

HELEÄ - Vihreään siirtymään ratkaisuja tuhkan hyötykäytön ja tuhkalannoituksen lisäämisellä



Emma Karjalainen, Jyväskylän yliopisto

Tämä raportti on Heleä -hankkeen Jyväskylän yliopiston työpaketin osaraportti, jonka tarkoituksena on tuottaa tietoa tuhkan laadusta tuhkan tuottajille, metsänomistajille sekä muille tuhkan hyötykäyttöön liittyville sidosryhmille.

Hankkeessa ovat mukana Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Jyväskylän yliopiston kiertotalouden osaamiskeskittymä ja Suomen metsäkeskus. Hanke on Euroopan unionin osarahoittama ja se kuuluu oikeudenmukaisen siirtymän (JTF) rahoitusohjelmaan. Lisää tietoa hankkeesta hankehenkilöstöltä tai Jyväskylän ammattikorkeakoulun, Suomen metsäkeskuksen ja Jyväskylän yliopiston nettisivuilta.

Lisätietoja

Jamk: Asiantuntija, hankkeen projektipäällikkö Leena Turunen,
leena.turunen@jamk.fi

Jyväskylän yliopisto: Professori Ari Väisänen, ari.o.vaisanen@jyu.fi
(Yliopistonlehtori Rose Matilainen, rose.b.matilainen@jyu.fi)

Suomen metsäkeskus: Projektipäällikkö Salla Laukkanen,
salla.laukkanen@metsakeskus.fi

www.jamk.fi/projekti/helea

www.jyu.fi/fi/hankkeet/helea

www.metsakeskus.fi/fi/hankkeet/helea

Johdanto

Heleä -hankkeen päätavoitteena on lisätä pienten ja keskisuurten yritysten (mm. tuhkan tuottajien, kuljetusyritysten, metsäalan yritysten) ja metsien elinvoimaa tuhkan hyötykäytön ja metsälannoituksen lisäämisellä ja kehittämisellä. Hankkeessa keskitytään VTT:n toteuttamassa aiemmassa hankkeessa (Vastuullisella metsälannoituksella ilmastohyötyjä 2021–23) havaittujen ongelmien ratkaisuun. Merkittävimmät haasteet tuhkan laajemman hyötykäytön esteenä ovat tuhkan sisältämät haitalliset aineet, hajallaan sijaitsevat pienet tuhkaerät ja niistä aiheutuvat logistiset ongelmat, lannoituksen ympäristövaikutukset, tuhkan tuottajien ja metsänomistajien tiedon puute ja markkinoinnin tehottomuus. Näitä ongelmia ratkomalla tuhkaa voitaisiin hyötykäyttää tavoitteiden mukaisesti suurempia määriä tulevaisuudessa. Valtakunnallisena tavoitteena on tuhkalannoituksen määrän kolminkertaistaminen 30 000 hehtaariin vuotta kohden.

Jyväskylän ammattikorkeakoulun sivuilla hankkeen esittelyssä kuvataan myös uusien raaka-ainelähteiden tärkeyttä. ”Jotta pelloilta voidaan saada satoa jatkuvasti, peltoja pitää lannoittaa ja kalkita säännöllisesti. Metsätaloudessa lannoituksen rooli on puolestaan kasvun lisääminen, metsien terveyden ylläpitämien ja soiden kunnostusojitustarpeen vähentäminen. Metsien hiilinielujen kasvattamisessa lannoitusmäärien lisääminen on puolestaan keskeinen ja yleisesti hyväksytty toimenpide. Venäjä on merkittävä lannoiteteollisuuden raaka-aineiden toimittaja. Suomen lannoiteteollisuuden raaka-aineista ammoniakista tuli 79 % ja kaliumkloridista 79 % v. 2021 Venäjältä. Venäjän hyökkäyssota on vaikeuttanut lannoiteteollisuuden raaka-aineiden saatavuutta ja nostanut niiden hintaa. Tuhkan käyttö, ja mahdollisimman korkean jalostusasteen käyttö, on myös luonnonvarojen kestävä käytön ja kiertotalouden näkökulmasta tärkeää. Tuhkan hyötykäytön edistäminen liittyy moniin Keski-Suomen ja hallitusohjelman ilmasto-, kiertotalous- ja metsätavoitteisiin.”

