

RAKEISTETUN TUHKALANNOITTEEN LOGISTIIKKA JA METSÄLEVITYS

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Insinööri AMK
Energia- ja ympäristötekniikka
Kevät 2019
Saana Blåberg

Tiivistelmä

Tekijä Blåberg, Saana	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika Kevät 2019
	Sivumäärä 44+2	
Työn nimi Rakeistetun tuhkalannoituksen logistiikka ja metsälevitys		
Tutkinto Insinööri AMK Energia- ja ympäristötekniikka		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää nykyistä tuhkalannoituksen toimitusketjua ja esittää sen pohjalta kehitysehdotuksia. Työ rajattiin koskemaan vain rakeistetun tuhkalannoituksen toimitusketjua tehtaalta metsään ja edelleen levitykseen. Opinnäytetyötä varten haastateltiin kolmea toimitusketjun toimijaa ja keräsin tietoa kirjallisista lähteistä. Haastattelujen ja kirjallistietojen pohjalta luotiin kolme erilaista toimitusketjumallia rakeistetulle tuhkalannoitukselle. Lisäksi esitettiin kehitysideoita ja jatkotutkimusaiheita.</p> <p>Päijät-Hämeen alueella syntyy vuosittain 75 000 tonnia tuhkaa, josta 55 % hyödynnetään. Tuhkan hyödyntämisaste on Päijät-Hämeessä keskimääräistä pienempi. Metsäenergian poltosta syntyvä puutuhka on erittäin ravinteikasta ja sopii hyvin käytettäväksi metsälannoitukseen. Lannoitteiden valmistaminen kierrätysmateriaaleista vähentää syntyviä päästöjä ja edistää kiertotaloutta. Suurien välimatkojen takia liikenteestä aiheutuu Suomessa merkittävät päästöt.</p> <p>Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään rakeistetun tuhkan nykyistä toimitusketjua ja sen osa-alueita tuotannosta metsävarastoon ja edelleen metsään levitykseen. Lisäksi käsitellään toimitusketjun kustannuksia ja hiilijalanjälkeä.</p> <p>Työn toimeksiantajana toimi Lahden seudun kehitys LADEC Oy. Selvitys on osa Kiertoliike-Päijät-Hämeen kiertotalousmallia ja uudet liiketoimintamahdollisuudet-hanketta.</p>		
Asiasanat Kierrätyslannoite, rakeistettu tuhka, metsälannoitus, kiertotalous		

Abstract

Author Blåberg, Saana	Type of publication Bachelor's thesis	Published Spring 2019
	Number of pages 44+2	
Title of publication Logistics and distribution of granulated ash fertilizer		
Name of Degree Bachelor's degree in energy and environmental engineering		
<p>Abstract</p> <p>The aim of the bachelor's thesis was to research the supply chain of the granulated ash fertilizer and to develop new models for the supply chain. The study covers only the supply chain of granulated ash fertilizer from the production to the forest storage and the distribution to the forest. Information about the supply chain was collected using interviews. Three persons were interviewed who are part of the granulated ash fertilizer supply chain. As a result of the interviews and theoretical information three new supply chain models were created. The results also contain development ideas for the supply chain of granulated ash fertilizer.</p> <p>Approximately 75 000 tons of ash is produced in the Päijät-Häme annually. Around 55% of ash is reclaimed each year. This is a bit less than on average in Finland. Especially wood ash is nutritious and perfectly suitable as a forest fertilizer. Producing fertilizers from recycled materials will decrease emissions and improve circular economy. Because of the long distances in Finland traffic is significant producer of emission.</p> <p>The theoretical part of this bachelor's thesis covers all parts from the supply chain of granulated ash fertilizer from the factory to the forest storage and the distribution to the forest. Theory part also contains information about the costs and the carbon footprint of granulated ash fertilizer. The study was commissioned by Lahti Region Development LADEC Oy and it was a part of the Kiertoliike project.</p>		
Keywords Recycled fertilizer, Granulated ash, forest fertilization, circular economy		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	OPINNÄYTETYÖN TAVOITTEET JA TUTKIMUSKYSYMYKSET	3
2.1	Työn tarkoitus ja tavoitteet	3
2.2	Tutkimusmenetelmät	3
3	TUHKAN LOGISTIIKKA.....	6
3.1	Tehokas toimitusketju	6
3.2	Rakeistetun tuhkan pakkaaminen	7
3.3	Kuljetuskalusto	8
3.4	Varastointi tehtaalla ja metsässä	9
3.5	Kuljetusmatka	10
3.6	Kuljetuskustannukset.....	10
3.7	Hiilijalanjälki	11
3.8	Paluulogistiikka.....	11
3.9	Logistiikan haasteet	12
4	TUHKAN LEVITYS	14
4.1	Metsälannoitus Suomessa.....	14
4.2	Tuhkan levitystekniikat.....	14
4.2.1	Maalevitys	14
4.2.2	Lentolevitys	15
4.3	Tuhkan levityskalusto	17
4.4	Tuhkan levityskustannukset.....	18
4.5	Tuhkan levityksen haasteet	19
5	TUTKIMUSTULOKSET JA TARKASTELU	21
5.1	Tuhkan toimitusketju.....	21
5.2	Toimitusketjun kehittäminen	22
5.3	Toimitusketjun toimijat	27
5.4	Tuhkan kuljetuksen ja levityksen reunaehdot.....	27
5.5	Toimitusketjuyritykset ja -kalusto	28
5.6	Maalevityksen kustannustarkastelu	28
5.7	Lentolevityksen kustannustarkastelu.....	30
5.8	Hiilijalanjälki tarkastelu.....	31
5.9	Toimitusketjun SWOT-analyysi	33
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	35

6.1	Jatkotutkimukset.....	38
6.2	Validiteetti ja reliabiliteetti.....	39
7	YHTEENVETO	40
	LÄHTEET	42
	LIITTEET	45

1 JOHDANTO

Uusiutuvan energian ja erityisesti metsähakkeen määrää energiatuotannossa halutaan tulevaisuudessa lisätä tuntuvasti. Tämä tarkoittaa sitä, että myös tuhkan määrä tulee kasvaan. Tuhkaa syntyy erilaisissa laitoksissa polton yhteydessä. Suurin osa syntyvästä tuhkaasta päätyy kaatopaikalle tai on varastoituna laitosten pihaille jatkokäyttöä varten. (Makkonen 2008, 4.)

