttia kokonaiskustannuksista, joihin voi sisältyä suunnittelu-, työ- ja tarvikekustannukset ravinneanalyysistä aiheutuneet kohtuulliset kustannukset.

Uudistuskypsät metsät eivät kuulu tuen piiriin; uudistuskypsäksi katsotaan metsikkö, joka on ylittänyt iän tai läpimitan perusteella metsänhoitosuosituksen mukaisen alimman uudistuskypsyyden rajan.

Toteuttamissuunnitelmalla on ilmoitettava käytettävän lannoitevalmisteen nimi ja arvioitu käyttömäärä (MMM asetus 622/2015 4§). Kemera-terveyslannoituksessa hyväksytään tällä hetkellä (1.10.2019) seuraavat lannoitevalmisteet:

- Ecolanin tuhkatuotteet Ecolan Nitroa lukuun ottamatta
- Voimalaitosten tuhkatuotteet, edellyttäen tuoteselostetta sekä fosforin ja kaliumin yhteispi-
toisuutta 2 %
- Yara Vita Bortrack
- Hankkijan/Kekkilän booriravinne
- Rakeistus Oy:n boorituhka (Metsän booriravinne)
- Nekon booriliuos 150.

Nykyiseen tukijärjestelmään on odotettavissa muutoksia 2020-luvun alussa. Maa- ja metsätalousministeriö asetti vuonna 2019 työryhmän laatimaan esiselvityksen metsätalouden kannustejärjestelmästä tulevaisuudessa. Työryhmän toimikausi jatkuu 31.12.2020 asti. Nykyisen Kemera-lain voimassaoloa on tarkoitus jatkaa siihen asti, kunnes uusi metsätalouden kannustejärjestelmä tulee voimaan.

Lannoitelainsäädännön päivitustyö alkaa elokuussa 2020 ja tavoitteena on, että työ saadaan päätökseen vuoden 2022 loppuun mennessä.

Tuotantolaitokselta metsään

Tuhkan esikäsittely

Tuore, vasta syntynyt tuhka on yleensä erittäin hienojakoista ja pölyävää. Kuljetuksen ja levityksen helpottamiseksi sekä pölyämisestä aiheutuvien ympäristö- ja terveysriskien poistamiseksi tuhka on esikäsiteltävä eli stabiloitava ennen käyttöä.

Tuhkan esikäsitteilymenetelmiä ovat itsekovettaminen, rakeistus ja pelletöinti. Kaikissa menetelmissä tuhka kostutetaan vedellä, jolloin tuhka kovettuu; perusreaktio on varsin hidas ja vastaa pääpiirteis-
sään betonin kovettumista. Yksittäiset rakeet muodostuvat minuuteissa, mutta kovettuminen jatkuu muutamia viikkoja kostuttamisen jälkeen. Kovettuminen perustuu karbonaatin muodostumiseen, kun vesi reagoi tuhkan kalsiumin kanssa.

Itsekovetus

Pölyämisen vähentämiseksi yksinkertaisin menetelmä on itsekovetus. Menetelmässä tuhka kostutetaan sekoittamalla siihen vettä. Sopiva veden annostusmäärä on noin 30–35 % veden ja tuhkan yhteenlasketusta massasta. Kostutettu tuhka ajetaan kasaan, jossa sen annetaan kovettua.

Itsekovetettu tuhka muistuttaa hienojakoista multaa, joka sisältää erikokoisia rakeita. Itsekovetettua tuhkaa seulotaan seulakauhan avulla käytön yhteydessä.

Kovettunut tuhka murskataan sopivan kokoisiksi partikkeleiksi ennen levitystä. Vaikka tuhkassa on itsekovetuksen jälkeen runsaasti hienojaetta, se pölyää huomattavasti irtotuhkaa vähemmän, koska itsekovetetun tuhkan kosteus sitoo pölyä.

Rakeistus

Tuhkan rakeistaminen on tehokas menetelmä vähentää tuhkan pölyämistä ja hidastaa sen liukoisuutta. Rakeistustekniikassa tuhkaan sekoitetaan prosessin yhteydessä vettä, ja tuhka johdetaan joko pyörivään rumpuun tai lautaselle, jossa pyörimisliike muovaa kostutettua tuhkaa eri suuruisiksi rakeiksi. Rakeiden annetaan kuivua aumassa, jolloin ne kovettuvat.

Rakeistamisen tavoitteena on saada alle senttimetrin halkaisijaltaan olevia rakeita. Käytännössä menetelmällä saatujen rakeiden koko kuitenkin vaihtelee. Rakeiden laatuun voidaan vaikuttaa käyttämällä rakeistuksen eri vaiheissa koostumukseltaan erilaisia tuhkia. Itsekovetettuun tuhkaan verrattuna rakeistettu tuhka kovettuu nopeammin, se pölyää vähemmän ja sen loppukosteus on pienempi. Pienempi loppukosteus vähentää esimerkiksi kuljetus- ja levityskustannuksia.

Rakeistaminen on itsekovetusta kalliimpi menetelmä, mutta rakeet ovat helppokäyttöisempiä ja niillä päästään parempaan levitystarkkuuteen. Tuhkan rakeistaminen antaa myös mahdollisuuden muuttaa tuhkan ravinnesuhteita lisäämällä siihen lannoitteita tai jäteaineita.

Pelletöinti

Pelletöinnissä tuhkaan sekoitetaan prosessin yhteydessä vettä ja tuhkamassa johdetaan laitteistoon, josta massa puristetaan matriisien läpi. Menetelmä ei ole Suomessa käytössä suuressa mittakavassa. Pelletöimällä saadaan aikaan hyvälaatuinen lopputuote. Tuhkan pelletöinnissä ongelmana on pelletöintimatriisien nopea kuluminen, minkä takia kustannukset nousevat korkeaksi. Menetelmä sopiikin lähinnä pienimuotoiseen toimintaan, jossa tuhkan pelletöinnin määrät ovat vähäiset.

Tuhkan varastointi ja kuljetus

Tuhkan varastointi kasassa tai aumassa peittämättömänä voi aiheuttaa runsasta pölyämistä. Kasan peittäminen tai kasteleminen vähentää pölyämistä. Veden mukana voi liueta ja huuhtoutua myös haitta-aineita, mikäli kasan alle ei ole asetettu eristävää materiaalia. Tuhkan ikäännyttäminen eli vanhentaminen tarkoittaa tuhkan varastointia kostutettuna kasassa. Varastoitaessa tuhka reagoi ilman hiilidioksidin ja kosteuden kanssa. Tuhkan luonnollista ikääntymistä voidaan tehostaa hiilidioksidin avulla. Haitta-aineiden liukoisuudet laskevat ikääntymisen myötä.

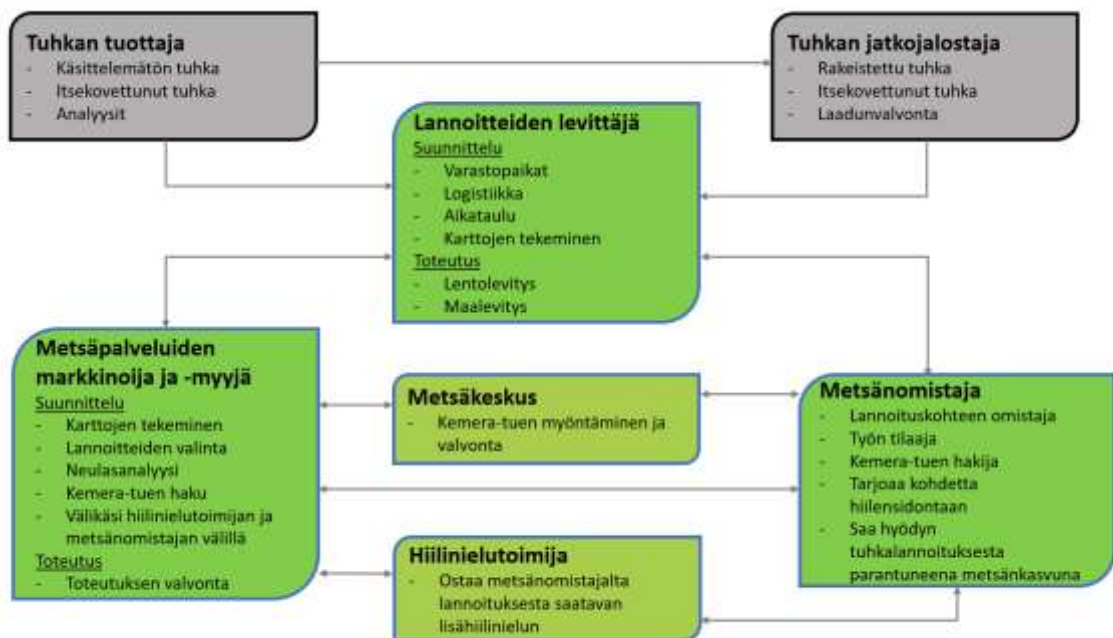
Esikäsitelty (stabiloitu) tuhka kuljetetaan levityskohteisiin kuorma-autoilla, joiden kuormakoko on noin 40 tonnia. Määrä riittää noin 10 hehtaarin alalle, jotta suosituksen mukainen fosforimäärä (40–50 kg/ha) ja kaliummäärä (80–100 kg/ha) saavutetaan. Tuhkan pitempiaikaista varastoimista metseen on vältettävä, koska etenkin itsekovettuneen tuhkan levitysominaisuudet heikkenevät.

Tuhkalannoituksen toteuttaminen

Lannoitussuunnitelma

Tuhkalannoitushankkeen kulku

Tuhkalannoitus kannattaa yleensä suunnitella ja toteuttaa usean tilan yhteistyönä eli yhteishankkeena. Yhteishankkeessa suunnittelija tekee tarvittavat suunnitelmat ja Kemera-rahoitushakemukset, hankkii tuhkan sekä kuljetus- ja levityspalvelun, valvoo levitystyön laatua ja hoitaa tarvittavan rahaliikenteen. Tuhkan levityskustannukset pysyvät kohtuullisina, kun hankkeen lannoituskohteet sijaitsevat suhteellisen lähellä toisiaan ja lannoituspinta-alat ovat riittävän suuret.



Kuva 6. Tuhkalannoitushankkeen kulku kaaviona.

Lannoitus osana metsäsuunnittelun toimenpideketjua

Metsälannoitus on luontevinta hoitaa osana laajempaa toimenpiteiden ketjua. Toimenpiteet on hyvä kuvata jo metsäsuunnitelmassa:

- ↓ metsäsuunnitelma, hakkuusuunnitelma, kunnostusojitusuunnitelma
- ↓ harvennushakkuu
- ↓ ravinnepuutoksen arviointi (neulasanalyysi) ja tarvittavan lannoitemäärän laskenta
- ↓ tuhkalannoitus
- ↓ kunnostusojitus

Tuhka voidaan levittää joko ilmasta helikopterilla tai maalevityksenä esimerkiksi metsätraktorisoviteisella levityskalustolla. Maalevityksessä kannattaa hyödyntää harvennushakkuuta varten tehtyjä ajouria. Myös neulasnäytteet saadaan otettua helposti harvennushakkuun yhteydessä. Lannoitus olisi hyvä tehdä maalevityksessä samana talvena hakkuun jälkeen, koska ajourat ovat jäätyneet kantaviksi ja vanhojen lähes umpeenkasvaneiden ojien ylitys käy helposti. Työnjälkeä eli levitystasaisuutta on syytä tarkkailla maastoon asetettujen mittasuppiloiden avulla.

Vesiensuojelun ennakkosuunnittelu ja toteutus

Vaikka tuhkalannoitus ei lisää merkittävästi huuhtoumia vesistöihin, haittoja voidaan silti vähentää ennakkosuunnittelulla, töiden huolellisella toteutuksella ja pintavalutukseen perustuvilla vesiensuojelumenetelmillä. Lannoituskohteiksi valitaan viljavia, saraisia ja ruohoisia soita, joiden turpeessa on runsaasti typpeä. Tällöin tuhkan sisältämä fosfori ja kalium sitoutuvat kasvavaan puustoon tehokkaasti.

Purojen reunoille jätetään 10–15 metriä ja muiden vesistöjen rannoille vähintään 50 metriä leveä lannoittamaton kaista estämään ravinteiden huuhtoutumista vesistöön. Lentolevityksessä suositellaan käytettäväksi 50-metristä suojakaistaa kaikkien vesistöjen varsilla. Lannoitteiden joutumista ojiin vältetään jättämällä ojien varteen lannoittamaton kaista. Kunnostusojitus toteutetaan vasta tuhkailevityksen jälkeen, jolloin ojiin joutuneet tuhkarakeet eivät pääse huuhtoutumaan ojavesien mukaan.

Tuhkan levittäminen

Tuhkalannoitteen käyttö- ja levitysmäärät

Metsänhoitosuositusten mukaan tuhkaa suositellaan levitettäväksi 3 000–5 000 kg hehtaarille. Tuhkalannoituksen sopiva annosmäärä voidaan laskea myös tuhkan ja lannoitettavan kohteen ravinteikkouden mukaan, sekä tuhkan sisältämät kadmiummäärät huomioiden. Neulasanalyysillä voidaan varmistua levitysalueen todellisesta ravinnetilasta.

Suosittelavat tuhkan käyttömäärät vaihtelevat kohteesta ja lannoitteen ravinnesisällöstä riippuen 3 000–8 000 kg hehtaarilla. Jos puutuhkan seassa on paljon (yli 2/3) turvetuhkaa, sopiva annosmäärä on kaksinkertainen¹⁰. Biolietteen ja tuhkan seosta on myös kokeiltu typpilisäystarkoituksissa. Tällä hetkellä tuhkaolieteseosta ei voida asetuksen mukaisesti käyttää metsälannoitteena. Asiaan palataan lannoitelainsäädännön uudistamistyön yhteydessä syksystä 2020 alkaen.

Metsälannoituksen määräksi suositellaan kaliumia 80–100 ja fosforia 40–50 kg hehtaarilla. Tuhkan levitysmäärää laskettaessa fosfori on määräävämpi kuin kalium, jos suhteet eivät ole sopivat.¹⁰ Puutuhkassa ravinnesuhteet ovat yleensä sopivia, mutta turve- tai pääasiassa turpeesta peräisin olevassa seostuhkassa kaliumia on usein liian vähän. Sitä voidaan lisätä esimerkiksi biotiittina.

Jos maaperä-, lehti- tai neulasanalyysillä on todettu maaperässä tai kasvustossa boorin puute, on sitä sisältävän lannoitteen levitysmäärä enintään 4 kg booria hehtaarille. Muussa tapauksessa

¹⁰ Tuhkan käyttö metsälannoitevalmisteena -tiedote, VTT

enimmäislevitysmäärä on 2,5 kg booria hehtaarille. Tuhkalannoitteen, johon on lisätty booria, levittäminen pohjavesialueilla ja suojelualueilla on kielletty. Levitysmäärässä on lisäksi huomioitava, ettei ylitetä hehtaarikohtaisia haitallisten aineiden määriä (kts. Lannoitesäädäntö).