Jyväskylän yliopiston tehtäviin kuuluvat tuhkan laadun selvittäminen ja tuhkan laadun parantaminen/rikastaminen. Tuhkan laadun selvittäminen pitää sisällään ravinteiden ja muiden arvokkaiden metallien analytiikkaa menetelmillä, jotka on kehitetty ja optimoitu Jyväskylän yliopistolla. Haitallisten metallien analysoinnissa käytetään liuoskemian menetelmiä yhdistettynä ICP-OES laitetekniikkaan. Joitain tuhkanäytteitä päästiin mittaamaan myös XRF-laitteistolla, joka mahdollistaa kiinteiden näytteiden mittaamisen.

Metsätuhkalannoitteen vaatimukset

Ruokavirasto on Suomessa lannoitelainsäädännön osalta toimivaltainen viranomainen, jonka sivuilta löytyy ajantasaiset tiedot lannoitelaista sekä maa- ja metsätalousministeriön asetuksista koskien lannoitevalmisteita. (www.ruokavirasto.fi)

Lannoitevalmisteissa käytettävän tuhkan tulee täyttää ainesosaluokkakohtaiset vaatimukset. Ruokaviraston sivuilla eritellään, että metsätuhkalannoitteissa saa käyttää ainoastaan tiettyyn ainesosaluokkaan kuuluvaa tuhkaa, jonka raaka-aineena on poltossa käytetty sallittuja syötemateriaaleja. Lisäksi metsätuhkalannoitteelle on säädetty haitallisten aineiden enimmäispitoisuudet sekä ravinteiden vähimmäispitoisuudet. Alla on listattuna vaaditut ravinnepitoisuudet (Taulukko 1) sekä haitallisten aineiden enimmäispitoisuudet (Taulukko 2).

Taulukko 1. Metsätuhkalannoitteen ravinteiden vähimmäispitoisuudet.

Alkuaine	Vähimmäispitoisuus (m-%)
Kalium	2,0
Fosfori	0,8

Taulukko 2. Metsätuhkalannoitteen haitallisten aineiden enimmäispitoisuudet.

Alkuaine	Enimmäispitoisuus mg/kg
Arseeni	40
Elohopea	1
Kadmium	25
Kromi	300
Kupari	600
Lyijy	150
Nikkeli	120
Sinkki*	4500

*Sinkin enimmäispitoisuuden ylitys on sallittu ainoastaan silloin kun sinkin puute on kasvustosta todettu joko maaperä-, lehti- tai neulasanalyysillä. Tällöin maksimimäärä saa olla enintään 6000 milligrammaa kilogrammassa kuiva-ainetta. (Lähde: Ruokavirasto)

