

HIILIVIISASTA KIERTOTALOUTTA

571271 / Selvitys biotuhkan uusista käyttömahdollisuuksista

Macon Oy
03.12.2025



Euroopan unionin
osarahoittama



Tiivistelmä

Tämä raportti on laadittu osana Hiiliviisasta kiertotaloutta -hanketta, jonka tavoitteena on kehittää Koillismaan alueen sivuvirtojen hyödyntämistä kiertotalouden periaatteiden mukaisesti. Hanke on Euroopan unionin osarahoittama ja sen päätoteuttajana toimii Koillis-Suomen kehittämissyhtiö Naturpolis Oy.

Työn vastuullinen toteuttaja oli Macon Oy, jonka tiimiin kuuluivat projektipäällikkö, TkT, dosentti Sanna Taskila ja asiantuntija, FM Mikko Ahokas.

Työssä selvitettiin biotuhkan hyödyntämismahdollisuuksia Koillismaan alueella. Selvityksessä huomioitiin lainsäädännön reunaehdot, vaihtoehtoiset käyttömuodot metsälannoitukseen soveltumattomalle tuhkalta, tuhkien laadunparantamisen keinot ja niiden soveltuvuus Koillismaan alueelle, jatkojalostusmahdollisuudet ja niiden aluetaloudellinen hyöty sekä mahdolliset lupaavat tutkimus- ja kehityssuunnat.

Tulosten perusteella luonnosteltiin tuhkien potentiaalisia jatkojalostusreittejä nykytilanteessa tai lähitulevaisuudessa. Huomioiden tuhkan määrä, nykyisten tuhkan jalostusmahdollisuuksien edellytykset ja tuhkasta jalostettavien tuotteiden markkinat Koillismaalla ja lähialueilla, ensisijaiset käyttökohteet ovat metsälannoitus ja MARA-käyttö. Tuhkien metsälannoituskäytön edistäminen vaatii tuotantolaitoskohtaisia selvityksiä erilaisten laadunparantamismenetelmien vaikutuksista tuhkien metalli, TOC- ja PAH-pitoisuuksiin. Etenkin polttotehon

kasvattaminen voi vaikuttaa TOC- ja PAH-pitoisuuksiin, jotka ovat olleet lannoituskäytön suurimpia esteitä. MARA-käytön kannalta on myös tarpeen selvittää tuhkien geoteknisiä ominaisuuksia.

Uusia mahdollisia tulevaisuuden jalostusreittejä tunnistettiin etenkin liittyen erilaisiin materiaalisovelluksiin. Niiden tutkimus- ja selvitystarpeet liittyvät mm. tuhkien mahdollisiin käsittelyteknologioihin, tuotteiden laatuvaatimuksiin ja käyttäjiin tai kohdemarkkinoihin. Koillismaan lähialueilla on tutkimuslaitoksia, joissa tehdään tuhkien käytön kannalta olennaista tutkimusta. Näistä organisaatioista voi löytyä yhteistyökumppaneita yritysten kanssa tehtävään tutkimukseen.



Euroopan unionin
osarahoittama



1 Johdanto

1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Biotuhkilla tarkoitetaan biomassan (esim. puupolttoaineiden, metsätähteiden, kuoren, turpeen) poltossa syntyviä lento- ja pohjatuhkia. Suomessa näitä tuhkia muodostuu arviolta 500 000 tonnia vuodessa [1]. Biotuhkan hyötykäyttöön liittyy potentiaalia erityisesti metsien lannoituksessa, maanparannuksessa ja maarakentamisessa. Lainsäädäntö määrittää kuitenkin voimakkaasti, miten ja missä biotuhkia voidaan hyödyntää.

Koillismaan alueella biotuhkia on hyödynnetty pääosin metsälannoitteena. Kiristykset EU:n ja kansallisen lainsäädännön raja-arvoissa PAH-yhdisteiden ja erityisesti orgaanisen hiilen kokonaismäärän (TOC) osalta ovat kuitenkin kaventaneet alueellisia mahdollisuuksia hyödyntää tuhkaa tässä käyttötarkoituksessa. Alueella ei ole myöskään riittävästi kysyntää maanrakennuskohteista, joissa biotuhkaa voisi vaihtoehtoisesti hyödyntää. Tämän seurauksena tuhkaa joudutaan loppusijoittamaan, mikä aiheuttaa lisäkustannuksia ja heikentää kiertotalouden tavoitteiden toteutumista.

Tämän työn tavoitteena on tuottaa kokonaisvaltainen ja käytännönläheinen selvitys biotuhkan hyödyntämisestä Koillismaan alueella. Selvityksessä huomioidaan lainsäädännön reunaehdot, vaihtoehtoiset käyttömuodot metsälannoitukseen soveltumattomalle tuhkalta, tuhkien laadunparantamisen keinot ja niiden soveltuvuus Koillismaan alueelle, jatkojalostusmahdollisuudet ja niiden aluetaloudellinen hyöty sekä mahdolliset lupaavat tutkimus- ja kehityssuunnat.

1.2 Työn toteutus

Työn toteuttivat Macon Oy:n asiantuntijat Sanna Taskila ja Mikko Ahokas. Työ toteutettiin käyttäen seuraavia tietolähteitä. Jokaisen tietolähteen viitetiedot on ilmoitettu tarkemmin asianomaisessa kohdassa.

- Suomen lainsäädännön osalta verkkopalvelu <https://www.finlex.fi/fi>
- EU:n lainsäädännön osalta verkkopalvelu <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html?locale=fi>

- Kansainväliset tieteelliset artikkelit
- Hankkeiden ja selvitysten julkiset raportit
- Asiantuntijahaastattelut

1.3 Mitä tuhka on?

Tuhkaksi kutsutaan orgaanisen polttoaineen palamatonta jäännöstä. Tuhka syntyy niistä alkuaineista, joiden oksidit ovat haihtumattomia palamislämpötilassa. Polttoreaktiossa syntyy erilaisia tuhkakajeita. Lentotuhkaksi kutsutaan ilmassa leijailevaa tuhkaa, joka päätyy savukaasujen mukana puhdistukseen. Pohjatuhkaksi kutsutaan kattilan pohjalle kertyvää tuhkaa. Lisäksi kivihiilen poltossa syntyy kattilakuonaa.

Tuhkat luokitellaan usein materiaalin perusteella yhdyskuntajätteen pohja- tai lentotuhkaksi, kivihiilen lento- tai pohjatuhkaksi, kivihiilen kattilakuonaksi, paperilietteenpolton tuhaksi, vedenkäsittelyjätteenpolton tuhaksi tai biomassatuhkaksi [2]. Mikäli biomassan yhteydessä poltetaan muita materiaaleja, kuten jätteitä tai liettestä, syntyvää tuhkaa kutsutaan sekatuhkaksi. Tässä työssä käsitellään aiemmin todetun mukaisesti vain puhdasta biotuhkaa.

Bioperäisen materiaalin poltosta syntyvä nk. biotuhka on ominaisuuksiltaan erilaista kuin esim. kivihiilen poltosta syntyvä tuhka, jota on käytetty rakentamisessa jo pitkään [2-3]. Biotuhkan määrä on kuitenkin kasvussa ja kivihiilituhkan puolestaan laskussa johtuen biopolttoaineiden käytön lisääntymisestä [4], joten biotuhkan käyttöä erilaisissa materiaalisovelluksissa tutkitaan kiihtyvällä tahdilla.

1. Kettunen, S. (2025). Lämpölaitosten tuhkan käytön selvittäminen. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu.
2. Ramboll. (2012). Tuhkarakentamisen käsikirja. 13.1.2012.
3. Jukarainen, E. (2021). Tuhkan hyötykäyttö infrarakentamisessa. Opinnäytetyö. LAB-ammattikorkeakoulu.
4. Tilastokeskus. (2023). Suomen virallinen tilasto (SVT): Kivihiilen kulutus. <https://stat.fi/julkaisu/cln1mjztx5mps0bw1rxx8el4o>. Viitattu 15.9.2025.

1.4 Työn kohteena olevien lämpölaitosten ja tuhkien kuvaus

Seuraavassa on kuvattu lyhyesti tuhkien käytön kannalta olennaiset asiat tarkastelun kohteena olevissa kattiloissa. Luettavuuden vuoksi tuhkien analyysitiedoista esitetään taulukoissa vain ne yhdisteet, joiden pitoisuuksien suhteen on ollut haasteita koskien käyttöä.

Kattiloissa 1-3 poltettiin vuonna 2024 yhteensä n. 31 100 tonnia biopohjaisia polttoaineita, joista kuorta oli n. 80 % ja kuivahaketta n. 20 %. Turpeen osuus oli n. 0,1 %. Tuhkia syntyi yhteensä 400–500 tonnia vuodessa ja ne jakautuvat suunnilleen puoliksi lento- ja pohjatuhkaan (arvio). Tällä hetkellä tuhkat kerätään yhteen mutta niiden keräys isoimman kattilan (Kattila 3) osalta erikseen on mahdollista tulevaisuudessa. Asiasta on keskusteltu mutta valmisteluita tälle ei ole vielä tehty.

Kattiloissa 5-6 poltettiin vuonna 2024 yhteensä n. 10 600 tonnia biopohjaisia polttoaineita, joista 50 % oli purua ja 50 % kuorta. Niissä syntyy tuhkia yhteensä 100–120 tonnia vuodessa (arvio). Tuhkat kerätään vesialtaan kautta, eikä niiden keräys erikseen ole mahdollista.

Kattiloissa 7-8 poltettiin vuonna 2024 yhteensä n. 21500 tonnia biopohjaisia polttoaineita, joista n. 94 % oli kuorta ja vajaa 6 % kuivahaketta. Turpeen osuus oli n. 0.1 %. Tuhkia syntyy yhteensä 250–300 tonnia vuodessa (arvio). Tällä hetkellä tuhkat kerätään yhteen mutta isoimman kattilan (Kattila 7) osalta keräys erikseen on valmisteltu.

Taulukko 2.1. Kohteena olevien kattiloiden polttoaineet, kattilatyypit ja tuhkan määrät.

		Polttoainesuhteet (%) (tiedot vuodelta 2024)				Tuhkan määrä	Kerättävissä erikseen (t/a)	
		Kuori	Kuiva-hake	Puru	Turve	Tuhkat (t/a)	Lento-tuhka	Pohja-tuhka
Kattila 1	Arinakattila	52.4	47.6	-	-	10	-	-
Kattila 2	Arinakattila	52.4	47.6	-	-	66	-	-
Kattila 3	Arinakattila	85.0	14.9	-	0.1	375	187	187
Kattila 4	Arinakattila	50	-	50	-	55	-	-
Kattila 5	Arinakattila	50	-	50	-	55	-	-
Kattila 6	Arinakattila	95	5	-	0.1	267	133	133
Kattila 7	Arinakattila	76	24	-	-	11	-	-
Kattila 8	Stoker-kattila	0	100	-	-	2	-	-
Yhteensä						835	280	280

2 Lainsäädäntö

macon

2 Lainsäädäntökehys

Tuhka luokitellaan edelleen jätteeksi, joten sen hyödyntämistä ohjaa laaja lainsäädäntökehys, joka ulottuu EU-tason säädöksistä kansallisiin lakeihin ja asetuksiin. Keskeisiä säädöksiä ovat: i) jätelainsäädäntö, joka määrittää tuhkan aseman jätteenä tai sivutuotteena, ii) lannoitevalmistelainsäädäntö ja EU:n lannoitevalmisteasetus, jotka säätelevät tuhkan käyttöä metsälannoitteena ja maanparannusaineena, sekä iii) ympäristönsuojelulaki ja sen nojalla annettu MARA-asetus, joka koskee tuhkan hyödyntämistä maarakentamisessa. Nämä säädökset määrittävät raamit sille, missä määrin ja millä edellytyksillä biotuhkaa voidaan hyödyntää.

Tulevaisuudessa erityistä huomiota kannattaa kiinnittää EU:n lannoitevalmisteasetuksen (FPR) kehitykseen, jätedirektiiviin, end-of-waste -kriteereihin sekä STRUBIAS-aloitteeseen, joka käsittelee mm. tuhka- ja biohiilimateriaalien sisällyttämistä CE-merkittyihin lannoitteisiin.

2.1 Jätelainsäädäntö

2.1.1 Tilannekuva

EU:n jätedirektiivi [1] ja kansallinen jätelaki [2] määrittelevät, milloin tuhka on jätettä ja milloin se voi olla sivutuote tai täyttää ns. end-of-waste -kriteerit. Pääsääntöisesti tuhka luokitellaan jätteeksi, jolloin sen hyödyntämiseen sovelletaan jätelainsäädäntöä (mm. lupamenettelyt ja kirjanpitovelvollisuus). Kohteena olevien tuhkien jätenimikkeet on esitetty taulukossa 2.1a.

Tuhkan varastointia koskee jäteverolaki [3]. Sen mukaan tuhkaa saa säilyttää välivarastossa enintään kolme vuotta, jonka jälkeen täytyy maksaa jätevero. Kaikki jätteet katsotaan toimitetuiksi kaatopaikalle sinä ajankohtana, jona kolmen vuoden määräaika täyttyy. Jäteveron määrä on 80 €/t. Veroa ei kuitenkaan tarvitse suorittaa, jos tuhka hyödynnetään kaatopaikalla sen perustamisen, käytön tai käytöstä poistamisen kannalta välttämättömissä rakenteissa tai rakennuksissa.

2.1.2 Tulevaisuuden näkymät

Jätedirektiivin artikla 6 mahdollistaa jätteiden siirtymisen tuotteiksi, jos end-of-waste -kriteerit täyttyvät [1]. Biotuhkille ei ole vielä EU-tason kriteereitä, mutta valmisteilla on taustaselvityksiä mahdollisista uusista materiaaleista, joita sääntely voisi koskea [4]. Jos biotuhkille luodaan yhtenäiset kriteerit, se helpottaa niiden hyödyntämistä merkittävästi.