Levitystekniikka

Maalevitys

Tuhkan levitys voidaan toteuttaa edullisimmin maalevityksenä metsätraktorilla tai maatalouskalustolla. Maalevitys on parhaiten toteutettavissa harvennus- ja ojalinjahakkuun jälkeen talvella roudan aikaan. Kantavilla kohteilla maalevitys voidaan tehdä myös kesällä.



Kuva 7. Tuhkan maalevitystä. Kuvaaja: Timo Makkonen.

Tuhkan kuljetus metsään kuorma-autolla edellyttää, että teiden kantavuudesta huolehditaan. Talviaikana on huolehdittava myös aurauksesta ja hiekoituksesta. Tuhkan varastopaikaksi tulee valita kova-pohjainen ja tasainen alue. Kun käytetään säkitettyä tuhkaa, tuhkalannoitevarasto voidaan sijoittaa vapaammin ja varastoa on mahdollista jakaa pienemmissä erissä tarpeen mukaan.

Tyypillinen tuhkan kuormakoko on 4,5 tonnia. Levityskapasiteetti voi olla esimerkiksi 5–10 tonnia tunnissa alle puolen kilometrin toimintasäteellä. VTT:n arvion mukaan levityskustannukset organisoitukustannuksineen ovat noin 15 euroa/tonni, kun levitysmäärä on noin 3 kuivatonna hehtaaria kohti. Suuremmilla hehtaarikohtaisilla määrillä yksikkökustannukset ovat pienemmät.¹¹

¹¹ Tuhkan käyttö metsälannoitevalmisteena -tiedote, VTT

Suometsissä tuhkan levitystä vaikeuttaa turvemaan huono kantavuus roudattomana aikana. Talvihakkuiden jälkeen levitys on helpompaa korjuukoneen tiivistämiltä ja pakkasen kovettamilta ajourilta. Maalevityksessä toimenpiteiden ajoitus on tärkeää: ensin harvennushakkuu, sitten tuhkalannoitus ja lopuksi kunnostusojitus.

Lentolevitys

Lentolevitys on maalevitystä kalliimpaa, mutta myös varmempaa: levitystä voidaan tehdä kaikkina vuodenaikoina kantavuuden tai lumitilanteen vaikuttamatta, eivätkä ajourat ole tarpeellisia. Lannoitteen levitys ei myöskään ole sidottu mihinkään metsänkäsittelyvaiheeseen.

Lentolevitys on tehokasta, mutta maalevitystä kustannuksiltaan vähintään kolmanneksen kalliimpaa. Kustannusten pienentämiseksi olisi hyvä muodostaa mahdollisimman suuria ”lannoituskeskittymiä” tai ketjuttaa levityskohteet siten, että levityserät ovat mahdollisimman suuria. Jotta kustannukset pysyvät kohtuullisina, levitysalueen on oltava yhteensä vähintään 30–40 ha.¹²



Kuva 8. Tuhkan lentolevitystä. Kuvaaja: Heikki Suvanto (Ecolan Oy).

Lentolevitys vaatii tarkan levityssuunnitelman: tuhkan varastopaikat sekä helikopterin nousu- ja laskeutumispaikkojen tilantarve ja sijainnit tulee selvittää etukäteen. Samalla on huomioitava myös varastopaikan ympäristön korkea puusto, sähkölinjat ja muut esteet. Levityssuunnitelma tulisi myös laatia siten, etteivät helikopterin siirtymämatkat olisi kovin pitkiä. Suositeltava lentomatka varastopaikalta lannoituskuviolle on enintään kaksi kilometriä.

Lentolevitys pitää tehdä ojitusalueilla ojien suuntaisesti, jottei lannoitetta pääse ojiin. Kova sivutuuli voi lisätä lannoitteen riskiä päätyä ojiin.

¹² Väättäinen ym. 2011

Tuhkalannoituksen kannattavuus

Tuhkalannoituksen kannattavuuteen vaikuttavat lannoitettavan alan kasvupaikka, metsikön kehitysvaihe ja pinta-ala sekä valittu levitysmenetelmä.

Lyhyellä aikavälillä edullisinta on lannoittaa tukkipuuvaihetta lähestyvää havupuuvaihetta metsikköä, jossa kasvunlisäys realisoituu päätehakuussa. Koska tuhkan vaikutusaika on pitkä – tutkimusten mukaan jopa 50 vuotta – ja saavutettava lisäkasvu huomattavan suuri, lannoituskohteiksi sopivat erinomaisesti myös nuoret, riuku-ensiharvennusvaiheen runsastyyppiset turvekangaspuustot. Usein myös uudistamisalojen taimikoissa esiintyy ravinnepuutosta, jonka hoitaminen tuhkalannoituksella on perusteltua tulevan puusukupolven hyvän kasvun säilyttämiseksi.

Tuhkalannoituksen kokonaiskustannukset

Moilasen (2009) arvion mukaan tuhkalannoituksen kokonaiskustannus on viime vuosina ollut levitysmenetelmästä riippuen 250–400 euroa hehtaarilla, kun annostus on ollut 4 000–5 000 kg hehtaarilla. Vuonna 2008 tehdyssä selvityksessä rakeistetun tuhkan maalevityksen kustannukset metsänomistajille olivat hehtaaria kohti noin 300 € + alv; helikopterilevitys oli hieman kalliimpaa, noin 450 € + alv hehtaarilta (Jutila 2008). Kustannusarvio koostui kokonaisuudesta, johon kuuluvat materiaali-, levitystyö- sekä kuljetuskustannukset. Suurimman osuuden muodosti levitystyö, koska tuhkaa joudutaan levittämään keino-
lannoitukseen verrattuna suuria määriä hehtaaria kohden.

Metsäojitusalueiden männiköissä lannoitusinvestointi voi tuottaa 20 vuoden aikana jopa 5–10 prosentin sisäisen koron, mikä ylittää selvästi muilla metsänparannustoimenpiteillä saadun koron.¹³ Lannoitus tuo parhaimmillaan seuraavassa hakkuussa 20–30 vuoden kuluttua lisätuloja nykyhinnoilla laskettuna yli 1 000 euroa hehtaarilta.

Terveyslannoitukseen myönnetään yksityismaille Kemera-tukea. Tuettavan kohteen tulee vastata ravinnetasoltaan vähintään puolukkaturvekangasta. Metsäkeskuksilta haettavan tuen edellytysten täytyessä tuki on 30 prosenttia lannoituksen kokonaiskustannuksista. Lisäksi maanomistajan maksettavaksi tuleva lannoituskustannus on kokonaan verovähennyskelpoinen. Sekä tuki että lannoituskustannusten verovähennyskelpoisuus pääomatuloista parantavat tuhkalannoituksen kannattavuutta.

¹³ Moilanen 2009

Tuhkalannoituksen ympäristövaikutukset

Tuhkan sisältämät haitalliset aineet

Raskasmetallit

Tuhkan sisältämien ravinteiden lisäksi tuhkaan rikastuu myös puun ja turpeen sekä muiden poltettavien biomassojen sisältämiä raskasmetalleja ja muita yhdisteitä.

Useat metallit – kuten mangaani (Mn), kupari (Cu) ja sinkki (Zn) – ovat luonnossa tarpeellisia hivenaineita, kun taas toiset – mm. kadmium (Cd), kromi (Cr), lyijy (Pb) ja nikkeli (Ni) – ovat ihmisille, ympäristölle ja eläimille haitallisia tai suurina pitoisuuksina myrkyllisiä.

Turvetuhkan raskasmetallipitoisuudet ovat tavallisesti pienemmät kuin puutuhkan. Arseenia (As) on kuitenkin turvetuhkassa usein enemmän kuin puutuhkassa.

Tutkimusten perusteella tuhkan raskasmetallien liukeneminen on vähäistä. Haitalliset raskasmetallit, kuten kadmium ja lyijy, ovat tuhkan korkean pH:n vuoksi erittäin hidasliukoissa muodossa.

Radioaktiivisuus

Puun poltossa syntyvät tuhkat sisältävät jonkin verran myös vaihtelevia pitoisuuksia radioaktiivista cesium-137:ää (¹³⁷Cs), joka on peräisin Tšernobylin ydinvoimalaitoksen onnettomuudesta. Tuhkan cesiumpitoisuuksiin vaikuttaa puupolttoaineen keräysalue sekä käytetty metsäpolttoaineen määrä. Korkeamman laskeuman alueelta kerätty aines nostaa tuhkan cesiumpitoisuuksia. Myös keräysalueen Tšernobyl-laskeuman määrä vaikuttaa cesiumpitoisuuteen. Tuhkan käyttöä metsälannoitteena ei kuitenkaan nähdä tarpeelliseksi rajoittaa Tšernobyl-peräisen cesium-137 vuoksi.

Polttoaineiden sisältämät radionuklidit päätyvät poltossa tuhkaan. Radionuklidipitoisuuksiin vaikuttaa mm. käytetty polttoaine ja polttotekniikka. Pitoisuudet vaihtelevat myös tuhkalajeittain.

Vesistövaikutukset

Vesistöille potentiaalisesti suurimpana ympäristöriskinä pidetään tuhkan sisältämää fosforia, mutta useammassa tutkimuksessa on osoitettu, että fosforin huuhtoutuminen tuhkalannoitetuilta alueilta on ollut hyvin vähäistä. Tuhkasta liuenut fosfori pidättyy nopeasti maaperän sisältämiin rauta- ja alumiiniyhdisteisiin hidasliukoiseen muotoon, eikä siten huuhtoudu vesistöihin. Myöskään talvileivitys ei lisää merkittävästi vesistöille haitallisen fosforin huuhtoutumia.

Maaperään tapahtuvan pidättymisen ohella myös puuston kasvun lisääntyminen sekä tuhkalannoituksen jälkeen runsastuva kenttäkerroksen kasvillisuus pidättävät vapautuvia ravinteita tehokkaasti. Tuhkalannoituksen ei myöskään ole todettu aiheuttavan typen huuhtoutumista tuhkalannoitetuilta alueilta, mikä selittyy typen pidättymisellä kasvillisuuteen.

Raskasmetalleja, kuten lyijy, nikkeli ja kadmium, on huuhtoutunut tuhka-aloilta vain vähän, sillä ne ovat tuhkassa vaikealiukoissa muodossa. Tuhkan sisältämien aineiden liukoisuutta voidaan vähentää itsekovettamisen, rakeistuksen tai pelletöinnin avulla. Ravinteiden ja raskasmetallien

huuhtoutumista voidaan myös vähentää merkittävästi välttämällä tuhkan päätymistä ojiin tai vesistöihin levityksen yhteydessä.

Maaperävaikutukset ja raskasmetallien pidätyminen

Tuhkat ovat hyvin emäksisiä (pH 9–13), ja ne vähentävät maan happamuutta kangas- ja suometssissä. Tuhkan emäksiset yhdisteet neutraloivat kasvualustan happamuutta ja sitovat raskasmetallit vaikealiukoiseen muotoon, jonka ansiosta metallien huuhtoutuminen tuhkasta ei ole merkittävää. Tuhkan määrästä, laadusta ja metsän kasvupaikasta riippuen humuskerroksen ja pintaturpeen pH kohoaa noin 0,5–3 pH-yksikköä. Puutuhkan neutraloimiskyky on yleensä voimakkaampi kuin turvetuhkan.

Tuhkalannoituksen jälkeen maan pintakerroksen (n. 15 cm) kokonaisravinnevarat lisääntyvät (typeä lukuun ottamatta) merkittävästi vuosikymmenien ajaksi sekä turve- että kangasmailla. Vaikka kasvualustan ravinnelisyys on puuston vuotuisen tarpeeseen nähden moninkertainen, eri alkuaineiden liukoisuus ja saatavuus vaihtelevat kuitenkin tuhkissa huomattavasti. Tuhkalannoituksen on todettu muuttavan maaperän mikrobiyhteisöjen rakennetta ja lajistoa sekä turve- että kivennäismailla, jonka seurauksena maan luontaiset typpivarat vapautuvat kasvillisuuden käyttöön. Tuhkan aiheuttamat muutokset maaperässä ovat hyvin pitkäaikaisia: tuhkalannoitus lisää metsän kasvua vielä 40–60 vuotta lannoituksen jälkeen.

Tuhka lisää myös raskasmetallien, kuten kadmiumin, kokonaisvarantoa maaperässä; vaikutukset riippuvat sekä tuhkassa olevista pitoisuuksista että käytetystä tuhkamäärästä. Myös eri raskasmetallien liukoisuus vaihtelee suuresti. Haitalliset raskasmetallit, kuten kadmium ja lyijy, ovat tuhkan korkean pH:n vuoksi erittäin hidasliukoisisessa muodossa. Maan happamuudella onkin ratkaiseva vaikutus raskasmetallien pidätykseen maaperässä: jos maaperän pH alkaa laskea, raskasmetalleja voi pitkällä aikavälillä liueta veteen tuhkalannoitetuilta alueilta. Tuhkalannoitteille asetetuilla raskasmetallien raja-arvoilla estetään haitallisten raskasmetallien liiallinen kertyminen maaperään (kts. Lannoittelainsäädäntö).

Tuhkalannoituksen maaperävaikutukset

plussat

- vähentää maaperän happamuutta
- aktivoi maaperän mikrobien toimintaa
- parantaa maaperän ravinnetilaa
- ei lisää merkittävästi kivennäismaiden kasvihuonekaasupäästöjä
- voidaan käyttää korvaamaan kunnostusojitusta kasvupaikasta riippuen
- rakeistettuna on potentiaalia vähentää turvemaiden typpioksiduulipäästöjä

miinukset

- ei sisällä typeä
- ei sisällä orgaanista ainesta
- on todettu edistävän turpeen hajoamista etenkin ravinnerikkailla soilla

Marjojen ja sienten raskasmetallipitoisuudet

Tutkimusten perusteella tuhkalannoituksesta ei todennäköisesti kulkeudu raskasmetalleja suuria määriä marjoihin ja sieniin. Esimerkiksi puolukan ja mustikan raskasmetallipitoisuuksiin ei ole havaittu olevan merkittävää vaikutusta ensimmäisinä vuosina lannoituksen jälkeen, ja osassa tutkimuksia marjojen ja sienten pitoisuudet ovat jopa laskeneet tuhkalannoituksen seurauksena.

Joissakin tutkimuksissa raskasmetallipitoisuuksien on havaittu tilapäisesti kohonneen heti tuhkan levityksen jälkeen, mutta myöhemmin vuosina erot ovat tasaantuneet. Koska pitoisuuksien tilapäinen nousu johtuu todennäköisesti suorasta kosketuksesta tuhkaan, marjojen ja sienien keräämistä tulisi välttää tuhkan levitystä seuraavana kesänä erityisesti, jos on käytetty pölyävää irtotuhkaa. Myös tuhkalannoituksen aiheuttama humuskerroksen pH-pitoisuuden nousu saattaa aiheuttaa esimerkiksi sienien kadmiumpitoisuudessa nousua, joka tasaantuu myöhemmin vuosina.