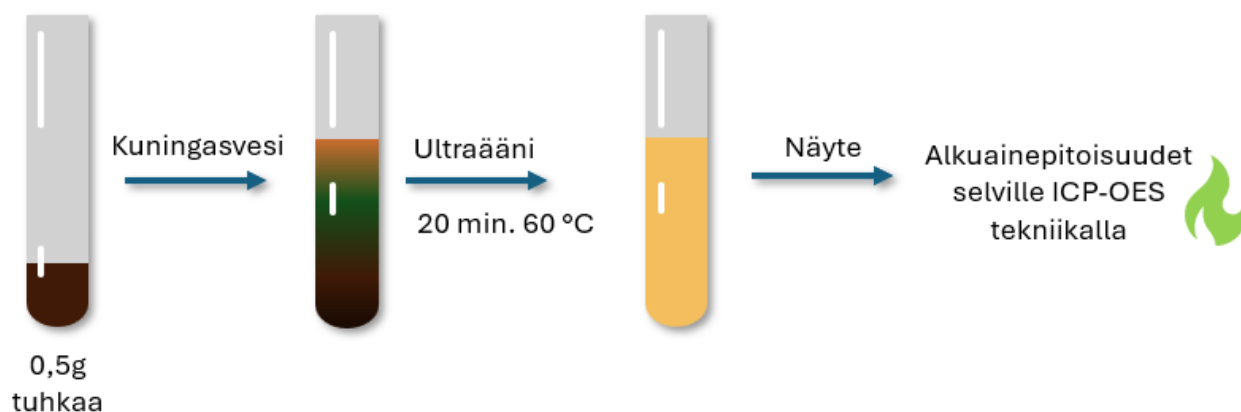
Käyttökelpoisuuden parantamiseksi metsätuhkalannoitteisiin saa lisätä muihin ainesosaluokkiin kuuluvia ainesosia enintään 10 prosenttia lannoitevalmisteen kokonaismassasta. Tällaisia aineita voivat olla esimerkiksi metsän kasvun kannalta tärkeät ravinteet, kuten boori, kalium ja kupari. Lisäksi tuhkan rakeistuksen yhteydessä saa käyttää prosessin vaatimia apuaineita. Nämä tiedot löytyvät Ruokaviraston nettisivuilta lannoitevalmisteita koskevista säädöksistä.

Tuhkien analytiikka

Tuhkien analyysimenetelmäksi valittiin ultraääniavusteinen kuningasvesiliuotus, jota on tuhkien analytiikan menetelmänä optimoitu Jyväskylän yliopistolla. Kuningasvesi on väkevän vetykloridihapon (HCl) ja väkevän typpihapon (HNO₃) 3:1 seos.

Tuhkien analysoinnissa oltiin kiinnostuneita erityisesti raskasmetallipitoisuuksista, jotka voivat olla rajoittavia tekijöitä tuhkan lannoitekäytössä. Erityisesti arseeni ja kadmium nousivat ongelmaksi VTT:n aiemman tuhkahankkeen aikana tuhkan hyötykäytön esteenä. Alustavien tutkimusten perusteella analysoitaviksi alkuaineiksi valittiin arseeni, boori, lyijy, nikkeli, kupari, sinkki, kromi, kadmium, kalium, fosfori sekä kalsium.

Analyysissä (Kuva 1) kuivaa tuhkaa punnittiin 0,5 g ja sekoitettiin 10 millilitraan kuningasvettä. Seos laitettiin muovisissa putkissa ultraäänihauteeseen (60 °C) (Kuva 2) 6 x 3 minuutin jaksoissa, jonka jälkeen liukenematta jäänyt aines erotettiin liuoksesta sentrifugin ja suodatuksen avulla. Saadusta liuoksesta valmistettiin näytteet, joista halutut alkuaineet mitattiin ICP-OES-laitetekniikalla, jolla saadaan mitattua pieniäkin pitoisuuksia tarkasti.



Kuva 1. Kaaviokuva tuhkan analyysimenetelmästä



Kuva 2. Tuhkanäytteitä ultraäänihautteessa

Hankkeen aikana analysoitiin 26 tuhkanäytettä, jotka olivat peräisin 20 eri laitokselta Keski-Suomen alueelta. Joiltain laitoksilta saatiin sekä pohja- että lentotuhkanäytteitä. Tuhkanäytteistä viisi oli peräisin polttoaineesta, jossa oli poltettu turvetta puupolttoaineen rinnalla erilaisissa suhteissa tai pelkästään turvetta (yksi näyte). Puupohjaisissa polttoaineissa oli käytetty pääsääntöisesti metsähaketta ja joissain tapauksissa lisäksi esimerkiksi teollisuuden sivuvirtoja, kuten laudanpätkiä, puumurskaa ja sahausjätettä.