Taulukko 2.1a. Tämän työn kohteena olevien tuhkien jätenimikkeet.

Nimiketyyppi ANH tarkoittaa aina vaarattomaksi luokiteltavaa jätettä.

Jätenimike	Nimiketyyppi	Kuvaus
10 01 01	ANH	Pohjatuuhka
10 01 03	ANH	Lentotuuhka
10 01 24	ANH	Leijupetihiekka

1. European Commission (2024). Energy, Climate change, Environment. Environment. Waste Framework Directive. https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive_en. Viitattu 15.9.2025.
2. Finlex. Jätelaki. 646/2011.
3. Finlex. Jäteverolaki. 1126/2010.
4. JRC 2024. End-of-waste criteria studies. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/projects-and-activities/less-waste-more-value/end-waste_en. Viitattu 15.9.2025.

2.2 Lannoitelainsäädäntö ja metsälainsäädäntö

2.2.1 Tilannekuva

Suomessa lannoitelaki [1] ja siihen liittyvä asetus [2] säätelevät, millä edellytyksillä tuhkaa voidaan käyttää metsälannoitteena tai maanparannusaineena. EU:n lannoitevalmisteasetus [3] mahdollistaa tiettyjen kierrätyspohjaisten materiaalien markkinoille saattamisen EU-tasolla, mutta biomassatuhkien hyväksyntä lannoitevalmisteeksi edellyttää tiukkoja laatu- ja raskasmetallirajoja.

Lannoitevalmisteissa ainesosana käytettävän tuhkan on täytettävä ainesosaluokkakohdaiset vaatimukset ja siitä valmistettujen lannoitevalmisteiden tuoteluokkakohdaiset vaatimukset [4]. Metsän lannoitusikäytössä tuhkan kaliumpitoisuuden tulee olla yli 2 % ja fosforipitoisuuden yli 0,8 % [2].

Vastikään tehdyn muutoksen jälkeen lannoiteikäytössä orgaanisen hiilen (TOC) kokonaispitoisuus saa pohjatuhkassa olla enintään 6 % materiaalin kuiva-aineesta, mikäli tuhka on peräisin vain polttoaineluokkiin A ja B kuuluvien polttoaineiden poltosta [6]. Muiden tuhkien osalta raja-arvo on yhä 3 %.

Tuhkan ainesosaluokkakohdaisissa vaatimuksissa on säädetty haitallisten aineiden enimmäispitoisuuksista. Tämän lisäksi on otettava huomioon pysyviä orgaanisia yhdisteitä (POP) koskevat säädökset, joille säädettyä pitoisuusrajaa ei saa ylittää. Jotta tuhkaa voisi myydä markkinoilla lannoitteena, sen on täytettävä lannoitevalmisteasetuksen vaatimukset, mikä voi edellyttää tuhkan jalostamista (esim. rakeistus, sekoittaminen). Metsätuhkalannoitteeseen saa lisätä sen käyttökelpoisuuden parantamiseksi muita ainesosia enintään 10 % lannoitteen kokonaismassasta.

Metsätuhkalannoitteella tarkoitetaan metsätaloudessa käytettäviä lannoitevalmisteita, joiden valmistuksessa on käytetty pohja- tai lentotuhkaa [7]. Metsätuhkalannoitteen käyttö on sallittua ainoastaan metsätaloudessa, eikä sitä saa käyttää pellolla tai seoslannoitteiden valmistuksessa. Metsätuhkalannoitteeseen saa lisätä tietyin ehdoin muita ainesosia käyttökelpoisuuden parantamiseksi tai rakeistuksen apuaineiksi. Metsätuhkalannoitus on sallittua vain tietyillä kasvupaikoilla (esim. turvemaat), ja siihen liittyy metsälain sekä metsänhoitosuosituksen mukaisia rajoituksia [5].

2.2.2 Tulevaisuuden näkymät

EU:n kiertotalouden toimintasuunnitelma ja biotalousstrategia painottavat ravinteiden kierrätystä ja riippuvuuden vähentämistä tuontiraaka-aineista [6-7]. Biotuhkien käyttö fosforin ja kaliumin lähteenä tukee tätä tavoitetta. Euroopan talous- ja sosiaaliskomitea on myös korostanut, että ravinteiden talteenottoa ja kierrätystä tulee vahvistaa EU-lainsäädännössä [8].

EU:n lannoitevalmisteasetus (FPR) tuli voimaan heinäkuussa 2022 ja laajensi sääntelyn koskemaan myös orgaanisia ja kierrätyspohjaisia lannoitteita. Asetus mahdollistaa jäteperäisten lannoitteiden markkinoille saattamisen, mikäli ne täyttävät asetuksen laatu- ja turvallisuusvaatimukset [8]. Tällöin tuotteelle voidaan myöntää ns. end-of-waste -status, jolloin se ei enää ole jätteen asemassa [9]. Euroopan Komissio on sitoutunut arvioimaan asetuksen toimivuutta vuoteen 2026 mennessä ja tekemään mahdolliset muutokset [10]. Keskeinen valmistelussa oleva kokonaisuus on STRUBIAS-aloite, jossa määritetään hyväksymiskriteerejä mm. tuhka- ja biohiilimateriaaleille [11]. Mahdolliset muutokset voivat tiukentaa haitta-aineiden raja-arvoja ja edellyttää tarkempaa tuhkien käsittelyä.

1. Finlex. Lannoitelaki. 711/2022.
2. Finlex. Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista. 964/2023.
3. EUR-Lex. Asiakirja 32019R1009.
4. Ruokavirasto. Tuhkan käyttö lannoitteena. <https://www.ruokavirasto.fi/kasvit/lannoitevalmisteet/laatuvaatimukset/kierratysravinteet/tuhkalannoitteet/>. Viitattu 1.9.2025.
5. Kauppila, M. ym. (2021). Tuhkan hyötykäyttö metsätaloudessa. Tapio Oy.
6. Finlex. 357/2025. Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista annetun maa- ja metsätalousministeriön asetuksen muuttamisesta.
7. Lehmusto, J. ym. 2024. Ashes from challenging... Waste Management, 177, 211-231.
8. European Commission. 2025. Circular Economy Action Plan. <https://eur-lex.europa.eu>
9. Biorefine. 2023. Legal status and bottlenecks ... <https://www.biorefine.eu> European Compost Network. 2023.
10. Fertilising Products Regulation (EU) 2019/1009. <https://www.compostnetwork.info/policy/from-waste/fertilising-products-regulation/>
11. ESPP. 2019. STRUBIAS proposals for EU Fertilisers Regulation.

2.3 Ympäristönsuojelulaki ja MARA-asetus

2.3.1 Tilannekuva

Biotuhkan hyödyntäminen maarakentamisessa kuuluu ympäristönsuojelulain piiriin. Suomessa on käytössä ns. MARA-asetus [1], joka mahdollistaa eräiden jätteiden hyödyntämisen tietyissä maarakentamisen kohteissa ilman ympäristölupaa, kun asetuksessa säädettyt haitta-ainepitoisuudet ja muut edellytykset täyttyvät. Mikäli tuhka ei täytä MARA-vaatimuksia, sen käyttöön rakentamisessa vaaditaan ympäristölupa. MARA-asetuksen puitteissa edellytykset täyttävää biotuhkaa saa käyttää ilman ympäristölupaa väylä-, ja kenttärakenteissa, tuhkamursketeissä sekä teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteissa ja stabilointiaineena maanrakennuskohteissa. Jos tuhka ei täytä MARA-asetuksen vaatimuksia, sen hyödyntäminen vaatii ympäristöluvan, mikä on hallinnollisesti raskaampaa.

Biotuhkan osalta ympäristökelpoisuus tutkitaan kokoomanäytteistä, jotka on muodostettu vähintään 50:stä osanäytteestä per 5000 t tuhkaa. Biotuhkan analyysivaatimukset on esitetty taulukossa 2.3a. Haitta-aineiden liukoisuuden ja pitoisuuden raja-arvot on esitetty taulukoissa 2.3b-c. Joissain tapauksissa raja-arvo riippuu käyttökohteesta, jolloin taulukossa on esitetty vaihteluväli [1]. Tiukimmat raja-arvot on asetettu kenttärakenteille kun taas löysimmät rajat koskevat teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteita.

Haitta-aineita koskevien vaatimusten lisäksi hyödynnettävän jätteen on täytettävä maarakentamiskohteen rakennusosien tekniset ja toiminnalliset vaatimukset. Biotuhkan osalta MARA-asetuksessa mainitaan, että tuhkamursketiehen käytettävän tuhkan määrä ei saa ylittää 30 painoprosenttia käytetyn tuhkan ja kiviainesmurskeen seoksessa. Lisäksi biotuhkan osalta vaaditaan huomioimaan rakennusmateriaalien ja tuhkien radioaktiivisuuteen liittyvät rajoitukset [2].

2.3.2 Tulevaisuuden näkymät

Tällä hetkellä biotuhkien maarakennuskäyttö perustuu lähinnä kansallisiin säädöksiin, kuten Suomen MARA-asetukseen. EU-tasolla on valmisteltu uusia end-of-waste -kriteereitä rakennusmateriaaleille, mikä voi koskea tulevaisuudessa myös biotuhkia [3].

Taulukko 2.3a. Biotuhkalta vaadittavat määrittäykset.

Liukoisuusmäärittäykset	Kokonaispitoisuudet
Sb, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Mo, Ni, V, Zn, Se, F -, SO 42-, Cl -, DOC	PAH-yhdisteet

Taulukot 2.3b-c. MARA-asetuksen mukaiset haitta-aineiden pitoisuuksien ja liukoisuuksien raja-arvot.

Haitta-aine	Maksimi (mg/kg ka)
Bentseeni	0,02 – 0,2
TEX (tolueeni, etyylibentseeni, ksyleenit)	25
Naftaleeni	5
PAH-yhdisteet (16 EPA)	30
PCB-yhdisteet	1
Öljyhiilivedyt C10–C40	500

Haitta-aine	Maksimi (mg/kg LS)
Antimoni (Sb)	0,3 - 0,7
Arseeni (As)	0,5 - 2
Barium (Ba)	20 - 100
Kadmium (Cd)	0,04–0,06
Kromi (Cr)	0,5 - 10
Kupari (Cu)	2 - 10
Lyijy (Pb)	0,5 - 2
Molybdeeni (Mo)	0,5 - 6
Nikkeli (Ni)	0,4 - 2
Seleen (Se)	0,4 - 1
Sinkki (Zn)	4 - 15
Vanadiini (V)	2 - 3
Elohopea (Hg)	0,01 - 0,03
Kloridi (Cl ⁻)	800 - 11000
Sulfaatti (SO ₄ ²⁻)	1200 – 18 000
Fluoridi (F ⁻)	10 - 150
Liennut orgaaninen hiili (DOC)	500

1. Finlex. Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (MARA-asetus). 843/2017.

2. Säteilyturvakeskus. Rakennustuotteiden ja tuhkan radioaktiiviset aineet. <https://stuk.fi/rakennustuotteiden-ja-tuhkan-radioaktiiviset-aineet>. Viitattu 1.9.2025.

3. JRC 2024. End-of-waste criteria studies. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/projects-and-activities/less-waste-more-value/end-waste_en. Viitattu 15.9.2025.

3 Biotuhkan käyttömahdollisuudet Koillismaalla

macon

3 Biotuhkan käyttömahdollisuudet Koillismaalla

3.1 Lannoitekäyttö

3.1.1 Taustaa

Puu- ja turvetuhkien käyttö metsien kasvun lisäämiseen perustuu niiden sisältämään fosforiin, kaliumiin, kalsiumiin ja hivenaineisiin [1]. Käyttö peltolannoitteena ja maanparannusaineena puolestaan liittyy ravinteiden lisäksi tuhkien emäksisyyteen, jonka ansiosta ne toimivat happamien maiden neutraloinnissa [2]. Taulukossa 3.1a on esitetty tuhkan pitoisuusvaatimukset metsälannoituskäytön kannalta. Tuoreen selvityksen mukaan suuri osa Suomen tämänhetkisistä biotuhkista menee muuhun kuin lannoituskäyttöön [3]. Tämä johtuu suurimmaksi osaksi lannoitustuhkan vähäisestä kysynnästä lähialueella, hintapaineesta ja siitä, että tuhkat eivät täytä lannoitekäytön raja-arvoja. Tuhkien lannoitekäyttöä rajoittaa yleisimmin raja-arvoja korkeampi kadmiumin tai arseenin pitoisuus [4]. Kohteena olevien tuhkien lannoituskäyttöä estää haitta-ainepitoisuuksien ylittyminen.

3.1.2 Kohteena olevien tuhkien metsälannoitekäytön mahdollisuudet

Käytännössä yhdenkään kattilan tuhkat eivät nykyisellään sovellu metsälannoituskäyttöön mutta syyt tämän taustalla vaihtelevat. Tuhkien ominaisuudet metsälannoitekäytön kannalta on esitetty taulukoissa 3-1a-c. Koska kohteena olevat tuhkat ovat peräisin polttoaineluokkiin A ja B kuuluvien polttoaineiden poltosta, TOC raja-arvo on 6 % (ks. Kpl 2.2.1). Luettavuuden vuoksi taulukoissa esitetään vain tuhkien metsälannoituskäytön kannalta haasteita aiheuttaneet kriteerit.

Kattiloiden 1-3 tuhkien käytön metsälannoitukseen estää haitta-ainepitoisuuksien ylittyminen (Taulukko 3.1a). Kattilan 1 tuhkien PAH- ja TOC -pitoisuudet ovat huomattavan korkeat verrattuna muihin kattiloihin. Myös kattiloiden 2-3 osalta TOC-raja-arvot ylittyvät. Sen sijaan viimeaikaisten analyysien perusteella ravinnepitoisuus ei ole ongelma.