Kadmiumin ja lyijyn sallituista enimmäismääristä sienissä ja marjoissa säädetään EU:n komission asetuksessa ((EY) N:o 1881/2006) ja sen muutoksessa ((EY) N:o 629/2008). Kadmiumin enimmäispitoisuus sienissä on 1,0 mg/kg (tuorepaino) ja marjoissa 0,05 mg/kg (tuorepaino). Lyijyn enimmäispitoisuus marjoissa on 0,2 mg/kg (tuorepaino). Lyijyn enimmäispitoisuutta sienissä ei ole säädetty.

Kasvihuonekaasupäästöt

Tuhkalannoitus muuttaa maaperän happamuutta ja liuenneen orgaanisen aineen määrää vaikuttaen maaperän mikrobiotoimintaan. Maaperän kasvihuonekaasupäästöt muodostuvat mikrobiprosessien tuloksena. Tärkeimpiä kasvihuonekaasuja ovat hiilidioksidi ja voimakkaat kasvihuonekaasut metaani ja typpioksiduuli.

Tuhkalannoituksen ei ole todettu lisäävän merkittävästi kivennäismaiden hiilidioksidipäästöjä. Metaanin osalta tuhkalannoituksen on todettu vahvistavan kivennäismaiden jo olemassa olevaa nielua.

Tuhkalla ei ole havaittu olevan merkittävää vaikutusta myöskään kivennäismaan typpioksiduulipäästöihin, vaikka maan pH on oleellinen tekijä typpioksiduulipäästöjen kehitymisessä.

Sitä vastoin kivennäismaalla hakkuutähdekasojen ja tuhkan yhdistelmän on todettu stimuloivan typen kierron prosesseja avohakkuualalla. Pitkäaikaisissa tuhka-typpilannoituskokeissa ei ole kuitenkaan havaittu nitrifikaation voimistumista 15-30 vuotta lannoituksen jälkeen. Tuhkalannoituksen vaikutus typen mineralisaatioon ei ole selvää.

Turvemaat

Turvemaat ovat potentiaalisia kasvihuonekaasujen tuottajia ja erityisesti tuhkalannoitukseen hyvin soveltuvien tyyppirikkaiden turvemaiden hiilidioksidi- ja typpioksiduulipäästöjen on arvioitu kasvavan, mikäli orgaanisen aineksen hajotustoiminta lisääntyy merkittävästi.

Vaikka tuhkalannoitus yleisesti lisää hiilen sitoutumista puustoon, ja maaperän hiilivarasto voi karttua lisääntyneen kariketuotannon vuoksi, turvemaametsissä tuhkalannoituksen on todettu lisäävän turpeesta hajoamisesta vapautuvan hiilidioksidin päästöjä. Tätä tapahtuu erityisesti tyyppirikkailla turvemailla.

Vähäravinteisilla, ojitetuilla soilla tuhkalannoituksen ei ole todettu aiheuttavan suuria hiilidioksidipäästöjä. Vähätuottoisilla soilla lannoitus nähdään potentiaalisena vaihtoehtona ilmastomuutoksen hillinnän kannalta lyhyellä, vuosikymmenten aikajaksolla, koska puustoon sitoutuneen hiilen määrä

on maaperän hiilipäästöjä suuremmat. Pidemmällä aikavälillä tarkasteltuna turpeesta tapahtuvan hiilen hävikin ei katsota olevan ilmastomielessä tavoiteltavaa.

Vaikka tuhkan levityksen jälkeiset maaperän hiilidioksidipäästöt voivat siis toisinaan ylittää puustoon sitoutuneen hiilen määrän, tuhkan avulla on mahdollista parantaa kasvillisuuden ja biomassan kasvun kehittymistä.

Turvemaiden tutkimuksissa tuhkan levittämällä ei ole havaittu olevan merkittävää vaikutusta maan typpioksiduulipäästöihin. Joissain tutkimuksissa päästöjen on todettu jopa vähentyneen.

Turvemaiden metaanipäästöjen on todettu joko vähentyneen tai päästöissä tapahtuneet muutokset ovat olleet pieniä. Metaanin, kuten myös typpioksiduulin, osalta vesitalouden säätelyllä voikin olla enemmän merkitystä lopullisiin päästöihin.

Kasvihuonekaasupäästöjen osalta tulokset ovat osittain epäyhteneväisiä. Tutkittua pitkäaikaista tietoa tuhkan vaikutuksista maaperän mikrobeihin ja kasvihuonekaasupäästöihin ei ole juurikaan saatavilla. Maaperässä tuhkan vaikutusten suuntaan ja voimakkuuteen vaikuttaa paitsi maaperätyyppi ja maan ominaisuudet, myös levitetyn tuhkan määrä ja ominaisuudet. Nämä tulee ottaa huomioon, kun suunnitellaan tuhkan levittämistä. Myös kasvupaikan maankäytön ja metsänhoidollinen historia tulee ottaa huomioon. Huomioitavaa on, että vaikka lannoituksen avulla voidaan parantaa metsämaan ravinteiden pitoisuuksia, ne eivät kuitenkaan korvaa metsämaan orgaanisen aineen hävikkiä eikä sen laadun muutoksia, joita voi syntyä metsäbiomassojen korjuun yhteydessä. Tälläkin voi olla yhteyksiä maaperän mikrobitoimintaan.

Muut vaikutukset

Pintakasvillisuus

Lannoituksella voi olla voimakkaatkin vaikutukset aluskasvillisuuteen, riippuen levitetyn tuhkan määrästä sekä kasvupaikan alkuperäisestä ravinteisuudesta. Kangas- ja suometsissä tuhkalannoitus on aiheuttanut näkyviä vaurioita varsinkin alkuperäisiin sammaliin ja jäkäliin sekä vähentänyt niiden peittävyyttä. Välittömästi lannoitusta seuraavina vuosina varsinkin ruohojen ja heinien peittävyys lisääntyy samalla kun sammal- ja jäkälälajit taantuvat ja kuolevat äkillisen emäs- ja suolavaikutuksen seurauksena. Rahkasammalet ovat usein korvautuneet metsäsammalilla ja kuolleen sammalkasvuston päälle on levittäytynyt pioneerilajeja, jotka valloittavat tehokkaasti vapaita kasvupaikkoja. Lajistomuutokset voivat olla suuria ja pitkäkestoisiakin. Esimerkiksi tuhkalannoituksen jälkien on havaittu näkyvän turvekankaalla jopa 50 vuotta lannoituksen jälkeen kasvillisuuden ja kasvupaikkatyyppin muuttumana. Rakeistettua tai itsekovetettua tuhkaa käytettäessä vaikutukset eivät ole yleensä olleet yhtä voimakkaita kuin irtotuhkaa käytettäessä.

Eläimet

Tuhkan levityksen tutkitut vaikutukset maaperäeläinten (esim. änkyri-, sukkula- ja kastematojen) runsauteen ovat vaihdelleet. Toisissa tutkimuksissa maaperäeläinten määrä on pysynyt

muuttumattomana tai lisääntynyt, toisissa joidenkin lajien on havaittu vähentyneen tuhkalannoituksen seurauksena. Yleisesti ottaen tuhkalannoituksen vaikutukset maaperäeläimiin ovat jääneet vähäisiksi.

Eläimiin mahdollisesti kohdistuvat haittavaikutukset johtuvat yleensä raskasmetallien kertymisestä elimistöön sekä niiden rikastumisesta ravintoketjussa. Esimerkiksi päästäisten maksassa ja munuaisissa, joihin ympäristömyrkyt yleensä kertyvät, on todettu lievästi kohonneita kadmiumpitoisuuksia tuhkalannoitusta seuraavina vuosina.

Sen sijaan tuhkalannoituksen ei ole todettu lisäävän raskasmetallien kertymistä valuma-alueen alapuolisten järvien eläinplanktonissa, pohjaeläimissä tai kaloissa. Tuhkalannoituksen vaikutuksia eri eläinten raskasmetallikertymiin yli viittä vuotta pidemmällä aikavälillä ei kuitenkaan tunneta kovin hyvin.¹⁴

¹⁴ Huotari 2012

Tuhkan käyttö metsätienrakennuksessa



Kuva 9. Pintamateriaalin, tuhkamurskeseoksen, levitys metsätielle. Kuvaaja: Tommi Tenhola.

Potentiaaliset käyttökohteet

Vuosittain Suomessa käytetään noin 100 miljoonaa tonnia kiviaineksia, joista osa voitaisiin korvata tuhkillä. Tuhkia ja kuonia voidaan käyttää maarakentamisessa korvaamaan luonnonkiviainesta joko sellaisenaan, tiivistettynä, seostettuna tai sideaineena. Tuhkat soveltuvat tie-, katu- ja kenttärakenteiden eri kerroksiin tuhkan laadusta riippuen. Tuhkat luetaan lähtökohtaisesti jätteisiin, joten niiden käyttö rakentamisessa vaatii joko ilmoitusmenettelyn tai ympäristöluvan. Valtaosa tällä hetkellä syntyvästä tuhkasta käytetään erilaisissa maarakennuskohteissa. Tarkkaa tonnimäärää ei kuitenkaan ole käytettävissä.

Materiaalin korvaamisen lisäksi tuhka sitoo kiviaineksia ja parantaa samalla teiden kantavuutta. Lentotuhka sisältää kalsiumia, joka parantaa tuhkien lujittumisominaisuuksia. Lujittumista heikentävät tuhkan sisältämät epäpuhtaudet, välivarastointi kosteana sekä lujittumisvaiheen alhainen lämpötila. Lujittumista voidaan edesauttaa lisäämällä tuhkan joukkoon kalkkia tai sementtiä.

Tuhkan käytöstä esimerkiksi metsätienrakennuksen materiaalina on saatu viime aikoina erittäin hyviä kokemuksia. Metsätien rakennus- ja perusparannuskohteella tarvittavan tuhkan määrän arvioinnissa

ja laskennassa voi hyödyntää Tapiossa tehtyjä metsätien rakentamisen ja kunnostamisen Excel-laskureita, jotka löytyvät Tapion sivuilta <https://tapio.fi/aineistopankki/laskurit/>.

Tapion tekemissä pitkäaikaisissa testeissä tuhkakäsittelyiden on kaikissa tapauksissa todettu parantavan metsätien kantavuutta. Tuhkalla perusparannetut tiet paranevat kantavuudeltaan vuosien edetessä, toisin kuin tuhkattomat tiet.

Tuhkalisäysten ei myöskään ole todettu aiheuttaneen raskasmetallien kulkeutumista pohjaveteen. Tuhkan käyttö tienrakennuksen materiaalina ei merkitsevästi muuta pinta- tai pohjaveden laatua. Toisin sanoen tuhkaa on siis mahdollista käyttää ympäristön kannalta turvallisella tavalla, kunhan varmistutaan tuhkan ympäristökelpoisuudesta sekä suunnitellaan ja toteutetaan tuhkaa sisältävä tierakenne ammattitaidolla.

Lainsäädäntö

MARA-asetus

Valtioneuvoston asetuksen eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (843/2017) (MARA-asetus) tarkoituksena on edistää muun muassa tuhkan hyödyntämistä maarakentamisessa. Asetuksessa lueteltujen edellytysten täytyessä ei tarvita ympäristönsuojelulain (527/2014) mukaista ympäristölupaa, vaan hyödyntämispaikan haltija tekee ilmoituksen paikalliselle ELY-keskukselle tuhkan käytöstä aiotuissa rakenteissa. ELY-keskuksessa tieto merkitään ympäristönsuojelun tietojärjestelmään.

Kivihiilen, turpeen ja puuperäisen aineksen polton lento- ja pohjatuhkan ja leijupetihiekan käyttö on sallittua väylä- ja kenttärakenteissa, tuhkamursketeissä sekä teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteissa ja stabilointiaineena edellä mainituissa maarakentamiskohteissa. Tuhkan MARA-asetuksen mukaisen käytön edellytyksenä on, etteivät asetuksessa luetellut haitta-aineiden raja-arvot ylitä.

Eräissä tutkimuksissa todettiin, että radioaktiivisten aineiden aktiivisuuspitoisuuksista lasketut aktiivisuusindeksien raja-arvot ylittäviä tuhkaeria ei tulisi ilman selvityksiä käyttää rakennusmateriaaleihin tai tieverkoston ja vastaavien rakentamiseen. Niitä ei myöskään tulisi läjittää tai käyttää maantäyttöön tai maisemarakentamiseen. Tulevaisuudessa voisikin olla tarpeellista selvittää polttolaitosten päästöjen ja tuhkan varastointialueiden vaikutukset ympäristön radioaktiivisten aineiden pitoisuuksiin.¹⁵

Maarakennuksessa tuhkan maksimi kerrospaksuus voi olla 150 cm. Väylien ja kenttien yhteydessä rakenne on peitettävä vähintään 10 senttimetrin paksuisella kiviaineskerroksella tai päällystettävä asfaltilla. Tuhkamursketeillä pintakerros on rakennettu tuhkan ja kiviaineksen seoksesta, jonka kerrospaksuus on enintään 20 cm. Tuhkamursketiehen käytettävän tuhkan määrä ei saa ylittää 30 painoprosenttia käytetyn tuhkan ja kiviaineksen seoksessa. Peittämisvelvoite ei koske tuhkamursketeitä. Toiminnasta ei saa aiheutua terveydelle tai ympäristölle haittaa. Turpeen- ja puuperäisen aineksen polton tuhkien hyödyntämisessä on huomioitava tuhkien radioaktiivisuuteen liittyvät rajoituksen, jotka on annettu voimassa olevassa Säteilyturvakeskuksen ohjeessa.

¹⁵ Kämäräinen ym. 2018

Asetusta sovelletaan tuhkan ammattimaiseen tai laitospäyttöön hyödyntämiseen ja siihen liittyvään väliaikaiseen varastointiin.

Asetusta ei sovelleta 1- tai 2-luokan pohjavesialueilla eikä asumiseen tarkoitetuilla alueilla tai lasten leikkipaikoilla, luonnonsuojelualueilla, pelloilla eikä sisämaan tulvavaara-alueilla.

Taulukko 7. Hyödynnettävän tuhkan suurin sallittu haitallisten aineiden liukoisuus (mg/kg L/S -suhteessa 10 l/kg) ja pitoisuus (mg/kg kuiva-ainetta) sekä kerrospaksuus maarakentamiskohteissa. Jättemateriaalikohtaiset määritysvaatimukset kuvataan kohdassa Laadunvarmistus.

