



Jamk University of Applied Sciences

Heleä - vihreän siirtymään ratkaisuja tuhkan hyötykäytön ja tuhkalannoituksen lisäämisellä

Tuhkaan perustuvan liiketoiminnan kehittäminen yritysten toiminnan tueksi

Aki Laaksonen, Juha Pesonen, Tanja Shemeikka
Kevät 2026

Sisällysluettelo

1 Johdanto	2
2 Prosessin yleiskuvaus	4
2.1 Tuhkaprosessin päävaiheet	4
2.2 Lämpölaitokset, tuhkalajit ja volyymit	8
2.3 Sidosryhmät ja verkostokartta.....	9
3 Vaihekohtainen liiketoiminta-analyysi.....	11
3.1 Tuhkan laatu	11
3.2 Terminaalin sijainti, perustamiskustannukset, kuljetusjärjestelyt ja logistiikka lämpölaitoksilta.....	13
3.3 Logistiikkakustannusten mallintaminen	16
3.4 Logistiikan uusi liiketoiminta; kuljetusjärjestelypalvelu	17
3.5 Tuhkan hyötyjen esille tuominen markkinoinnissa.....	17
4 Riskit ja onnistumisen edellytykset	18
5 Yhteenveto	22

Kuvio 1. Prosessikuvaus tuhkan matkasta lämpölaitoksilta lopputuotteiksi (Laaksonen & Shemeikka, 2026)

Kuvio 2. Porttianalyysi: skenaario EDXRF ja Hyperspektri (Matilainen, Tiihonen & Virtanen, 2025)

Kuvio 3. Haitta-aineiden poisto (Matilainen, Tiihonen & Virtanen, 2025)

Kuvio 4. Haastateltujen lämpölaitosten tuhkalaadut ja tuhkien volyymit

Kuvio 5. Tuhkaliiketoiminnan sidosryhmät ja verkostokartta (Laaksonen, 2025)

Kuvio 6. Keski-Suomen tuhkan tuottajien sijainnit ja osuudet tuhkan tuotannosta

Kuvio 7. Tuhkalannoitukselle soveltuvat metsäalueet Keski-Suomessa

Kuvio 8. Laukaanportin sijainti Keski-Suomessa

Kuvio 9. Laukaanportin vapaat tontit

Kuvio 10. Laukaanportin tonttien hinnat

Kuvio 11. Kuljetusskenarioiden kustannukset

Kuvio 12. Tuhkaliiketoiminnan haasteet ja mahdolliset ratkaisut

Kuvio 13. Tuhkaliiketoiminnan riskit

1 Johdanto

Tuhkan hyötykäyttöön liittyvä potentiaali on tunnistettu laajasti, mutta siihen perustuva liiketoiminta on edelleen kehitysvaiheessa. Alalla esiintyy samanaikaisesti merkittäviä mahdollisuuksia ja haasteita. Keskeisiä haasteita ovat tuhkan laadun vaihtelu, tiukka sääntely, logistiset kustannukset sekä osin keskeneräinen teknologia. Samanaikaisesti markkinoilla on tunnistettavissa huomattavaa potentiaalia erityisesti metsälannoituksen, maarakentamisen sekä korkeamman jalostusasteen materiaalien kehittämisen näkökulmasta. Mikäli lainsäädännön tulkintoja saadaan selkeytettyä, analytiikan kustannuksia alennettua ja toimijaverkostoja vahvistettua, tuhka voi kehittyä jätteestä arvokkaaksi teollisuuden raaka-aineeksi ja merkittäväksi kiertotalouden resurssiksi. Tämän kehityksen toteutuminen edellyttää kuitenkin strategisia investointeja, teknologista kehitystä sekä markkinoiden aktiivista ohjausta.

Tuhkan liiketoimintapotentiaalia on tarkasteltu myös aiemmissa hankkeissa, kuten Vastuullista liiketoimintaa tuhka. Siitä julkaistussa raportissa *Tuhka osana kestäväää liiketoimintaa – Opas tuhkan tuottajille ja käyttäjille* (2021) todetaan, että tuhkan hyötykäyttöön liittyvä liiketoimintapotentiaali on olemassa, mutta sen realisoituminen edellyttää lainsäädännön tulkinnan selkeyttämistä, prosessien vakiointia sekä taloudellisten kannustimien ja yhteistyörakenteiden kehittämistä.

Vihreään siirtymään ratkaisuja tuhkan hyötykäytön ja tuhkalannoituksen lisäämisellä (Heleä) -hankkeessa pyrittiin edistämään erityisesti tuhkalannoituksen hyödyntämistä ja siihen liittyvien haasteiden ratkaisemista. Hanke toteutettiin Euroopan unionin Oikeudenmukaisen siirtymän rahaston (Just Transition Fund, JTF), Keski-Suomen liiton sekä julkisen ja yksityisen sektorin rahoituksella. Hankkeen toteutusaika oli 1.1.2024–28.2.2026. Yhteishankkeen toteuttivat Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Jyväskylän yliopisto sekä Suomen Metsäkeskus.

Hankkeessa tarkasteltiin yhteensä 22 Keski-Suomessa toimivaa lämpölaitosta ja muuta toimijaa, joiden yhteenlaskettu tuhkan tuotantokapasiteetti on noin 15 000 tonnia vuodessa. Jyväskylän yliopiston tehtävänä hankkeessa oli tuhkan laadun selvittäminen sekä laadun parantamiseen ja rikastamiseen liittyvä tutkimus. Tuhkan laadun selvittäminen sisälsi ravinteiden ja muiden arvokkaiden metallien analysointia menetelmillä, jotka on kehitetty ja optimoitu Jyväskylän yliopistossa.

Hankkeen liiketoimintaa koskeva työkokonaisuus oli nimeltään ”Tuhkaan perustuvan liiketoiminnan kehittäminen yritysten toiminnan tueksi”. Työn tavoitteena oli mallintaa tuhkaliiketoiminnan mahdollisia toimintamalleja ja arvioida uuden potentiaalisen liiketoiminnan toteuttamisedellytyksiä Keski-Suomessa. Mallinnuksen avulla pyrittiin tunnistamaan liiketoiminnan kannalta kustannustehokkaimmat ja kestävimmat ratkaisut.

Liiketoiminnan tarkastelu toteutettiin yhteistyössä Jyväskylän ammattikorkeakoulun teknologiayksikön (logistiikka) sekä Jyväskylän yliopiston kemian laitoksen kanssa. Työn tueksi järjestettiin yritys yhteistyössä kolme työpajaa lämpölaitosten kanssa.

Työpajojen tavoitteena oli kehittää tuhkan hyötykäyttöön liittyviä toimintamalleja, tunnistaa prosessien pullonkauloja sekä kartoittaa uusia liiketoimintamahdollisuuksia.

Ensimmäisessä työpajassa kuvattiin kuiva- ja märkätuhkan nykytilan (as-is) prosessit metsälannoitekäytössä sekä tunnistettiin niihin liittyvät haasteet, pullonkaulat ja lainsäädännölliset reunaehdot. Työskentelyn tuloksena laadittiin sekä nykytilan että tavoitetilan (to-be) prosessikuvaukset kuiva- ja märkätuhkalle. Näiden pohjalta hanketiimi määritteli viisi vaihtoehtoista skenaariota, jotka kuvasivat erilaisia toimintamalleja tuhkan lannoitekäytölle.

Toisessa työpajassa hanketiimin laatimia skenaarioita arvioitiin ja jatkokehitettiin yhdessä yritysten ja asiantuntijoiden kanssa. Ryhmätyöskentelyssä tunnistettiin kunkin skenaarion vahvuudet, edellytykset ja mahdollisuudet sekä toisaalta myös heikkoudet, haasteet ja kehitystarpeet. Lisäksi tarkasteltiin lainsäädännön roolia ja vaikutuksia eri skenaarioissa. Työpaja tuotti monipuolisen ja kriittisen näkemyksen skenaarioiden toteuttamiskelpoisuudesta.

Työpajojen jälkeen hanketiimi jatkoi skenaarioiden analysointia ja syventämistä. Tarkastelussa keskityttiin erityisesti skenaarioon, jossa tuhkan välivarastointi, rakeistus ja muu käsittely tapahtuisi terminaalissa Laukaanportin yritysalueella. Tätä skenaariota varten haastateltiin asiantuntijoita ja kehitettiin integroitu toimintamalli, joka yhdistää keskeiset toimijat, prosessit ja vastuut tuhkan hyötykäytön tehostamiseksi.