Kattiloiden 4-5 tuhkien metsälannoitekäyttöä estää lähinnä TOC-raja-arvon ylittyminen (Taulukko 3.1b). Vuonna 2024 analysoitiin kaksi näytettä, syyskuussa ja joulukuussa. Syyskuussa otetussa näytteessä havaittiin liian korkeat PAH-, kromi- ja

nikkelipitoisuudet. Joulukuussa otetussa näytteessä vain TOC-pitoisuus ylitti raja-arvon. Tuhkien ravinnepitoisuudet ovat riittävällä tasolla.

Kattiloiden 6-8 tuhkien metsälannoituskäyttöä estävät lähinnä korkeat TOC-, PAH-, kromi- ja nikkelipitoisuudet. Vain TOC on ollut koholla pitempään. Muiden osalta pitoisuudet ovat vaihtelevasti ylittäneet ja alittaneet raja-arvot. Uusimman analyysin perusteella metallipitoisuudet alittavat raja-arvot.

3.1.3 Metsälannoituskäytön yhteenveto

Metsälannoituskäyttö on useiden asiantuntijoiden mukaan sekä ekologisesti että aluetaloudellisesti järkevin biotuhkan käyttötapo Koillismaalla [5-6]. Metsälannoituskäyttöä puoltavat kiertotalousnäkökohdat (metsästä tulleet ravinteet palautetaan metsään), tuhkan edulliset vaikutukset metsän kasvuun sekä tuhkalannoitteen korkea kysyntä. Lannoitekäyttöä varten tuhka täytyy käsitellä, mihin tarkoitukseen on mahdollista käyttää Kuusamon EVO:n rakeistuslaitosta [7].

Metsälannoituskäytön yhteenvetona laadittiin tiivistetty SWOT (Taulukko 3.1d). Nykytiedon valossa suuri osa kohteena olevien tuotantolaitosten tuhkista olisi mahdollista tulevaisuudessa hyödyntää metsälannoituskäytössä, mikäli a) lento- ja pohjatuhkat kerätään erikseen missä vain mahdollista ja b) pohjatuhkan haitta-ainepitoisuudet osoittautuvat raja-arvot alittaviksi tulevissa näytteissä. Tämä olisi mm. markkinoiden ja sijainnin näkökulmasta todennäköisesti helpoin vaihtoehto.

1. Mayer, E. ym. (2022). Utilization and recycling of...Waste Management, 141, 92-103.
2. Baloch, S. B. ym. (2024). Wood ash application for crop production, amelioration of soil acidity and contaminated environments. Chemosphere, 357, 141865.
3. Kettunen, S. (2025). Lämpölaitosten tuhkan käytön selvittäminen. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu.
4. Korpjärvi, K. ym. (2023). Tuhkan laatu kiinteiden biopolttoaineiden poltossa. VTT asiakasraportti VTT-CR-00704-22.
5. Haastattelu 22.10.2025. Kestävän kehityksen päällikkö Mikael Kostamo, Pölkky Oy.
6. Haastattelu 15.10.2025. Metsänhoitopäällikkö Ari Pasanen, Metsähallitus, Metsätalous Oy.
7. Haastattelu 23.10.2025. Toimitusjohtaja Mika Mankinen, Kuusamon EVO.

Taulukko 3.1a. Kattiloiden 1-3 tuhkat metsälannoituskäytön kannalta. Haitta-aineet: raja-arvot moninkertaisesti ylittävä = lihavoitu ja alleviivattu; enintään 30 % ylittävä = lihavoitu. Ravinteet: raja-arvot moninkertaisesti alittava = lihavoitu ja alleviivattu; alle 20 % alittava = lihavoitu.

	Polttoaineet (%)			Haitta-aineet		Ravinteet (% ka)	
	Kuori	Kuiva-hake	Turve	PAH16 (mg/kg ka)	TOC (% ka)	K	P
Tuhkalannoituksen raja-arvot				6	6	2	0.8
Kokoomanäyte 2022	61.8	38.2	0.1	-	-	1.8	<u>0.51</u>
Kattila 1 2024	52.4	47.6	-	<u>83</u>	<u>27</u>	22	3.2
Kattila 2 2024	52.4	47.6	-	3.2	<u>11</u>	3.9	1.3
Kattila 3 2024	85.0	14.9	1.1	1.7	7.8	3.1	0.8
Kokoomanäyte 2025	79.6	20.3	0.1	6.8	<u>16</u>	6.3	1.1

Taulukko 3.1c. Kattiloiden 6-8 tuhkat metsälannoituskäytön kannalta. Haitta-aineet: raja-arvot moninkertaisesti ylittävä = lihavoitu ja alleviivattu; enintään 30 % ylittävä = lihavoitu. Ravinteet: raja-arvot moninkertaisesti alittava = lihavoitu ja alleviivattu; alle 20 % alittava = lihavoitu.

	Polttoaineet (%)			Haitta-aineet				Ravinteet (% ka)	
	Kuori	Kuiva-hake	Turve	PAH	TOC (% ka)	Cr (mg/kg ka)	Ni (mg/kg ka)	K	P
Tuhkalannoituksen raja-arvot				6	6	300	120	2	0.8
Kokoomanäyte (käytännössä kattila 6) 2022	91	8.9	0.1	-	-	28	10	1.7	<u>0.39</u>
Kokoomanäyte (käytännössä kattila 6) 2024	95.1	4.8	0.1	1.1	6.2	310	140	3.7	<u>0.44</u>
Kattila 6 2025	-	-	-	6.9	7.6	68	25	6.3	1.1

Taulukko 3.1b. Kattiloiden 4-5 tuhkat metsälannoituskäytön kannalta. Haitta-aineet: raja-arvot moninkertaisesti ylittävä = lihavoitu ja alleviivattu; enintään 30 % ylittävä = lihavoitu.

	Polttoaineet (%)		Haitta-aineet			
	Kuori	Puru	PAH16 (mg/kg ka)	TOC (% ka)	Cr (mg/kg ka)	Ni (mg/kg ka)
Tuhkalannoituksen raja-arvot			6	6	300	120
Kokoomanäyte 2024a	50	50	<u>12</u>	<u>29</u>	<u>470</u>	<u>260</u>
Kokoomanäyte 2024b	50	50	2.3	<u>18</u>	43	40

Taulukko 3.1d. Metsälannoituskäytön SWOT.

Vahvuudet	Mahdollisuudet
- Vakiintunut ja suurivolyyminen käyttö - Paikallinen käyttökohde - Olemassa oleva arvoketju - Kiertotalous ja paikallinen hiilikompensaatio	- Tuhkan kerääminen erikseen voi mahdollistaa ainakin pohjatuhkan käytön - Poltto-olosuhteiden optimointi voi auttaa pienentämään PAH- ja TOC –pitoisuuksia - Lannoitekäyttäjä voi tarvittaessa lisätä ravinnepitoisuutta
Heikkoudet	Uhat
- Tuhkat eivät nykyisellään suoraan sovellu, jollei toimenpiteitä tehdä - Vaatii tuhkan käsittelyn pölyämättömäksi	- Haitta-aineiden pitoisuuksia ei saada laskettua tai ne nousevat edelleen - Tuhka jää laitoksille haasteeksi jos sen käyttö metsälannoitukseen on mahdotonta

3.2. Maanrakennuskäyttö

3.2.1 Taustaa

Tuhkan käyttöä maanrakentamisessa ohjaavat ensisijaisesti sen sisältämien haitta-aineiden pitoisuudet ja liukoisuudet. Mikäli tuhka on MARA-kelpoista, käyttö on yksinkertaisempaa (ei vaadi ympäristölupaa). Muussa tapauksessa vaaditaan ympäristölupa. Geoteknisten ominaisuuksien osalta MARA-kelpoiset tuhkat voidaan jakaa kuuteen käyttöluokkaan (lentotuhkat LT 1-4 ja pohjatuhkat PT 1-2)[1]. Käytännössä LT2 -luokkien lentotuhkat sekä PT1-luokan pohjatuhka soveltuvat hyvin tie-, katu- ja kenttäkohteilla päällysrakennuskäyttöön kun taas PT2-luokan pohjatuhka soveltuu lähinnä penkereisiin ja täyttöihin.

3.2.2 MARA-käyttö

MARA-asetuksen mukaan tuhkaa voidaan käyttää rakenteissa, joiden paksuus on enintään 1,5 metriä erilaisissa kohteissa [2-3]. Tuhkaa voidaan käyttää joko sellaisenaan, tiivistettynä tai seostettuna. Tuhkarakenteiden etäisyyden pohjavedestä täytyy olla vähintään metri ja maarakentamiskohteen etäisyyden vesistöä, talousvesikaivosta tai lähteestä vähintään 30 metriä [2]. Tuhka soveltuu hyvin etenkin metsäteiden ja yksityisteiden rakentamiseen.

VTT:n tutkimuksen mukaan biomassatuhkien MARA-käytön tyypillisin rajoite on korkea sulfaattien liukoisuus [4]. Sulfaattien lisäksi biotuhkista liukenee etenkin molybdeeniä, kromia, klorideja ja seleeniä. Tuhkan MARA-käytön teknistaloudellisia haasteita ovat etenkin logistiikka ja sen kustannukset. Esimerkiksi metsäteiden rakentamisessa tuhkan kannattavan kuljetusmatkan raja on asiantuntija-arvioiden mukaan kohteesta riippuen 30-100 km [5-6]. Tuhkan käsittely pölyämättömäksi on olennaista tiekäytön kannalta. Lisäksi tuhkaa täytyy pystyä varastoimaan, sillä sitä syntyy eniten talvella, kun taas teitä rakennetaan kesällä.

Tapio on tutkinut tuhkan käyttöä metsäteissä jo vuosien ajan (mm. ARVO-TUHKKA – hanke)[7-8]. Tapion suositusten mukaan tuhkaa voi käyttää metsäautoteillä joko peitettynä patjarakenteena tai tuhkamurskeesta tehtynä päällysrakenteena ilman haitta-

aineiden liukenemista ympäristöön [8]. Tuhkamurskeseos muodostaa tuhkan kovenemisreaktiosta ja liikenteen tiivistävästä vaikutuksesta johtuen päällystettä muistuttavan päällysrakenteen, jolle on mitattu hyviä kantavuuksia [7-8].

Tapion asiantuntijoiden mukaan tuhka voidaan levittää murskekerroksen päälle ilman esisekoitusta, minkä jälkeen kerrokset sekoitetaan käyttämällä kultivaattoria [9]. Kultivaattorin piikit ovat jäykkiä jousia, jotka traktorin vetäessä painuvat maahan noin parinkymmenen sentin syvyyteen. Kultivaattorikäsitteilyn jälkeen tie kannattaa jyrätä tasaiseksi. Levitys- ja sekoitustavalla ei ole suurta merkitystä, kunhan MARA-asetuksen mukaiset raja-arvot tuhkan määrälle täyttyvät.

Tuhkamurskeseoksella käytetään samoja kerrospaksuuksia kuin normaalilla murskerakenteella. Tuhka-murskeseoksista parhaimmat tulokset on saatu teillä, joissa tuhkan osuus oli 15-20 % (w/w) murskeesta [7,9]. Käsittelemättömällä tuhalla tehty tuhkapatjarakenne on aikaa kestävä rakenne, joka vain paranee ikääntyessään [7].

1. Ramboll ym. (2012). Tuhkarakentamisen käsikirja. Energiantuotannon tuhkat väylä-, kenttä- ja maarakenteissa.
2. Arnkil, N. ym. (2020). Tuhka osana kestävää liiketoimintaa – Opas tuhkan tuottajille ja käyttäjille. Tapion raportteja 42. Tapio Oy. Opas päivitetty 2021.
3. Vuola, A. ym. (2021). Metsäteollisuuden tuhkien käyttö meluvalleissa ja muissa ei-liikennekuormitetuissa penkereissä. Metsäteollisuus. Suunnittelu- ja käyttöohje.
4. Korpijärvi, K. ym. (2023). Tuhkan laatu kiinteiden biopoltoaineiden poltossa. VTT asiakasraportti VTT-CR-00704-22.
5. Tapio. (2022). Ajankohtaisia tuhkan käytön kehittämistarpeita metsälannoituksessa ja maarakennuksessa.
6. Haastattelu 15.10.2025. Metsänhoitopäällikkö Ari Pasanen, Metsähallitus, Metsätalous Oy.
7. Joensuu, S. ym. (2020). Metsäteiden tuhkarakentaminen ja tuhkarakenteet. Tapio Oy.
8. Tapio. (2022). Tuhkan käyttö tienrakennuksen materiaalina – ympäristövaikutusten seuranta. <https://tapio.fi/projektit/tuhkan-kaytto-tienrakennuksen-materiaalina-ymparistovaikutusten-seuranta/>. Viitattu 15.9.2025.
9. Haastattelu 22.10.2025. Vesiensuojelun johtava asiantuntija Samuli Joensuu ja asiantuntija emeritus Ilppo Greis, Tapio.

Metsäteiden lisäksi tuhkalta sopivia käyttökohteita voi löytyä esim. väylä- ja kenttärakenteissa, teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteissa [1-2]. Tuhka sopii lujittumisominaisuuksiensa vuoksi hyvin myös kaivoskuilujen täyttöön [3-4]. Lisäksi biotuhkaa voidaan käyttää kaatopaikan pintarakenteen kasvukerroksessa seosaineena tai lannoitteena [5].

3.2.3 Kohteena olevien tuhkien maanrakennuskäytön mahdollisuudet

Kattilan 6 tuhkien MARA-kelpoisuus on tutkittu vuonna 2025. Tulosten mukaan tuhka täyttää MARA-asetuksen hyötykäyttönormit kaikkien pitoisuus- ja liukoisuusrajojen osalta. Sitä voidaan käyttää väylien, kenttien, vallien, teollisuus- ja varastorakennusten pohjien sekä tuhkamursketeiden rakentamiseen. Tuhkalle ei ole toistaiseksi tehty geoteknisiä analyysejä.

Muiden tuhkien MARA-kelpoisuutta ei ole tutkittu. Niille on kuitenkin tehty kaatopaikkakelpoisuustutkimuksia, joiden perusteella voidaan alustavasti arvioida myös MARA-kelpoisuutta eri sovellusten kannalta.