MAARAKENTAMISKOHDE							
Haitallinen aine	Väylä ¹⁾		Kenttä ¹⁾		Valli	Teollisuus- ja varastorakennuksen pohjarakenne	Tuhka-mursketie ²⁾
	jätteen kerrospaksuus ≤ 1,5 m		jätteen kerrospaksuus ≤ 1,5 m		jätteen kerrospaksuus ≤ 5,0 m	jätteen kerrospaksuus ≤ 1,5 m	jätteen kerrospaksuus ≤ 0,2 m
	Peitetty	Päällystetty	Peitetty	Päällystetty	Peitetty		
Liukoisuus (mg/kg LS = 10 l/kg)							
Antimoni (Sb)	0,7	0,7	0,3	0,7	0,7	0,7	0,7
Arseeni (As)	1	2	0,5	1,5	0,5	2	2
Barium (Ba)	40	100	20	60	20	100	80
Kadmium (Cd)	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04	0,06	0,06
Kromi (Cr)	2	10	0,5	5	1	10	5
Kupari (Cu)	10	10	2	10	10	10	10
Lyijy (Pb)	0,5	2	0,5	2	0,5	2	1
Molybdeeni (Mo)	1,5	6	0,5	6	1	6	2
Nikkeli (Ni)	2	2	0,4	1,2	1,2	2	2
Seleen (Se)	1	1	0,4	1	1	1	1
Sinkki (Zn)	15	15	4	12	15	15	15
Vanadiini (V)	2	3	2	3	2	3	3
Elohopea (Hg)	0,03	0,03	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03
Kloridi (Cl) ³⁾	3 200	11 000	800	2 400	1 800	11 000	4 700

Sulfaatti (SO₄²⁻)³⁾	5 900	18 000	1 200	10 000	3 400	18 000	6 500
Fluoridi (F)³⁾	50	150	10	50	30	150	100
Liennut org. hiili (DOC)	500	500	500	500	500	500	500
Pitoisuus (mg/kg kuiva-ainetta)							
Bentseeni	0,2	0,2	0,02	0,2	0,06	0,02	0,2
TEX⁴⁾	25	25	25	25	25	10	25
Naftaleeni	5	5	5	5	5	5	5
PAH-yhdisteet⁵⁾	30	30	30	30	30	30	30
Fenoliset yhdisteet⁶⁾	10	10	5	10	10	10	10
PCB-yhdisteet⁷⁾	1	1	1	1	1	1	1
Öljyhiilivedyt C10-C40	500	500	500	500	500	300	500

- 1) Hyödynnettävän asfalttimurskeen ja -rouheen enimmäismäärä maarakentamiskohteessa on 1 000 tonnia
- 2) Tuhkamursketien kerrospaksuus on asetettu täytekerroksen laskennalliselle paksuudelle
- 3) Taulukossa kloridille, sulfaatille ja fluoridille asetettuja raja-arvoja ei sovelleta rakenteeseen, joka täyttää kaikki seuraavat edellytykset: sijaitsee enintään 500 m etäisyydellä merestä, rakenteen läpi suotautuvan veden purkautumissuunta on mereen sekä rakenteen ja meren välillä ei ole talousvedenottoon käytettäviä kaivoja
- 4) Tolueeni, etyylibentseeni ja ksyleeni (summapitoisuus)
- 5) Polyaromaattiset hiilivedyt: antraseeni, asenafteneeni, asenaftyleeni, bentso(a)antraseeni, benots(a)pyreeni, bentso(b)fluoranteeni, bentso(g,h,i)peryleeni, bentso(k)fluoranteeni, dibentso(a,h)antraseeni, fenantreeni, fluoranteeni, fluoreeni, indeno(1,2,3-cd)pyreeni, kryseeni, naftaleeni ja pyreeni (summapitoisuus)
- 6) Fenoli, o-kresoli, m-kresoli ja bisfenoli-A (summapitoisuus)
- 7) Polyklooratut bifenyyliä kongeneerit 28, 52, 101, 118, 138, 153 ja 180 (summapitoisuus)

Asetus koskee kivihiilen, turpeen ja puuperäisen aineksen polton lentotuhkia, pohjatuhkia ja leijupe-tihiekkää.

Asetuksen mukaisia käyttökohteita tuhalla ovat:

- väylät
- kentät
- tuhkamursketiet
- teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteet
- edellä mainittujen kohteiden stabilointiaineena

Tuhkan haitallisten aineiden liukoisuus ja pitoisuus eivät saa ylittää taulukon 7 raja-arvoja. Tuhkaa sisältävän rakennekerroksen etäisyys pohjaveden enimmäiskorkeudesta on vähintään yksi metri ja

maarakentamiskohteen etäisyys vesistöstä tai talousvesikäyttöön tarkoitettusta kaivosta tai lähteestä on vähintään 30 metriä.

Ilmoitusmenettely ja ympäristölupakäytäntö

Ilmoitusmenettely

Vuoden 2018 alusta tuli voimaan valtioneuvoston hyväksymä päivitys asetuksesta eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (MARA-asetus), joka sallii eräiden jätteiden hyötykäytön ilmoitusmenettelyllä silloin, kun jätteet kuuluvat tämän asetuksen piiriin. Ilmoitusmenettelyn piiriin kuuluvat tuhkat ovat syntyneet kivihiilen, turpeen tai puuperäisen aineksen polton seurauksena. Asetuksen piiriin kuuluvien tuhkien tulee täyttää asetuksessa määritellyt kokonaispitoisuus- ja liukoisuusraja-arvot. Liukoisuusraja-arvot ovat erilaiset peitetylle ja päällystetylle rakenteelle. Asetuksessa on määritelty myös, että rakennettavan kohteen tulee olla peitetty tai päällystetty, eikä tuhkarakenteen kokonaispaksuus saa ylittää 1,5 metriä.

Asetus koskee muun muassa yleisiä teitä, katuja, kevyen liikenteen väyliä, urheilukenttiä ja -reittejä, pysäköintialueita ja metsäautoteitä sekä erikseen mainittuja teollisuuden ja liikenteen alueita. Asetusta ei sovelleta pohjavesialueilla. Ilmoitus tehdään hyödyntämispaikan ELY-keskukseen, ja ilmoituksen tekee hyödyntämispaikan haltija tai jätteen tuottaja hyödyntämispaikan haltijan valtuuttamana.

Jos tuhkaa hyödynnetään MARA-asetuksen mukaisesti, toimintaan ei tarvita ympäristölupaa. Hyödyntämispaikan haltijan on tehtävä rekisteröinti-ilmoitus valtion valvontaviranomaiselle eli ELY-keskukselle ympäristönsuojelun tietojärjestelmään rekisteröintiä varten. Rekisteröinti-ilmoitus sisältää seuraavat asiat:

- A. Tuhkan hyödyntämispaikan ja väliaikaiseen varastointiin tarkoitetun paikan haltijan nimi ja yhteystiedot sekä laskutusosoite;
- B. Tiedot tuhkan hyödyntämispaikan sijainnista koordinaatteineen merkittynä asemapiirroksen tai karttaan, johon rakenne on rajattu, sekä sen läheisyydessä sijaitsevista pohjavesialueista ja niiden luokista sekä vedenottoaikoista ja vesistöistä;
- C. Tiedot tuhkan hyödyntämispaikan käyttötarkoituksesta ja maarakentamista koskevasta suunnitelmasta, luvasta tai ilmoituksesta taikka kunnan rakennusjärjestyksestä;
- D. Tuhkan luovuttajan nimi ja yhteystiedot;
- E. Selvitys tuhkan sisältämien haitallisten aineiden liukoisuuksista, pitoisuuksista ja muista ominaisuuksista sekä näiden tietojen tuottamiseen liittyvä laadunhallintaraportti;
- F. Tiedot tuhkan luovuttajan laadunvarmistusjärjestelmästä;
- G. Selvitys tuhkan määrästä;
- H. Selvitys tuhkaa sisältävästä rakenteesta periaatepoikkileikkauksineen, tuhkan teknisestä kelpoisuudesta kohteessa, peittämiseen tai päällystämiseen käytettävästä materiaalista, varastoinnista ja muusta toiminnasta hyödyntämispaikalla sekä näihin liittyvistä tarpeellisista ympäristönsuojelutoimista;
- I. Ajankohta, jolloin hyödyntäminen maarakentamisen aikana alkaa ja päättyy.

Jos rekisteröinti-ilmoitus tehdään hyödyntämispaikan haltijan puolesta, tältä saatu kirjallinen hyväksyntä on liitettävä ilmoitukseen. Jos maarakentamisen toteuttaja ei ole hyödyntämispaikan omistaja, tulee tämän hankkia hyödyntämispaikan omistajalta suostumus tuhkan hyödyntämiseen maarakentamisessa. Jos tuhkan väliaikainen varastointi tapahtuu muualla kuin maarakentamiskohteen välittömässä läheisyydessä, tulee tästä olla tieto rekisteröinti-ilmoituksessa.

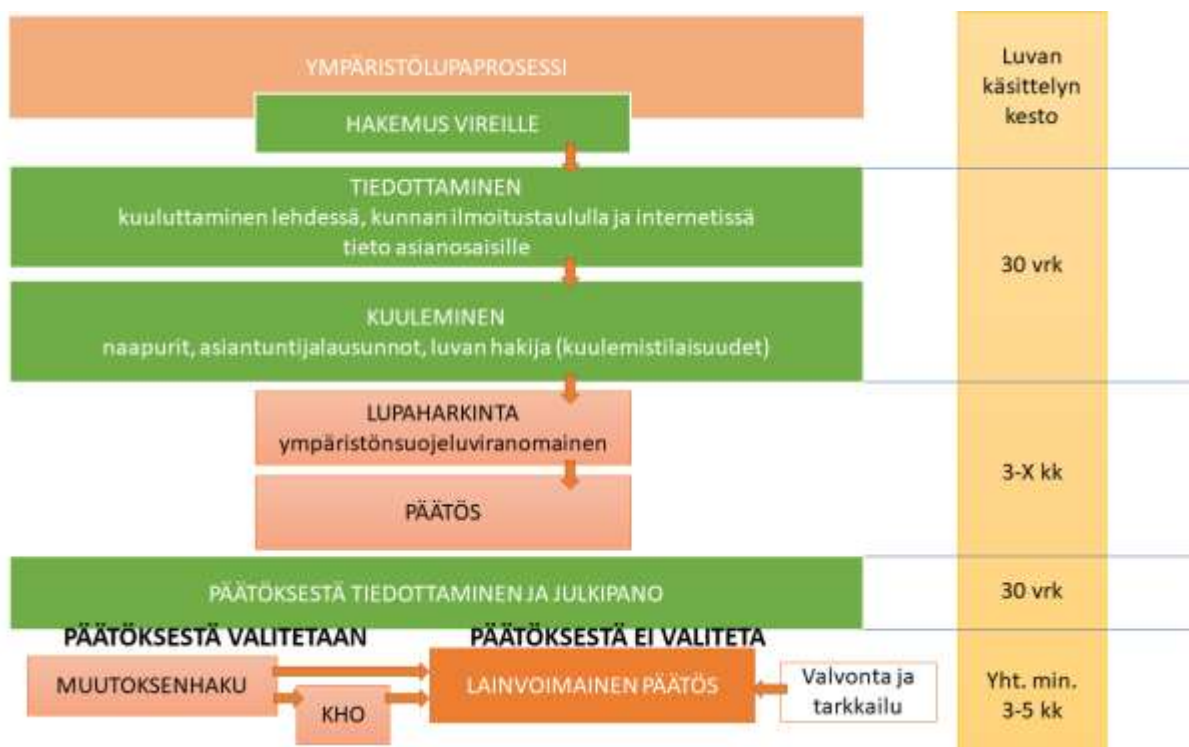
Hyödyntämispaikan haltijan on maarakentamisen päätyttyä annettava selvitys rekisteröinti-ilmoituksen vastaanottaneelle viranomaiselle siitä, miten rekisteröinti-ilmoituksen mukainen jätteiden hyödyntäminen on toteutunut.

MARA-ilmoitusta koskeva sähköinen lomake sekä seikkaperäinen täyttöohje löytyvät Suomen ympäristökeskuksen sivuilta seuraavasta linkistä: https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/YSLn_kertaluonteisen_toiminnan_ilmoitusmenettely/Jatteiden_hyodyntaminen_maarakentamisessa

Ympäristölupakäytäntö

Ympäristönsuojelulla torjutaan ympäristön pilaantumista. Tuhkan hyötykäytön yhteydessä sen keinot ovat ilmoitusmenettely ja ympäristölupa. Näillä tavoilla halutaan tapauskohtaisesti selvittää toimenpiteen mahdolliset ympäristövaikutukset. Säännökset toisaalta suojaavat toiminnanharjoittajaa ja toisaalta antavat kansalaisille mahdollisuuden osallistua toimenpiteen haittavaikutusten arviointiin. Ympäristölupaa ei tarvita, kun tuhkaa hyödynnetään lannoitevalmisteena. Sen sijaan osa maarakennukseen hyödynnettävistä tuhista tarvitsee ympäristöluvan.

Tuhkan hyötykäyttöä säätelee ympäristönsuojelulaki (527/2014). Mikäli käytettävän tuhkan laatu tai käyttökohde ei täytä MARA-asetuksen vaatimuksia, tuhkan käytölle haetaan ympäristönsuojelulain mukainen ympäristölupa. Ympäristölupaa haetaan kunnan ympäristöviranomaiselta, mikäli kohteella hyödynnettävä tuhkamäärä on alle kymmenen tonnia. Mikäli määrä ylittää kymmenen tonnia, lupa haetaan aluehallintoviranomaiselta. Luvan käsittelyaika kunnassa on 3–5 kuukautta, ellei päätöksestä valiteta. Aluehallintoviraston käsittelyaika on yli kymmenen kuukautta.



Kuva 10. Kaaviokuva ympäristölupaprosessista. (Lähde mukaillen: Itä-Suomen yliopisto/oikeustieteet)

Hakija ilmoittaa ympäristölupahakemuksessa, kuinka paljon ja millä tavoin hän hyödyntää tuhkaa kohteessa. Lisäksi hän esittää rakentamisesta mahdollisesti aiheutuvat riskit ympäristölle ja ihmisille sekä tekee esityksen toimenpiteistä haittojen ehkäisemiseksi. Ympäristölupaa koskeva lomake ja siihen liittyvät ohjeisto löytyvät Suomen ympäristökeskuksen sivuilta seuraavasta linkistä:

https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Ymparistolupa/Miten_ymparistolupa_haetaan_ohjeet_ja_lomakkeet

Koeluontoinen lyhytaikainen toiminta ei edellytä ympäristölupaa. Sen sijaan tarvitaan ilmoitus koeluonteisesta toiminnasta. Lomake löytyy Suomen ympäristökeskuksen sivuilta. Ilmoitus tehdään

yleensä asianomaiselle kunnalle, joissakin tapauksissa aluehallintovirastolle. Sen käsittelyaika on vähintään yksi kuukausi.