Kolmannen työpajan tavoitteena oli tarkastella Laukaanportin tuhkaterminaliin liittyviä mahdollisuuksia ja toiminnan haasteita. Työpajassa nousi esiin myös vaihtoehtoisena sijaintina Mustankorkean kiertotalouskeskittymä. Sen soveltuvuutta analysoitiin hankkeen loppuvaiheessa, mutta raportin laskelmat perustuvat kuitenkin Laukaanportin sijaintiin. Työskentelyn tuloksena muodostettiin toimintamalli, jossa kuvataan tuhkaan perustuvan liiketoiminnan mahdollisuudet lämpölaitokselta Laukaanportin tuhkaterminaliin saakka. Tuhkan levitysprosessia ei sisällytetä tässä raportissa esitettyihin toimintamalleihin eikä niihin liittyviin laskelmiin.

Lämpölaitos/lämmöntuottaja

Tuhkat vaihtelevat paljon lähteen mukaan. Vasta syntynyt, tuore tuhka on yleensä erittäin hienojakoista ja pölyävää. Tämä asettaa vaatimuksia lämmöntuottajalle ja tulee huomioida lämpölaitoksen yhteydessä. Tuhkan varastointi kasassa tai aumassa peittämättömänä voi aiheuttaa pölyämistä. Käytännön haasteena lämmöntuottajien näkökulmasta on se, että tuhka halutaan päästä eroon mahdollisimman pienin kustannuksin. Tuhkan hyötykäytön ja metsälannoituksen lisäämisen näkökulmasta lämpölaitokselle tulisi tarjota taloudellisesti järkevä ja kustannustehokas tapa – hyötyyn perustuva arvolutaus – kanavoida tuhka metsälannoituksen edistämiseen. Lisäksi tulisi pyrkiä sopimusmalliin, jossa niin lämmöntuottaja kuin tuhkan hyödyntäjä luovat yhteistä arvoa tuhkan saatavuuden, logistiikan ja hyödyntämisen suhteen. Sopimus tulee mitoittaa siten, että molemmat osapuolet saisivat parhaan mahdollisen hyödyn ja että tuhka tulisi soveltuvaan hyötykäyttöön.

Kuljetusjärjestelypalvelu ja logistiikka

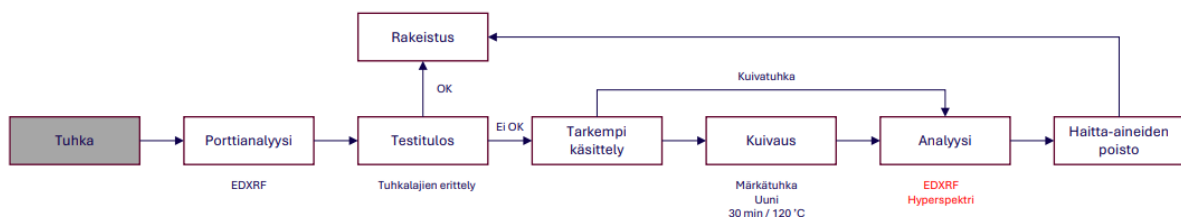
Tuhkan hajautettu tuotanto eli tuhkan syntyminen monissa eri lokaatioissa tuo omat haasteensa logistiikan ja kustannusten näkökulmasta. Tämä vaatii hajautetun keräily- ja kuljetusjärjestelmän, mikä nostaa kustannuksia. Tuhkan kuljetus on kallista, koska se on tilavuudeltaan suuri, mutta painoltaan kevyt. Varastointi ja käsittely vaativat tilaa ja investointeja.

Tarkasteltavassa toimintaketjussa tuhka voidaan kuljettaa joko yhdistelmäajoneuvolla (vaihtolavat) tai puhallusautolla (säiliö) riippuen tuhkalaadusta. Keskimääräinen etäisyys terminaalista olisi noin 50 kilometriä. Tarkasteltavassa toimintaketjussa vaihtolavakuljetuskertoja tulisi noin 70 kappaletta ja kuljetettava määrä olisi noin 3 000 tonnia vuodessa. Tämä toteutettaisiin suunniteltuna virtana. Puhallusautolla tapahtuvia kuljetuskertoja tulisi noin 260 kappaletta ja kuljetettava määrä olisi noin 12 000 tonnia vuodessa. Tämä toteutettaisiin jatkuvana virtana.

Käytännön haasteena tässä yhteydessä on tuhkan hajautettu tuotanto eli tuhkan syntyminen monissa eri lokaatioissa. Ratkaisuehdotuksena tähän on koko logistiikkaketjun optimointi. Tämä edellyttää tuhkan syntypaikkojen ja paikallisten hyötykäyttökohteiden tunnistamista eli paikkatietopohjaista suunnittelumallia sekä reittioptimointia. Toimitusmallien näkökulmasta soveltuvaa voisi olla esimerkiksi yhteistoiminnalliset toimitusmallit ja –ketjut. Liiketoiminnallisesti tämä voisi tarkoittaa sitä, että kuljetuspalvelut voisi tuottaa markkinoilla olemassa olevalla kapasiteetilla. Kuljetusjärjestelypalvelun voisi puolestaan ottaa vastuulleen erillinen toimija. Näin ollen myös riskienhallinta ja toiminnan taloudelliset edellytykset tulisi huomioiduksi tässä yhteydessä.

Porttialalyysi

Porttialalyysin osalta saapuvista tuhkaeristä otetaan porttinäyte (kuormanäyte), jonka perusteella tuhkalajit lajitellaan. Porttinäytteen ottamiseen tarkoitettuja laitteita on saatavilla lukuisia eri vaihtoehtoja. Tuhkaterminaalin käyttöön halvin porttinäytteeseen soveltuva laite on EDXRF-laitteisto, jonka kustannus on noin 15 k€, mutta myös kalliimmat laitteet, kuten aaltodispersiivinen WDXRF on n. 350 k€.



Kuvio 2. Porttialalyysi: skenaario EDXRF ja Hyperspektri (Matilainen, Tiihonen & Virtanen, 2025)

Tuhkavirtojen ohjaus, lajittelu ja välivarastointi

Porttialalyysin tulosten perusteella tuhkavirrat ohjataan prosessissa eteenpäin ja tuhkalajit lajitellaan välivarastointiin. Vaihtolavoilla tulleet tuhkat lajitellaan looseihin ja puhallusautolla tulleet tuhkat puolestaan varastoidaan siiloissa. Jos tuhka todetaan prosessin näkökulmasta käyttökelvottomaksi, se voidaan kuljettaa suoraan kaatopaikalle.

Lämpölaitoksilta vaihtolavoilla tulleet tuhkat lajitellaan ja varastoidaan niiden soveltuvuuden mukaisesti erillisiin looseihin. Nämä tuhkalajit pidetään toisistaan erillään ja varastoinnissa noudatetaan lainsäädännön määräyksiä liittyen erilaisiin tuhkiin ja niiden ominaisuuksiin. Prosessimallissa näitä looseja on neljä kappaletta.