Kattiloiden 1-3 tuhkien osalta tarkastellaan tuoreinta kokoomanäytettä (päiväty 19.3.2025). Näytteestä ei ole analysoitu kaikkia MARA-asetuksen edellyttämien haitta-aineiden pitoisuuksia (bentseeni, TEX, PCB, C10-C40). Naftaleenin ja PCB-yhdisteiden osalta pitoisuusrajat alittuivat. Tulosten perusteella tuhka ei sellaisenaan sovellu mihinkään MARA-käyttökohteeseen (Taulukko 3.2a). Etenkin sinkin korkea pitoisuus ja liukoisuus ovat selkeitä esteitä tuhkan MARA-käytölle jopa teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteissa, missä vaatimukset haitta-aineiden suhteen ovat löysimmät. Sinkin pitoisuuden pitäisi laskea noin 50 % nykyisestä (raja-arvo 2 mg/kg), jotta tuhka kelpaisi siihen käyttöön. Kyseinen tuhka ei täytä vaarallisen jätteen kaatopaikkakelpoisuusvaatimuksia johtuen liuenneiden aineiden kokonaismäärästä.

Kattiloiden 4-5 tuhkien osalta tarkastellaan tuoreinta kokoomanäytettä (päiväty 21.3.2025). Tässäkään tapauksessa ei ole analysoitu kaikkia MARA-asetuksen edellyttämien haitta-aineiden pitoisuuksia (bentseeni, TEX, PCB, C10-C40). Naftaleenin ja PCB-yhdisteiden osalta pitoisuusrajat alittuivat. Myös kaikki MARA-

käytön liukoisuusrajat alittuivat liuennutta orgaanista hiiltä (DOC) lukuun ottamatta. Kyseinen tuhka ei täytä vaarallisen jätteen kaatopaikkakelpoisuusvaatimuksia johtuen DOC- ja TOC-pitoisuudesta. Myös liuenneiden aineiden kokonaismäärän tulisi olla alhaisempi, jotta tuhka soveltuisi pysyvän jätteen kaatopaikalle.

Taulukko 3.2a. Kattiloiden 1-5 tuhkat MARA-käytön kannalta (perustuen kokoomanäytteisiin).

		Raja-arvon ylittävät haitta-aineet	
	Paksuus max. (m)	Kattilat 1-3	Kattilat 4-5
Väylärakenne	1,5	Pitoisuus ja liukoisuus: Zn Liukoisuudet: Cr, Ba, Mo, kloridit, sulfaatit	Liukoisuudet: DOC
Kenttärakenne	1,5	Pitoisuus ja liukoisuus: Zn Liukoisuudet: Cr, Ba, Mo, Se, kloridit, sulfaatit	Liukoisuudet: DOC
Valli/Täyttö	5	Pitoisuus ja liukoisuus: Zn Liukoisuudet: Cr, Ba, Mo, kloridit, sulfaatit	Liukoisuudet: DOC
Teollisuus/Varastorakennuksen pohja	1,5	Pitoisuus ja liukoisuus: Zn	Liukoisuudet: DOC
Tuhkamursketie	0,2	Pitoisuus ja liukoisuus: Zn Liukoisuudet: Mo, kloridit, sulfaatit	Liukoisuudet: DOC

1. Arnkil, N. ym. (2020). Tuhka osana kestävää liiketoimintaa – Opas tuhkan tuottajille ja käyttäjille. Tapion raportteja 42. Tapio Oy. Opas päivitetty 2021.

2. Vuola, A. ym. (2021). Metsäteollisuuden tuhkien käyttö meluvalleissa ja muissa ei-liikennekuormitetuissa penkereissä. Metsäteollisuus. Suunnittelu- ja käyttöohje.

3. Lehtola. (2017). Märkäpuretun lentotuhkan hyödyntäminen kaivoksen louhostäytössä. Opinnäytetyö. Oulun ammattikorkeakoulu

4. Ojala. (2010). Selvitys puu- ja turvetuhkan lannoite- sekä muusta hyötykäytöstä. Motiva. Energiateollisuus.

5. Saranen. (2019). Kaatopaikan pintarakenteen materiaaliveitohdot. Diplomityö. Tampereen yliopisto.

3.2.4 Maanrakennuskäytön yhteenveto

Tämänhetkisen tiedon mukaan Kattilan 6 tuhka täyttää MARA-käytön vaatimukset hyvin. Kyseistä tuhkaa muodostuu n. 267 tonnia, josta n. puolet on lentotuhkaa (Taulukko 2.1). MARA-käytön kannalta on tarpeen arvioida tuhkien erikseen keräyksen vaikutukset sekä sen haitta-aineiden että geoteknisten ominaisuuksien kannalta. On mahdollista, että lentotuhka sisältää enemmän tiettyjä haitta-aineita kuin pohjatuhka. Toisaalta se on pohjatuhkaan verrattuna houkuttelevampi materiaali maanrakennuskäyttöön johtuen geoteknisistä ominaisuuksista.

Metsähallitus on kiinnostunut selvittämään tuhkan käyttöä metsäteiden korjaus- ja rakentamishankkeissaan [1]. Kohteita on Koillismaalla, pääasiassa Taivalkoskella, n. 60 km vuodessa ja valtaosa niistä sijaitsee enintään 15 km etäisyydellä Taivalkosken keskustasta [1].

Mikäli Kattiloiden 1-5 tuotantolaitosten tuhkia halutaan ohjata tulevaisuudessa MARA-käyttöön tai muuhun maanrakennuskäyttöön, niiden käsittelyä tulee miettiä tarkemmin (ks. Kappale 4).

Maanrakennuskäytön yhteenvetona laadittiin tiivistetty SWOT (Taulukko 3.2b). Kattilan 6 tuhkien metsätiekäytön edut ovat sekä tunnettu käyttötapa ja ohjeistus että mahdollisuus tehdä yhteistyötä tarvittavat resurssit omaavan toimijan kanssa. Muita paikallisia MARA-käyttökohteita ei selvitetty työssä tarkemmin. On kuitenkin mahdollista, että Materiaalitorin [2] tai muun median kautta tuhkalle löytyy paikallisia käyttökohteita esimerkiksi kenttä- tai pohjarakenteissa.

Taulukko 3.2. MARA-käytön SWOT.

Vahvuudet	Mahdollisuudet
- Jatkuva, suhteellisen suuren volyymin käyttö - Paikallinen käyttökohde ainakin metsäteiden osalta - Arvoketju käytännössä valmis - Kattilan 6 tuhkat täyttävät MARA-vaatimukset	- Tuhkan rakeistus mahdollista Kuusamossa - Metsähallitus kiinnostunut yhteistyöhön metsäteiden osalta - Muita MARA-kohteita mahdollista löytää paikallisesti
Heikkoudet	Uhat
- Osa kohteista voi olla kannattavan kuljetusmatkan ulkopuolella - Kattilan 6 tuhkan osalta geoteknisiä ominaisuuksia ei tunneta - Muiden tuhkien MARA- tai maanrakennuskelpoisuus epävarmaa - Teiden rakennus tapahtuu kesäaikaan, joten tuhka tulee varastoida	- Haitta-aineiden raja-arvot voivat ylittyä tulevaisuudessa - Käsittelyiden ja logistiikan kustannukset voivat olla liian korkeat osaan kohteista - Kohteita ei välttämättä löydetä tarpeeksi

1. Haastattelu 15.10.2025. Metsänhoitopäällikkö Ari Pasanen, Metsähallitus, Metsätalous Oy.
2. Materiaalitori. www.materiaalitori.fi.

3.3 Rakennusmateriaalit ja muut materiaalit

Mineralogisesti tuhka voidaan jakaa kolmeen eri osioon eli kiteisiin mineraaleihin, amorfisiin alumiinisilikaatti- sekä lasipartikkeleihin sekä palamattomiin hiilipartikkeleihin [1]. Eniten tuhka sisältää amorfisia partikkeleita. Biomassaa poltettaessa tuhkan rakenteesta pienempi osa on amorfisessa muodossa, mikä vaikuttaa sen käyttöön useissa materiaalisovelluksissa [2]. Puupolttoaineen kaarnan määrän kasvu johtaa tuhkan alkalimetallipitoisuuden kasvuun [2].

3.3.1 Betoni ja geopolymeerit

Kivihiilen polton tuhkia voidaan käyttää stabilointi ja sideaineena eli käytännössä sementtiä korvaamassa johtuen niiden kalsium- ja silikaattipitoisuudesta [3]. Puhdas biotuhka sisältää kuitenkin vähemmän betonin kannalta hyödyllisiä yhdisteitä, eivätkä sen ominaisuudet ole niin hyvät sementin korvaamisessa [4]. Rudus Oy:n rahoittamassa tutkimuksessa seostettiin betonimassoja ilman tuhkaa sekä niin, että sementistä korvattiin 20 % tai 40 % bio- tai kivihiiliperäisellä lentotuhkalla [5]. Biolentotuhkista käytettiin lisäksi hienonnettuja versioita. Mitä enemmän biolentotuhkaa massaan laitettiin, sitä enemmän lisävetä se vaati. Tulosten perusteella 40 % biolentotuhkaa sisältävien massojen vesi-sementtisuhde oli epäedullinen betonin ominaisuuksien kannalta.

Lentotuhkastandardi ohjaa pääasiassa kivihiilen poltosta muodostuneen lentotuhkan käyttöä betoniteollisuudessa [6]. Myös hiilen ja esimerkiksi puun seospoltosta syntyneitä tuhkaa voidaan hyödyntää betonin valmistuksessa, kunhan oheispolttoaineesta muodostuvan tuhkan määrä on enintään 30 % kuivapainosta. Sen sijaan biotuhkalle ei ole olemassa omaa standardikokeelmaa.

Joistain tuhista voidaan valmistaa rakennusteollisuuteen geopolymeereja, jotka vastaavat ominaisuuksiltaan betonia mutta biotuhkan käyttökelpoisuutta tähän ei ole pystytty tutkimuksissa toistaiseksi varmistamaan. Haasteina ovat olleet biotuhkan epätasalaatuinen koostumus ja kiteisten faasien korkea määrä [7].

3.3.2 Muut materiaalit

Italiassa on tutkittu biotuhkan käyttöä vaihtoehtoisena raaka-aineena posliinikivitavarassa [1]. Tuhkan analyysien perusteella päädyttiin käyttämään sitä maasälvän korvikkeena. Tuhkan käytön johdosta polttolämpötilaa pystyttiin laskemaan 20 °C:lla ilman teknisten ominaisuuksien heikkenemistä. Tuhkaa on myös tutkimuksessa käytetty yhdessä kaoliinin ja alumiinioksidin kanssa keraamisten kalvojen valmistukseen [8]. JAMK:n hankkeessa tutkittiin erilaisten kierrätysmateriaalien soveltuvuutta 3D-tulostusmassan raaka-aineiksi. Biopohjainen lentotuhka soveltui 3D-tulostusmassan täyteaineeksi mutta sillä ei voitu korvata sementtiä tai masuunikuonaa [9]. Eräässä tutkimuksessa käytettiin öljypalmun polton tuhasta tehtyjä nanopartikkeleita fenoli-formaldehydihartsin täyteaineena. Tuhkamateriaalin havaittiin parantavan nanokomposiitin lämpöstabiilisuutta ja sidoslujutta [10]. Kroatiaassa selvitettiin sokeriruokobagassin polton tuhkan käyttöä asfaltin täyteaineena [11]. Tutkimuksessa todettiin, että asfalttibetoni ei vapauttanut haitallisia aineita ympäristöön. Asfaltilla, jonka täyteaine sisälsi 50 % biotuhkaa, oli hyvä vedenkestävyys ja vielä parempi mekaaninen kestävyys urautumista vastaan.

1. Conte, S. ym. (2022). Recycling of bottom... Journal of the European Ceramic Society, 42(12), 5153-5163.
2. Antikainen, J. (2014). Fosforin ja humuksen poisto vedenpuhdistuksessa tuhkapohjaisilla materiaaleilla. Opinnäytetyö. Oulun yliopisto.
3. Sarkkinen, M. ym. (2018). Effect of biomass.. Road Materials and Pavement Design, 19(1), 239-251.
4. Hakkarainen, L. (2019). Biolentotuhkan käyttö betoniteollisuudessa. Opinnäytetyö. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu.
5. Lehtola, T. (2017). Märkäpuretun lentotuhkan hyödyntäminen kaivoksen louhostäytössä. Opinnäytetyö. Oulun ammattikorkeakoulu.
6. Suomen Standardit. SFS-EN 450-1. Betoniin käytettävä lentotuhka. Osa 1: Määritelmät, laatuvaatimukset ja vaatimustenmukaisuus.
7. Voshell, S. (2015). Reuse and air classification of bioash. Opinnäytetyö. Aalto yliopisto.
8. de Oliveira, H. M. ym. (2025). Thermal Processing Effects on Sustainability, 17(3), 979. <https://doi.org/10.3390/su17030979>
9. Turunen, L. ja Minkkinen, T. (toim.) 2023. Ympäristöystävällisen rakennusmateriaalin 3D-tulostamisen jäljillä. Jyväskylän ammattikorkeakoulu.
10. Abdullah C.K. ym. 2021. Properties and interfacial bonding... Polymers, 13(10), 1615.
11. Šimun, M. ym. (2023). Contribution to the Research on the Application of Bio-Ash as a Filler in Asphalt Mixtures. Applied Sciences, 13(11), 6555.

3.3.3 Kohteena olevien tuhkien materiaalikäytön mahdollisuudet

Materiaalikäytön yhteenvetona laadittiin tiivistetty SWOT (Taulukko 3.3). Koillismaalla biotuhkan käyttö mahdollisuudet materiaalisovelluksissa ovat toistaiseksi teknisesti rajalliset. Alueen biotuhkat ovat pääasiassa arinakattiloista, joiden tuhka sisältää usein sekä korkean kiteisen mineraaliaineksen osuuden että palamatonta hiiltä erityisesti pohjatuhkassa. Tämä johtaa siihen, että tuhkan amorfista jaetta, joka on materiaaliteollisuudelle arvokkainta, on vähän.