Ympäristölupa myönnetään, mikäli toiminta

- ei aiheuta terveyshaittaa tai merkittävää muuta ympäristön pilaantumista tai sen vaaraa
- ei ole ympäristönsuojelulain pilaamiskiellon vastaista
- ei aiheuta erityisten luonnonolosuhteiden huonontumista tai vedenhankinnan tai yleiseltä kannalta muun tärkeän käyttömahdollisuuden vaarantumista toiminnan vaikutusalueella
- ei aiheuta kohtuutonta rasiutusta naapureille.

Kuntien ympäristöluvan vaiheet

Lupaviranomainen tutkii asiassa annetut lausunnot ja tehdyt muistutukset sekä luvan myöntämisedellytykset. Lupaviranomaisen on muutoinakin otettava huomioon, mitä yleisen ja yksityisen edun turvaamiseksi on säädetty. Lupaviranomainen pyytää lausuntoja myös asiantuntijoilta, muilta yleistä etua valvovilta viranomaisilta ja vaikutusalueen paikallisilta tahoilta.

Lupa myönnetään, jos toiminta täyttää ympäristönsuojelulain ja jätelain sekä niiden nojalla annettujen asetusten vaatimukset.

Toimijan kannalta ympäristöluvan hakeminen tuo riskejä valituksista. Toisaalta ympäristölupa mahdollistaa ilmoitusmenettelyä laajemman rakentamisvalikoiman ja käytettävien tuhkien laatuvaatimukset määrittää tapaustapauksittain. Tuhkaa voidaan muun muassa sekoittaa murskeeseen ja käyttää tien päällysrakenteena. Käyttökohdetta ei tarvitse peittää tai päällystää, mikä vähentää kustannuksia.

Ympäristölupalomakkeita ja niiden täyttöohjeita on saatavilla kuntien www-sivuilta tai osoitteesta www.ymparisto.fi. Hakemuksessa on oltava tarpeellinen selvitys toiminnasta, toiminnan vaikutuksista, asianosaisista ja muista asiaan vaikuttavista seikoista. Tarvittaessa liitteeksi voidaan laittaa esimerkiksi YVA-lain mukainen arviointiselostus tai luonnonsuojelulain tarkoittama arviointi.

Muu tuhkan käyttöä säätelevä lainsäädäntö

Edellä mainittujen säädösten lisäksi tuhkan käyttöä säätelee jätelaki (1126/2010). Tuhka on hyötykäyttökelpoista jätettä, jota kaatopaikoille viettäessä koskee jätevero. Tällä hetkellä jätteen määrä on 70 euroa per tonni.

Vero kohdistuu vain kaatopaikkakäsittelyyn. Välivarastointialue, maankaatopaikka tai kompostointialue taas eivät ole veronalaisia. Välivarastointialueella saa säilyttää tuhkaa enintään kolme vuotta, jonka jälkeen se on hyödynnettävä muualla. Kolmen vuoden jälkeen alueen kaikista jätteistä tulee veronalaista jätettä. Jäte, jota hyödynnetään kaatopaikalla, on verotonta. Veronalaisesta jätteestä on neljännesvuosittain tehtävä veroilmoitus tullille. Lisäksi tehdään erillinen ilmoitus niistä jätteistä, jotka eivät ole veronalaisia.

Materiaaliketju

Talteenotto

Tuhkan saatavuus tulee varmistaa jo hyvissä ajoin, kun tuhkaa suunnitellaan käytettävän tienrakentamisessa. Voimalaitoksissa muodostuu tuhkaa yleensä talviaikana enemmän kuin kesäaikana, johon tienrakentaminen keskittyy. Tienrakentamisen kannalta on tärkeää saada sopivan laatuista tuhkaa ja riittävä määrä. Tämän vuoksi varastointi on useimmiten välttämätön vaihe tuhkan logistisessa ketjussa.

Varastointi ja käsittely

Tuhkaa voidaan varastoida kuivana tai kostutettuna. Kuivavarastointi voidaan toteuttaa suljetuissa varastohalleissa tai siiloissa. Kun tuhkaa tarvitaan suuria määriä kuten tierakentamisessa, varastoidaan se kosteana aumoissa tai läjittämällä suuriin kasoihin. Tuhkan laatu (lentotuhka vai pohjatuhka) vaikuttaa tuhkan varastointitapaan ja tuhkan käyttäytymiseen. Tuhkan varastointiin voi tutustua tarkemmin Rambollin Tuhkarakentamisen käsikirjassa.

Tuhkaa käsitellään sekoitettuna murskeeseen tai pelkkänä tuhkana. Mikäli paikkakunnalta on saatavilla, tuhkamurskeseos kannattaa hankkia valmiiksi sekoitettuna. Tällöin tuhkamurskeen toimittaja vastaa tuhkan käsittelyn ja sekoittamisen järjestelystä ja siitä, että materiaali on sitä mitä on tilattu. Tuhka on tällöin mahdollista sekoittaa jo murskausprosessissa.

Mikäli tuhka sekoitetaan itse, tulee sille varata riittävän suuret varastointitilat sekä huolehtia ettei tuhka pölyä haittaavasti. Ellei käytössä ole seulakauhaa tai muuta sekoituslaitetta, tuhka ja murske saadaan sekoitetuksi riittävällä tarkkuudella levittämällä kuormainvaa'alla varustetulla pyöräkuormaajan kauhalla kerroksittain tuhkaa ja mursketta. Tämän jälkeen seos siirretään kuormaajan kauhalla toiseen kasaan, jolloin aineet sekoittuvat riittävästi. Menetelmä kuulostaa monimutkaiselta, mutta on tehokas ja nopea. Sekoittamalla tuhka ja murske omalla varastolla, voidaan tehdä tarvittava määrä päällysrakennemateriaalilla kerralla, jolloin ei tarvita suuria varastointitiloja.

Kuljetus

Tuhkaa kaukokuljetettaessa tulisi hyödyntää riittävän kokoista kalustoa, esimerkiksi lämpölaitoksille menevien turpeen ja hakkeen paluukuljetuksia. Tällaisissa ajoneuvoyhdistelmissä on usein ketjupurkaimia, jotka soveltuvat tuhkan kuljettamiseen.

Kuljettamisessa voidaan käyttää joko traktoria tai kuorma-autoa. Tuhka ja tuhkamurske ovat mursketta kevyempiä, joten tila saadaan täysin käyttöön, ja kantavuusongelmia on vähemmän kuin puh-
taiden maa-ainesten kanssa. Kasetin käyttö on kannattavaa tuhkamurskeen kuljetuksessa yli 10 km matkalla.

Työmenetelmät ja toteutus

Levittäminen

Metsätierakenteissa tuhkaa voidaan käyttää sellaisenaan tiivistettynä 30–50 cm kerroksena 10 cm pintamurskekerroksen alla. Toinen käyttötapa on sekoittaa noin 20–30 p- % lentotuhkaa pintamateriaalina käytettävän kallio- tai soramurskeen sekaan ja levittää seosta 10–20 cm kerros metsätien pintarakenteeksi. Tulee huomioida, että tuhkamurskeseoksen tuhkapitoisuuden ylittäessä 30 p-%, se alkaa holvaantua lavalle, jolloin se tyhjenee huonosti ja voi pahimmassa tapauksessa kaataa kippaavan tai mursketta tasaiseksi kerrokseksi ajavan auton. Kasetista tuhkamurskeen levitys vaatii kuljettajalta erityistä osaamista. Pelkän tuhkan levitys on syytä tehdä nuppiautolla tai traktorilla.

Tuhka tai tuhkamurskeseos tulee saada leviämään tasaisesti. Tasaamiseen ja osittain myös tiivistämiseen soveltuu hyvin kuorma-auton alusterä. Jos tällaista ei ole käytettävissä, voidaan rakenne muotoilla lanalla tai tiehöylällä. Tiivistäminen onnistuu riittävän hyvin päällysrakenteen ajon aikana ajamalla levityskalustolla eri raiteissa. Tämä onnistuu sitä paremmin, mitä leveämpi tie on. Kapealla tiellä keskikohta tiivistyy huonosti, jolloin voidaan käyttää tiejyrää. Pelkän tuhkan tiivistämiseen voi käyttää myös kaivinkoneen teloja.

Kunnossapito

Tien rungon kuivana pito on tärkeämpää tuhkamurskeseoksen ja pelkän tuhkarakenteen kunnossapidossa kuin perinteisessä päällysrakenteessa. Tuhkamurskeseos menettää päällysrakenteena kantavuutensa, jos se on liian kosteaa. Ojien ja rumpujen kuntoon on siksi kiinnitettävä erityistä huomiota. Tuhkamurskeseos voi olla sateella liukas, jos tuhkapitoisuus on 30 % tai suurempi.

Hyvin iskostunut tuhkamurskeseos päällysrakenne on helppohoitoinen ja on oletettavaa, että sen lanaamiseen tai höyläämiseen ei ole niin suurta tarvetta kuin puhtailla kiviainespäällysrakenteilla.

Massiivituhkarakenteen päällä olevaa murskekerrosta on lanattava ja muotoiltava säännöllisesti ja ajettava tarvittaessa uutta kulutus pintaa, ettei tuhkerakkerros pääse paljastumaan.

Laadunvarmistus

Maarakennuksessa käytettävä tuhka on aina analysoitava ja varmistettava, että sen haitta-aineet eivät ylitä sallittuja rajoja. Tuhkan tulee antaa seistä tuulelta suojatussa varastossa, jotta se ehtii vetää kosteutta ja on siten helpommin käsiteltävää varsinkin puhtaana tuhkerakkerroksena.

Myös käytettävän kalliomurskeen tutkiminen on tärkeää oikean sekoitussuhteen saamiseksi. Tulos voi olla, että murskeesta ei puutu hienompia jakeita, jolloin tuhkan lisäystä ei välttämättä tarvita. Tuhkaa voidaan tällöinkin käyttää kovan iskostuneen pinnan saamiseksi. Vaikka lentotuhkat sisältävät pääsääntöisesti hienoimpia jakeita, tuhkastakin kannattaa ottaa rakeisuuskäyrät, koska myös tuhkan koostumuksella on vaikutusta seos materiaalien asettumiselle rakeisuuskäyrille. Tuhkan analysointi on siten yhtä tärkeää kuin murskeen tutkiminen etukäteen.

Kustannukset ja hyödyt

Kustannukset

Kustannukset voidaan jakaa materiaalin varastointiin, käsittelyyn, kuljettamiseen sekä rakentamisen kustannuksiin.

Tuhkan käyttö tienrakentamisessa on rakentamistyön osalta kustannuksiltaan käytännössä vastaavanlainen kuin tavanomaisilla menetelmillä toteutettava tienrakentaminen. Säästöjä muodostuu kuitenkin useimmiten vastaaville vaatimuksille suunniteltujen rakenteiden ja alhaisemman materiaalikulun myötä, kun kiviaines korvataan tuhalla. Tuhkarakentamisella voidaan tietyissä tapauksissa saavuttaa selviä kustannussäästöjä.

ELY-keskukselle tehtävä MARA-ilmoitus on melko edullinen. Tällä hetkellä ilmoitus maksaa maanomistajalle 280 euroa. Ympäristölupa sen sijaan saattaa maksaa tuhansia euroja. Ympäristöluvalla tehdyssä hankkeessa tarkkailuvelvoite lisää kustannuksia.

Hyödyt

Massiivinen tuhkakerros eli tuhkapatja lisää Luken ja Tapion/UPM:n mittausten mukaan metsätien kantavuutta ja toimii routaeristeenä. Tuhkalla on saatu erittäin hyviä kantavuustuloksia koemittakavassa. Tuhkakerros sopii keveytensä takia hyvin käytettäväksi myös pehmeikköjen ylityksessä, jos veden nousu tuhkarakenteeseen on estetty. Kantavalla kivennäismaalla tuhkakerros toimii jakavana kerroksena.

Tuhkarakentamisen avulla voidaan saavuttaa ekologisempia ratkaisuja.

Tuhkan hyödyntämisketjut

Liiketoiminnan reunaehdot

Lainsäädäntö, käytettävyyden ja hyötykäytön kannattavuus asettavat erilaisia reunaehtoja tuhkan käytölle. Tuhkan käytöllä on liiketoimintamahdollisuuksia, kun kaikki nämä kolme reunaehto täyttyvät. Tuhkan laatu määrittelee käyttökohteet. Laatuun vaikuttavat polttoaineen laatu, polttoprosessi sekä erottelumenetelmät.

Lainsäädäntö määrää ensikädessä sen, mitä materiaalilla saadaan tehdä. Lainsäädäntö määrää esimerkiksi materiaalin luokituksen, ympäristökelpoisuuden raja-arvot ja käytön ympäristöluvanvaraisuuden. Jos lainsäädännöllisestä näkökulmasta tuhkan käyttö on mahdollista, täytyy sen olla vielä käytettävissä. Käyttöön vaikuttavat muun muassa tuhkan ominaisuudet ja saatavuus. Hyödyntämisketjuja voivat olla lannoitekäyttö tai maarakennuskäyttö.

Tuhkan hyötykäytön kokonaisuutta pitää tarkastella myös kannattavuuden näkökulmasta. Kannattavuuteen vaikuttavat lainsäädännölliset vaatimukset sekä myös käytettävyyteen liittyvät asiat. Kannattavuuteen vaikuttaa esimerkiksi tuhkan käyttökohde, syntypaikka, määrä sekä kuljetus- ja käsittelykustannukset. Liiketoimintamahdollisuuksien tunnistamisessa arvioidaan erityisesti taloudellista kannattavuutta, mutta myös ympäristönäkökohdat ja hiilijalanjälki voivat olla erittäin kannattavuuden kriteerejä. Tuhkan tuottaja voi arvioida toimintamallinsa kustannuksia oheisesta linkistä ladattavalla laskurilla: <https://drive.google.com/file/d/1HVcKFO2hmArKNtgKwQiqgAIJpIHC-2dT/view?usp=sharing>.

Taulukko 8. Hyötykäytön kannattavuuteen vaikuttavat asiat.

Kustannukset	Tuotot
Jätteen tai sivutuotteen hinta	Ei kaatopaikkaveroa
Tutkimukset	Muiden aineiden korvaus
Käsittely	Jätteestä tai sivutuotteesta saatava tulo
Luvitus	Imagokysymykset ja välilliset vaikutukset
Kuljetus ja varastointi	
Työkustannukset	
Käytön jälkeiset kustannukset	

Liiketoimintaverkoston muodostuminen

Erilaiset roolit liiketoimintaverkostossa

Keskeisiä rooleja liiketoimintaverkostossa ovat tuhkan jalostus, myynti ja markkinointi sekä verkostonhallinta ja toimitusketjun kokonaisoptimointi. Tuhkan myynnistä ja markkinoinnista loppukäyttäjälle voi kuitenkin vastata eri toimija, tai useampi kumppani. Tuhkan tuottajan näkökulmasta osassa ratkaisuista on vähemmän erilaisia tapoja muodostaa liiketoimintaverkosto. Esimerkiksi luovutettaessa tuhkaa lannoitevalmistajalle, lannoitevalmistaja jalostaa tuhkan, huolehtii myynnistä ja markkinoinnista ja verkostonhallinnasta. Lisäksi sillä voi olla omat alihankkijansa esimerkiksi kuljetukseen tai tuhkan levitykseen. Suomen metsäkeskuksen yritysneuvojat palvelevat yrittäjiä liiketoimintasuunnitelmien teossa sekä neuvonnassa.