- 1) *Loosi 1: Biopolttoaineella poltetut tuhkat, jotka soveltuvat suoraan metsälannoitukseen*
- 2) *Loosi 2: Haitta-aineiden poistoa vaativat, metsälannoitukseen soveltuvat tuhkat*
- 3) *Loosi 3: Peltolannoitteeksi soveltuvat tuhkat*
- 4) *Loosi 4: Ei metsälannoitukseen soveltuvat tuhkat*

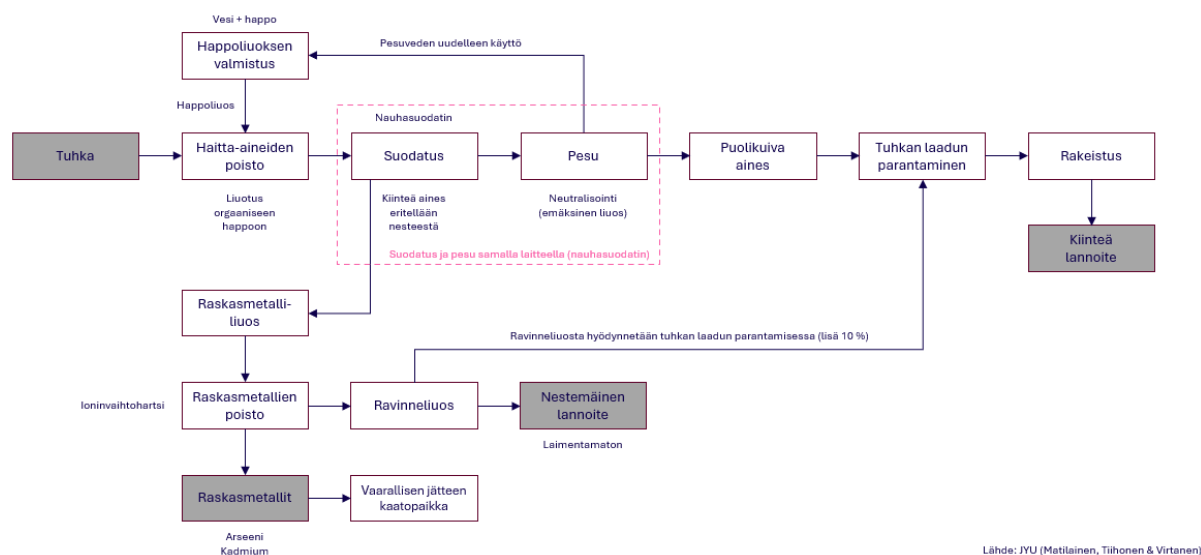
Soveltuvuuden mukaisesti loosien tuhkat ohjataan prosessissa eteenpäin joko suoraan tuhkan laadun parannukseen ja rakeistukseen tai haitta-aineiden poistoon ja sen mukaiseen jatkokäsittelyyn.

Lämpölaitoksilta puhallusautoilla tulleet tuhkat lajitellaan ja varastoidaan erillisiin silloihin niiden soveltuvuuden mukaisesti. Sillojen tuhkat ohjataan prosessissa eteenpäin joko suoraan tuhkan laadun parannukseen ja rakeistukseen tai haitta-aineiden poistoon ja mukaiseen jatkokäsittelyyn.

Haitta-aineiden poisto ja tuhkan laadun parantaminen

Haitta-aineiden poisto tapahtuu useassa vaiheessa. Ensin tuhka liuotetaan orgaaniseen happoon, joka valmistetaan vedestä ja haposta. Liuotuksen jälkeen kiinteä aines erotetaan nesteestä nauhasuodattimella. Happoliuos neutraloidaan emäksisellä liuksella, ja pesuvesi kierrätetään prosessissa uudelleen. Samalla raskasmetallit, kuten arseeni ja kadmium, poistetaan ioninvaihtohartsin avulla. Prosessin sivutuotteena syntyy ravinneliuos, jota voidaan hyödyntää tuhkan laadun parantamisessa (lisäys noin 10 %). Lopputuotteena saadaan nestemäistä ja kiinteää lannoitetta.

Kun haitta-aineet on poistettu, tuhka rakeistetaan (pelletöidään) yhdessä lisäaineiden ja veden kanssa. Rakeistusvaiheeseen kuuluu sekoitus, jäähdytys ja lämpökäsittely, joka stabiloi lopputuotteen. Prosessissa hyödynnetään energian kierrätystä ja savukaasujen puhdistusta. Valmis tuote voidaan käyttää maanrakennuksessa (MARA-hyväksyntä) tai lannoitteena. Koko prosessi vaatii noin 1000 m² tilaa ja sisältää useita laitteita, kuten nauhasuodattimen, sekoittimen ja lämpökäsittelylaitteiston.



Kuvio 3. Haitta-aineiden poisto (Matilainen, Tiuhonen & Virtanen, 2025)

Lopputuotteiden näkökulmasta asiaa voidaan tarkastella kolmen mahdollisen suorituksen kautta; 1) kiinteä lannoite, 2) nestemäinen lannoite ja 3) raskasmetallit.

Näille kaikille tulee luoda toimivat markkinat ja logistinen ketju aina loppukäyttäjille saakka. Lopputuotteen valmistaja on vastuussa siitä, että lannoitteen raaka-aineena käytettävä tuhka täyttää kaikki lainsäädännön kohdat (tuottaja-valmistaja-lannoittaja-metsänomistaja ketju). Tuoteseloste on aina annettava tuhkan loppukäyttäjälle muiden asiakirjojen ohessa.

2.2 Lämpölaitokset, tuhkalajit ja volyymit

Tuhkaliiketoiminnan näkökulmasta on tärkeä tarkastella lämpölaitoksilla syntyvien tuhkien määriä ja niiden tuhkalajeja.

Oheinen taulukko havainnollistaa HELEÄ-hankkeeseen haastateltujen lämpölaitosten tuhkalaatuja sekä tuhkien määriä.

Voimalaitos	Tuhkalaji	Volyymi/v
Alva Oy, Keljonlahti	Kuivatuhka	9 250 tn
Alva Oy, Rauhalahti	Kuivatuhka	2 540 tn
Nevel Oy, Viitasaari	Märkätuhka	800 tn
Versowood Oy, Hankasalmi	Märkätuhka	320 tn
ER-Saha Oy, Viitasaari	Märkätuhka	268 tn
Adven Oy, Nammo	Kuivatuhka	250 tn
Loimua Oy, Jyväskylä	Märkätuhka	196 tn
Saarijärven Kaukolämpö Oy, Saarijärvi, laitos 1	Kuivatuhka	180 tn
Versowood Oy, Hankasalmi	Kuivatuhka	150 tn
Multian Saha Oy, Multia	Märkätuhka	125 tn
Lempeä Lämpö Oy, Joutsa	Märkätuhka	116 tn
Saarijärven Kaukolämpö Oy, Saarijärvi, laitos 2	Kuivatuhka	110 tn
Puulaakson Energia Oy, Karstula	Märkätuhka	100 tn
Lempeä Lämpö Oy, Joutsa	Märkätuhka	94 tn
Kinnulan Lämpö Oy, Kinnula	Märkätuhka	40 tn
Adven Oy, Panda Vaajakoski	Kuivatuhka	12 tn
Adven Oy, Peurunka Laukaa	Kuivatuhka	10 tn
Lempeä Lämpö Oy, Joutsa	Kuivatuhka	10 tn
Loimua Oy, Tikkakoski 125 tn märkä ja 4 tn kuiva, Laukaa 71 tn märkä	Märkätuhka, Tikkakoski kuiva lentotuhka	4 tn
Konneveden Lämpö Oy, Konnevesi	Märkätuhka	200–350 m3
EKO Energiapalvelut ETK Oy, Jyväskylä	Kuivatuhka	25 m3
Kokon Puutarha Oy, Äänekoski	Kuivatuhka	25 m3
Ääneseudun Biolämpö Oy, Äänekoski	Märkätuhka	24 m3
Sumergia Oy, Äänekoski	Kuivatuhka	20 m3
Lievestuoreen Lämpö Oy, Lievestuore	Märkätuhka	20 m3

Kuvio 4. Haastateltujen lämpölaitosten tuhkalaadut ja tuhkien volyymit

Kuten edellä oleva taulukko havainnollistaa, suurimmat tuhkan tuottajat Keski-Suomen alueella ovat Alva Oy:n lämpölaitokset Jyväskylän Keljonlahdessa ja Rauhalahdessa. Ero kolmanneksi suurimman tuhkan tuottajan – Nevel Oy, Viitasaari – ja Rauhalahden laitoksen välillä on hyvin merkittävä.