Tulokset

Analyysien perusteella havaittiin, että puupohjaisten polttoaineiden poltossa syntyneissä tuhissa on luontaisesti enemmän ravinteita ja ne soveltuisivat pitoisuuksien puolesta useammin suoraan tuhkalannoitteeksi kuin turvetta sisältäneiden polttoaineiden tuhkat. Puupohjaisten polttoaineiden tuhissa oli kuitenkin myös näytteitä, joissa ravinteet eivät olleet vaaditulla tasolla ja näin ollen polttoaineen laadusta ei voitu suoraan päätellä tuhkan lannoitekelpoisuutta. Maaperässä olevat haitalliset aineet kulkeutuvat veden mukana puuhun ja voivat aiheuttaa liian suuria pitoisuuksia syntyvään tuhkaan. Näin ollen tuhkan laadussa on merkitsevää myös se, millaisessa maaperässä poltettava puu on kasvanut. Laitoksilta tulevan tuhkan lannoitekelpoisuuden varmistamiseen tarvittaisiin siis säännöllisiä laadun mittauksia, sillä pitoisuudet voivat vaihdella myös riippuen polttoaineen erästä. Jos polttoaineena käytetään teollisuuden sivuvirtoja, voivat mahdolliset naulat vaikuttaa myös tuhkan laatuun ja käytettävyyteen sellaisenaan.

Tuhkan laatuun vaikuttaa myös käytetty polttotekniikka. Leijupetikattiloista saatava tuhka kerätään suurimmaksi osaksi lentotuhkana ja pohjatuhka on pääasiassa hiekkaa. Arinakattilatekniikalla puolestaan tuhka kerätään suurelta osin pohjatuhkana ja syntyvään lentotuhkaan kertyy raskasmetalleja suurempia pitoisuuksia. Polton näkökulmasta tuhkalannoitukseen parhaiten soveltuvat tuhkat ovat siis leijupoltossa syntyvä lentotuhka ja arinapoltossa syntyvä pohjatuhka. Monilla laitoksilla lento- ja pohjatuhka kerätään myös samaan säilytysläjään.

Polttoaine- ja tuhkanäytetiedot sekä kattilatyypit ovat kirjattuina taulukossa 3 niillä tiedoilla kuin ne laitoksilta välitettiin. Jokaisen näytteen kohdalle on merkittynä ovatko haitallisten aineiden pitoisuudet sallituissa rajoissa (vihreällä) tai jos pitoisuus ylittää sallitun rajan (punaisella). Jos alkuaineen pitoisuus menee yli rajan, se on ilmoitettu lyhenteellä kyseisen tuhkan kohdalla. Vastaavasti ravinteiden kohdalla punaisella pohjalla on mainittu alkuaine, joka ei täytä vähimmäispitoisuuden vaatimusta. Kaikkien näytteiden mitatut pitoisuudet löytyvät liitteenä tämän raportin lopusta. (Liite 1 ja 2)