Hinnoitteluun vaikuttavia asioita

Tuhkan käyttämisen kustannukset koostuvat varastointi-, käsittely-, kuljetus- ja rakentamisen kustannuksista. Tuhkan tuottaja hyötyy tuhkan tuotteistamisesta vähintään säästyneiden kaatopaikkakustannuksien määrällä. Tuhkan käytön kannattavuuteen ja hinnoitteluun vaikuttavat myös vaihtoehtoisten materiaalien hinta, saatavuus ja lopputuotteen laatu.

Tuhkan hyötyjen esilletuominen markkinoinnissa

Markkinoinnissa tulee korostaa erityisesti tuhkan vaikutuksia puuston kasvuun, tuhkan metsätien laatua parantaviin ominaisuuksiin, käytön hyötyihin ja hintaan. Tuhkan käytön vähäisten ympäristövaikutusten korostaminen on markkinoinnissa tärkeitä, jotta kielteisiltä ennakkoluuloilta voidaan välttyä.

Markkinoinnissa kohderyhminä ovat pääasiallisesti loppukäyttäjät eli metsänomistajat ja tiekunnat. Markkinointi kannattaa tehdä yhteistyössä toimijoiden kanssa.

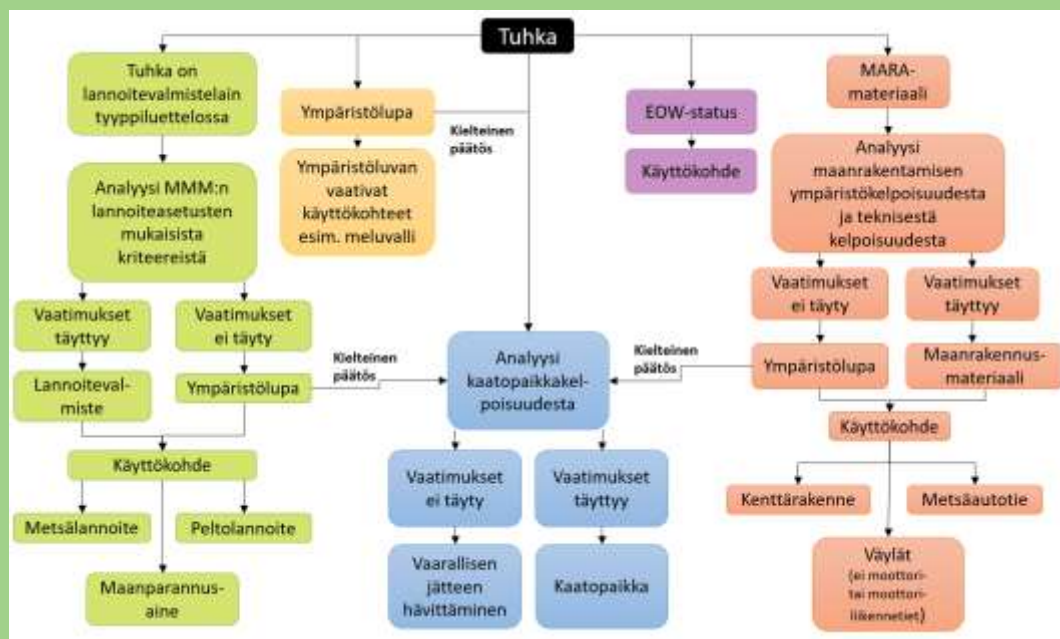
Tuhkan ohjautuminen hyötykäyttöön

Seuraavassa vuokaaviossa on esiteltynä se, miten materiaalin kohdalla voidaan edetä, jotta sille löydetään sopiva hyödyntämismenetelmä maarakennusmateriaalina tai lannoitevalmisteena. Jos tuotteelle ei löydy edellä esitettyjä hyötykäyttötarkoituksia, voidaan tuote tietynlaisin edellytyksin sijoittaa kaatopaikalle tai sille voidaan etsiä myös muita käyttötarkoituksia.

Materiaalin ominaisuudet selvitetään tarkemmin. Ominaisuuksien selvittäminen on tärkeää, koska yleensä tässä vaiheessa voidaan jo tunnistaa mahdollinen potentiaali tai toisaalta materiaali voidaan hylätä eikä muita vaiheita kannata selvittää. Potentiaalisen materiaalin tuntomerkkejä ovat esimerkiksi, suuri määrä, vähäinen haitta-ainepitoisuus sekä kohtuulliset tekniset ominaisuudet. Kun materiaalin ominaisuudet on selvitetty, täytyy tunnistaa erilaiset mahdolliset hyödyntämisvaihtoehdot, joita voi olla useita.

Tuhkan hyödyntämiskohteita

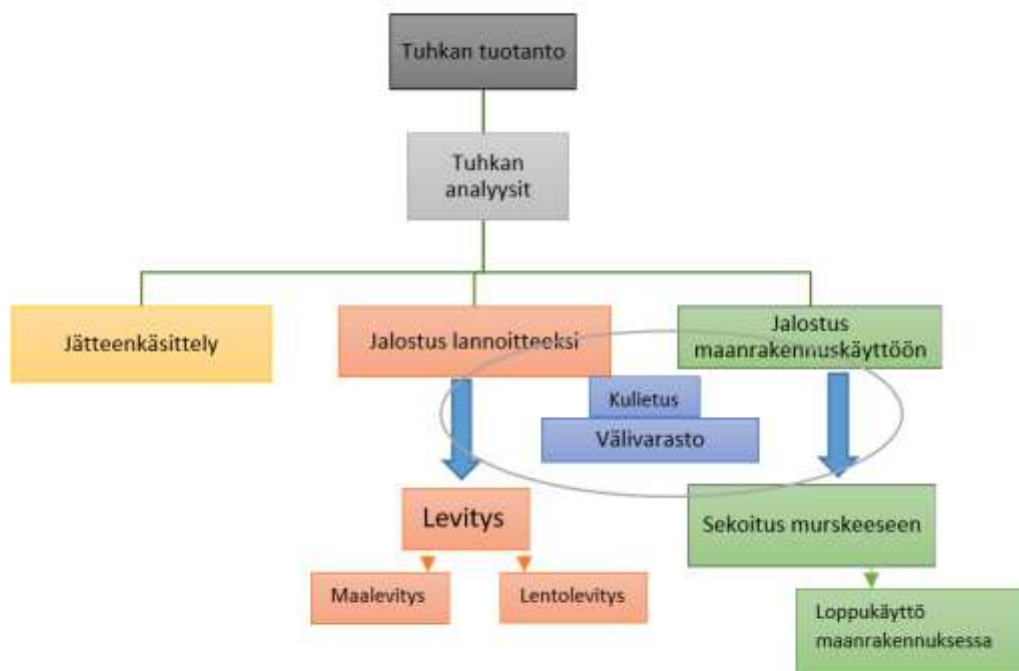
Tuhkan hyödyntämiskohteita maarakennusmateriaaliksi tai lannoitevalmisteiksi on kuvattu seuraavalla kuvalla. Käytettäessä tuhkaa maarakennusmateriaalina, voi käyttökohteita olla päällysrakenteet, penkereet ja meluvallit. Lannoitevalmisteena tuhkaa voidaan käyttää kasvualustoissa, lannoitteena ja kalkitusaineena. Käyttökohteen valintaan vaikuttavat tuhkan laatu ja ominaisuudet.



Kuva 11. Tuhkan hyödyntämiskohteet jakeittain.

Lannoite- ja maanrakennuskäytön yhteistyöverkostot

Tuhkan hyötykäytön vaihtoehtoisia toimitusketjuja on havainnollistettu kuvassa 12. Keskeisiä toimijoita ketjussa ovat jätteenkäsittely-yritykset, lannoitejalostajat ja lannoituspalveluyritykset ja maanrakennuskäytön toimijat.



Kuva 12. Tuhkan hyödyntämisen toimitusketjut.

Tuhkan jätteenkäsittely

Lähtökohtaisesti ketjussa tarvitaan aina jätteenkäsittely vaihtoehtoisena polkuna tuhkalta. Tuhkan laadun ja hyötykäyttökohteiden saatavuuden vaihdellessa osa tuhkasta joudutaan läjittämään kaatopaikalle. Lisäksi kaatopaikkakelpoisuusrajat ylittäviä tuhkia joudutaan käsittelemään ennen kaatopaikkaläjitystä. Koko Suomessa toimivia jätteenkäsittely-yrityksiä ovat esimerkiksi Fortum (entinen Ekokem), Suomen Erityisjäte ja L&T.

Tuhkalannoitejalostajat ja laitetoimittajat

Tuhkan lannoitusikäyön ketjun keskeiset toiminnot ovat jalostus, tuotteen markkinointi ja myynti metsänomistajalle, sekä kuljetus ja levitys metsään. Voimalaitoksilla voi olla erilaisia sopimuksia tuhkan hyödyntämisen toteuttamisesta. Loppukäyttäjä eli asiakas on metsänomistaja. Lisäksi toimitusketjuun voi liittyä erillinen laitetoimittaja, joka toimittaa tuhkan käsittelylaitteiston. Tuhkaa lannoitusikäyttöön jalostavia yrityksiä Suomessa ovat ainakin Ecolan Oy ja Rakeistus Oy ja tuhkan käsittelyyn soveltuvia laitteistoja Suomessa toimittavat Rakeistus Oy ja Tecwill Granulators Oy.

Tuhkalannoituspalvelujen välitys ja toteutus

Tuhkalannoitusta metsänomistajille myyvät ja lannoituspalveluita toteuttavat esimerkiksi metsänhoitoyhdistykset, metsäpalveluyritykset ja suurten metsäteollisuuskonsernien metsäosastot. Lannoituspalveluita välittäviä ja toteuttavia toimijoita ovat Ecolan Oy, ForestVital Oy, Metsänhoitoyhdistykset, Stora Enso Metsä, UPM Metsä ja Metsä Group sekä useat pienemmät metsäpalveluyritykset.

Maarakennuskäytön toimijat

Maarakennuskäytön toimitusketjussa toiminnot ovat mahdollinen käsittely tai jalostus, kuljetus käyttökohteeseen ja rakentaminen. Monet yritykset Suomessa ovat toteuttaneet tuhkarakentamista. Esimerkkejä tällaisista yrityksistä ovat YIT, L&T ja Lemminkäinen. Lisäksi tuhkatietä ovat rakennuttaneet monet metsäpuolen organisaatiot.

Logistiikka

Tuhkan käytön kannattavuuteen vaikuttaa erityisesti varastointipaikkojen sijainti ja kuljetusmatkojen pituus.

Varastointi

Tuhka voidaan varastoida esimerkiksi voimalaitoksen alueella, välivarastointialueella, murskeasemalla/maa-ainesasemalla, työmaa-alueella tai mahdollisesti kaatopaikalla. Varastointipaikan valintaan vaikuttavat voimalaitosten sijainti ja varastointikapasiteetti, kuljetusmatkat, kaatopaikkamaksut sekä tuhkan kysyntä. Varastoinnin luvantarve on selvitettävä

Tuhkan varastoinnilla voidaan tasata kysynnän ja tarjonnan eriaikaisuutta ja optimoida kuljetuskustannuksia. Myös varastoinnissa on tärkeää tuhkan laadun varmistaminen sekä tuhkan vesipitoisuuden seuranta.

Tuhkan ja murskeen sekoittaminen

Tien perusparannuksessa tuhkaa voidaan käyttää massiivirakenteena tai murskeen ja tuhkan seoksena. Tuhka voidaan sekoittaa murskeeseen esimerkiksi murskeasemalla. Sekoituspaiikka kannattaa optimoida kuljetusten ja käyttöpaikan mukaan.

Rakennusurakoitsijat

Rakennusurakoitsijoiden on tiedettävä tuhkan hyötykäytön mahdollisuuksista. Tuhkan käyttö on otettava huomioon työtapaohjeistuksissa, asiakirjoissa ja metsätienormeissa.

Esimerkki alueellisesta toimijaverkostosta

Verkosto koostuu toimijasta tai yrittäjästä, joka palvelee hajautetun, pienen mittakaavan energiantuotantolaitoksia, jotka ovat sijoittuneet lähelle toisiaan. Metsänhoito-organisaatio osallistuu symbioosiin tuottaen oleellista tietoa tuhkan lannoitus- tai maarakennuskäytön mahdollisuuksista metsänomistajille.

Tässä liiketoimintamallissa metsäurakoitsija toimittaa puuta polttoaineeksi. Toimija tuottaa palveluita koko ekosysteemille. Palveluita ovat: 1) energian tuotannossa syntyvän tuhkan rakeistaminen joko siirrettävällä rakeistamolla (irtotuhkalle) tai murskaimella (itsekovetetulle tuhkalle), 2) toimija tarjoaa tuhkatuotteille varastointitilaa (suursäkit tai siilo), 3) valmistelee tarvittavat tuotemerkinnät, 4) kaupallistaa rakeistetun materiaalin, 5) tekee tuhkan lannoitelevityksiin, joka voidaan toteuttaa samanaikaisesti metsän hakkuun tai energiapuun korjuun yhteydessä ja 6) tekee maarakennusurakointia, jossa tuhkaa käytetään raaka-aineena.



Kuva 13. Alueellinen malli tuhkaliiketoiminnasta. (Lähde: Matilainen, M. 2017)

Yritysryhmien kokoaminen tuhkan hyödyntämisessä

Case Saarijärven tuhkaekosysteemi yritysryhmähanke

Puutuhkan hyötykäytön ekosysteemikiihdyttämöt "PUTKI" -hankkeessa selvitettiin puu- ja turvetuhkan alueellista hyödyntämiskäytösä sekä uuden liiketoiminnan edellytysten käynnistämistä Saarijärvelle. Hankkeen tuloksena syntyi Saarijärven tuhkaekosysteemin yritysryhmähankkeen runko.

Kartoituksen mukaan alueella oli runsaasti pieniä ja keskisuuria lämpölaitoksia, joiden puun- ja turpeenpoltosta syntyy tuhkaa. Näiden pienten lämpölaitosten tuhkan hyötykäyttö oli satunnaista tai vähäistä. Alueella oli lannoitettavia metsiä, metsäautoteitä ja turvetuotannosta poistuvia alueita, joten mahdollisuuksia tehostaa tuhkan alueellista hyötykäyttöä oli.