Tuhkan määrien osalta on tärkeä huomioida se, että Alva Oy:n vuonna 1986 käyttöön otettu Rauhalahden voimalaitos on tulossa teknisen käyttöikänsä päähän ensi vuosikymmenellä. Alvan hiilineutraaliustavoitteet edellyttävät energijärjestelmän uudistamista ja investointeja, joilla Alva varautuu tulevaisuuteen. Lämpöpumpuilla, sähkökattiloilla sekä niihin yhdistetyllä kaukolämpöakulla on tarkoituksena ajan mittaan korvata Rauhalahden voimalaitoksen tuotanto (Alva Oy, lainattu 2026). Tällä on suuri vaikutus syntyvän tuhkan määrään, joka puolestaan vaikuttaa tuhkaliiketoiminnan mahdollisuuksiin Keski-Suomessa. Liiketoiminnallisesti tärkeäksi nousee riittävän laadukkaan tuhkan määrä, jotta prosessin kautta se voitaisiin taloudellisesti kannattavasti hyödyntää metsälannoituksessa. Toki logististen rajoitteiden puitteissa tuhkaa voisi olla mahdollista tuoda Keski-Suomen ulkopuolelta täällä jalostettavaksi ja hyödynnettäväksi, mutta tätä tarkastelua ei tarkemmin tehty tässä hankkeessa.

Lisäksi tuhkamääriä tarkasteltaessa on hyvä huomioida, että Alva Oy ja sementinvalmistaja Finnsementti Oy ovat solmineet 1+1-vuotisen sopimuksen, joka varmistaa Jyväskylän Rauhalahden ja Keljonlahden voimalaitoksilla syntyvän lentotuhkan hyötykäytön ja hyödyntämisen sementinvalmistuksessa. (Keskisuomalainen, 13.3.2026, s. 14, viitattu 13.3.2026)

Yhteenvetona voidaan todeta, että soveltuvan (laatu, ominaisuudet) tuhkan määrä (saatavuus) sekä käyttökohde ovat erittäin olennaisia osia koko tuhkaliiketoimintamahdollisuuksien kokonaisuutta. Hyödynnettävyys ja hyödyntämisketju perustuvat pitkälti lainsäädäntöön, joka määrittelee mitä materiaalilla saa tehdä. Tähän liittyy esimerkiksi materiaalin luokitus, ympäristökelpoisuuden raja-arvot sekä käytön luvanvaraisuus. Jos lainsäädännön vaateet tuhkalta täyttyvät, täytyy tuhkan olla vielä käytettävissä. Tuhkan käyttöön vaikuttavat muun muassa sen ominaisuudet ja saatavuus. Hyödyntämisketjuja voivat olla esimerkiksi lannoitekäyttö, maarakennuskäyttö, betonituotteiden valmistus jne.

2.3 Sidosryhmät ja verkostokartta

Tuhkan liiketoiminnallisiin edellytyksiin ja prosessiin liittyy hyvin olennaisesti erilaisia sidosryhmiä. Tätä asiaa voidaan tarkastella esimerkiksi seuraavanlaisen pääjaottelun avulla, jossa huomioidaan tuotanto, logistiikka, jalostus, hyötykäyttö, markkinat ja viranomaiset.

Tuhkan tuottajia voivat olla esimerkiksi energiayhtiöt, teollisuuslaitokset, biomassaa polttavat laitokset ja jätteenpolttolaitokset.

Jotta tuhka saadaan prosessissa eteenpäin, tarvitaan logistista verkostoa. Keräyksen, kuljetuksen ja logistiikan osalta prosessiin liittyvät kuljetusyrietykset, varastointi- ja terminaalioperaattorit sekä logistiikan suunnittelijat ja logistiikkapalveluyrietykset.

Yleensä tuhkaa tulee käsitellä ennen sen hyödyntämistä, varsinkin jos tuhkaa käytetään lannoitteena. Tähän prosessin vaiheeseen liittyvät tuhkan rakeistajat, stabiloijat ja pelletöijät, lannoitevalmistajat, rakennusmateriaalien valmistajat, kierrätysalan toimijat sekä laboratoriot (laatu-, haitta-aine ja lannoiteanalyysit).

Tuhkan hyödyntäjiä päätasolla ovat rakentaminen, maatalous ja metsätalous sekä muut hyödyntäjät. Rakentamisen osalta toimijoita ovat esimerkiksi infra- ja maarakennusyrietykset, betonituotteiden valmistajat, tienrakentajat sekä maanrakennusurakoitsijat. Maatalouden ja metsätalouden osalta toimijoita ovat esimerkiksi metsänomistajat, maatilayrittäjät sekä biotalous- ja kiertotalousyrietykset. Muita tuhkan hyödyntäjiä ovat esimerkiksi kaivosteollisuus, kaatopaikkojen ja vanhojen teollisuusalueiden peittoaineet sekä ympäristörakentamisen toimijat. Tässä raportissa tuhkan hyötykäytön lisäämisen pääpaino on kuitenkin metsälannoituksessa.

Tuhkan hyötykäyttöön liittyy hyvin kiinteästi viranomaiset ja sääntely. Ympäristöviranomaisten näkökulmasta tähän liittyy ympäristöluvat ja tuhkan hyötykäytön hyväksyntä. Muita olennaisia toimijoita ovat turvallisuus- ja kemikaaliviranomaiset (esim. Tukes), liikenne- ja infrastruktuuriviranomaiset (väylärakentaminen) sekä EU- ja kansallinen lainsäädäntö (jätteet, sivutuotteet ja lannoitevalmisteet).

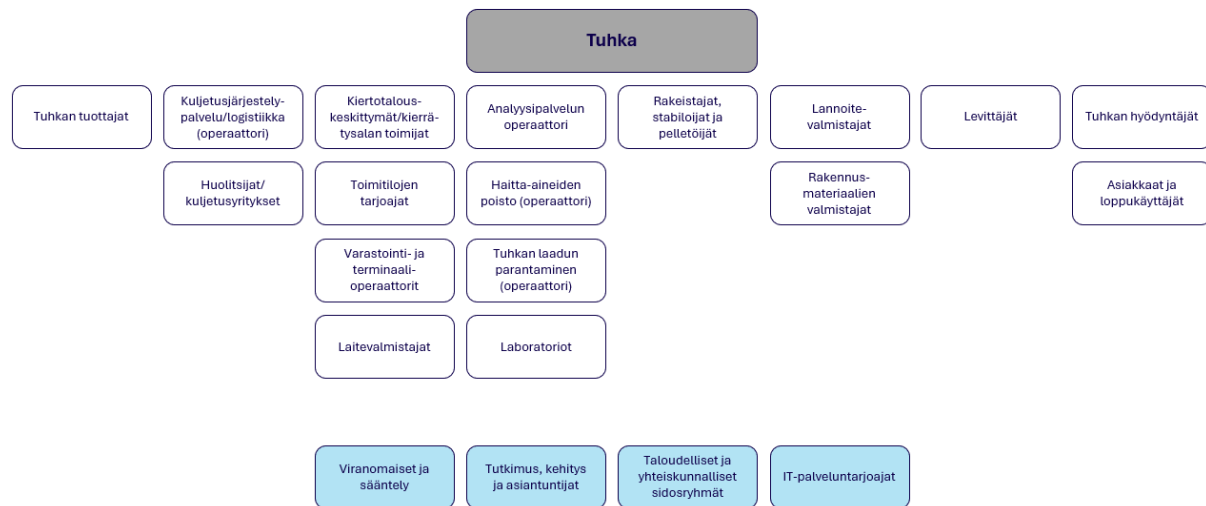
Aihe vaatii myös jatkuvaa tutkimusta ja kehitystä. Tutkimus-, kehitys -ja asiantuntijatahot tarkoittavat esimerkiksi yliopistoja ja tutkimuslaitoksia (esim. VTT, Luke), teknologian kehittäjiä (jalostusmenetelmät, uudet käyttökohteet), konsultointi- ja insinööritoimistoja sekä standardointiorganisaatioita (esim. SFS, CEN).

Tuhkaliiketoiminnan tarkastelu vaatii myös taloudellisten ja yhteiskunnallisten sidosryhmien huomioimista. Tähän liittyvät esimerkiksi investoijat ja rahoituslaitokset, kuntien ja kaupunkien omistajaohjaus, naapurustot ja yhteisöt (erityisesti varasto- ja käsittelyalueiden lähellä) sekä kiertotalouden verkostot ja toimialajärjestöt.

Viimeisenä, muttei vähäisimpänä, tulee huomioida asiakkaat ja loppukäyttäjät. Tuhkan näkökulmasta näitä toimijoita ovat esimerkiksi infra- ja rakennusurakat, kunnat ja kaupungit (rakentamishankkeet), metsänhoitoyhdistykset, maatalousalan toimijat sekä materiaaliteollisuus (sementti, sideaineet, geopolymeerit).