Tuhka päätyy kaatopaikoille usein siksi, että se tulee halvemmaksi, kuin jatkojalostaminen. Hyödyllisempää olisi kuitenkin käyttää tuhka esimerkiksi metsälannoitukseen. Näin ravinteet palautuisivat takaisin luontoon. Erityisesti puutuhka soveltuisi ravinne ominaisuuksiensa takia hyvin metsälannoitteeksi. (Ojala 2010, 1.)

Päijät-Hämeen alueella syntyy noin 75 000 tonnia tuhkaa josta 55 % hyödynnetään. Suurin osa tuhkaasta käytetään maarakentamiseen. Vain noin 1000 tonnia vuodessa hyötyä käytetään lannoitteena. (Kiertoliike 2017 b.) Tuhkan hyödyntämisessä olisikin valtava potentiaali. Kierrätyslannoitteella tarkoitetaan teollisuuden sivutuotteesta valmistettua lannoitetta, joka sisältää kierrätysravinteita, kuten typpeä ja fosforia. Lannoitteen raaka-aineena voidaan käyttää esimerkiksi tuhkaa, biojätettä tai puhdistamolietteitä Kierrätyslannoitteilla on mahdollisuus nousta haastamaan tavallisia lannoitteita, mikäli hinta-laatusuhde on hyvä. (RE maatila 2018.)

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää nykyiset tuhkalannoitteen logistiikka- ja levityskäytännöt. Työn toimeksiantajana toimii Lahden seudun kehitys LADEC Oy, ja se on osa kiertoliike hanketta. Lahden seudun kehitys LADEC Oy kehittää Lahden seudun kilpailukykyä ja yritysympäristöä sekä markkinoi alueen vetovoimaisuutta. Se tarjoaa opastusta ja tukea yrityksen perustamiseen sekä jo toimiville yrityksille neuvoja liiketoiminnan kehittämiseen. (Ladec 2018.) Kiertoliike-hankkeen tarkoituksena on kehittää ja vahvistaa Päijät-Hämeen alueen kiertotalouspotentiaalia ja selvittää uusia liiketoimintamahdollisuuksia. (Kiertoliike 2018 a).

Työssä kartoitetaan nykyiset tuhkan logistiikka- ja kuljetusmenetelmät. Näiden pohjalta kehitetään/luodaan toimiva ja kustannustehokas logistiikkaketju tehtaalta metsään, metsätien varteen ja siitä edelleen metsälevitykseen. Samalla laaditaan kustannuslaskelmat sekä tehdään hiilijalanjälkitarkastelu. Tarkoitus on kehittää logistiikkaketjua toimivammaksi ja esittää visioita toimitusketjun eri osien toiminnasta. Työssä halutaan myös selvittää logistiikan sekä levityksen mahdolliset reunaehdot ja haasteet. Työ on rajattu koskemaan vain logistiikkaa ja levitystä ja sen lähtökohtana on valmis tuhkarake, joka kuljetetaan ja levitetään metsään. Työssä ei käsitellä rakeistetun tuhkan laatuvaatimuksia.

Tämän selvitystyön hankinta on osa Kiertoliike-Päijät-Hämeen kiertotalousmallia ja uudet liiketoimintamahdollisuudet -hanketta (projektikoodi A72067), jota rahoitetaan osittain Euroopan aluekehitysrahaston (EAKR) Kestävää kasvua ja työtä 2014 - 2020-rakennera-hasto-ohjelman varoilla.



2 OPINNÄYTETYÖN TAVOITTEET JA TUTKIMUSKYSYMYKSET

2.1 Työn tarkoitus ja tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on luoda toimiva logistiikkaketju rakeistetulle tuhkalta tuotannosta metsään ja edelleen levitykseen. Työssä selvitetään nykyinen ketju ja pohditaan, olisiko sen eri osissa jotain kehitettävää. Tutkimusten pohjalta luodaan uusia innovatiivisia toimitusketjuja rakeistetulle tuhkalta sekä selvitetään, voisiko ketjuun liittyä uusia toimijoita ja ketä he voisivat olla. Lisäksi selvitetään ketjun eri osien kustannukset ja niiden osuudet kokonaiskustannuksista sekä tehdään hiilijalanjälki tarkastelu. Lisäksi selvitetään kuljetusten ja levityksen mahdolliset reunaehdot ja haasteet. Tavoitteena on luoda kustannustehokas ja innovatiivinen malli sekä esittää kehitysideoita koko ketjun eri toiminnoista.

Mikä on kustannustehokkain tuhkan logistiikkaketju tuotannosta metsään ja edelleen levitykseen?

- Millainen on nykyinen logistiikkaketju?
- Miten ketjua ja sen osia voisi kehittää?
- Voisiko ketjuun liittyä uusia toimijoita? Mitä toimijoita?
- Mitkä ovat kuljetuksen ja levityksen kustannukset?
- Onko kuljetuksella ja tuhkan levityksellä reunaehtoja, millaisia?
- Mikä on kuljetuksen hiilijalanjälki?

KUVIO 1. Tutkimuskysymykset

2.2 Tutkimusmenetelmät

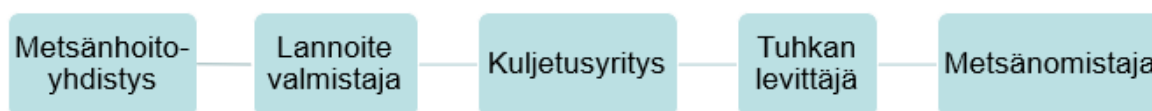
Tämä opinnäytetyö on kvalitatiivinen eli laadullinen opinnäytetyö. Kvalitatiiviselle tutkimukselle on tyypillistä, että aihetta käsitellään ja tutkitaan mahdollisimman kokonaisvaltaisesti. Tarkoituksena on paljastaa ja tuoda esille uutta tietoa ja erilaisia näkökulmia aiheesta. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa on tyypillistä käyttää ihmisiä tiedonlähteenä. Tutkimusjoukko on huolellisesti valittu, ja tutkimustapauksia käsitellään ja analysoidaan ainutlaatuisina. Kvalitatiivinen tutkimus on joustava tutkimusmenetelmä, jossa suunnitelmia voidaan muokata ja muuttaa olosuhteiden mukaan. Tutkimuksissa käytetään metodeja, joissa tutkittavien näkökulma ja mielipiteet tulevat esiin. (Hirsjärvi, Remes, Sajavaara 2007, 156 - 160.)