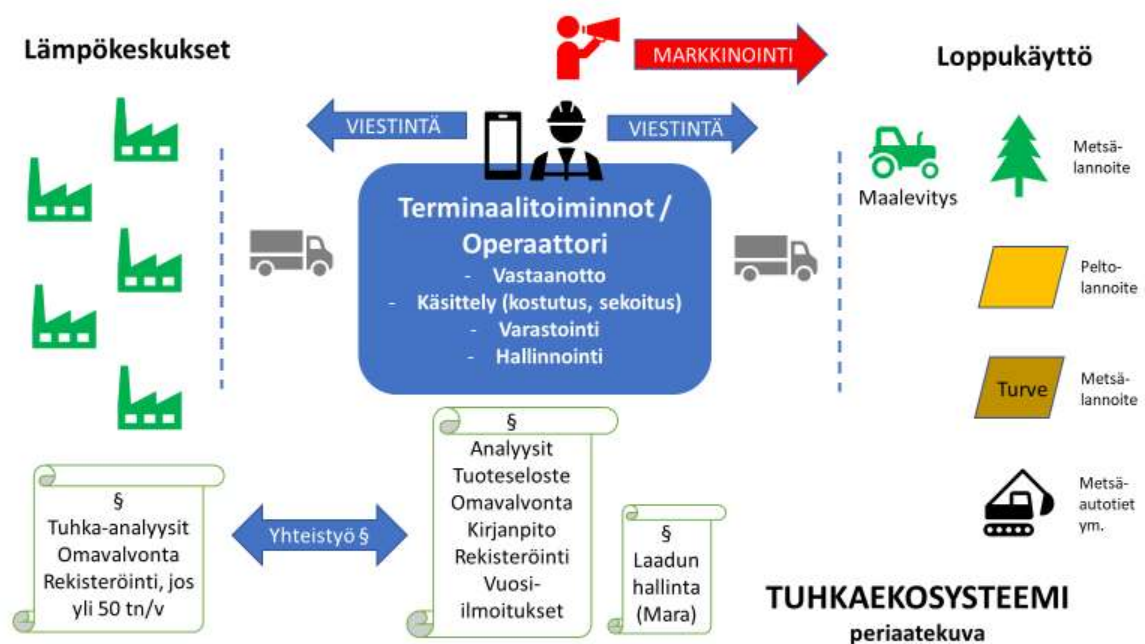
Alueella tavoitettiin eri toimijat, joita tarvitaan tuhkaekosysteemin rakentamiseen; tuhkan tuottajat, kuljetusyrittäjät, tuhkan käsittelijä/terminaalitoimija, tuhkan levittäjä ja metsäsuunnittelija. Toimijat

haastateltiin, järjestettiin infotilaisuuksia ja tapaamisia ja selvitettiin eri toimijoiden tuhkan hyödyntämiseen liittyvät tekijät ja haasteet.

Alueellisia kehittämiskohteita tuhkan hyödyntämisessä ilmeni:

- Tuhkalannoitteen levitysajankohdan suunnittelu ja ennakointi edellyttävät metsäsuunnittelijoilta osaamista.
- Ajantasainen tuhkan saatavuustieto on edellytys kannattavalle liiketoiminnalle.
- Tuhkien analysointi ja muiden lainsäädännön velvoitteiden hoitaminen vaativat tuhkan tuotajalta paneutumista.
- Tuhkan varastointi ja käsittely keskitetysti vaativat tuhkaterminalin.
- Tarvitaan selvitys tuhkan keräykseen ja käsittelyyn liittyvän välineistön tarpeesta, saatavuudesta ja kustannuksista.
- Tarvitaan koordinaattori, joka voi olla alueellinen veturiyritys tai joku muu yhteyshenkilö.
- Logistiikan tulee olla kustannustehokasta.
- Tarvitaan sopimukset tuhkan loppukäyttäjien ja urakoitsijoiden välillä.

Hajallaan sijaitsevien pienten ja keskisuurten lämpölaitosten tuhkien hyödyntäminen edellyttää kustannustehokasta kuljetuslogistiikkaa. Yhteinen terminaalialue tehostaa tuhkien kokoamisen, käsittelyn ja varastoinnin hallinnointia. Terminaali tarvitsee operaattorin, joka koordinoi tuhkaekosysteemin toimintaa ja toimii yhteyshenkilönä eri osapuolten välillä.



Kuva 14. Tuhkan hyötykäytön järjestäminen edellyttää lainsäädännön velvoitteiden tuntemista, yhteistyötä ja sitoutumista eri toimijoiden välillä. (Lähde: Valkonen, M. 2019.)

Yritysryhmähankkeen toteutusvaihtoehtoksi esitettiin toimenpiteet toteutettavaksi koordinoijan eli kaupungin yritysneuvonnan ja/tai paikallisen korkeakoulun tai konsultin kanssa:

Yhteiset toimenpiteet:

- Liiketoimintasuunnitelman laatiminen osuuskunnalle / yhteisyritykselle
- Viestintäsuunnitelma yhteistyössä metsänhoitoyhdistyksen ja metsäkeskuksen kanssa

Yrityskohtaiset toimenpiteet:

- Kuljetusyrittäjä: Kustannuslaskenta kannattavan kuljetustoiminnan järjestämiseksi
- Tuhkalannoitteen levittäjä: Mahdolliset kalustoinvestoinnit – rahoituksen hakeminen

Muut toimenpiteet:

- Raaka-ainepohjan varmistaminen
- Terminaalitoimintojen määrittely ja kuvaus: Tuhkan vastaanotto, käsittely, varastointi ja hallinnointi lannoitealan toimijan velvoitteiden mukaisen toiminnan varmistamiseksi.
- Kuljetuslogistiikan suunnittelu
- Tuhkanlannoitteiden levityksen kehittäminen
- Lopputuotteiden markkinaselvitykset
- Sopimusten valmistelu

Tietoa ja apua liiketoiminnan suunnitteluun

Liiketoiminnan kehittäminen

Tuhkan hyötykäytön yritysideoita arviointiin tai liiketoimintasuunnitelman laatimiseen saa apua esimerkiksi Suomen metsäkeskukselta. Liiketoiminnan suunnittelussa ja kehittämisessä on erityisen tärkeää löytää juuri oikeat kumppanit, joiden kanssa yhteistyö toimii. Metsäkeskuksen yritysneuvojat tapaavat päivittäin metsäalan yrityksiä laidasta laitaan, joten heillä on hyvät edellytykset yhteistyön rakentamiselle yritysten tarpeista. Metsäkeskuksesta löytyy myös apua henkilöstön koulutus- ja rekrytointitarpeisiin. www.metsakeskus.fi/palvelut-yrityksille

Aineksia viestintään

Tälle sivulle on koottu tietoa, jota voi hyödyntää tuhkan hyötykäyttöön liittyvässä markkinoinnissa ja viestinnässä. Koonti sisältää yleistieto-osuuden, tietolaatikat tuhkan käytön hyödyistä sekä "Usein kysytyt kysymykset" -osan. Tekstejä voi käyttää sellaisenaan tai muokata niitä omiin tarpeisiin sopivaksi.

Tuhka tiivistetysti

Suomessa on arvioitu syntyvän noin 1.5 miljoonaa tonnia tuhkaa vuodessa. Tästä noin 600 000 tonnia on metsä- ja energiateollisuudessa syntyvää puu- ja turvetuhkaa. Erityisesti puupohjainen tuhka on ravinnerikasta ja hyödynnettävissä lannoitteena. Tuhka sopii ominaisuuksiltaan käytettäväksi myös erilaisissa maarakentamiskohteissa. Vuosittain Suomessa käytetään noin 100 miljoonaa tonnia kiviaineksia, joista osa voitaisiin korvata tuhkillä.

Puhuttaessa tuhkasta yleistasolla puhutaan todellisuudessa joukosta erilaatuisia tuhkia. Tuhkan laatuun vaikuttavat merkittävästi minkä raaka-aineen polton tuloksena tuhka on syntynyt, mistä polttokattilan osasta tuhka on kerätty, eli onko se lento- vai pohjatuhkaa, sekä itse polttoprosessi.

Lannoitevalmisteena tuhkaa voidaan käyttää kasvualustoissa, lannoitteena ja kalkitusaineena. Käytettäessä tuhkaa maarakennusmateriaalina, voi käyttökohteita olla päällysrakenteet, penkereet ja meluvallit. Tuhkaa hyödynnetään myös sementin valmistuksessa sekä betonin tuotannossa. Käyttökohteen valintaan vaikuttaa tuhkan laatu ja ominaisuudet.

Tuhkaa syntyy hajautetusti eri puolella maata. Kun käytetään lähellä syntynyttä tuhkaa, pystytään vähentämään kuljetuksen ympäristövaikutuksia. Lähituhkan hyödyntäminen on kannattavaa myös kuljetuksesta syntyvien kustannusten takia. On arvioitu, että tuhkan kuljettaminen on taloudellisesti kannattavaa enintään 100 kilometrin päästä.

Vastuullinen liiketoiminta ja siihen nivoutuva kiertotalousajattelu on yrityksille keino varautua raaka-aineisiin ja ympäristönormeihin liittyviin tulevaisuuden riskeihin. Tuhkien hyötykäyttö ja sen kehittäminen keino osallistua ekologisen kestävyuden turvaamiseen sekä löytää uusia liiketoimintamahdollisuuksia.



Tuhka lannoituskäytössä

- Tuhka parantaa puuston kasvua ja hiilensidontakykyä
- Tuhkalannoituksessa metsän luonnolliset ravinteet kiertävät takaisin metsään
- Tuhka pitää yllä ravinnetasapainoa ja parantaa maaperän mikrobiston elinolosuhteita
- Tuhkalannoitteen vaikutus on pitkäikäinen – jopa 50 vuotta
- Tuhkalannoituksesta ei ole haitallista vaikutuksia sieniin ja marjoihin
- Puutuhkalla korvataan synteettisten lannoitteiden käyttöä ja se soveltuu myös luomusertifioituneen metsän lannoitteeksi
- Tuhkalannoitus sopii erityisesti turve- ja kivennäismaiden lannoitukseen
- Tuhkalannoitusta varten on mahdollista saada Kemera-tukea

Tuhka maa- ja tierakentamisessa

- Tuhkan hyötykäyttö on osa kiertotaloutta
- Tuhkan käyttö maarakentamisessa ja teiden pohjissa vähentää neitseellisten kivi- ja maa-aineiden tarvetta eikä tuhkaa tarvitse loppusijoittaa kaatopaikalle
- Tuhka tekee tiepohjista kestäviä ja vakaita ja parantaa teiden kantavuusominaisuuksia
- Seurantakohteissa ei ole todettu haitallisia ympäristövaikutuksia
- Uudistunut Maanrakennusasetuksen ilmoitusmenettely helpottaa tuhkan hyötykäyttöä metsäteiden rakentamisessa

Usein kysytyt kysymykset

Onko tuhkan lannoituskäytöllä haittavaikutuksia?

Oikealaatuisen tuhkan käytöllä ei ole haittavaikutuksia. Esimerkiksi lannoitekäyttöön tarkoitetusta tuhkasta tulee teettää analyysi sen soveltuvuuden varmistamiseksi. Ympäristölainsäädännössä ja siihen liittyvissä asetuksissa sekä lannoitelainsäädännössä määritellään tuhkan haitta-aineiden pitoisuuksille raja-arvot. Tuhkan luovuttamista lannoituskäyttöön valvotaan omavalvontajärjestelmän avulla, josta raportoidaan Ruokavirastolle.

Liukeneeko tuhkasta haitallisia aineita luontoon?

Tutkimusten perusteella raskasmetallien liukeneminen tuhkasta on vähäistä. Haitalliset raskasmetallit, kuten kadmium ja lyijy, ovat tuhkan korkean pH:n vuoksi erittäin hidasliukoissa muodossa. Useammassa tutkimuksessa on osoitettu, että myös fosforin huuhtoutuminen vesistöihin tuhkalannoituiltuista alueista on ollut hyvin vähäistä, sillä fosfori pidättyy nopeasti maaperän sisältämiin rauta- ja alumiiniyhdisteisiin. Myöskään talvilevitys ei lisää merkittävästi vesistöille haitallisen fosforin huuhtoutumia.

Mitä vaikutuksia tuhkalannoituksella on metsässä?

Puutuhka sisältää kaikkia niitä ravinteita, joita puut ja muu kasvillisuus tarvitsevat kasvaakseen, lukuun ottamatta typpeä. Tuhkan aiheuttamat muutokset maaperässä ovat hyvin pitkäaikaisia: tuhkalannoitus lisää metsän kasvua vielä 40–60 vuotta lannoituksen jälkeen. Toisaalta puutuhka voi vaikuttaa puuston ravinnetilaan nopeastikin – jo lannoitusta seuraavana vuonna.

Tuhkalannoituksella voidaan lisätä puuntuotantoa erityisesti turvemaametsissä, joissa on runsaasti typpeä, mutta niukasti puustolle käyttökelpoisessa muodossa olevaa fosforia ja kaliumia. Puutuhka sisältää aina rautaa, joka sitoo tuhkan sisältämän fosforin tiukasti itseensä ja luovuttaa sen hitaasti kasvillisuuden käyttöön.

Mitkä ovat tuhkalannoituksen taloudelliset hyödyt?

Tuhkalannoitus tuo parhaimmillaan seuraavassa hakkuussa 20–30 vuoden kuluttua lisätuloja nykyhinnoilla laskettuna yli 1 000 euroa hehtaarilta. Metsäojitusalueiden männiköissä lannoitusinvestointi voi tuottaa 20 vuoden aikana jopa 5–10 prosentin sisäisen koron, mikä ylittää selvästi muilla metsänparannustoimenpiteillä saadun koron (Metsätuhkan ravinteet takaisin metsään, Motiva).

Mistä löydän sopivaa tuhkaa?

Tuhkaeriä voi hakea esimerkiksi Motivan ylläpitämästä Materiaalitori-palvelusta (materiaalitori.fi), jossa tuhkan tuottajat voivat ilmoittaa tuottamansa tuhkan määrän, sen sijainnin sekä yhteystietonsa. Palveluun on mahdollista liittää hyvinkin yksityiskohtaiset tiedot tuhkan laadusta. Myös tuhkaa etsivät toimijat voivat jättää ilmoituksen Materiaalitorille.

Mistä saan apua, kun suunnittelen metsän tuhkalannoitusta tai tien rakentamista?

Metsälannoituksen ja metsäteiden rakentamisen kysymyksissä voit kääntyä metsäneuvojasi puoleen. Lisätietoja tuhkan käytöstä metsälannoitteena ja tierakentamisessa saat myös tästä oppaasta.