Seuraava kuvio havainnollistaa tuhkaliiketoimintaan liittyviä sidosryhmiä ja verkostokarttaa. Tässä kuviossa tarkastelu on laadittu pääosin HELEÄ-hankkeen ja

metsälannoituksen näkökulmasta prosessimaisesti tuhkan tuottajista asiakkaisiin ja loppukäyttäjiin. Kuviossa on korostettu vaalean sinisellä värillä niitä toimijoita, jotka vaikuttavat laajemmin tuhkaliiketoiminnan osalta, ei pelkästään aiemmin kuvatun prosessin näkökulmasta.



Lähde: Jamk (Laaksonen)

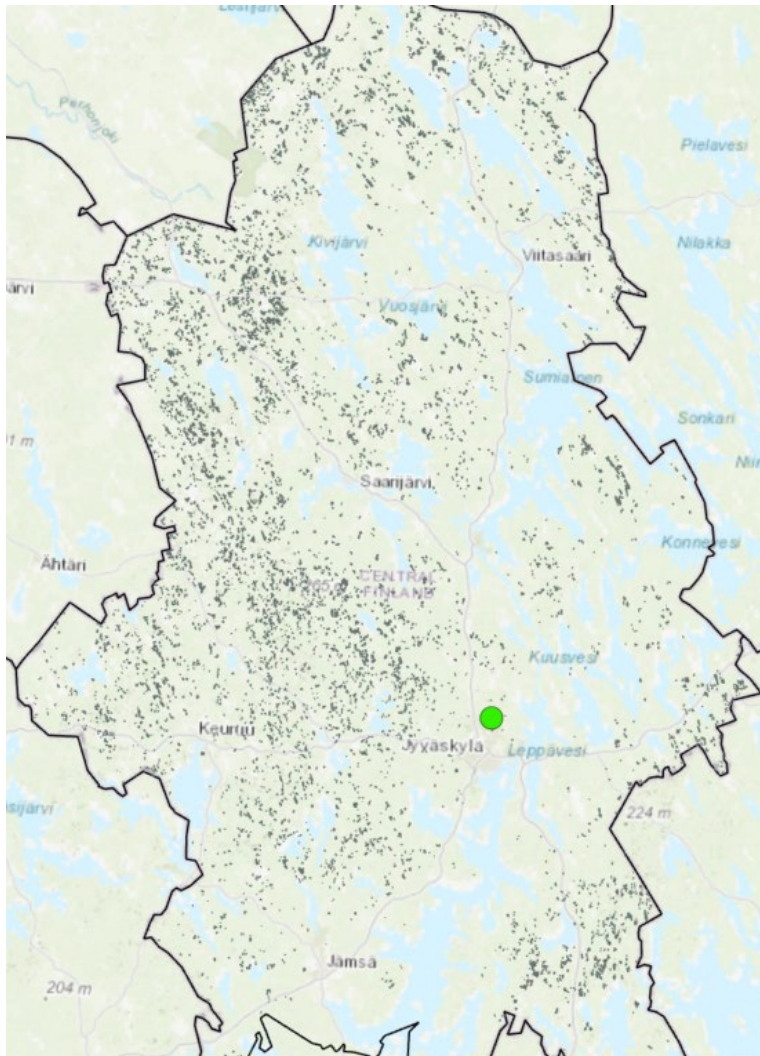
Kuvio 5. Tuhkaliiketoiminnan sidosryhmät ja verkostokartta (Laaksonen, 2025)

Kuten edellä oleva kuvio havainnollistaa, tuhkaliiketoimintaan liittyviä sidosryhmiä on siis useita. Tämä vaatii vahvaa verkostojohtamista ja hyvin tarkkaa toimialan ymmärrystä, jotta tuhkaketjusta ja prosessista saataisiin liiketoiminnallisesti kannattava yhtälö. Luonnollisesti logistiikka nousee erittäin tärkeään rooliin tässä prosessissa, jotta tuhkan hyötykäyttöä voitaisiin lisätä metsälannoituksella. Haasteena liiketoiminnalle on se, että koko tuhkaketju laitokselta metsään pitäisi saada optimoidusti toimimaan sekä tuottamaan arvoa ketjun eri sidosryhmille sen kaikissa vaiheissa. Tämä edellyttää yhteisymmärryksen luomista, muutoksia ajattelu- ja toimintatavoissa, lainsäädännön tarkastelua, synergiaetujen tunnistamista sekä tuhkaliiketoiminnan mahdollisuuksien läpinäkyväksi tuomista.

3 Vaihekohtainen liiketoiminta-analyysi

3.1 Tuhkan laatu

Hankkeen aikana analysoitiin yhteensä 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



Kuvio 7. Tuhkalannoitukselle soveltuvat metsäalueet Keski-Suomessa (tumman vihreä) ja tuhkantuotannon painotettu keskipiste (vihreällä ympyrä).

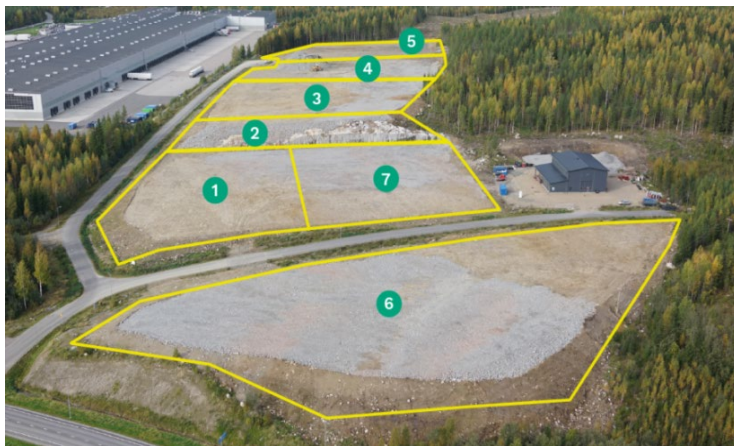
3.2 Terminaalin sijainti, perustamiskustannukset, kuljetusjärjestelyt ja logistiikka lämpölaitoksilta

Terminaalin sijainniksi määriteltiin Keski-Suomen Laukaassa sijaitseva Laukaanportti, joka tarjoaa vihreää siirtymää tukevia energia- ja kiertotaloussratkaisuja alueelle muodostuvan yritysverkoston kanssa. Sijainti on Valtatie 4:n vieressä omalla liittymällä, vain noin 20 min Jyväskylästä. Laukaanportista on erinomaiset logistiset yhteydet koko Suomeen ja maailmalle ja tieyhteys soveltuu myös raskaammalle liikenteelle tarjoten näin erinomaisen sijainnin logistiikan, matkustajaliikenteen ja teollisuuden tarpeisiin.



Kuvio 8. Laukaanportin sijainti Keski-Suomessa

Alueella on rakennusvalmiita tontteja teollisuudelle ja logistiikalle. Tonttien pohjatyöt on tehty ja kunnallistekniikka valmiina. Alueella on lisäksi paljon koulutettua työvoimaa. Lisäksi alueella on jo myös toimiva yrityksiä, mm. Lidl jakelukeskus, Jyväshitsaus, Finavia Jyväskylä sekä Patria ja Puolustusvoimat.



Kuvio 9. Laukaanportin vapaat tontit

Laukaanportissa on vapaita tontteja, joiden koko ja hinta on kuvattu alla olevassa taulukossa.

Tonttiesimerkit	Pinta-ala	Hinta
1 Kennäälänkatu 2	9 309 m ²	93 090 €
2 Kennäälänkatu 4	8 690 m ²	86 900 €
3 Kennäälänkatu 6	7 531 m ²	75 310 €

4 Kennäälänkatu 8	10 155 m ²	101 550 €
5 Kennäälänkatu 10	12 805 m ²	128 050 €
6 Vuorenmäenkatu 2	16 225 m ²	162 250 €
7 Vuorenmäenkatu 3	7 358 m ²	73 580 €

Kuvio 10. Laukaanportin tonttien hinnat

Terminaalin kokoluokaksi on analyysissä arvioitu noin 1000m². Toimitilojen rakentaminen Suomessa kustantaa usein noin 1 500–2 500 €/m², riippuen materiaalivalinnoista, varustelutasosta ja suunnittelusta. Tämä luku sisältää tyypillisesti myös rakenteet, perustukset sekä LVIS-järjestelmät.