Tutkimusten mukaan biotuhka ei korvaa sementtiä yhtä tehokkaasti kuin kivihiilen lentotuhka, koska sen kalsium- ja silikaattipitoisuudet ovat alhaiset, veden tarve suuri ja laatu vaihteleva. Teoriassa biotuhkaa voisi käyttää keraamisissa materiaaleissa maasälvän korvikkeena. Kyseinen käyttö olisi todennäköisesti pienivolyymistä. Yhteenvetona voidaan todeta, että biotuhkan käyttö materiaalisovelluksiin on tällä hetkellä lähinnä tutkimustasolla. Ei ole realistista, että Koillismaan alueella kyseinen käyttötapa tarjoaisi järkevää vaihtoehtoa ainakaan lähitulevaisuudessa.

Taulukko 3.3. Rakennusmateriaalikäytön SWOT

Vahvuudet	Mahdollisuudet
• Biotuhka soveltuu tutkimusten mukaan keramiikkamateriaaliin korvaamaan maasälpää • Kiinnostus on olemassa ja kehitystyö jatkuu • Alueella on betonin ja keramiikan tuotantoa	• Betonin osalta volyymi voisi olla melko suurikin pitkällä tähtäimellä • Paikallisten yritysten kanssa voisi yrittää käynnistää tutkimusta
Heikkoudet	Uhat
• Käyttö ei vakiintunutta • Ei tietoa tuhkan soveltuvuudesta kohteeseen • Keramiikka on pienen volyymin käyttökohde	• Tuhkien ominaisuudet vs. käyttökohteen vaatimukset eivät kohtaa • T&K panostus menee hukkaan

3.4 Vedenkäsittely

3.4.1 Taustaa

Tuhkan käyttöä vesien käsittelyssä on tutkittu useastakin eri näkökulmasta.

Tuhkapohjaiset materiaalit soveltuvat jossain määrin ainakin fosforin ja humuksen poistoon jätevesistä [1]. Yksinkertaisimmillaan tuhkaa voidaan käyttää sellaisenaan tai rakeistettuna seosaineena. Etiopialaisessa tutkimuksessa tutkittiin sementin ja suodatetun puutuhkan seoksen käyttöä kemiallisena koagulanttina [2]. Tulosten mukaan käsittely vaikutti suotuisasti veden laatuun (mm. sameus, väri, johtokyky, liennut happi).

Oulun yliopiston tutkimuksessa havaittiin, että etenkin rikkihapolla aktivoitu tuhka on lupaava materiaali humuksen poistoon jätevedestä [1]. Aktivoimattoman tuhkan käyttö on kuitenkin todennäköisesti taloudellisesti kannattavin vaihtoehto etenkin alhaisilla humuspitoisuuksilla. VTT:n tutkimuksen mukaan tuhka poistaa humusta tehokkaasti mutta sen käyttöön liittyy haasteita, kuten veden pH:n nousu (tasolle 11-12) ja tuhkan kiintoaineen karkaaminen veteen [3].

3.4.2 Kohteena olevien tuhkien käytön mahdollisuudet jätevedenkäsittelyssä

Tuhkan olennaisia ominaisuuksia jätevedenkäsittelyn kannalta ovat puhtaus (veteen ei saa liueta haitallisia yhdisteitä) ja pölyämätön koostumus [4]. Tuhkan käyttö jätevedenkäsittelymateriaalina vaatii siis vähintään rakeistamisen pölyämisen estämiseksi. Tuhkan aktivointi ei välttämättä ole tarpeen [1-2]. Koillismaan alueen näkökulmasta eräs vaihtoehto voisi olla tuhkan rakeistus ja käyttö jätevedenkäsittelyyn. Rakeista tuhkaa voisi mahdollisesti käyttää suodatuspatjoissa, kunhan on varmistettu, ettei siitä liukene veteen haitallisia yhdisteitä [4]. Kohdetuhkien käyttö vedenkäsittelysovelluksissa vaatii lisätutkimuksia sekä tuhkan ominaisuuksien ja käyttökohteiden että teknistaloudellisten vaikutusten kannalta. Oulun yliopisto on kiinnostunut osallistumaan tutkimukseen koskien Koillismaan tuhkien käyttöä vedenkäsittelysovelluksissa [4]. Yhteenvetona laadittiin tiivistetty SWOT (Taulukko 3.4).

1. Antikainen, J. (2014). Fosforin ja humuksen poisto vedenpuhdistuksessa tuhkapohjaisilla materiaaleilla. Opinnäytetyö. Oulun yliopisto.

2. Ingida, M. ym. (2023). Wastewater treatment using wood Ash and cement as chemical coagulant. International Journal of Analytical Chemistry, 2023(1), 8274687.

3. Pirkonen, P. ym. (2015). Humusvesien puhdistus. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. VTT TECHNOLOGY 223.

4. Haastattelu 29.10.2025. Professori Tiina Leiviskä, Oulun yliopisto.

Taulukko 3.4. Jätevedenkäsittelykäytön SWOT

Vahvuudet	Mahdollisuudet
- Biotuhka soveltuu tutkimusten mukaan jätevedenkäsittelyyn tietyin reunaehdoin - Kyseessä on suurivolyyminen käyttökohde ja paikallisia kohteita voi löytyä	- Paikallisia kohteita mahdollista löytää esim. entisten turvesoiden ennallistamisen yhteydessä / valumavesien käsittelyssä - Oulun yliopiston kanssa voisi käynnistää aiheesta tutkimuksen
Heikkoudet	Uhat
- Käyttö ei vakiintunutta - Vaatii tutkimuksia Koillismaan biotuhkan soveltuvuudesta kyseiseen käyttöön	- Kyseisten tuhkien ominaisuudet vs. käyttökohteen vaatimukset eivät kohtaa - T&K panostus menee hukkaan

3.5 Biokaasun valmistuksen lisäaine

3.5.1 Taustaa

Tuoreen suomalaisen tutkimukseen mukaan biotuhka voisi soveltua lisäaineeksi biojätteen mädätysprosessiin [1]. Tutkimuksessa osoitettiin, että tuhka parantaa sekä metaanin tuotantoa että mädätysjäännöksen lannoitusominaisuuksia. Puun poltossa syntyvä tuhka soveltui tarkoitukseen paremmin kuin turpeen polton tuhka, todennäköisesti johtuen eroista hivenainepitoisuuksissa.

Jotta tuhkaa voisi käyttää biokaasuprosessissa, sen tulisi olla helposti hyödynnettävissä [2]. Käytännössä tämä tarkoittaa käsittelyä pölyämättömäksi ja varastointia sekä lisätietoa annostelusta. Käytön kannalta haasteita voivat olla etenkin varastotilan tarve, laitteiden kuluminen ja tuhkan laskeutuminen biokaasureaktorin pohjalle [2].

Tällä hetkellä tuhkan käytön kustannuksista ei ole juuri tietoa. Biokaasulaitoksille toimitettavan tuhkan tulisi olla valmis tuote sisältäen tiedot hyödyistä, haitoista, kustannuksista, tuloista, annostelusta, käyttörajoitteista jne. Ilman pohjatyötä laajamittaiselle käytölle ei ole mahdollisuuksia [2]. LUKE suunnittelee jatkohankkeita aiheeseen liittyen.

3.5.2 Kohteena olevien tuhkien mahdollisuudet mädätyskäytössä

Mikäli tuhka tuo lisää tuloja tai vähentää kustannuksia, niin se melko varmasti kiinnostaa biokaasutoimijoita [2]. Jos Kuusamoon tulisi biokaasulaitos, tulevaisuudessa tätä olisi mahdollisuus tutkia myös paikallisesti.

Jatkon kannalta on oleellista selvittää tuhkan käytön edut ja haasteet biokaasuprosessissa sekä laatia tarkka teknistaloudellinen arvio yhteistyössä biokaasualan toimijoiden kanssa. Haastateltu biokaasualan toimija ei ollut tässä vaiheessa kiinnostunut osallistumaan keskusteluun aiheesta. Mikäli jatkoselvitysten jälkeen kehityssuunta vaikuttaa lupaavalta, pidettiin kuitenkin todennäköisenä, että aihe kiinnostaa yrityksiä [2]. Yhteenvetona laadittiin tiivistetty SWOT (Taulukko 3.5).

Taulukko 3.5. Biokaasun tuotannossa käytön SWOT

Vahvuudet	Mahdollisuudet
- Biotuhka soveltuu tutkimusten mukaan biokaasuprosessin lisäaineeksi, jolla on etua prosessin ja mädätejäännöksen käytön kannalta - Jos alueelle tulee biokaasulaitos, paikallista käyttöä voi tulevaisuudessa olla	- Tulevaisuudessa tutkimus ja yhteistyö paikallisen biokaasulaitoksen kanssa - Käyttöä voi tulla, mikäli jatkotutkimukset osoittavat potentiaalia ja joku biokaasutoimija kiinnostuu aiheesta
Heikkoudet	Uhat
- Käyttö ei vakiintunutta - Biokaasutuottajan näkökulmasta kehitystyö vasta hyvin alussa - Vaatii tutkimuksia Koillismaan biotuhkan soveltuvuudesta kyseiseen käyttöön	- Kyseisten tuhkien ominaisuudet vs. käyttökohteen vaatimukset eivät välttämättä kohtaa - T&K panostus voi mennä hukkaan

1. Perämäki, S. ym. (2025). Fly ash addition into anaerobic digestion of biowaste: effects on biomethane production and fertilizing properties of the digestate. *Biomass and Bioenergy*, 203, 108259.
2. Haastattelu 15.10.2025. N.N, biokaasutuotanto.
3. Haastattelu 31.10.2025. Yliopistonlehtori Siiri Perämäki, Jyväskylän yliopisto.
4. Haastattelu 24.11.2025. Johtava tutkija Saija Rasi, LUKE.

3.6 Käyttömahdollisuuksien alustava arviointi

3.6.1 Lyhyen aikajänteen ratkaisut

Tämän työn ensisijainen tavoite oli etsiä lyhyen aikajänteen ratkaisuja tuhille, joita joudutaan varastoimaan suuria määriä, koska niille ei ole asianmukaista käyttöä. Lyhyen jänteen mahdollisuudet ovat sellaisia, joille on olemassa tai on todennäköisesti mahdollista löytää suurivolyyminen käyttökohde Koillismaan alueella alle vuoden aikajänteellä. Niitä ovat asiantuntijahaastatteluiden ja kirjallisuushaun perusteella käytännössä metsälannoitus ja maanrakennuskäyttö, etenkin metsäteiden rakentaminen ja korjaaminen (Taulukot 3.6a-b).

3.6.2 Pitkän aikajänteen mahdollisuudet

Työssä oli myös tavoite löytää pitkän tähtäimen mahdollisuuksia, joiden kautta voidaan avata uusia tutkimuslinjoja sekä kehittää alueen kiertotalousosaamista ja tuhkien käyttömahdollisuuksia useamman vuoden aikajänteellä (Taulukot 3.6a-b). Myös pitkän tähtäimen sovellusten suhteen on järkevää huomioida alueellinen mittakaava, sillä suurten tuhkamäärien kuljettaminen pitkien matkojen päähän ei ole todennäköistä tulevaisuudessakaan. Tämä ei kuitenkaan ole ensi vaiheessa kriittistä, sillä on mahdollista, että tulevaisuudessa pienempi osuus tuhista jää metsälannoitus- tai MARA-käytön ulkopuolelle. Siten nk. niche-sovelluksia on tarpeen etsiä nykyistä huomattavasti pienemmille määriille tuhkaa.

Kiinnostavia pitkän tähtäimen käyttökohteita ovat etenkin infrarakentamisen materiaalisovellukset, kuten betoni ja geopolymeerit, joita käytetään lähestulkoon kaikkialla suuria määriä. Biotuhkan soveltuvuus betoniin ja geopolymeereihin on kyseenalaistettu tutkimuksissa mutta on myös mahdollista, että asiaan löytyy ratkaisu uusien innovaatioiden avulla. Myös keraamisten materiaalien sovellukset ovat jossain määrin kiinnostavia, sillä lähialueella toimii kaksi kotimaista keramiikkapajaa (Pentik ja Brarmia). Lisäksi erilaisia keraamisia materiaaleja käytetään runsaasti mm. piharakentamisessa. Näiden tuotteiden käyttö on pienempää kuin esimerkiksi betonin.

Muista sovelluksista sekä jätevedenkäsittelymateriaalit että biokaasuprosessin lisäaine ovat varhaisella kehitysasteella. Niitä voidaan pitää kiinnostavina T&K –aihioina.

Taulukko 3.6a. Käyttömahdollisuuksien alustava arviointi.

	Lähitulevaisuuden käytännön ratkaisut	Pitkän tähtäimen mahdollisuudet / T&K
Metsälannoitus	x	
MARA-käyttö	x	
Muu maanrakennuskäyttö (kaatopaikat)	x	
Betoni ja geopolymeerit		x
Keraamiset materiaalit		x
Jätevedenkäsittely		x
Biokaasuprosessi		x

Taulukko 3.6b. Yhteenveto tunnistetuista kehityssuunnista ja tutkimusaihioista.