Kirjallisuus

- Adamczyk, S. ym. 2016. Soil carbon and nitrogen cycling processes and composition of terpenes five years after clear-cutting a Norway spruce stand: Effects of logging residues, *Forest Ecology and Management*, volume 381, 318-326.
- Bengt, A. ym. 2017. Does the harvest of logging residues and wood ash application affect the mobilization and bioavailability of trace metals? *Forest Ecology and Management*, volume 383, 61-72.
- Bornø, M.L. ym. 2020. Is wood ash amendment a suitable mitigation strategy for N₂O emissions from soil? *Science of The Total Environment*, volume 713, 136581.
- Buss, W. 2019. Synergies between BECCS and Biochar—Maximizing Carbon Sequestration Potential by Recycling Wood Ash. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 7, 4, 4204–4209.
- Demeyer, A. ym. 2001. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. *Bioresource Technology*, volume 77, 287-295.
- Ernfors, M. ym. 2010. Effect of wood-ash fertilization on forest floor greenhouse gas emissions and tree growth in nutrient poor drained peatland. *Science of the Total Environment*, volume 408, 4580–4590.
- Fortum Kestävä kehitys 2019. Verkkojulkaisu. https://www.fortum.fi/sites/default/files/investor-documents/fortum_kestava_kehitys_2019.pdf
- Fritze, H. ym. 2000. Effect of Cd-containing wood ash on the microflora of coniferous forest humus. *FEMS Microbiology Ecology*, volume 32, 43-51.
- Heinonen, T., Pukkala, T., Asikainen, A. & Peltola, H. 2017a. Scenario analyses on the effects of fertilization, improved regeneration material and ditch network maintenance on timber production of Finnish forests. Manuscript.
- Heinonen, T., Pukkala, T., Kellomäki, S. Strandman, H., Asikainen, A., Venäläinen & A. Peltola, H. 2017b. Scenario analyses on the effects of climate change and intensified forest management on timber supply of Finnish forests. Manuscript.
- Helmisaari, H.S. ym. 2009. Hakkuutähteiden korjuu – muuttuuko typen saatavuus? *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2009, Tieteen tori.
- Huotari, N. 2012. Tuhkan käyttö metsänlannoitteena. Metla. Vammalan kirjapaino Oy.
- Huotari, N. ym. 2015. Recycling of ash - for the good of the environment? *Forest Ecology and Management*, volume 348, 226-240.
- Joensuu, S. 2017. Miten voitaisiin purkaa tuhkalannoituksen käytännön esteitä, jotta tuhkan kierrättäminen onnistuisi paremmin? Tapio Oy.
- Joensuu, S., Greis, I., Sorsamäki, A., Kauppila, M. & Tenhola, T. 2020. Metsäteiden tuhkarakenteiden suunnittelu ja toteutus. Tekninen ohje. Tapio Oy. Saatavissa: <https://tapio.fi/wp-content/uploads/2020/03/Mets%C3%A4teiden-tuhkarakenteiden-suunnittelu-ja-toteutus.pdf>
- Jokinen, H. ym. 2006. Exploring the mechanisms behind elevated microbial activity after wood ash application. *Soil Biology and Biochemistry*, volume 368, 2285-2291.

- Jutila, T. 2008. Tuhkan rakeistaminen Pohjois-Pohjanmaalla. Ramboll Oy:n raportti. 45 s. + liitteet.
- Kestävää kasvua biotaloudesta. Suomen biotalousstrategia. 2014. http://www.biotalous.fi/wp-content/uploads/2015/01/Suomen_biotalousstrategia_2014.pdf
- Kierrolla kärkeen: Suomen tiekartta kiertotalouteen 2016-2025. 2016. Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitra. <https://www.sitra.fi/julkaisut/kierrolla-karkeen/>
- Kiviniemi, O. (toim.) & ym. 2012. Tuhkarakentamisen käsikirja. Verkkojulkaisu Pdf. Ramboll, Luopioinen.
- Kjøller, R. ym. 2017. Ectomycorrhizal Fungal Responses to Forest Liming and Wood Ash Addition: Review and Meta-analysis. In: Lukac M., Grenni P., Gamboni M. (eds) Soil Biological Communities and Ecosystem Resilience. Sustainability in Plant and Crop Protection. Springer, Cham.
- Klemmedsson, L. ym. 2010. Reduction of greenhouse gas emissions by wood ash application to a *Picea abies* (L.) Karst. forest on a drained organic soil. European Journal of Soil Science, volume 61, 734-744.
- Korpijärvi, K., Mroueh, U. Merta, E., Laine-Ylijoki, J., Kivikoski, H., Järvelä, E., Wahlström, M. & Mäkelä, E. 2009. Energiantuotannon tuhkien jalostaminen maarakennuskäyttöön. VTT tiedotteita 2499. ISBN 978-951-38-7317-2 (nid.)
- Korpilahti, A. 2003. Tuhkan esikäsittely metsäkäyttöä varten. Metsätehon raportti 143. 19 s.
- Kukkola, M. & Nöjd, P. 2000. Kangasmetsien lannoitusten tuottama kasvunlisäys Suomessa 1950-1998. Metsätieteen aikakauskirja 4/2000: 603-612.
- Kulmala, A. 2020. tuhkan käytön toimintamallit metsätaloudessa. Opinnäytetyö. Metsätalouden koulutusohjelma, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu.
- Kuusinen, M. & Ilvesniemi, H. (toim.) 2008. Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset, tutkimusraportti. Tapion ja Metlan julkaisuja.
- Kämäräinen, M., Kallio, A. & Turunen, J. 2018. Bioenergian tuotannossa syntyvän tuhkan radioaktiivisuus. Säteilyturvakeskus. Ympäristösäteilyn valvonnan toimintaohjelma. ISBN 978-952-309-400-0 (pdf). PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/136257/Ymp%C3%A4rist%C3%B6n_s%C3%A4teilyvalvonta_Bioenergiatuotannossa_syntyv%C3%A4n_tuhkan_radioaktiivisuus_.pdf?sequence=3&isAllowed=y.
- Liimatainen, M. 2016. Factors controlling nitrous oxide emissions from drained peat soils: Effects of wood ash fertilization. Väitöskirja. Itä-Suomen yliopisto. Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta, Ympäristö- ja biotieteiden laitos.
- Liimatainen, M. ym. 2017. The effect of wood ash fertilization on soil respiration and tree stand growth in boreal peatland forests. 19th EGU General Assembly, EGU2017, proceedings from the conference held 23-28 April, 2017 in Vienna, Austria., p.11974.
- Lodenius, M., Soltanpour-Gargari, A., Tulisalo, E. & Henttonen, H. 2002. Effect of ash application on cadmium concentration in small mammals. Journal of Environmental Quality 31(1):188-92
- Makkonen, T. 2008. (toim.) Tuhkalannoitus. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Metsäkustannus Oy, Porvoo.
- Maljanen, M. ym. 2006. Greenhouse gas fluxes of coniferous forest floors as affected by wood ash addition. Forest Ecology and Management, volume 237, 143-149.

- Matilainen, M. 2017. Kohti hiilineutraalia yhteiskuntaa: hajautetun biolämpöenergian tuhkan kierrätyksen merkitys ja taloudellisen ekosysteemimallin luominen. Opinnäytetyö. Karelia ammattikorkeakoulu
- Merenheimo, T. 2017. Biolämpölaitoksen lentotuhkan hyödyntämisen ratkaisut ja liiketoimintaverkostot. Diplomityö Aalto-yliopisto.
- Moilanen, M. & Issakainen, J. 2003. Puu- ja turvetuhkien vaikutus maaperään, metsäkasvillisuuden alkuainepitoisuuksiin ja puuston kasvuun. Metsätehon raportti 162. 91 s.
- Moilanen, M. 2009. Metsätuhkan ravinteet takaisin metsään. Motivan julkaisu. Lönnberg Print, Helsinki
- Moilanen, M., Silfverberg, K. & Hokkanen, T.J. 2002. Effects of wood-ash on the growth, vegetation and substrate quality of a drained mire: a case study. *Forest Ecology and Management* 171: 321–338.
- Nieminen, M. 2003. Ravinteiden ja raskasmetallien vapautuminen tuhkalannoitteista. Metsätehon raportti 155. 20 s.
- Nieminen, M., Moilanen, M. & Piirainen, S. 2007. Phosphorus allocation in surface soil of two drained peatland forests following wood and peat ash application – Why effective adsorption on low sorptive soils? *Silva Fennica* 41(3): 395–407.
- Nieminen, M., Piirainen, S. & Moilanen, M. 2005. Release of mineral nutrients and heavy metals from wood and peat ash fertilizers: Field studies in Finnish forest soils. *Scandinavian Journal of Forest Research* 20(2): 146–153.
- Ojala, E. 2010. Selvitys puu- ja turvetuhkan lannoite- sekä muusta hyötykäytöstä. *Energiateollisuus ja Motiva*.
- Ojanen, P. ym. 2019. Long-term effect of fertilization on the greenhouse gas exchange of low-productive peatland forests, *Forest Ecology and Management*, volume 432, 786–798.
- Ouvrard, B. ym. 2019. Determinants of forest owners attitudes towards wood ash recycling in Sweden - Can the nutrient cycle be closed? *Ecological Economics*, volume 164, 106293.
- Pelkonen, R., Alfthan, G. & Järvinen, O. 2006. Cadmium, lead, arsenic and nickel in wild edible mushrooms. *The Finnish Environment* 17/2006.
- Peltonen, J. 2010. Lannoittaminen on varma sijoitus. *Maatilan Pellervo* 9/2010.
- Petaja, G. ym. 2019. Forest fertilization: Economic effect and impact on GHG emissions in Latvia. *Baltic Forestry*, volume 24, 9–16.
- Pihlström, M., Rummukainen, P. & Mäkinen, A. 2000. Tuhkalannoitusprojektin kasvillisuus- ja maaperätutkimukset Evolla 1997–1999. Metsätehon raportti 89. 53 s.
- Pohjala, M. 2015. Tuhkien tilastokysely 2014. *Energiateollisuus ry*.
- Pullinen, M. (toim.) 2009. Energiantuotannontuhkien jalostaminen maarakennuskäyttöön. VTT tiedotteita 2499. Helsinki. Edita Prima Oy
- Rinne, S. 2007. Biopolttoaineiden tuhkaa metsälannoitteeksi. Motiva. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/3052/Biopolttoaineiden_tuhkaa_lannoitteeksi.pdf
- Saarsalmi, A. ym. 2001. Effects of wood ash fertilization on forest soil chemical properties. *Silva Fennica* 35, 355–368.

- Saarsalmi, A. ym. 2014. Wood ash in boreal, low-productive pine stands on upland and peatland sites: Long-term effects on stand growth and soil properties. *Forest Ecology and Management*, volume 327, 86–95.
- Saarsalmi, A. ym. 2012. 30-Year effects of wood ash and nitrogen fertilization on soil chemical properties, soil microbial processes and stand growth in a Scots pine stand. *Forest Ecology and Management*, volume 278, 63-70.
- Silfverberg, K. & Hotanen, J-P. 1989. Long-term effects of wood-ash on a drained mesotrophic *Sphagnum papillosum* fen in Oulu district, Finland. *Folia For.* 742, 23 s.
- Silvan, N. ja Hytönen, J. 2016. Impact of Ash-Fertilization and Soil Preparation on Soil Respiration and Vegetation Colonization on Cutaway Peatlands. *American Journal of Climate Change*, volume 5, 178-192.
- Soininen, H., Mäkelä, L., Kyyhkynen, A. & Muukkonen, E. 2010. Biopolttoaineita käyttävien energiantuotantolaitosten tuhkien hyötykäyttö- ja logistiikkavirrat Itä-Suomessa. Mikkelin ammattikorkeakoulu. A: Tutkimuksia ja raportteja. ISBN 978-951-588-303-2 (nid.). Kopijyvä Oy. Mikkeli.
- Tornberg, T. 2019. Tšernobylin ydinlaskeuma näkyy edelleen voimalaitoksien tuhissa – radioaktiivisuus voi rajoittaa tuhkan käyttöä. YLE uutiset. 26.4.2019. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-10754144>.
- Tuhkan käyttö metsälannoitevalmisteena -tiedote. VTT, RecAsh-projekti, 2006. Saatavissa: https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/pictures/tuhka_metsanlannoitteena_vtt.pdf
- Tulonen, T., Arvola, L., Pihlström, M., Mäkinen, A., Rummukainen, A. & Rask, M. 2003. Tuhkalannoituksen vaikutus metsäjärvisä. Metsätehon raportti 146. 31 s. + liitteet.
- Tulonen, T., Ollila, S. & Arvola, L. 2000. Tuhkalannoituksen vesistövaikutukset. Metsätehon raportti 87. 42 s. + liite.
- Tulonen, T., Ollila, S. & Arvola, L. 2002. Limnological effects of wood ash application to the subcatchments of boreal, humic lakes. *Journal of Environmental Quality* 31: 946–953.
- Tuovinen, N., Heikkilä, R. & Lindholm, T. 2017. Aiheuttaako tuhkalannoitus vaaraa ihmisen terveydelle? Ovatko marjojen ja sienten sisältämien raskasmetallien pitoisuudet ensimmäisinä vuosina tuhkalannoituksen jälkeen nousseet liian korkeiksi? Suomen ympäristökeskus.
- Tuovinen, N., Ilvesniemi, H. & Joensuu, S. Puutuhkalannoituksen vaikutukset marjoihin ja sieniin kiennäismailla. Pilotointikoe 2016-2018
- UPM Vuosikertomus 2019. Verkkojulkaisu. <https://user-fudicvo.cld.bz/UPM-Vuosikertomus-2019/98-99/>
- Valkonen, M. (toim.), Apila Group Oy Ab, Tapio Oy. 2019. Yritysrhmähanke - Saarijärven seudun tuhkaekosysteemi. Luonnos.
- Vetikko, V., Valmari, T., Oksanen, M., Rantavaara, A., Klemola, S. & Hänninen R. 2004. Energiateollisuudessa syntyvän puutuhkan radioaktiivisuus ja sen säteilyvaikutukset. Säteilyturvakeskus. ISBN 951-712-799-5.
- Välikangas, H. 2017. Liiketoimintamahdollisuuksien tunnistaminen teollisuuden jätteistä ja sivutuotteista. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Väätäinen, K., Sirparanta, E., Räisänen, M. & Tahvanainen, T. 2011. The costs and profitability of using granulated wood ash as a forest fertilizer in drained peatland forests. Biomass and Bioenergy 34: 3335– 3341. <https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/rehu--ja-lannoiteala/lannoitevalmisteet/lannoite-lan-toiminta/omavalvonta/>

Yritykset todella heränneet ilmastonmuutokseen – mutta eivät vielä luonnon monimuotoisuuden suojeluun. FIBS ry. Tiedote 15.5.2019. <https://www.fibsry.fi/ajankohtaista/fibs-tutkimus-yritykset-todella-heranneet-ilmastonmuutokseen-mutta-eivat-viela-luonnon-monimuotoisuuden-suojeluun/>



Maistraatinportti 4 A
00240 Helsinki
tapio@tapio.fi

www.tapio.fi