Taulukko 3. Analysoitujen tuhkanäytteiden tietoja

	Polttoaine (laitoksen ilmoittama)	Kattilan tyyppi ja näytteen laatu	Haitalliset aineet	Ravin teet
1	Turve	Leijupetikattila, lento- ja pohjatuhkaseos, kuiva näyte	As	K
2	Metsähake, kuusi/mänty/koivu	Arinakattila, pohjatuhka, märkä näyte		
3	70 % metsäpolttoaineet, 30 % teollisuuden sivutuotteet	Leijupetikattila, lentotuhkakokooma, kuiva näyte		
4	~ 50 % kutteripuru, metsähake, kuori, käsittelemätön purkupuu	Arinakattila, lento- ja pohjatuhka, märkä näyte		K, P
5	Metsähake, teollisuuden sivuvirta (lauta, sahausjäte ym.)	Arinakattila, lento- ja pohjatuhkaseos, kuiva näyte		
6	70 % teollisuuden sivutuotteet (lauta), 30 % metsähake	Arinakattila, lento- ja pohjatuhkaseos, kuiva näyte		
7	Metsähake	Arinakattila, lento- ja pohjatuhkaseos, kuiva näyte		K
8	90 % metsähake, 10 % teollisuuden sivutuote (palikka laudasta)	Arinakattila, pohjatuhka, märkä näyte	As	
9	Metsähake	Arinakattila, lento- ja pohjatuhkaseos		
10	50 % turve ja metsähake	Leijupetikattila, lentotuhka	As	K
11	50 % turve, kuoripuru, metsähake	Leijupetikattila, lentotuhka		K
12	100 % pelletti	Arinakattila, lento- ja pohjatuhkaseos	Cd	
13	90 % koko puu, palaturve, teollisuuden sivutuotteet (puumurska, puupalat karmintuotannosta)	Arinakattila, lento- ja pohjatuhkaseos		
14	Kokopuuhake	Arinakattila, pohjatuhka		
15	Kokopuuhake	Arinakattila, lentotuhka	As, Zn, Cd	
16	100 % metsähake	Arinakattila, lento- ja pohjatuhkaseos	Cd	
17	Metsähake	Arinakattila, lento- ja pohjatuhkaseos		
18	Männyn kuori	Arinakattila, lento- ja pohjatuhkaseos, märkä näyte		
19	Metsähake, puru, kuori	Arinakattila, lento- ja pohjatuhkaseos, märkä näyte		

20	Kuori, kuivahake, sivuvirrat (puhdas puu)	Arinakattila, lentotuhka	Cd	
21	Kokopuumetsähake	Arinakattila, pohjatuhka, märkä näyte)		
22	Kokopuumetsähake	Arinakattila, pohjatuhka, kuiva näyte		
23	100 % palaturve	Arinakattila, lento- ja pohjatuhkaseos		K, P
24	Puun kuori, puru, metsähake, sahan tuottama tasaamopätkähake	Arinakattila, lento- ja pohjatuhkaseos		K
25	100 % kokopuuhake	Arinakattila, lento- ja pohjatuhkaseos		
26	100 % kokopuuhake	Arinakattila, lentotuhka	Zn	P

Yhteenveto

Analysoitujen näytteiden perusteella puupohjaisten polttoaineiden polttamisesta syntyneissä tuhissa on keskiarvoisesti matalammat pitoisuudet haitallisia aineita ja korkeammat pitoisuudet ravinneaineita. Puutuhissa keskiarvoisesti matalammat pitoisuudet olivat arseenin, boorin, nikkelin, kuparin ja kromin osalta (liite 1). Turvetta sisältävissä tuhissa pitoisuudet olivat matalammat lyijyn, sinkin ja kadmiumin osalta (liite 2). Joissakin näytteissä yksittäiset pitoisuudet nousevat huomattavan korkeiksi ja pitoisuuksien vaihteluvälit samankaltaisten polttoaineiden tuhissa voivat vaihdella suurestikin. Sekä fosforin että kaliumin osalta pitoisuudet olivat keskiarvoisesti suuremmat puutuhissa kuin turvetuhissa.

Tuloksien vertailussa on hyvä ottaa huomioon vertailtavan aineiston määrä, sillä puupohjaisia tuhkia oli yhteensä 21 näytettä ja turvetuhkia 5 näytettä. Lisäksi tuloksissa on otettava huomioon, että polttoaineen lisäksi poltto-olosuhteet ja esimerkiksi kattilamateriaalit voivat vaikuttaa syntyvien tuhkien metallipitoisuuksiin. Myös teollisuuden sivuvirtoja poltettaessa mahdolliset naulat tai muut metalliosat voivat vaikuttaa tuhkan laatuun.

Liitteet

Liite 1. Puupohjaisten polttoaineiden poltosta syntyneiden tuhkien analyysituloksia. Tuloksiin liittyvä keskiarvoinen mittausepävarmuus on 13 %.