	Kehityssuunta	Tutkimusaihio
Metsälannoitus	- Tuhkien erikseen keräys - Erillisten tuhjakajakeiden analyysit (Kattilat 1-3 ja 6-8/ Pohjatuhka)	Laadunparannusvaihtoehtojen tutkimus (vaikutusten arviointi, teknistaloudellinen arvio, pilotit)
MARA-käyttö	Metsätiekäytön pilotointi (Kattila 6/ lentotuhka)	Laadunparannusvaihtoehtojen tutkimus (vaikutusten arviointi, teknistaloudellinen arvio, pilotit) (Kattilat 1-3 / lentotuhka)
Muu maanrakennuskäyttö (kaatopaikat)	- Tuhkien kuljetus kaatopaikkakohteisiin (esim. L&T) - Kohteiden etsiminen lähialueelta	Laadunparannusvaihtoehtojen tutkimus (vaikutusten arviointi, teknistaloudellinen arvio, pilotit) (Kattilat 4-5)
Betoni ja geopolymeerit sekä keraamiset materiaalit	Yritysyhteistyö / T&K-hanke	- Tuhkien minerologisten ominaisuuksien selvitys suhteessa sovelluksiin - Reseptiikan kehitys
Jätevedenkäsittely	Yritysyhteistyö / T&K-hanke	Tutkimus tuhkien ominaisuuksista mahdollisista kohteista ja aktivointimenetelmistä
Biokaasuprosessi	Yritysyhteistyö / T&K-hanke	Tuhkan annostuksen ja vaikutusten tarkempi tutkimus

4 Laadunparantamisen mahdollisuudet

macon

4 Laadunparantamisen mahdollisuudet

Ensimmäinen vaatimus kaikkien käyttökohteiden kannalta on tuhkan käsittely pölyämättömäksi. Tähän liittyen seuraavassa kappaleessa kuvataan vaihtoehtoiset esikäsittelymenetelmät. Muita laadunparantamisen mahdollisuuksia tarkasteltiin keskeisten lyhyen tähtäimen ratkaisuja tarjoavien sovellusten eli metsälannoitus- ja MARA-käytön näkökulmasta. Tiivistelmä olennaisista haasteista näiden osalta on esitetty taulukossa 4.1.

Taulukko 4.1. Tuhkien käytön isoimmat esteet.

		Kattilat 1-3	Kattilat 4-5	Kattilat 6-8
Metsälannoitus	Tilanne nyt	Isoimman kattilan (Kattila 3) osalta vain TOC vähän yli raja-arvon, muutoin täyttää vaatimukset	TOC yli raja-arvon, muutoin täyttää vaatimukset	TOC ja PAH yli raja-arvon (aiemmin myös Cr ja Ni)
	Tilanne tuhkien erottelun jälkeen	TOC-pitoisuus on yleensä suurempi pohjatuhkassa; jos tavoite saada pohjatuhkasta lannoitukseen kelpaavaa, erottelu ei ratkaise asiaa	-	TOC-pitoisuus on yleensä suurempi pohjatuhkassa ja PAH-pitoisuus lentotuhkassa; jos tavoite saada pohjatuhkasta lannoitukseen kelpaavaa, erottelu ei ratkaise asiaa TOC:n mutta voi ratkaista asian PAH:n osalta
MARA	Tilanne nyt	Liian korkea Zn-pitoisuus estää MARA-käytön	DOC yli raja-arvon	Täyttää vaatimukset hyvin
	Tilanne tuhkien erottelun jälkeen	Zn yleensä enemmän lentotuhkassa, joten tuhkien erottelu ei välttämättä paranna tilannetta	-	Haitta-aineiden pitoisuudet lentotuhkassa mitattava Lentotuhka geoteknisesti parempi materiaali

4.1 Tuhkan pölynestoesikäsittely (kaikki käyttökohteet)

4.1.1 Tarve

Käsitlemätön irtotuhka on erittäin hienojakoista ja helposti pölyävää, joten käytännössä tuhka on esikäsiteltävä ennen käyttöä [1]. Esikäsittely helpottaa kuljetusta ja levitystä sekä vähentää pölyämisestä aiheutuvia ympäristö- ja terveysriskejä.

4.1.2 Mahdollisuudet

Tuhkan esikäsittelymenetelmiä ovat itsekovettaminen, rakeistus ja pelletöinti, jotka kaikki perustuvat tuhkan kostuttamisen aiheuttamaan kovettumiseen. Käsittelymenetelmistä edullisin on itsekovetus, toiseksi edullisin on rakeistus ja kallein on pelletöinti [1]. Pelletöinnin haaste on korkea hinta, eikä sitä käytetä suurien tuhkamäärien käsittelyyn [1-2]. Sen vuoksi tässä ei käsitellä pelletöintiä tarkemmin.

Itsekovettamisessa tuhka kostutetaan vedellä ja jätetään sen jälkeen kasaan kovettumaan. Veden määrä on n. 30–35 % veden ja tuhkan yhteenlasketusta massasta [1]. Veden lisäyksen vaikutuksesta tuhkan kalsium-, alumiini- ja sulfaattiyhdisteet saostuvat sementtimäisiksi aineiksi ja sitovat tuhkahiukkaset tiiviiksi rakeiksi. Kovettumiseen menee muutama viikko. Kovettunut tuhka murskataan ennen levitystä sopivankokoisiksi partikkeleiksi. Itsekovettamisen jälkeenkin tuhkassa on hienojaetta mutta se pölyää huomattavasti vähemmän kuin käsitlemätön tuhka [3].

1. Niva, R. ja Suokko A. (2023). Maakierto Kp. Teknicaloudellinen selvitys. Tuhkan käyttö lannoitteena. Centria-ammattikorkeakoulu.
2. Juuma, H. ym. (2020). Tuhkat kierrätyksessä. Sarja B. Tutkimusraportit ja kokoomateokset 27/2020. Lapin ammattikorkeakoulu.
3. Huotari, N. (2012). Tuhkan käyttö metsälannoitteena. Metla.

Rakeistus perustuu kostutetun tuhkan sekoittamiseen, jolloin tuhka muodostaa rakeita ennen kovettumistaan. Rakeistusmenetelmä on nopeampi kuin itsekovettuminen. Jos tuhka on heikosti kovettuvaa, siihen voidaan lisätä rakeiden kestävyyttä parantamaan hieman sementtiä [1]. Rakeistaminen on käsittelynä kalliimpaa kuin itsekovetus. Käsittelyn tuhkan käytön kannalta rakeistuksella on kuitenkin huomattavia etuja [1]. Rakeistettu tuhka pölyää vähemmän kuin itsekovetettu tuhka, joten rakeet ovat helppokäyttöisempiä ja niiden levitystarkkuus on parempi. Lisäksi rakeistettu tuhka sisältää vähemmän kosteutta kuin itsekovetettu tuhka, joten kuljetus- ja levityskustannukset ovat myös pienemmät.

Rakeistuksen yhteydessä on mahdollista samalla lisätä tuhkan sekaan puuttuvia ravinteita, mikä on etu Kattiloiden 6-8 tuhkan metsälannoitusikäytön kannalta. Kuusamon EVO:n Torangin energialaitoksen yhteydessä on vuodesta 2020 toiminut Rakeistus Oy:n toimittama tuhkan rakeistamo [2]. Konttirakenteisen laitoksen tuotantokapasiteetti on 3000 tonnia vuodessa. Rakeistamon yhteydessä on tuhksiilo lentotuhkan varastointiin ennen rakeistusta [3].

4.2 Ravinnepitoisuuden nostaminen (lannoitekäyttö)

4.2.1 Tarve

Tämänhetkisen tiedon mukaan Kattiloiden 1-5 tuhkien ravinnepitoisuudet ovat riittävällä tasolla metsälannoitusikäyttöön (ks. 3.1). Kattiloiden 6-8 tuhkan haasteena on etenkin liian alhainen fosforipitoisuus ja jossain määrin myös liian alhainen kalium-pitoisuus.

4.2.2 Mahdollisuudet

Ravinnepitoisuuden osalta tilanne ei ole kriittinen, sillä lannoitteen ravinnepitoisuutta on voitu nostaa tarvittaessa lisämaksusta ennen levitystä. Mikäli ravinteiden määrään halutaan vaikuttaa lämpölaitoksella, tämä tapahtuu polttoaineseosta säätämällä. Puuta poltettaessa merkitystä on etenkin sillä, mistä puulajista ja mistä puun osasta polttoaine on peräisin [4]. Puuaineksen, kuoren ja lehvistön tuhkasta selvästi suurin osa on kalsiumia ja kaliumia, ja nuoremmissa oksissa ja lehvistössä on

enemmän kaliumia kuin vanhassa runkopuussa [4]. Männyn kuoren kaliumin ja fosforin pitoisuudet kasvavat puun alaosista latvaan.

Käytännössä polttoainevalintaa ohjaavat ensisijaisesti muut syyt, kuten polttoaineeksi kelpaavan materiaalin suuri määrä. Ravinnepitoisuuden suhteen voidaan tarvittaessa edetä aiemmalla mallilla eli ravinnepitoisuuden nosto tapahtuu rakeistuksen yhteydessä.

1. Niva, R. ja Suokko A. (2023). Maakierto Kp. Teknicaloudellinen selvitys. Tuhkan käyttö lannoitteena. Centria-ammattikorkeakoulu.
2. Rakeistus. Referenssit. Kuusamon Energia- ja vesiosuuskunta EVO. <https://www.rakeistus.fi/referenssit/kuusamon-energia-ja-vesiosuuskunta-evo/>. Viitattu 15.11.2025.
3. Haastattelu 23.10.2025. Toimitusjohtaja Mika Mankinen, Kuusamon EVO.
4. Werkelin, J. (2002). Distribution of ash-forming elements in four trees of different species.

PAH-pitoisuuden kemiallannointikäyttö)

4.3.1 Live

PAH-yhdisteiden korkea pitoisuus estää kaikkien kattiloiden tuhkien metsälannoituskäyttöä. Etenkin Kattilan 3 tuhkan korkea PAH-pitoisuus on haaste. Kyseinen kattila tuottaa marginaalisen pienen osan tuhkasta, joten se kannattaisi ehkä kerätä erikseen käsiteltäväksi. Uusimmassa mittauksessa Kattilan 6 tuhkan PAH-pitoisuus ylitti raja-arvon niukasti.

Tällä hetkellä lento- ja pohjatuhkat kerätään yhteen jokaisen kattilan osalta mutta tulevaisuudessa isoimpien kattiloiden (Kattilat 3 ja 6) tuhkien keräys erikseen on mahdollista, mikä parantaa mahdollisuuksia löytää niille uusia hyödyntämiskohteita. Tällöin on oletettavaa, että kummassakin tapauksessa PAH-yhdisteistä suurempi osa päätyy lentotuhkiin [1] ja pohjatuhkat täyttäsivät mahdollisesti metsälannoituskäytön osalta PAH-pitoisuuden kriteerit.

Kattiloiden 4-5 tuhkan PAH-pitoisuus on syyskuun 2024 mittauksessa ylittänyt selvästi metsälannoituskäytön raja-arvon kun taas joulukuun mittauksessa pitoisuus jäi selvästi alle raja-arvon. On siis mahdollista, että kyseisen tuhkan osalta ei ole PAH-haastetta ratkaistavana. Mikäli haaste havaitaan seuraavissa mittauksissa, PAH-pitoisuuteen voidaan mahdollisesti vaikuttaa muilla seuraavassa kuvatuilla tavoilla.

4.3.2 Mahdollisuudet

Tutkimusten mukaan korkea PAH-pitoisuus johtuu enemmän puun epätäydellisestä palamisesta kuin käytetyistä polttoaineista [2-4]. Epätäydellinen palaminen puolestaan liittyy sekä kattilan ominaisuuksiin että käyttöolosuhteisiin [3]. Kaikkien kattiloiden olosuhteita säätämällä (esim. lämpötilan nosto) voitaisiin siis teoriassa tehostaa palamista ja siten pienentää PAH-yhdisteiden pitoisuuksia tuhkissa. Tulevaisuudessa kattiloiden uusiminen vaikuttanee myös asiaan.

PAH-yhdisteiden haihtuvuus on heikko, joten ne esiintyvät yleensä hiukkasiin

sitoutuneena. PAH-yhdisteiden poisto on tunnettu haaste pilaantuneiden maiden käsittelyssä mutta vähemmän mainittu tuhkien hyödyntämisen yhteydessä. Tuhkan uudelleen polttaminen (esim. 18 tuntia, 800 °C) hapellisessa tilassa voi auttaa vähentämään PAH-pitoisuutta [4]. Toisaalta käsittely voi johtaa uusiin haasteisiin johtuen mineraalikoostumuksen muutoksesta (esim. raskasmetallien liukoisuus voi kasvaa)[4]. Lisäksi suuren tuhkamäärän uudelleenpoltto vaatii laitteiston ja runsaasti energiaa.

1. Košnář, Z. ym. (2019). Bioremediation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Present in Biomass Fly Ash by Co-Composting and Co-Vermicomposting. J. Hazard. Mater. 2019, 369, 79–86.
2. Garcia-Alonso, S. ym. PAH analysis in biomass combustion wastes: an approach to evaluate bias and precision of analytical results using routine samples. Accreditation and Quality Assurance, 22(3), 153-159.
3. Odziejewicz, J. I. ym. (2022). Utilization of ashes from biomass combustion. Energies, 15(24), 9653.
4. Bülbül, F., & Courard, L. (2025). Turning Waste into Greener Cementitious Building Material: Treatment Methods for Biomass Ashes—A Review. Materials, 18(4), 834.

4.4 TOC-pitoisuuden hallinta (lannoite- ja MARA-käyttö)

4.4.1 Tarve

TOC on kaikkien kattiloiden haaste metsälannoitusikäytön kannalta. Etenkin Kattilan 1 tuhassa on korkea TOC-pitoisuus. Myös Kattiloiden 4-5 tuhkien TOC-pitoisuudet ovat ylittyneet selvästi. Kattiloiden 6-8 tuhkien TOC-pitoisuudet ovat olleet hyvin lähellä raja-arvoja.