Tutkimus on laadullinen arviointi ja sen tarkoituksena on etsiä säännönmukaisuuksia ja löytää malleja. (Hirsjärvi ym. 2007, 162). Työssä tutkitaan, miten rakeistetun tuhkan

logistiikka on aiemmin hoidettu ja miten ketjua saataisiin kehitettyä ja lisättyä kustannustehokkuutta. Tutkimuksessa käytetään aineistona aiempia tutkimuksia, logistiikkaketjun toimijoiden haastatteluja sekä kirjallisia ja sähköisiä lähteitä.

Tutkimusmenetelmänä käytettiin teemahaastattelua, joka on kvalitatiivisen tutkimuksen yksi perusmenetelmä. Haastattelu on joustava tiedonkeruutapa, jossa tutkittavien näkökulmat tulevat esiin. Tutkimusmenetelmäksi valittiin haastattelu, koska haluttiin kartoittaa nykyistä logistiikkaketjua ja selvittää eri toimijoiden ajatuksia ketjun toiminnasta. (Hirsjärvi ym. 2007, 199-200.)

Tutkimuksessa haastateltiin rakeistetun tuhkan logistiikkaketjussa toimivia henkilöitä. Haastateltavat olivat lannoitteen valmistaja ja markkinoija, metsänhoitoyhdistyksen lannoituksesta vastaava henkilö ja kuljetusyrityksen edustaja. Haastattelut suoritettiin marras-joulukuun aikana 2018. Jotta ketjusta saataisiin mahdollisimman hyvä kokonaiskuva, oli tärkeää haastatella mahdollisimman monta ketjussa toimivaa tahoa ja kuulla heidän näkemyksiään nykyisestä ketjusta sekä, miten sitä voitaisiin mahdollisesti parantaa. Tuhkalannoitteen nykyinen logistiikkaketju on kuvattu kuviossa 2.



KUVIO 2. Tuhkan logistiikkaketjun toimijat metsälannoituksessa

Haastatteluissa kysyttiin tahojen näkemystä kuljetuksesta, levityksestä sekä mahdollisista haasteista. Henkilöiltä kysyttiin osittain samoja ja osittain eri kysymyksiä. Haastatteluja varten oli laadittu kysymyslista, jota käytettiin taustatukena. Tarvittaessa listaa muokattiin haastateltavan mukaan ja keskustelun annettiin rönsyillä, mikäli pinnalle nousi mielenkiintoisia näkökulmia tai jos haastateltava itse nosti esille aiheeseen liittyviä asioita.

Opinnäytetyössä käytettiin apuna SWOT-analyysiä, jolla saatiin näkemystä olemassa olevasta logistiikkaketjusta. SWOT-analyysi on nelikenttä menetelmä, jossa analysoidaan toimintaa kokonaisuutena. SWOT-analyysissä kartoitetaan toiminnan vahvuudet (strengths), heikkoudet (weakness), mahdollisuudet (opportunities) ja uhat (threats). Vahvuudet ja heikkoudet ovat sisäisiä tekijöitä, kun taas mahdollisuudet ja uhat ovat ulkoisia tekijöitä. SWOT-analyysi on usein melko subjektiivinen, mutta suuntaa antava analyysi, jota voi käyttää toimintamallien ja käytäntöjen kriittisten kohtien tarkasteluun. (Opetushallitus 2018.)

SWOT-analyysi laadittiin jo olemassa olevasta ketjusta. Uusista toimitusketjumalleista lisättiin mahdollisuuksia ja haasteita. Näiden avulla saatiin kartoitettua toimintamallien kokonaiskuvaa ja toimivuutta. Lisäksi pystyttiin arvioimaan niiden mahdollisia reunaehdoja sekä mahdollisuuksia.

Tutkimus on rajattu koskemaan vain rakeistetun tuhkan logistiikkaa ja levitystä ja niiden mahdollisuuksia sekä haasteita. Työssä ei oteta kantaa tuhkan laatuvaatimuksiin tai valmistamiseen eikä siihen liittyviin sääntöihin ja määräyksiin. Lähtökohtana on valmis tuhkarae, jolle etsitään kustannustehokkain logistiikkaketju metsään ja edelleen levitykseen.

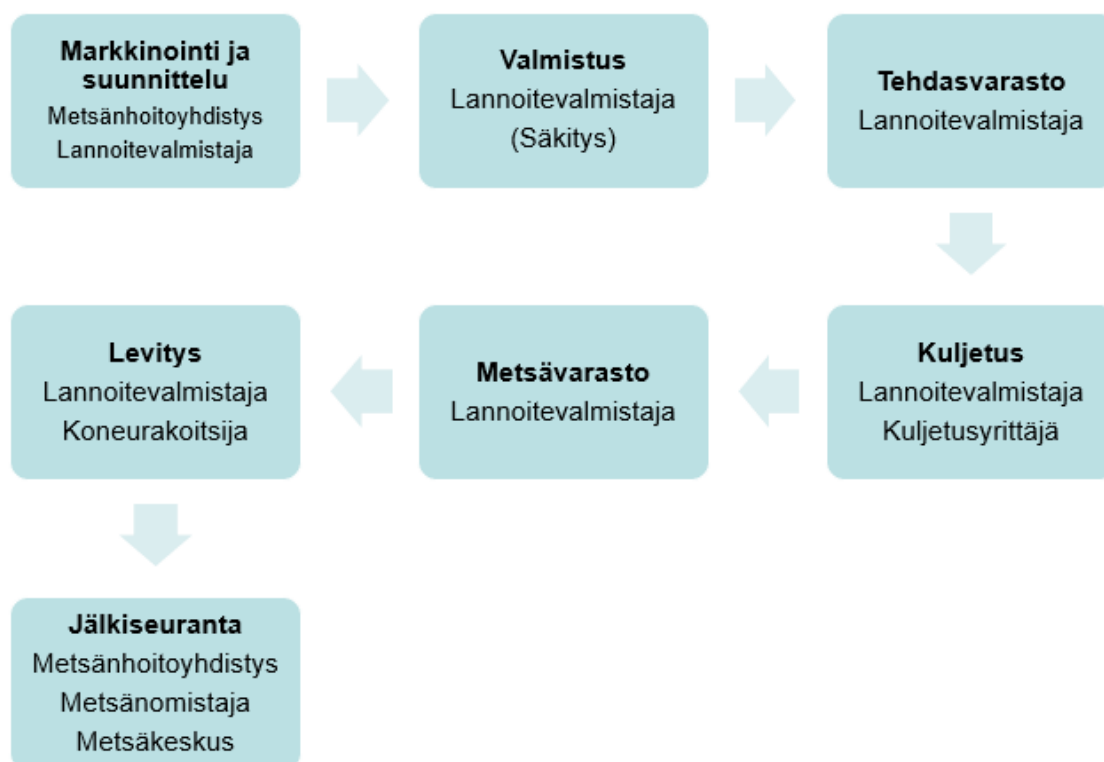
3 TUHKAN LOGISTIIKKA

3.1 Tehokas toimitusketju

Toimiva logistiikka on liiketoiminnan elinehto. Sen tavoitteena on toimittaa tietty määrä tuotetta asiakkaalle oikeaan aikaan. Tämä kuuluu tehdä mahdollisimman kustannustehokkaasti ja ympäristöä tulisi kuormittaa mahdollisimman vähän. (Ritvanen 2011, 19.)