	As (mg/kg)	B (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cd (mg/kg)
2	16,5	285	9,1	25,4	109	1130	35,5	18,8
3	10,9	226	24,0	28,6	74,6	1160	64,8	11,0
4	10,3	180	29,5	14,7	88,6	412	34,3	8,5
5	7,5	223	1,5	31,2	81,2	324	39,6	8,1
6	8,7	306	7,8	30,9	149	665	46,2	11,2
7	9,2	302	18,4	35,7	104	983	61,2	15,1
8	49	350	19,5	16,2	155	711	61,4	20,3
9	15,6	444	3,2	20,6	138	422	28,3	12,6
12	5,6	272	10,3	10,6	122	715	12,5	27,3
14	0	242	16,6	45,2	76,8	203	58,5	-
15	93,3	445	332	29,6	268	22900	97,4	74,5
16	31,2	742	54,8	35,8	235	4350	50,4	36,9
17	33,3	650	11,8	32,9	247	207	53,5	10,8
18	0	209	7,9	15,6	48,7	165	74,6	4,1
19	12,0	726	26,3	57,7	149	4360	68,2	16,7
20	9,8	558	60,0	24,7	150	4940	41,1	25,6
21	2,5	258	13,9	25,9	99,3	209	25,6	4,0
22	16,5	290	6,4	21,6	87,2	189	24,8	3,8
24	0	167	4,3	13,0	32,8	256	11,2	0,3
25	0	290	10,0	14,8	96,4	626	267	4,2
26	0,8	204	125	3,9	218	10600	170	19,6
Keskiarvo	15,8	351	37,3	25,5	130	2640	63,2	15,9

Alle määritysrajan jääneet tulokset on jätetty merkkeamatta.

Puupohjaisten polttoaineiden poltosta syntyneiden tuhkien analyysituloksia.
Tuloksiin liittyvä keskiarvoinen mittausepävarmuus on 8 %.

	Ca (m-%)	K (m-%)	P (m-%)
2	18,2	5,1	1,9
3	16,5	3,1	1,0
4	6,9	1,5	0,6
5	14,5	4,0	1,6
6	15,2	7,7	1,7
7	8,7	1,9	1,1
8	22,2	3,9	2,9
9	27,0	8,2	2,3
12	26,9	2,8	1,3
14	17,4	4,1	1,2
15	9,6	22,1	1,7
16	25,0	9,9	2,4
17	29,6	8,6	2,9
18	30,8	4,2	1,6
19	24,1	2,6	1,6
20	21,7	5,6	1,1
21	16,7	5,1	1,6
22	16,5	3,8	1,7
24	22,9	1,8	1,1
25	23,9	4,3	1,8
26	6,7	34,4	0,7
Keskiarvo	19,1	6,9	1,6

Liite 2. Turvetta sisältäneiden polttoaineiden poltosta syntyneiden tuhkien analyysituloksia. Tuloksiin liittyvä keskiarvoinen mittausepävarmuus on 13 %.

	As (mg/kg)	B (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cd (mg/kg)
1	105	486	67,3	86,5	220	48,9	179	27,8
10	59,4	542	28,2	91,2	215	572	198	16,2
11	33,0	453	42,7	61,9	145	615	138	10,3
13	9,9	205	6,7	15,4	78,3	604	64,8	10,8
23	8,8	235	14,5	14,3	17,4	13,3	10,6	3,4
Keskiarvo	43,1	384	31,9	53,8	135	371	118	13,7

Turvetta sisältäneiden polttoaineiden poltosta syntyneiden tuhkien analyysituloksia. Tuloksiin liittyvä keskiarvoinen mittausepävarmuus on 8 %.

	Ca (m-%)	K (m-%)	P (m-%)
1	5,9	0,8	2,3
10	16,6	1,5	1,5
11	12,3	1,2	1,2
13	13,9	3,8	1,5
23	3,4	0	0,5
Keskiarvo	10,4	1,9	1,4