4.4.2 Mahdollisuudet

Tuhkan korkea TOC-pitoisuus johtuu yleensä polttoaineen korkeasta orgaanisen hiilen määrästä sekä epätäydellisestä palamisesta [1-2]. Osa polttoaineen orgaanisesta materiaalista jää hapettumatta ja siten palamatonta hiili päätyy tuhkaan. Tutkimusten mukaan arinakattiloiden tuhassa on enemmän palamatonta orgaanista ainesta kuin leijupetikattiloiden tuhassa johtuen heikommasta sekoituksesta ja lyhyemmästä viipymästä [2]. Lisäksi on havaittu, että polttolämpötilalla on ratkaiseva vaikutus tuhkan TOC-pitoisuuteen [2]

Kohteena olevista tuhista tehtyjen havaintojen perusteella on vaikuttanut siltä, että etenkin pohjatuhkassa on paljon palamatonta ainesta (erottuu isoina kappaleina tuhkan seassa). Tässä vaiheessa ei ole mahdollista sanoa, miten erikseen keräys vaikuttaa käyttömahdollisuuksiin TOC:n osalta.

Kattiloiden 4-5 tuhkia ei voi kerätä erikseen. Niiden metsälannoitusikäytön kannalta on mahdollista joko säätää polttoprosessia tai käsitellä tuhka jälkipolttamalla (ks. 4.3). Sekä Kattilan 1 että Kattiloiden 4-5 polttolämpötilaa nostamalla sekä aikanaan kattiloiden uusimisella voitaisiin mahdollisesti tehostaa palamista ja siten pienentää tuhkien TOC-pitoisuuksia tuhassa. Työn kohteena olevissa kattiloissa on aiemmin kokeiltu polttoaineena vähemmän tai parempilaatuista kuorta. Tällä ei havaittu olevan vaikutusta TOC-pitoisuuksiin.

4.5 Metall- ja suolapitoisuuden hallinta (lannoite- ja MARA- käyttö)

4.5.1 Tarve

Kattiloiden 1-3 tuhassa on havaittu tiukemmat MARA-käytön raja-arvot ylittäviä

liukoisuuksia etenkin sinkille mutta myös kromille, bariumille, molybdeenille ja selenille sekä klorideille ja sulfaateille. Kattiloiden 6-8 tuhassa on aiemmin mitattu metsälannoitusikäytön raja-arvot ylittäviä kromi- ja nikkelpitoisuuksia mutta uusimpien analyysien perusteella (päivätty 4.11.2025) metallipitoisuudet kuitenkin alittivat raja-arvot selvästi. Samoin Kattiloiden 4-5 tuhassa havaittiin vuoden 2024 ensimmäisessä mittauksessa liian suuria pitoisuuksia kromia ja nikkeliä mutta havainto ei toistunut enää myöhemmässä mittauksessa.

4.5.2 Mahdollisuudet

Kromin ja myös nikkelin yksi mahdollinen alkuperä ovat kuluneet kattilamateriaalit [2]. Kattilan 6 arinaraudat on vaihdettu kesällä 2025, mikä voi selittää tuhkan kromi- ja nikkelpitoisuuksien laskun.

Tuhkan kromipitoisuus kasvaa, kun turpeen osuus polttoaineesta pienenee ja puun osuus kasvaa [2]. Lisäksi metallien osalta korkeita pitoisuuksia voi osaksi selittää puun kuoren korkea osuus polttoaineesta [3] (Taulukko 2.1). Etenkin Kattilan 3 osalta on syytä miettiä, johtuuko MARA-käytön estävä liian korkea Zn-pitoisuus kuoren suuresta osuudesta ja jos kyllä, onko polttoainesuhteita järkevää säätää.

Metallien määrää tuhassa voidaan pienentää erottamalla ne savukaasuista esimerkiksi sähkö- tai kuitusuodattamalla tai syklonilla [2]. Puhdistuksessa rikastuu jae, joka sisältää suuren määrän epäpuhtauksia. Lentotuhkan luokittelu ilmalla tai seuloilla puolestaan mahdollistaa sen sisältämien komponenttien jakamisen partikkelikoon ja ominaiskoon perusteella [2]. Koska liukoisten aineiden ja raskasmetallien osuus on suurin pienimmissä hiukkasissa, luokittelu on tehokas keino vähentää lentotuhkan haitallisuutta [4].

1. Odziejewicz, J. I. ym. (2022). Utilization of ashes from biomass combustion. *Energies*, 15(24), 9653.
2. Kalliokoski, M. (2015). Puu- ja turvetuhkan hyötykäyttökelpoisuuteen vaikuttavat tekijät pienillä polttolaitoksilla. Opinnäytetyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
3. Werkelin, J. (2002). Distribution of ash-forming elements in four trees of different species.
4. Korpijärvi, K. ym. (2009). Energiantuotannon tuhkien jalostaminen maarakennuskäyttöön. VTT Research notes, 2499.

Useiden haitta-aineiden yhtäaikaisten poistojen voidaan toteuttaa erilaisilla menetelmillä, joista osa on laajamittaisessa teollisessa käytössä. Hajautettuun käsittelyyn soveltuvia menetelmiä ovat mm. vesipesu ja ikäännytykset [1-2]. Vesipesussa tuhka sekoitetaan veteen, minkä jälkeen siitä suodatetaan tai laskeutetaan kiintoaine ja vesi erilleen. Vettä käytetään n. 3-10 litraa per kg kuivaa tuhkaa. Pesuja voidaan tehdä useampi peräkkäin halutun tuloksen aikaansaamiseksi. Haittapuoli on, että syntyvä jätevesi vaatii käsittelyn erikseen riippuen sen ominaisuuksista [2]. Lisäksi tuhkan fysikaaliset ominaisuudet muuttuvat pesussa, mikä voi vaikuttaa geotekniseen käyttöön.

Ikäännytykset on tavallaan vesipesun passiivinen muoto [1-2]. Siinä tuhka varastoidaan kasana tai altaassa ja sitä joko kastellaan tai se kastuu sateen vuoksi. Ajan myötä kloridit ja sulfaattit huuhtoutuvat ulos. Samalla tuhkan pH laskee hieman karbonisaation vuoksi ja osa metalleista stabiloituu vähemmän liukoisiksi. Menetelmä on yksinkertainen mutta hidas, sillä ikäntyminen vie viikkoja tai jopa kuukausia. Lisäksi siinä syntyy suolapitoista valumavettä, jonka hallinta tulee huolehtia.

Tuhkan MARA-käytön kannalta eräs menetelmä on seostaminen erittäin vähäsuolaiseen murskeeseen, jolloin seoksen suolapitoisuudet saadaan laskettua [2]. Seos pitää testata uudelleen haitta-aineiden varalta.

Tuhkien stabilointiin ja puhdistukseen on tarjolla lukuisia kehittyneempiä menetelmiä, joista osa on kaupallisessa käytössä [3]. Happopesulla tai kemiallisella saostuksella voidaan poistaa samanaikaisesti sekä metalleja että sulfaatteja ja klorideja. Näissä menetelmissä hajautetun käsittelyn haasteina ovat korkeat investointi- ja käyttökustannukset, mistä johtuen kannattavuus on usein heikko [3].

Joitain kiinnostavia ratkaisuja kuitenkin löytyy, joiden kautta kohteena olevia tuhkien käyttömahdollisuuksia voisi lisätä. Eräs vaihtoehto on Accelerated Carbonation Technology (ACT; Carbon8, UK), joka yhdistää hiilidioksidin talteenoton teollisuuden sivuvirroista lentotuhkan käsittelyyn [4]. Lentotuhka kapseloidaan kiinteään matriisiin hiilidioksidipitoisen ilman, veden ja lievän ylipaineen avulla (esim. 2 bar). Prosessi kestää noin 10–20 minuuttia, ja se on joustava erilaisille tuhcaseoksille [3].

Mahdollisia tuotteita ovat rakennusmateriaali (CircaBuild, täyttänyt kokeissa standardien EEN13242 ja EN13055 vaatimukset), hiilikrediitit [5] ja lannoitevalmiste [4]. ACT:sta on tarjolla modulaarinen konttimittakaavan ratkaisu, jota voidaan skaalata aina 12 000 tonniin asti [4]. Konttiratkaisua voisi käyttää pilotointiin pienessä mittakaavassa.

1. Kalliokoski, M. (2015). Puu- ja turvetuhkan hyötykäyttökelpoisuuteen vaikuttavat tekijät pienillä polttolaitoksilla. Opinnäytetyö. Lappeenranta teknillinen yliopisto.
2. Tapio. (2022). Ajankohtaisia tuhkan käytön kehittämistarpeita metsälannoituksessa ja maarakennuksessa. <https://tapio.fi/artikkelit/ajankohtaisia-tuhkan-kayton-kehittamistarpeita-metsalannoituksessa-ja-maarakennuksessa/>. Viitattu 20.11.2025.
3. Macon (2025). Nowa – Nordic Waste Management Vision. Arctic Waste Forum Nordic Ash Treatment Technologies Summary.
4. Carbon8. Verkkosivut osoitteessa <https://www.carbon8.co.uk/>. Viitattu 20.10.2025.
5. Puro Earth. Supplier Listings. Verkkosivut osoitteessa <https://puro.earth/CORC-co2-removal-certificate/supplier-listings>. Viitattu 20.10.2025.

4.7 Yhteenveto laadunparantamismenetelmistä

Kohteena olevien tuhkien laadunparantamismenetelmien yhteenveto on esitetty taulukossa 4.7. Tuhkan laadunparannusmenetelmät voidaan jakaa kolmeen pääryhmään eli ennen polttoa tehtävät ratkaisut, polton aikaiset toimenpiteet ja polton jälkeiset käsittelymenetelmät. Ennen polttoa polttoaineseoksen säätäminen voi nostaa tuhkan ravinnepitoisuutta sekä pienentää sinkkipitoisuutta. Viimeksi mainittu on kriittistä etenkin Kattiloiden 1-3 lentotuhkan MARA-käytön kannalta.

Polton aikana palamisolosuhteiden optimointi vaikuttaa tuhkan muodostumiseen ja ominaisuuksiin. Polttotehoa voidaan kasvattaa nostamalla polttolämpötilaa, mikä voi auttaa TOC- ja PAH-pitoisuuksien pienentämisessä. TOC-pitoisuuden pienentäminen on ratkaisevaa kaikkien kohteena olevien kattiloiden pohjatuhkien metsälannoituskäytön kannalta.

Polton jälkeen voidaan käyttää kuitu- tai sähkösuodatinta savukaasujen puhdistukseen, jolloin lentotuhkasta poistuu metalleja ja muita haitta-aineita. Myös lentotuhkan lajittelu voi tulla kyseeseen. Näin voitaisiin mahdollisesti vähentää sinkin määrää Kattiloiden 1-3 lentotuhkassa ja mahdollistaa sen MARA-käyttö.

Kattiloiden 1-5 tuhkat kerätään sammutusaltaan kautta, joten ne ovat kerättäessä märkiä. Käytännössä näille tuhille tapahtuu varastoinnissa itsekovettuminen [1,2]. Tuhkan esikäsittely rakeistamalla on siten tarpeen vain osalle tuhista.

Kuusamon EVO:n rakeistamoa on mahdollista käyttää myös tämän työn kohteena olevien tuhkien rakeistukseen. Käytännössä tuhka tulee kuljettaa painesäiliöllä rakeistamolle, jossa se puhalletaan siiloon [2]. Kuljetusmatka vaihtelee kattilasta riippuen välillä 10–70 km. Kuljetuskustannusten hinta-arvio on n. 19 euroa/t per 100 km.

Taulukko 4.7 Laadunparantamismenetelmien vaikutukset ja huomiot.

Menetelmä	Mihin voi vaikuttaa	Huomioita
Polttoaineseoksen säätäminen	- Ravinteet (metsälannoitus) - Zn (MARA-käyttö)	- Ravinnepitoisuuden nosto ei välttämätöntä, voidaan tehdä rakeistuksessa - Zn osalta tarvitaan lisäselvityksiä
Polton tehostaminen	TOC, PAH (kaikki käytöt)	Vaatii lisäselvityksiä
Kattiloiden uusiminen	TOC, PAH (kaikki käytöt)	Tapahtuu elinkaaren mukaisesti
Arinarautojen uusiminen	Cr ja Ni (kaikki käytöt)	Vaatii lisäselvityksiä
Savukaasujen puhdistus	- Metallit (kaikki käytöt) - Sulfaatit, kloridit (MARA-käyttö)	Syntyy suola- ja metallipitoista lentotuhkaa
Tuhkan lajittelu	Metallit (kaikki käytöt)	Syntyy metallipitoinen jae
Tuhkan uudelleenpoltto	TOC, PAH (kaikki käytöt)	- Ei tietoa: CAPEX, OPEX - Raskasmetallien liukoisuus voi kasvaa
Tuhkan peseminen tai ikäännyttäminen vedellä	- Metallit (kaikki käytöt) - Sulfaatit, kloridit (MARA-käyttö)	- Syntyy suola- ja metallipitoista jätettä - Tuhkan geoteknisten ominaisuuksien heikkeneminen
Kemiallinen käsittely	- Metallit (kaikki käytöt) - Sulfaatit, kloridit (MARA-käyttö)	Ei tietoa: CAPEX, OPEX
Tehostettu ikäänntyminen, mm. ACT	- Metallit (kaikki käytöt) - Sulfaatit, kloridit (MARA-käyttö)	- Ei tietoa: CAPEX, OPEX - Rakennustuote, hiilikrediitit
Rakeistus	- Käyttömukavuus ja –turvallisuus (kaikki käytöt) - Ravinnepitoisuus (metsälannoitus)	- Mahdollista alueella - Kuljetus n. 1,9-13 €/t

1. Tapio. (2022). Ajankohtaisia tuhkan käytön kehittämistarpeita metsälannoituksessa ja maarakennuksessa. <https://tapio.fi/artikkelit/ajankohtaisia-tuhkan-kayton-kehittamistarpeita-metsalannoituksessa-ja-maarakennuksessa/>. Viitattu 20.11.2025
2. Haastattelu 23.10.2025. Toimitusjohtaja Mika Mankinen, Kuusamon EVO.