Toimitusketjussa on paljon erilaisia toimijoita ja organisaatioita, jotka tekevät yhteistyötä. Kullakin ketjun toimijalla on oma tehtävänsä ja toimitusketju yhdistää jakelijat, tavarantoimittajat ja asiakkaat toisiinsa. Toimitusketju on kokonaisuus, joka pyrkii kustannustehokkuuteen ja asiakaslähtöisyyteen. Ketjun rakenteeseen vaikuttavat yrityksen tuote ja toimiala sekä asiakkaat. Toimitusketjun kukin vaihe lisää kustannuksia ja ajanmenekkiä. (Ritvanen 2011, 23-24.)

Toimitusketjun hallinnalla pyritään muodostamaan ja kehittämään toimiva ketju sekä ohjataan ja hallitaan materiaali- ja tietovirtoja eri tahojen välillä. Aika sekä eri osapuolten yhteistyö, luotettavuus ja läpinäkyvyys ovat tärkeitä tekijöitä, jotka vaikuttavat toimitusketjun hallintaan. Kuviossa 3. on kuvattu tuhkalannoitteen nykyinen toimitusketju. (Ritvanen 2011, 23.)



KUVIO 3. Rakeistetun tuhkan toimitusketju

3.2 Rakeistetun tuhkan pakkaaminen

Tuotteen pakkauksen tärkeimpiä tehtäviä on tuotteen suojaaminen, jotta se kestäisi kuljetuksen ja varastoinnin. Hyvä pakkaus on informatiivinen ja välittää tietoa kuluttajalle. Pakkauksen materiaalivalintaan vaikuttavat tuotteen käsittely, kuljetusmatkat sekä kuljetustapa. Hyvin suunniteltu pakkaus myös helpottaa tuotteen käsittelyä. Pakkauksen tulee suojata tuotetta esimerkiksi kosteudelta, valolta, rasitukselta, ja sen on kestävä nostelua sekä siirtelyä. Jos tuotteen jakeluketju on pitkä ja siihen kuuluu välivarastointia ja runsasta nostelua, tulee pakkausmateriaalin kestävyys kiinnittää erityistä huomiota. (Ritvanen 2011, 67-69.)

Tuotteen pakkaamisesta voi aiheutua valmistajalle merkittäviäkin kustannuksia, siksi ne tulee ottaa huomioon. Pakkaamiseen vaikuttavat tuotanto määrä, valmistettavan tuotteen ominaisuudet, jakelulogistiikka ja, se kuinka suurelle alueelle tuotetta markkinoidaan. Vialliset ja heikot pakkaukset aiheuttavat hävikkiä ja turhia kustannuksia. (Ritvanen 2011, 73-74.)

Pakkausmateriaalia valitessa tulee ottaa huomioon myös ympäristövaikutukset. Turhaa pakkausmateriaalia on syytä välttää, ja materiaaleja valitessa kannattaa suosia kierrätettäviä materiaaleja. Suurin osa pakkausmateriaaleista voidaan kierrättää ja uusiokäyttää. (Ritvanen 2011, 74-75.)

Rakeistettu tuhka voidaan toimittaa 300 - 1500 kg suursäkeissä tai irtotavarana, kuva 1. (Linnunmaa 2016, 18). Suursäkeissä on sisäsäkit, jotka suojaavat kosteudelta ja lisäävät tuhkan levityskelpoisuutta. (Mäkinen 2012, 21).



KUVA 1. Rakeistettua tuhkaa (Isännäinen, Järvelä, Lindh & Rinne 2006)

Suursäkit ovat kustannustehokas ja kestävä ratkaisu erilaisten tuotteiden varastointiin ja kuljetukseen. Säkit valmistetaan laminoidusta tai laminoimattomasta polypropeeni kankaasta. Kosteudelta suojaava sisäsäkki on usein valmistettu polyeteenistä. Tarvittaessa sisäsäkki voidaan liimata tai ommella suursäkkiin kiinni. Suursäkit voidaan myös varustaa täyttö- ja pohjaventtiileillä sekä nosto lenkeillä. (Accon 2018.)

Suursäkit voidaan kierrättää ja käyttää uuden muovin raaka-aineena. 4H-yhdistykset ovat keränneet vuodesta 1975 asti tyhjiä lannoite- ja siemensäkkejä. Vuonna 2017 keräyksessä saatiin talteen 655 700 kiloa muovia. Maa- ja metsätiloille toimitetuista suursäkeistä saatiin talteen noin 60 %. (Yle 2018.) Keräyksestä säkit kuljetetaan käsittelylaitokselle, jossa ne pestään, silputaan ja sulatetaan muovirakeiksi, joita käytetään muovin raaka-aineena. Kierrätykseen tuotavia säkkejä ei tarvitse puhdistaa, mutta tulee huolehtia, ettei seassa ole kiviä tai muita vieraita esineitä. 4H- yhdistyksen lannoitesäkkikeräykseen voi viedä Yaran lannoitesäkkejä, muut suursäkit eivät kelpaa keräykseen. (4H-yhdistys 2018.)

Suomen uusiomuovi vastaanottaa yritysten omasta toiminnasta syntyviä muovipakkauksia muun muassa suursäkkejä. Yrityksellä on yli 60 vastaanottotermiinaalia ympäri Suomea. Vastaanotto on yritykselle maksutonta, kun muovit on lajiteltu laadun mukaan, ne ovat puhtaita ja kuivia sekä täyttävät vastaanottotermiinaalin laatuvaatimukset. (Suomen uusiomuovi Oy 2018.)