Kustannusarvio 1000 m²terminaalille (x 1 500–2 500 €/m²) on noin 1 500 000–2 500 000 € sisältäen peruslaitteet ja teollisuustilat ilman erikoisia vaatimuksia. Tuhkan osalta vaatimus on se, että se ei saa jäätyä vaan tila täytyy pitää lämpimänä ja kuivana ympäri vuoden, mikä tarkoittaa hyvin eristettyä hallia (seinät, katto, lattia), luotettavaa lämmitysjärjestelmää (esim. kaukolämpö, lämpöpumppu tai pelletti/maalämpö), mahdollisesti ilmankosteuden hallintaa, jotta tuhka pysyy kuivana sekä hyvät ovet ja mahdollisesti ilmasulut/ilma-luukut, jotta lämpöhäviö pysyy minimissä. Lisäksi tulee huomioida suunnittelu-, ja lupakustannukset (10–20 % kokonaisbudjetista) sekä pihatytöt, liittymät ja mahdollinen asfaltointi, jonka kustannus tontille on noin 30 eur/m².

Lämpölaitoksilla on hyvin vaihtelevat toimintatavat tuhkan varastoinnissa ja kuljetusten järjestämisessä. Tuhkaa varastoidaan mm. läjittämällä kasaan, siiloon, erityyppisille vaihtolavoille ja kontteihin. Tuhkan varastointitapa vaikuttaa paljon siihen, miten tuhka voidaan kuljettaa lämpölaitokselta pois. Jos tuhka varastoidaan kuljetusyksikössä kuten vaihtolavalla, on se helppo hakea pois ja toimittaa tyhjä vaihtolava tilalle. Tämä on logistiikan kannalta erittäin tehokas toimintatapa, mutta ei aina käytännössä mahdollinen mm. tuhkan jäätymisen vuoksi. Jos tuhka varastoidaan läjittämällä kasaan, pitää lastauksessa hyödyntää pyöräkuormaajaa ja kuljetuskalusto pitää valita tähän tarpeeseen sopivaksi.

Kuljetuksissa hyödynnetään seuraavia kuljetuskalustoja: vaihtolava-autoja, säiliöajoneuvoja, sekä pääasiassa hakkeen ja turpeen ajoon tarkoitettuja yhdistelmäajoneuvoja. Yhtenäistä tapaa tuhkan kuljettamiseen ei ole kuin suurilla lämpölaitoksilla, jotka usein kuljettavat kuivatuhkaa säiliöajoneuvoilla.

Analyysissä lämpölaitokset tilaavat kuljetukset kuljetusjärjestelypalvelusta, joka on analyysin uusi liiketoimintamalli.

3.3 Logistiikkakustannusten mallintaminen

Hyvin suunniteltu kuljetus on kustannustehokas. Kun volyymit ovat suuret ja kuljetusjärjestelmä on optimoitu kuljetettavan materiaalin siirtoon, voidaan suuria määriä siirtää kauaskin hyvin edullisesti. Esimerkiksi 12 metriä pitkän ja 30 000 kg painavan merikontin voi kuljettaa miltei 20 000 kilometriä vain muutamalla tuhannella eurolla. Tehokas logistiikka vaatii kuitenkin suunnittelua, standardointia ja tiedon jakamista. Tällä hetkellä Keski-Suomessa tuhkan tuottajat valitsevat itse mihin tuhka sijoitetaan ja heillä on yksilölliset varastointi- ja kuljetustavat. Tämä aiheuttaa korkeammat kuljetuskustannukset verrattuna yhteisesti ohjattuun järjestelmään, jossa tuhkaa kuljetettaisiin vakioajoneuvoilla yhteiseen määränpäähän.

Projektin aikana tehtiin laskelmia usealle kuljetusskenaariolle. Näissä skenaarioissa vertailtiin kuljetuskaluston (säiliöauto, vaihtolavakalusto, hakeajoneuvo) ja vastaanottopaikan (Nokia ja Jyväskylä) vaikutuksia kuljetuskustannuksiin.

Rakeistus	Nokia			Keski-Suomi	
Ajoneuvotyyppi	Säiliöajoneuvo	Vaihtolava	Vaihtolava ja hakeajoneuvo välivarastolla	Säiliöajoneuvo	Säiliöajoneuvo ja vaihtolava
Tuhkan kuljetus	336,440 €	247,806 €	367,221 €	249,390 €	230,846 €
€/t	22.4 €	16.5 €	24.4 €	16.6 €	15.4 €
Rakeiden kuljetus	283,214 €	283,214 €	283,214 €	250,395 €	250,395 €
Yhteensä	619,677 €	531,037 €	650,460 €	499,802 €	481,256 €

Kuvio 11. Kuljetusskenaarioiden kustannukset

Kuljetuskustannusten osalta halvimmaksi ratkaisuksi nousi vaihtolavakalustolla suoritettava kuljetus. Vaihtolavakaluston puolesta puhuvat kaluston helppo saatavuus, paluukuormien mahdollistaminen ja kaluston pienet kustannukset. Käytännössä pelkästään vaihtolavakaluston käyttäminen ei kuitenkaan ole mahdollista esim. pakkasella tuhkan jäätyneen vuoksi.

Keski-Suomen suurimmat lämpölaitokset käyttävät säiliöautoja tuhkan kuljetukseen. Ne ovat tuntikustannukseltaan hiukan kalliimpia kuin hake- tai vaihtolava-ajoneuvot, mutta pystyvät miltei samaan hyötykuormaan (45 t). Jo olemassa olevaa toimivaa

kuljetusjärjestelmää ei kannata ilman hyviä perusteluja muuttaa, joten käytännössä kuljetukset tapahtuisivat suurelta osin säiliöajoneuvoilla ja loput mm. vaihtolavakalustolla, jossa voitaisiin hyödyntää myös ns. peitettäviä romulavoja, jotka voidaan lastata pyöräkuormaajalla.

3.4 Logistiikan uusi liiketoiminta; kuljetusjärjestelypalvelu

Mikäli Keski-Suomeen perustettaisiin tuhkalle oma terminaalit ja/tai rakeistamo, voitaisiin logistiikka järjestää seuraavilla tavoilla;

1. *Voitaisiin jatkaa nykyisellä mallilla, jossa lämpölaitokset järjestävät itse kuljetukset tarpeen mukaan. Tämä toimintatapa vaatii vähiten työtä terminaalin henkilökunnalta, mutta samalla kontrolli saapuviin tuhkaeriin on pienin.*
2. *Terminaalit voi järjestää kuljetukset itse lämpölaitokset puolesta. Tässä tapauksessa terminaalilla on suurin potentiaali vaikuttaa saapuviin tuhkaeriin, mutta vaatii suurimman määrän työtä. Riskinä voi nähdä terminaalin työntekijöiden osaamattomuuden ja mahdolliset virheet kuljetusten järjestelyssä. Käytännössä tuhkan logistiikan täysi ulkoistaminen on hyvin vaikeaa, koska tuhkan määrän arviointi lämpölaitoksen varastossa on etänä vaikeaa. Vaihtoehto vaatii kuitenkin lämpölaitokselta osallistumista prosessiin.*
3. *Kolmas osapuoli järjestää logistiikan kokonaan. Tässä vaihtoehdossa logistiikkayritys järjestää kuljetukset lämpölaitoksilta. Kolmannen osapuolen hyödyntäminen nostaa kustannuksia, mutta toisaalta logistiikkayrityksellä on parhaat mahdollisuudet vaikuttaa kustannuksiin mm. yhdistelemällä niitä muiden kuljetusten kanssa. Kuljetustilauksissa hyödynnettäisiin lämpölaitosten tietoa tuhkan määrästä varastossa. Joissain harvoissa tapauksissa varastotason seuranta voisi myös automatisoida. Mallin hyötynä on logistiikan osaaminen ja kuljetusjärjestelmän tehokas hyödyntäminen. Malli myös vähentäisi työmäärää terminaalin työntekijöiltä, mutta vaatii erinomaista tiedonvälitystä.*
4. *Kuljetukset voitaisiin myös järjestää hybridimallina eli osa kuljetuksista järjestettäisiin terminaalit tai logistiikkayrityksen puolesta ja osan lämpölaitokset järjestäisivät itse.*

3.5 Tuhkan hyötyjen esille tuominen markkinoinnissa

Tuhkan hyötyjen esille tuominen markkinoinnissa on keskeinen tekijä tuhkaliiketoiminnan kehittämisessä. Nykyisin tuhka mielletään monissa

lämpölaitoksissa ensisijaisesti jätteeksi, josta pyritään pääsemään eroon mahdollisimman pienin kustannuksin. Todellisuudessa tuhka on kuitenkin arvokas kiertotalouden raaka-aine, joka sisältää metsien kasvun kannalta tärkeitä ravinteita, kuten kaliumia, kalsiumia, magnesiumia ja fosforia. Näiden ravinteiden palauttaminen takaisin metsään tuhkalannoituksen avulla parantaa erityisesti turvemaametsien kasvua, lisää hiilensidontaa ja tukee kestäväää metsätaloutta. Tuhkan hyödyntäminen lannoitteena on siten osa ravinteiden kiertoa ja kiertotalouden mukaista resurssitehokasta toimintaa.