5 Jatkojalostuksen ja - tutkimuksen mahdollisuudet

macon

5 Jatkojalostuksen ja - tutkimuksen mahdollisuudet

5.1 Jatkojalostusmahdollisuudet ja selvitystarpeet

Tulosten perusteella laadittiin kaavio kohteena olevien tuhkien potentiaalisista jatkojalostusreiteistä nykytilanteessa tai lähitulevaisuudessa (Kuva 5.1). Kelpoisuusvaatimukset täyttävistä tuhista tulisi tehdä geotekniset analyysit, jos niille halutaan löytää MARA-käyttöä. Tuhkien MARA-käytön osalta ensisijainen yhteistyökumppani on Metsähallitus, joka on haastatteluiden perusteella kiinnostunut selvittämään tuhkamursketeiden rakentamisen mahdollisuuksia Taivalkoskella [1].

Kattilakohtaiset selvitystarpeet ovat seuraavat (Taulukko 5.1).

Kattilat 1-3

- Lento- ja pohjatuhkien analyysit erikseen
- Polttoaineseoksen (kuoren osuuden vähentämisen) vaikutus Zn-pitoisuuteen
- Polttotehon kasvattamisen (lämpötilan nosto) ja vaikutus TOC- ja PAH-pitoisuuksiin
- Jälkikäsittelyvaihtoehtojen arviointi ja vaikutukset TOC-, PAH- ja Zn-pitoisuuksiin (jos kohdat i-iii eivät ratkaise ongelmaa)

Kattilat 4-5

- Polttotehon kasvattamisen (lämpötilan nosto) vaikutus TOC- ja DOC-pitoisuuksiin
- Jälkikäsittelyvaihtoehtojen arviointi ja vaikutukset TOC- ja DOC-pitoisuuksiin (jos kohta i ei ratkaise ongelmaa)

Kattilat 6-8

- Lento- ja pohjatuhkien analyysit erikseen
- Arinarautojen vaihdon vaikutus Cr- ja Ni-pitoisuuksiin (jos ongelma jatkuu)
- Polttoaineseoksen (kuoren osuuden vähentämisen) vaikutus Cr- ja Ni-pitoisuuksiin (jos ongelma jatkuu)
- Polttotehon kasvattamisen (lämpötilan nosto) vaikutus TOC- ja PAH-pitoisuuksiin

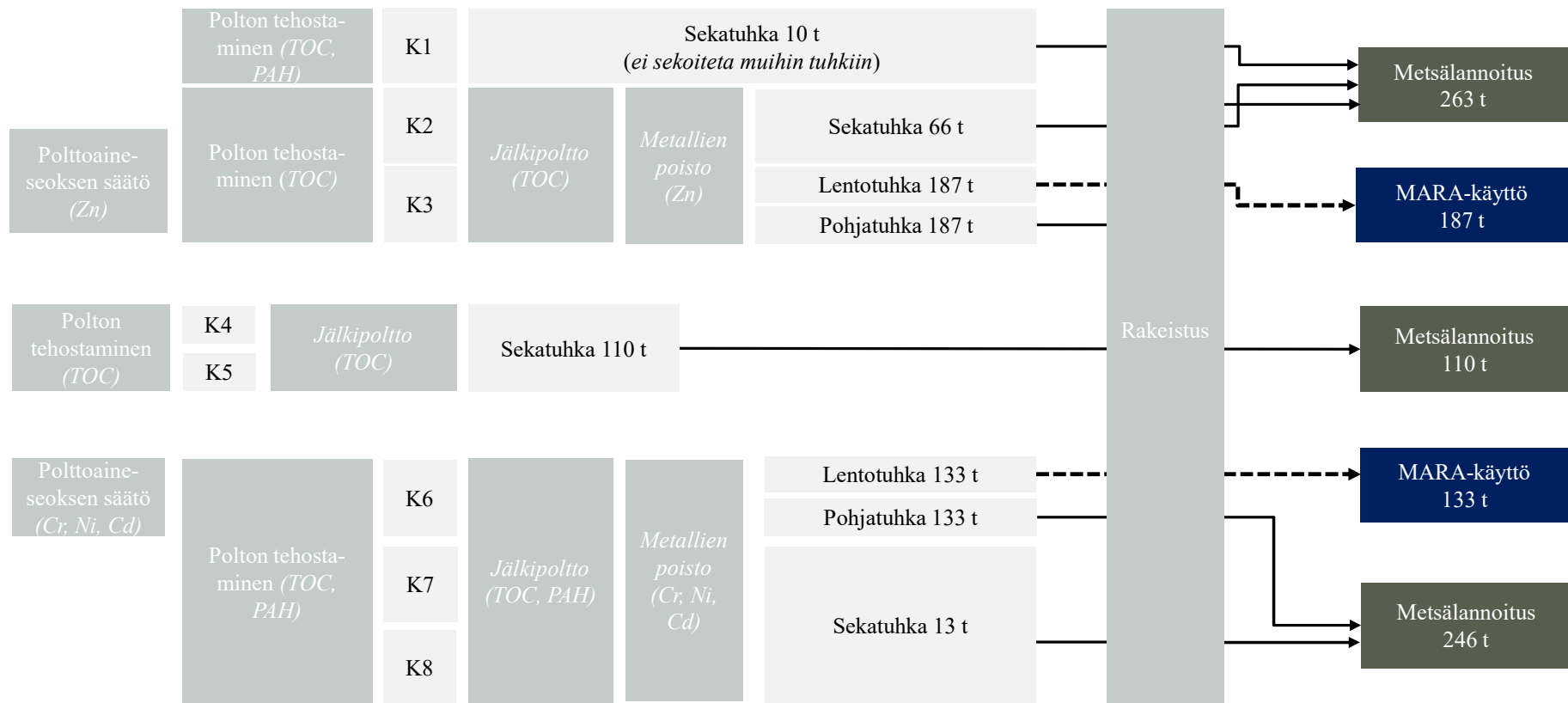
5.2 Jatkotutkimusmahdollisuudet

Tämän työn tulosten perusteella kohteena olevien tuhkien jatkokäyttömahdollisuuksiin liittyy useita potentiaalisia tutkimusaihioita. Yhteenvedo ja mahdolliset tutkimuspartnerit on kuvattu taulukossa 5.2)

Taulukko 5.1. Yhteenvedo lähitulevaisuuden käyttötapojen vaatimista lisäselvityksistä.

Käyttö	Kattilat 1-3	Kattilat 4-5	Kattilat 6-8
Kaikki	Erikseen keräyksen vaikutusten varmistaminen (tuhkien analyysit erikseen)	-	Erikseen keräyksen vaikutusten varmistaminen (tuhkien analyysit erikseen)
Metsälannoitus	Pohjatuhka - Polttotehon parantamisen mahdollisuudet ja vaikutukset (TOC ja PAH) - Tuhkan jälkikäsittelymenetelmien mahdollisuudet ja vaikutukset (TOC ja PAH) - Kattilan 1 tuhkien keräys erikseen, jos TOC ja PAH ei saada hallintaan	Sekatuhka - Polttotehon parantamisen mahdollisuudet ja vaikutukset (TOC) - Tuhkan jälkikäsittelymenetelmien mahdollisuudet ja vaikutukset (TOC)	Pohjatuhka - Polttoaineseoksen säätäminen (metallit) - Polttotehon parantamisen mahdollisuudet ja vaikutukset (TOC ja PAH) - Tuhkan jälkikäsittelymenetelmien mahdollisuudet ja vaikutukset (TOC, PAH, metallit)
MARA	Lentotuhka - Polttoaineseoksen säätäminen (Zn) - Tuhkan jälkikäsittelymenetelmien mahdollisuudet ja vaikutukset (Zn)	Sekatuhka - Polttotehon parantamisen mahdollisuudet ja vaikutukset (DOC) - Tuhkan jälkikäsittelymenetelmien mahdollisuudet ja vaikutukset (DOC)	Lentotuhka Kelpoisuus varmistettava erikseen pelkälle lentotuhkalle

1.Haastattelu 15.10.2025. Metsänhoitopäällikkö Ari Pasanen, Metsähallitus, Metsätalous Oy.



Kuva 5.1. Tuhkien jalostuksen mahdollinen kokonaismalli.

Taulukko 5.2. Yhteenvedo tutkimusaihioista sekä niiden mahdollisista tutkimuspartnereista.

Sovellus	Tutkimusteemat ja yrityksiä	Tutkimus- ja koulutusorganisaatio (yhteystiedot)	Aiheeseen liittyvä tutkimus
Rakennus- materiaalit	Teemat - Tuhkien mineralogiset ominaisuudet - Käyttömahdollisuuksien arviointi - Reseptiikan kehitys - Käsittelytapojen kehitys ja arviointi Yritykset - Betoni- ja geopolymeeriyritykset, mm. Ruskon Betoni, Ecoup, Keko - Geopolymeerit - Keramiikkatuotanto, mm. Bjarmia, Pentik - Kiertokaari - Terrafame	XAMK. Anne Gango, HITU, projektipäällikkö. Simo Viikki, Kivet Kiertoon projektipäällikkö. Hanne Soininen, tutkimusryhmäpäällikkö. Email: etunimi.sukunimi@xamk.fi	- HITU-hankkeessa (päättynyt 2020) tutkittiin hienonnetun biohiilen ja bioperäisen lentotuhkan hyödyntämismahdollisuuksia erilaisissa sovellutuksissa ja kehitettiin XAMK:n BioSammon mikronisointilaitteistoa tutkimuskäyttöön paremmin sopivaksi. Mikronisoitua biolentotuhkaa kokeiltiin betonituotteissa. - Kivet Kiertoon – hankkeessa (2024–2026) etsitään ratkaisuja kierrätysmateriaalien, sivuvirtojen ja jätteiden hyötykäytölle betonissa niin, että betonin tuotannon hiilijalanjälkeä saadaan pienennettyä.
		Oulun yliopisto. Tero Luukkonen, AshCycle koordinaattori. Päivö Kinnunen, CarbStone, tieteellinen johtaja. Email: etunimi.sukunimi@oulu.fi	- AshCycle-hankkeessa (2022-2026) tutkitaan, miten jätteen poltosta syntyvää tuhkaa voitaisiin hyödyntää maanrakennusaineena. Kiertokaari on mm. tutkinut tuhkan hyödyntämistä tukimuurielementtien valmistamisessa. - CarbStone –hankkeessa (2024-2026) jatkokehitetään Oulun yliopiston keksintöä, joka mahdollistaa mm. tuhkan hyödyntämisen teollisessa marmorin kaltaisessa materiaalissa. - SUSRES –hankkeessa (päättyy 2025) kehitetään prosesseja, jotka mahdollistavat yhdyskuntajätteen poltosta syntyvän tuhkan ja mineraalijäätteen hyödyntämisen.
		LUKE. Pasi Laajala, Erityisasiantuntija, Biopeitto Kainuu Email: etunimi.sukunimi@luke.fi . KAMK. Olli Isoranta, Biopeitto Kainuu projektipäällikkö. Email: etunimi.sukunimi@kamk.fi	Biopeitto Kainuu – hankkeessa (päättyy 2025) on tavoitteena mm. minimoida käytöstä poistettujen kaivosten peitossa tarvittava moreenin määrä sekä saada hyötykäyttöön paikalliset kierrätysmateriaalit, kuten voimalaitostuhka. Hankkeessa ovat mukana KAMK:n lisäksi LUKE, Geologian tutkimuskeskus GTK, Suomen Metsäkeskus ja Taaleri Bioteollisuus. Hanketta rahoittavat mm. Elementis Minerals B.V. ja Terrafame.
Vesien- käsittely	Teemat - Tuhkien ominaisuudet sovelluksen kannalta - Aktivointimenetelmät - Paikalliset käyttökohteet Yritykset - Turveyritykset, mm. Turveruukki, Neova	Oulun yliopisto. Tiina Leiviskä, Teollisuusvesitutkimusryhmä, Professori. Pekka M. Rossi, Vesihuolto ja vesienkäsittely-tutkimusryhmä. Email: etunimi.sukunimi@oulu.fi	- Teollisuusvesitutkimusryhmä (Kemiallisen prosessitekniikan tutkimusyksikkö) keskittyy uusien kestävien vedenkäsittelymateriaalien ja prosessien kehittämiseen sekä olemassa olevien teknologioiden optimointiin. - Vesihuolto ja vesienkäsittely-tutkimusryhmän tavoitteena on luoda ratkaisuja ja osaamista kestävään vesihuoltoon, jätevesisuunnitteluun ja hulevesien hallintaan erityisesti kylmissä ilmastossa.
		Tapio. Samuli Joensuu, HaSuMetsä projektipäällikkö. Email: etunimi.sukunimi@tapio.fi	HaSuMetsä-hankkeessa (päättynyt 2018) tutkittiin tuhkan käyttöä valumavesien happamoitumisen ehkäisyyn. Hanketta koordinoi Tapio ja siinä olivat mukana lisäksi LUKE, SYKE ja Suomen Metsäkeskus. Hankkeessa tekivät yhteistyötä myös mm. Turveruukki Oy/Oulun Energia Oy, Ecolan Oy ja ProAgria Länsi-Suomi.
Biokaasun tuotanto	Teemat - Tuhkan annostuksen ja vaikutusten tarkempi tutkimus Yritykset - Biokaasuyritykset, mm. Demeca, Gasum, Doranova - Lannoiteala, mm. Biolan, Ecolan	Jyväskylän yliopisto. Siiri Perämäki, Yliopistonlehtori, KIRE-hanke. Email: etunimi.sukunimi@jyu.fi LUKE. Saija Rasi, Johtava tutkija, Biokierratotalous. Email: etunimi.sukunimi@luke.fi	KIRE-hankkeessa (päättynyt 2023) hankkeen tavoitteena oli käyttää erilaisia yhteiskunnassa muodostuvia jäte- ja sivuvirtoja uusien raaka-aineiden valmistamiseksi. Hankkeessa tutkittiin tuhkan lisäyksen vaikutusta mädätysprosessiin. Projektin aikana hahmoteltiin myös alustavia talouslukuja. Hanketta koordinoi Jyväskylän yliopisto ja siinä oli mukana myös LUKE.

macon



4.12.2025

Macon Oy

30