3.3 Kuljetuskalusto

Maantiekuljetukset ovat yleisin kuljetusmuoto Suomessa. Suurin osa noin 90 % tuotteista kuljetetaan kuorma-autolla. (Logistiikan maailma 2018.) Kuljetuskaluston kehitykseen ovat vaikuttaneet uudet tekniikat, infrastruktuurin kehittyminen, kuljetustalous sekä ympäristö- ja turvallisuustekijät. Jokaiselle kuljetusmuodolle ominaisia tekijöitä ovat kuljetusnopeus, kuormatilan suuruus, kuorman kantokyky ja energiatehokkuus. Tavaroita voidaan kuljettaa kuorma-autolla, perävaunuyhdistelmällä ja puoliperävaunuyhdistelmällä eli niin sanotulla rekalla. Ajoneuvoissa on erilaisia käsittelylaitteita, kuten erilaisia kuormaimia, nostimia, kippereitä ja lavoja. Autot voidaan muokata erilaisia kuljetustehtäviä ja tuotteita varten. (Ritvanen 2011, 115-118.)

Rakeistettua tuhkaa kuljetetaan yleensä metsään sorakasettiautolla. Tuote kuormataan laitoksen pihalla suoraan autoon. Kuorman suuruus on noin 20-50 tonnia. (Linnunmaa 2016, 18.)

3.4 Varastointi tehtaalla ja metsässä

Varastointi on tärkeä osa logistiikkaketjua, ja siitä aiheutuu myös kustannuksia. Varastot pyritään yleensä pitämään vähäisinä, sillä niihin sitoutuu pääomaa. Optimi olisi, että tuotteita valmistetaan tilausten mukaan ja varastointia vältetään. Varastointi vaatii myös tilaa. (Ritvanen 2011, 79-80.) Varastoinnin kustannukset ovat merkittävä osa logistiikkakustannuksista. Niiden suuruuteen vaikuttavat muun muassa tuotteen ja sen raaka-aineen hinta ja varastonpitokustannukset. (Ritvanen 2011, 91).

Ecolanin Nokian laitoksella valmistettu tuhkalannoite varastoidaan säkeissä tai irtotavarana varastohallissa. Tuotteet valmistetaan talvella, ja toimituskesä ajoittuu kesälle. Varastot pidetään mahdollisimman pieninä ja suhteutetaan edellisen vuoden menekkiin. Irtotavara kuormataan suoraan sorakasettiautoon, jolla se kuljetetaan metsään. (Linnunmaa 2016, 17-18.)



KUVA 2. Tuhkasäkkien varastointia valmistuslaitoksen pihalla. (Linnunmaa 2016)

Tuhkan varastopaikat metsässä tulee suunnitella huolellisesti. Varastopaikka toimii lento-levityksessä myös helikopterin nousu- ja laskupaikkana. Maksimi lentomatka varastopaikalta lannoituskohteelle on kaksi kilometriä. (Yara 2008, 22.) Varastopaikalla tulee olla riittävästi tilaa, jotta raskas kalusto pystyy liikkumaan ja kääntymään sujuvasti. Myös teiden tulee kestää raskaan kaluston massa. Varastopaikka tulee suunnitella niin, että sinne pystytään kuljettamaan ainakin yksi rekkakuorma tuhkaa. Pitkä varastointiaika heikentää tuhkan levitysominaisuuksia. (Huotari 2012, 43.)

Irtotuhkan varastopaikan tulee olla kantava ja tasainen. Suuruuden tulisi olla noin 5m x 8m jokaista rekka-autollista varten. Raskaalle kalustolle tulee olla tarpeeksi tilaa liikkua. Säkkituhkaa käytettäessä varastopaikkojen suunnittelu on helpompaa ja niitä voidaan tarvittaessa jakaa useampiin paikkoihin. (Huotari 2012, 43.)

Metsässä tuhkasäkit tulee varastoida huolellisesti, jotta ne eivät altistu kosteudelle. Varastopaikan tulisi olla kuiva ja suojassa auringonpaisteelta ja tuulelta. Maaston tulee olla tasainen eikä siinä saa olla teräviä kiviä tai oksia. Pitkäaikaisessa säilytyksessä säkit tulee nostaa maasta irti esimerkiksi kuormalavalle. Näin ne eivät altistu maasta nousevalle kosteudelle. Mikäli varastointi jatkuu useita viikkoja, suositellaan säkkien peittämistä. (Yara 2008, 21.)

3.5 Kuljetusmatka

Kuljetusmatka vaikuttaa tuotteen logistiikkaan ja sen kustannuksiin merkittävästi. Suomi on harvaan asuttu maa ja etäisyydet ovat pitkiä. Haasteita kuljetuksille luovat sääolosuhteet sekä tiestön ylläpito. Tiekuljetukset ovat yleisin kuljetusmuoto Suomessa. (Ritvanen, 2011,90, 107-108.)

Vuonna 2017 lannoitteiden keskimääräinen kuljetusmatka tieliikenteessä oli 160 km ja kuormausaste 83 %. (Tilastokeskus 2017.) Keskimääräinen kuljetusmatka metsäenergia alalla on 50-60 km ja maksimi kuljetusmatka 100 km (Kuljetus yrittäjä 2018.) Rakeistetun tuhkan kuljetusmatka on pitkä. Päijät-Hämeen alueelle lannoite tulee Viitasaarelta asti. Lähempää saatavalla lannoitteella voitaisiin mahdollisesti alentaa kustannuksia. (Metsänhoitoyhdistys toimihenkilö 2018.)

3.6 Kuljetuskustannukset

Kuljetuskustannukset on syytä ottaa toiminnassa huomioon. Yleisesti noin 13,9 % yritysten liikevaihdosta menee kuljetuskustannuksiin. Lukuun sisältyvät myös varastointikustannukset. Kuljetusten kustannuksiin vaikuttavat muun muassa polttoaineen hinnanvaihtelu sekä suuret etäisyydet. (Tapaninen 2018, 30.)

Kustannuksiin vaikuttavat kuljetettavan tavaran tyyppi, kuljetusmatka, kilpailu, infrastruktuuri sekä kuljetusolosuhteet. Mitä suurempia eria saadaan kuljetettua, sitä pienemmät ovat yksikkökustannukset. Suurimmat kustannustekijät kuljetusyrityksissä ovat polttoaine, henkilöstö ja pääomakustannukset. Myös kaluston huoltaminen, lastaus ja purku sekä investoinnit lisäävät kustannuksia. Hyvällä ja kustannustehokkaalla suunnittelulla voidaan vaikuttaa kuljetuskustannuksiin. (Tapaninen 2018, 32-33.)