Markkinoinnin näkökulmasta haasteena on, että tuhkan arvoa ei ole vielä onnistuttu tuotteistamaan ja viestimään selkeästi. Tapio-oppaan mukaan tuhkan hyötykäytön lisääminen edellyttää osaamista tuhkan ominaisuuksista, laadun hallinnasta sekä sen soveltuvuudesta eri käyttökohteisiin. Kun tuhka täyttää lainsäädännön vaatimukset, sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi metsälannoitteena tai maarakentamisessa, jolloin materiaali muuttuu jätteestä tuotteeksi ja liiketoiminnan mahdollistajaksi.

Lannoitekäyttö edellyttää kuitenkin selkeitä laatu- ja dokumentointivaatimuksia. Suomessa tuhkalannoitteita koskevat lannoitelainsäädäntö sekä viranomaisvalvonta, ja tuhkan tuottajan tulee rekisteröityä viranomaisrekisteriin sekä huolehtia näytteenotosta, analysoinnista ja omaevalvonnasta. Lisäksi lannoitteena käytettävällä tuhkalla on oltava tuoteseloste, josta käyvät ilmi muun muassa ravinne- ja haitta-ainepitoisuudet. Näiden vaatimusten täytyessä tuhka voidaan markkinoida turvallisena ja jäljitettävänä lannoitevalmisteena, mikä lisää luottamusta sekä metsänomistajien että muiden käyttäjien keskuudessa.

Tuhkaliiketoiminnan kehittämisessä markkinoinnin keskeinen tehtävä onkin muuttaa ajattelutapaa: tuhkaa ei tulisi nähdä ongelmajätteenä, vaan ravinteita sisältävänä kiertotaloustuotteena, jonka hyödyntäminen tuottaa taloudellista, ekologista ja yhteiskunnallista arvoa. Kun tuhkan ominaisuudet, käyttökohteet ja hyödyt tuodaan systemaattisesti esille esimerkiksi tuoteselosteiden, laadunvarmistuksen ja selkeän arvolutauksen kautta, voidaan luoda edellytykset uudentlaiselle liiketoiminnalle ja vahvistaa tuhkan asemaa osana kestäväää resurssien käyttöä.

4 Riskit ja onnistumisen edellytykset

Tuhkan koostumus on vaihteleva, sillä siihen vaikuttavat polttoaineet, laitosten prosessit ja polttotekniikat. Raskasmetallit ja muut haitta-aineet rajoittavat erityisesti tuhkan käyttöä metsälannoitteena, mikä edellyttää tarkkaa analytiikkaa ja todentamista. Lainsäädäntö luokittelee tuhkan edelleen pääosin jätteeksi, mikä lisää

raportointivelvoitteita ja kustannuksia yrityksille. Tämä hankaloittaa markkinoiden kehittymistä ja hidastaa uusien toimijoiden tuloa alalle.

Tuhkan kuljettaminen ja siihen liittyvä logistiikka on kallista, koska materiaali on volyymiltaan suurta mutta tiheydeltään kevyttä. Tuhkaa syntyy myös hajautuneesti useilla pienillä voimalaitoksilla, mikä lisää kuljetusketjun monimutkaisuutta ja nostaa kustannuksia. Lisäksi metsälannoitustarve painottuu kevääseen ja kesään, mikä kasvattaa varastointitarvetta ja lisää toimijoiden investointipainetta.

Tuhkan hyödyntäminen edellyttää myös toimivaa yhteistyötä energiantuottajien, logistiikkatoimijoiden, jalostuslaitosten ja loppukäyttäjien välillä. Monilla alueilla tuotannon ja kysynnän maantieteellinen epätasapaino estää kannattavien liiketoimintamallien muodostumista. Metsänomistajien ja maarakentamisen päätöksentekijöiden tietoisuus tuhkan hyödyistä on edelleen puutteellista, mikä hidastaa kysynnän kasvua. Vaikka tuhkan jalostusteknologiat, kuten pelletöinti, haitta-aineiden erotus ja ravinnepitoisuuden rikastus ovat kehittymässä, niiden kaupallistaminen on edelleen hidasta.

Tuhkan hyötykäyttö kuitenkin tukee kestäväen kehityksen tavoitteita ja voi parantaa yrityksen mainetta. Markkinoilla on lisäksi kasvava kysyntä ”vihreille” rakennusmateriaaleille.

Tuhka sisältää merkittäviä määriä fosforia, kaliumia, magnesiumia ja kalsiumia, minkä vuoksi se soveltuu lannoitukseen erityisesti turvemaidilla. Tuhkalannoitus voi vähentää mineraalilannoitteiden tarvetta ja vahvistaa ravinteiden kiertoa kotimaisessa metsätaloudessa. Kemera-tuki parantaa tuhkalannoituksen taloudellista kannattavuutta ja potentiaalin arvioidaan olevan moninkertainen nykyiseen nähden. Uudet haitta-aineiden poistomenetelmät parantavat turvallisuutta ja hyväksyttävyyttä.

Tuhkaa voidaan hyödyntää metsäteiden pohjarakenteissa, stabilointimateriaalina ja täyttökerroksissa, mikä vähentää luonnonkiviaineksen tarvetta. Kivihiilen lentotuhka soveltuu sementin osittaiseksi korvaajaksi betoniteollisuudessa, mikä pienentää hiilijalanjälkeä. Lisäksi geopolymeeripohjaiset tuhkatuotteet tarjoavat ympäristöystävällisen vaihtoehdon perinteisille rakennusmateriaaleille. Infrastruktuurin vähähiilisyystavoitteet lisäävät näiden ratkaisujen kysyntää.

Tuhkasta voidaan erottaa metalleja ja ravinteita, mikä mahdollistaa uusien korkean jalostusasteen tuotteiden kehittämisen. Zeoliitit, komposiitit, geopolymeerit ja eristemateriaalit ovat esimerkkejä innovaatioista, joihin tuhka hyvin soveltuu. Tämä avaa mahdollisuuksia teollisille sovelluksille, joissa kierrätetty materiaali toimii kilpailuetuna. Kiristyvät kaatopaikkamaksut ja jäteverot kannustavat etsimään uusia hyödyntämistapoja tuhkalta. Samalla yritysten vastuullisuusraportointi lisää painetta osoittaa materiaalitehokkuutta ja vähähiilisiä ratkaisuja. Julkisten hankintojen kriteerit

suosivat yhä useammin kierrätettyjä materiaaleja, mikä vahvistaa tuhkatuotteiden kysyntää.