Kuljetuksissa pyritään mahdollisimman suureen tuottavuuteen. Tähän vaikuttavat nopeus ja kuljetustiheys. Nopeuteen vaikuttavat ajoaika sekä se, kuinka kauan autoa lastataan ja puretaan. Kuljetustiheys kertoo, montako matkaa ehditään kuljettaa esimerkiksi vuoden aikana yhdellä autolla. Mitä nopeammin tuotteet saadaan lastattua ja purettua, sitä nopeammin auto on uudelleen liikenteessä ja tuottavassa käytössä. Myös kuljetuksen käyttöaste ja lastin määrä vaikuttavat kustannuksiin. (Tapaninen 2018, 34.)

Kuljetuskustannuksia voidaan optimoida vähentämällä käsittelyä sekä minimoimalla turhia kuljetuksia ja ylimääräisiä kustannuksia. Suuret kuljetuserät vähentävät kustannuksia kuljetusyksikköä kohden. Halvemmallalla kuljetusmenetelmällä ja polttoainekulutuksen vähentämisellä pienennetään myös kustannuksia. (Tapaninen 2018, 34.)

3.7 Hiilijalanjälki

Hiilijalanjälki kuvaa tuotteen elinkaaren aikana tuottamia kasvihuonekaasuja sekä sen ympäristövaikutuksia. Hiilijalanjälki laskennassa otetaan huomioon hiilidioksidi-, metaani- ja typpioksiduulikaasut. (Yara 2018.)

Hiilidioksidipäästöt aiheuttavat maapallon lämpenemistä ja ilmastonmuutosta. Se on merkittävin ihmisen tuottamista kasvihuonekaasuista. Hiilidioksidia vapautuu polton yhteydessä ja auton polttomoottoreissa. Suomi on sitoutunut vähentämään kasvihuonepäästöjään 39 % vuosien 2021-2030 aikana. Typen oksidit muun muassa heikentävät ilmanlaatua ja rehevöittävät vesistöjä. Erilaiset auton pakokaasun pienhiukkaset ja rikkidioksidi aiheuttavat terveyshaittoja. (Tapaninen 2018, 124-125.)

Lannoitteiden valmistus, kuljetus ja käyttö tuottavat kasvihuonekaasuja, kuten hiilidioksidia ja typpioksiduulia. Toisaalta lannoitteiden käyttö lisää metsien kasvua, joka sitoo hiilidioksidia. Metsän kasvulisäys sitoo jopa 10 tonnia hiilidioksidia hehtaaria kohti. Lannoituksen hiilidioksidipäästö on noin 0,5 tonnia hehtaaria kohti. (Yara 2018.)

Kasvihuonekaasupäästöjä voidaan vähentää kehittämällä uusia vaihtoehtoisia polttoaineita ja teknologioita sekä parantamalla ajoneuvojen energiatehokkuutta. Myös kuljetusten optimoinnilla voidaan vaikuttaa päästöihin. (Tapaninen 2018, 125.)

3.8 Paluulogistiikka

Paluulogistiikan tarkoituksena on välttää vajaita tai tyhjiä kuljetuksia, jotka lisäävät kuljetuksen kustannuksia. Paluulogistiikka on viime vuosina noussut esille, koska ympäristönäkökulmat halutaan ottaa huomioon. (Tikka 2016, 99.)

Paluulogistiikan määrittämisessä tuote siirtyy asiakkaalta toimittajalle. Viallisten tuotteiden palautus on esimerkki paluulogistiikasta, ja sen ennakoiminen voi olla vaikeaa. Hyvin hoidettu paluulogistiikka voi parantaa yrityksen tulosta ja lisätä asiakastyytyväisyyttä. Paluulogistiikan ulkoistaminen on yleistä, ja se voi parantaa organisaation kilpailukykyä. (Ritva-
nen 2011, 165-166.)

Paluulogistiikka on osa toimitusketjunhallintaa, ja sillä voidaan kehittää kuljetusten energiatehokkuutta. Logistiikan hallinnan parantamisella voidaan luoda ympäristöystävällistä yrityskuvaa, mikä taas voi parantaa yrityksen liiketoimintaa. Paluulogistiikassa materiaalia voidaan kuljettaa takaisin logistiikkaketjussa oleville yrityksille tai ulkopuolisille toimijoille. (Kalliopää 2010, 35.)

Suomen pitkien välimatkojen ja toimintojen sijoittumisen takia kalustolle tulee paljon tyhjääjää. Erityisesti puu ja maa-ainekuljetuksissa tyhjääjää voi olla jopa 50 % ajasta. Kappale-
tavarakuljetuksissa kärsitään myös usein paluukuljetusten puutteesta. Tätä on koitettu helpottaa mepa-kalustolla eli meno-paluukalustolla. Kuorma-autoissa voidaan esimerkiksi käyttää kaksiosaista kuormatilaa, jolla voidaan kuljettaa eri aineita. Esimerkiksi raakapuu-
kuormalla voidaan takaisin tullessa kuljettaa haketta. Toiminta ei kuitenkaan ole kovin suosittua, sillä kuljetuskysyntä on usein yksisuuntaista. (Hokkanen 2010, 193.)

3.9 Logistiikan haasteet

Logistiikan tarkoituksena on toimittaa tuotteita oikeaan aikaan oikeaan paikkaan. Tämä on haasteellista, sillä Suomi on harvaan asuttu maa ja etäisyydet ovat pitkiä. Logistiikkaketjuissa on usein myös monia erilaisia toimijoita. Siksi onkin tärkeää, että toimitusketju on mahdollisimman läpinäkyvä. Eri toimijoiden tulee välittää toisilleen tietoa tilauksista, varastojen suuruudesta ja tavaroiden sijainnista, jotta toimitusketju toimisi tehokkaasti. (Ritva-
nen 2011, 19,26.)

Suomessa on yksityisiä metsäteitä noin 100 000 km. Suurin osa teistä on rakennettu 1970-80-luvuilla ja ne alkavat olla peruskorjauksen tarpeessa. Tiekunnassa voi olla useita osakkaita, jotka usein ovat ikäihmisiä tai heidän perillisiä, jotka eivät asu alueella. Yksityisten metsäteiden kunto huononee koko ajan, mikä vaikeuttaa raskaan kaluston metsään pääsyä. Osalla metsäteistä ei voi ajaa kesällä ollenkaan. (Kinnunen 2017.)

Tavaroiden kuljetuksen käyttöaste on erityisesti metsäalalla pieni, sillä autot ajavat paljon tyhjinä. Meno-paluu kuljetuksilla voitaisiin tehostaa kuljetuksia ja alentaa liikenteen päästöjä. Haasteena on kuitenkin se, että meno-paluukuljetukset eivät ole kovin suosittuja. Ne eivät myöskään herätä mielenkiintoa logistiikkaketjun toimijoissa. Metsäenergian kuljetus-
yrittäjä piti meno-paluukuljetuksia melko hankalana ja utopistisena ajatuksena, joka

harvoin toimii. Haasteellisinta on lannoitevalmistajan mukaan se, että rakeistetun tuhkan toimitus on niin sanottu kuuma ketju, jossa tavaran varastointi maastossa tulisi olla mahdollisimman lyhyt, jotta levitysominaisuudet eivät kärsisi. Vaarana on, että tuotetta jää metsään ja tehtaiden pihalle seisomaan. Lannoitefirma oli myös itse tehnyt laskelmia ja kokeiluja ja todennut, että meno-paluukuljetuksilla ei saavuteta merkittäviä kustannussäästöjä.

4 TUHKAN LEVITYS

4.1 Metsälannoitus Suomessa

Metsälannoituksen määrä on vaihdellut Suomessa. Huippuvuonna 1975 lannoitettiin 245 000 hehtaaria metsää. Tähän vaikutti puustokato, joka johtui hakkuiden lisääntymisestä. Lannoituksen hehtaari määrät tippuivat murto-osaan huippuvuodesta aina 1990-luvulle asti, jonka jälkeen ne lähtivät taas nousuun. 2000-luvun alussa lannoitettiin noin 20 000 hehtaaria metsää vuodessa. Tavoitteena on kasvattaa metsälannoitusta noin 80 000 hehtaariin vuodessa. (Ojala 2010, 6.)

Lannoituksen tarkoituksena on lisätä metsien kasvua ja siten tuottavuutta. Lisäksi terveyslannoituksilla voidaan paikata metsien ravinnetasapainoa ja estää puuston kehityshäiriöitä pitkällä aikavälillä. (Huotari 2012, 41.)

4.2 Tuhkan levitystekniikat

Tuhkaa voidaan levittää joko lentolevityksenä tai maalevityksenä. Levitystekniikan valintaan vaikuttaa kohteen koko, sijainti sekä lannoituksen ajankohta. Erityisesti paksuturpeiset ja typpipitoiset ojitetut suot soveltuvat tuhkalannoitukseen, koska ne kärsivät fosforin ja kaliumin puutteesta. Tuhkan levitystekniikkaa kannattaa harkita tarkasti, sillä se vaikuttaa kustannuksiin. Tuhkan tulee olla rakeistettua tai itsekovettuvaa, jotta se pölyäisi mahdollisimman vähän. (Huotari 2012, 41, 43.)

4.2.1 Maalevitys

Tuhkan maalevitys tehdään yleensä traktorilla tai muulla maatalouskalustolla. Maan tulee olla kantavaa, mikä tarkoittaa suometsissä käytännössä sitä, että lannoitus täytyy hoitaa talvella. Metsänhoidollisten toimenpiteiden ajoitus on tärkeää ottaa huomioon. Ensin tehdään harvennushakkuu, sen jälkeen lannoitus ja lopuksi kunnostusojitus. Järkevintä olisi tehdä lannoitus samana talvena hakkuiden jälkeen. Ajourat ovat silloin kantavia ja soiden oja on helppo ylittää. Kuvassa 3 on metsäkone, jonka perään on liitetty tuhkalevitin. (Isänäinen ym. 2006, 12.)

Levityksen voi toteuttaa myös omatoimisesti esimerkiksi käsin tai mönkijällä. Lannoitesäkit jaetaan levitettävälle alueelle tasaisesti, jotta lannoite on helppo levittää maastoon. Säkien jaotteluun alueelle voidaan käyttää apuna mönkijää, pientä maataloustraktoria tai talvella moottorikelkkaa. Paras aika levittää lannoitteet maastoon on heti lumen sulamisen jälkeen. (Yara 2008, 22.)

Tuhkaa voidaan levittää myös moottorikelkalla tai lumilingolla. Moottorikelkan perässä vedetään pulkkaa. Menetelmä vaatii fyysistä työtä ja vie aikaa, sillä pulkan lastaaminen ja tuhkan levittäminen hoidetaan lapioidulla. Lumilinko menetelmässä tuhka levitetään metsätielle ja siitä lumilingolla metsään. Menetelmä on nopea, mutta sillä saadaan levitettyä tuhka vain metsäteiden reunoille. (Makkonen 2015, 25.)

Maalevitys tehdään yleensä metsätraktorilla valmiita ajouria pitkin. Traktoriin liitetään keskikopislevitin, jonka avulla tuhka levitetään metsään. Normaali ajouraleveys riittää tähän menetelmään. Yhdellä kuormallisella saadaan levitettyä tuhkaa noin kahden hehtaarin alueelle. Maalevitys on turvemaille kustannustehokas tuhkanlevitystekniikka. (ForestVital Oy 2018.)



KUVA 3. Rakeistetun tuhkan maalevitys metsäkoneella (Metsäkeskus 2016)

4.2.2 Lentolevitys

Lentolevitys suoritetaan helikopterilla ja se voidaan tehdä mihin vuoden aikaan tahansa. Helikopteri levitystä voidaan myös käyttää kohteilla, joille ei ole vielä tehty harvennushakuita. Lentolevitys sopii myös hyvin vaikeakulkuisille kohteille sekä suomaille. Helikopterilla tehdyllä lannoituksella saadaan tehokkaasti levitettyä suuria määriä tuhkaa kerralla. Kustannuksiltaan lentolevitys on maalevitystä kalliimpaa, mutta tehokkaampaa. Kustannustehokkaassa lentolevityksessä tulee saada hankkeeseen mahdollisimman paljon alueita ja pyrkiä suuriin levitysmääriin. Näin kustannuksia saadaan pienennettyä. Lentolevityksessä tulee aina käyttää rakeistettua tuhkaa ja alueen mahdolliset vesistöt tulee huomioida levitystä suunniteltaessa. Helikopterin lentomatka varastopaikalta levityskohteelle tulee olla kohtuullinen, mielellään enintään 2 km. (Huotari 2012, 44.)