Tuhkaliiketoiminnan haasteet ja mahdolliset ratkaisut

Teema	Haaste	Mahdollinen ratkaisu
Laatu ja koostumus	Tuhkat vaihtelevat paljon lähteen mukaan. Tuhka syntyy erilaisista polttoaineista (puu, turve, kivihiili, biomassa), mikä vaikuttaa tuhkan kemialliseen koostumukseen. Laadun epätasaisuus vaikeuttaa hyötykäyttöä esimerkiksi lannoitteena tai rakennusmateriaalina.	Standardointi Säännöllinen analytiikka Lähteiden sekoitus Eräkohtainen dokumentointi Tuhkien erottelu ja hyötykäyttökohteet
Lainsäädäntö ja sertifiointi	EU:n ja Suomen kansalliset säädökset rajoittavat tuhkan käyttöä, erityisesti jos siinä on raskasmetalleja tai muita haitta-aineita. Tuhkan hyötykäyttö vaatii usein sertifiointia ja tarkkoja analyysiraportteja.	Sertifiointipolku Auditoinnit Viranomaisyhteistyö Raja-arvot huomioiva reseptiikka
Logistiikka ja kustannukset	Tuhkan hajautettu tuotanto eli tuhkan syntyminen monissa eri lokaatioissa. Tämä vaatii hajautetun keräily- ja kuljetusjärjestelmän, mikä nostaa kustannuksia. Tuhkan kuljetus on kallista, koska se on tilavuudeltaan suuri, mutta painoltaan kevyt. Varastointi ja käsittely vaativat tilaa ja investointeja.	Tuhkaterminaalit (HUB) Mobiilirakeistamot Paikkatietopohjainen suunnittelu Reittioptimointi Yhteistoiminnalliset toimitusmallit Toimitusketjut
Infrastruktuurin puutteet	Rakeistuslaitoksia ja rikastusmateriaalia ei ole tarpeeksi, mikä rajoittaa tuhkan laadun parantamisen ja hyödyntämismahdollisuuksien	

	skaalaamista. Tarvitaan terminaaleja ja välivarastoja, joissa tuhka voidaan jalostaa ja sekoittaa muiden sivuvirtojen kanssa.	
Ympäristö ja turvallisuus	Lentotuhka ja teollisuuden tuhkat sisältävät raskasmetalleja (esim. arseeni, elohopea, lyijy) ja orgaanisia yhdisteitä, jotka voivat kulkeutua maaperään ja pohjaveteen, jos käsittely epäonnistuu. Jos tuhkaa ei hyödynnetä, se päättyy kaatopaikalle, mikä lisää kustannuksia ja ympäristökuormaa. Haitta-aineiden leviäminen voi aiheuttaa maaperän tai vesistöjen pilaantumisriskin.	
Liiketoiminta ja taloudellisuus	Tuhkaa voidaan käyttää mm. maanparannuksessa, sementin lisäaineena tai maarakentamisessa, mutta kysyntä on rajallista. Sesonkiluonteisuus (esim. maanparannus keväällä) voi aiheuttaa varastointitarpeita. Tuhkan käyttöaste on alhainen, vain noin 55–60 % puu- ja turvetuhkasta hyötykäytetään. (Vastuullista liiketoimintaa tuhkasta - Maaseutuverkosto)	Markkinoiden luominen Liiketoimintamallit Tuotteistaminen Tuoteselosteet Hyötynäkökulma Jäte = arvokas raaka-aine
Teknologia	Tuhkan jalostaminen hyötykäyttöön (esim. pelletöinti, sekoitus) vaatii investointeja ja osaamista. Innovatiiviset käyttökohteet (esim. geopolymeerit) ovat vielä kehitysvaiheessa. Tarvitaan edistyneitä teknologioita tuhkan haitta-ainesisältöjen vähentämiseen ja ravinnepitoisuuden	Jyväskylän yliopistossa kehitetään menetelmiä tuhkan haitta-aineiden (esim. arseeni, kadmium) poistamiseksi sekä ravinnepitoisuuden rikastamiseen, mikä parantaa tuhkan turvallisuutta ja käyttökelpoisuutta lannoitteissa. (Tuhka tehokkaammin hyötykäyttöön – uusi menetelmä)

	rikastamiseen. Pienten erien laadun valvonta ja standardointi on haasteellista ja kallista.	poistaa metsälannoitteesta haitta-aineet – Kemiamedia)
--	---	--

Kuvio 12. Tuhkaliiketoiminnan haasteet ja mahdolliset ratkaisut

Tuhkaliiketoiminnan riskit

Riski	Tarkennus
Laadun hallinta	Vaihteleva koostumus voi estää sertifiointin ja rajoittaa käyttöä.
Lainsäädännön muutokset	Tiukentuvat raja-arvot voivat tehdä hyötykäytön kannattamattomaksi.
Korkeat investointikustannukset	Jalostuslaitteet ja logistiikka vaativat pääomaa.
Markkinoiden epävarmuus	Kysyntä voi olla kausiluonteista ja riippuvaista rakennusalan suhdanteista.
Ympäristöriskit	Haitta-aineiden leviäminen voi johtaa sanktioihin ja imagohaittoihin.

Kuvio 13. Tuhkaliiketoiminnan riskit

5 Yhteenveto

Raportti analysoi tuhkan hyötykäyttöön perustuvan liiketoiminnan mahdollisuuksia Keski-Suomessa, erityisesti metsälannoituksessa, tarkastelemalla prosessia lämpölaitoksilta terminaaliin, siihen liittyviä kustannuksia, logistiikkaa, teknologiaa sekä liiketoimintapotentiaalia ja riskejä. Tarkastelun perusteella voidaan todeta, että tuhkaan perustuva liiketoiminta on periaatteessa toteuttamiskelpoinen, mutta sen kannattavuus edellyttää koko arvoketjun optimointia, riittävää volyymia sekä toimivaa yhteistyötä eri sidosryhmien välillä.

Keskeiseksi johtopäätökseksi nousee logistiikan ja terminaaliratkaisun merkitys. Hajautunut tuotanto, vaihtelevat varastointikäytännöt ja korkeat kuljetuskustannukset

muodostavat merkittävimmän yksittäisen haasteen liiketoiminnan kehittämiseksi. Keskitetty tuhkatermiini, yhdistettynä optimoituun kuljetusjärjestelmään ja mahdolliseen kuljetusjärjestelypalveluun, tarjoaa kuitenkin keinon parantaa kustannustehokkuutta ja hallita tuhkavirtoja kokonaisvaltaisesti. Samalla se mahdollistaa laadunhallinnan, jatkojalostuksen ja tuotteistamisen kehittämisen.

Tuhkan laadulla ja sen hallinnalla on ratkaiseva rooli liiketoiminnan onnistumisessa. Laadun vaihtelu sekä haitta-ainepitoisuudet edellyttävät systemaattista analytiikkaa, lajittelua ja tarvittaessa jatkokäsittelyä. Kehittyvät teknologiat, kuten haitta-aineiden poistomenetelmät ja ravinteiden rikastus, parantavat kuitenkin merkittävästi tuhkan käyttökelpoisuutta ja avaavat uusia mahdollisuuksia korkeamman jalostusasteen tuotteille.

Lainsäädäntö ja viranomaisvaatimukset muodostavat sekä rajoitteen että mahdollistajan. Selkeä sääntely, toimivat sertifiointikäytännöt ja viranomaisyhteistyö ovat edellytyksiä markkinoiden kehittymiselle. Samalla markkinoinnin ja tuotteistamisen rooli korostuu: tuhka tulee asemoida jätteestä arvokkaaksi kiertotaloustuotteeksi, jonka hyödyt; ravinteiden kierto, hiilensidonta ja luonnonvarojen säästö, tuodaan selkeästi esiin loppukäyttäjille.

Tulevaisuuden näkymät ovat varovaisen positiiviset. Vihreä siirtymä, kiertotalouden vahvistuminen, kasvava kysyntä vähähiilisille ratkaisuille sekä kiristynyt sääntely kaatopaikkasijoitusta kohtaan tukevat tuhkan hyötykäytön lisäämistä. Toisaalta esimerkiksi energiantuotannon muutokset voivat vaikuttaa syntyvän tuhkan määriin ja siten liiketoiminnan edellytyksiin.

Kokonaisuutena voidaan todeta, että tuhkaan perustuva liiketoiminta tarjoaa merkittävän, mutta vielä osin hyödyntämättömän mahdollisuuden. Sen realisoituminen edellyttää kuitenkin pitkäjänteistä kehittämistä, investointeja infrastruktuuriin ja teknologiaan sekä ennen kaikkea eri toimijoiden välistä tiivistä yhteistyötä. Onnistuneesti toteutettuna tuhka voi siirtyä jätevirrasta keskeiseksi osaksi kestävää ja kannattavaa kiertotalouden liiketoimintaa.