Lentolevitys on maalevitystä kalliimpaa, mutta maaston kantavuus tai lumitilanne eivät vaikuta siihen. Lentolevitys onkin varmempaa, kuin maalevitys. Tuhka lastataan

levityskonttiin kuormaimen avulla. Levityskontteja on kaksi, maahenkilöstö lastaa yhtä konttia samaan aikaan (kuva 4), kun helikopteri levittää toista. Kuorman paino on noin 500 kg. Helikopterilla levitetään päivässä noin 100 tonnia tuhkaa. (Isännäinen ym. 2006, 13.)

Vaikka lentolevitys onkin varmempaa, kuin maalevitys on siinäkin rajoittavia tekijöitä. Huono sää, tuuli ja pakkasen vaikeuttavat lentolevitystä. Jos ilma on kovin sumuinen, ei lentolevitystä voi toteuttaa ollenkaan huonon näkyvyyden takia. Helikopterilannoituksessa saadaan kuitenkin erittäin tasainen levitysjälki, sillä levityskaistat voidaan valita ilmassa vapaasti ja ojat pystytään ottamaan huomioon. Lentolevityksestä ei aiheudu pintavaurioita levitettävälle alalle. (Mäkinen 2012, 24.)

Toimenpiteestä tulee laatia tarkat suunnitelmat, joissa näkyvät varastopaikat sekä nousu- ja laskupaikat. Näiden alueiden tulee olla tarpeeksi avaria, eikä lähellä saa olla sähkölinjoja tai korkeita puita. Tuhka levitetään ojien suuntaisesti, jotta estetään sen joutuminen alueen ojiin. Helikopterin lentoetäisyys varastolta lannoituskohteelle vaikuttaa huomattavasti lannoituksen kustannuksiin sekä ajanmenekkiin. (Joensuu 2018, 18.)



KUVA 4. Rakeistetun tuhkan lentolevitys (Kontiainen 2018)

Kalibrointi on metsälannoituksessa tärkeää ja levitysnopeus tulee ottaa huomioon. Kalibrointi tehdään ennen varsinaisen työn alkua ja siinä käytetään apuna kymmentä näytesuppiloa, jotka asetetaan levityssuuntaan nähden poikittain. Suppilon halkaisija on 50cm ja sen suuaukon koko 0,196 m². Suppiloilla seurataan levitystarkkuutta. Yhteen suppiloon tullut tuhkagramma vastaa 51,02 kilon tuhkamäärää hehtaarille. Poikkeamaa saa olla enintään 20 % eli kymmenestä suppilosta kahdessa saa olla poikkeavuutta. Suppiloita asetetaan myös alueen ojiin, jotta varmistetaan ettei tuhkaa päädy vesistöihin. Myös

helikopterin piirtämän GPS-jäljen avulla seurataan levitystarkkuutta, lisäksi lannoitusalueella suoritetaan omavalvontaa päivän aikana. (Mäkinen 2012, 25.)

4.3 Tuhkan levityskalusto

Maataloustraktorit soveltuvat parhaiten tuhkan maalevitykseen, sillä niillä pystyy liikkumaan hankalissakin maastoissa. Tuhkalevittimen tulisi olla säädettävä, jotta tuhkan leviämistä voidaan vaihdella tarpeen mukaan. Säädettävällä levittimelle voidaan ehkäistä tuhkan joutumista ojiin. Pienissä koneissa voidaan käyttää keskipakoislevittimiä (kuva 5), kuten kalkkilevitintä. Pienellä kalustolla on haastavaa liikkua maastossa ja pienempien keskipakoislevittimien kestävyys on huono. Myös varastopaikalta maastosta tuhkan mukaan joutuneet epäpuhtaudet voivat aiheuttaa ongelmia. Urakoitsijat käyttävätkin yleisesti metsätaloustraktoreita ja metsäkoneita tuhkan levitykseen. Pienen kaluston käyttäminen soveltuu pienemmille levitysmäärille ja helppoihiin maastoihin. (Makkonen 2015, 35-36.)

Levityksessä voidaan käyttää levitintä, joka liitetään metsäkoneeseen. Levittimen pohjassa on hihna, jota pitkin tuhka kulkee perälaudalta lautaslevittimille. Perälaudaa ja lautaslevittimiä voidaan säätää manuaalisesti. Levittimen sisään voidaan asentaa terä, joka aukoo säkkien pohjat ja mahdollistaa tuhkan tasaisen levittymisen levittimeen. (Saaranen 2014, 12.)



KUVA 5. Tuhkan maalevityskone, jossa lautaslevittimet (Makkonen 2008)

Tuhkan lentolevityksessä maahenkilöstö käyttää apunaan kuorma-autoa, jossa on kuormanosturi sekä täyttösuppiloa, jolla saadaan täytettyä tuhkan levitintä. Kuorma-autolla pystytään kuljettamaan noin kolmen päivän kerosiinit. Mikäli halutaan, että levitys ei keskeydy voidaan lisäksi käyttää toista autoa kerosiinin kuljetukseen. (Mäkinen 2012, 23.)

4.4 Tuhkan levityskustannukset

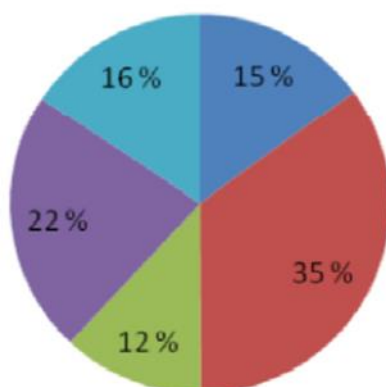
Metsälannoituksella lisätään metsän puustokasvua. Hyvillä kangasmetsä kohteilla lannoitus sijoitukselle voi saada kangasmetsissä 15-20 % vuotuisen tuoton 7-8 vuoden ajalle yhdellä lannoituskerralla. Turvemailla vuotuinen tuotto on hieman pienempi, mutta vaikutusaika on pidempi, jopa 25-30 vuotta. Metsänomistaja pystyy vähentämään lannoituskulut myyntitulojen verotuksessa. (Metsänhoitoyhdistys Pyhä-Kala 2018.)

Metsälannoituksen kustannuksiin vaikuttavat levitysmenetelmä ja kasvupaikka. Maalevitys on metsänomistajalle halvempaa noin 300€/hehtaari. Helikopteri levitys on metsänomistajalle kalliimpaa noin 450€/hehtaari. Lentolevityksen määrät ovat kuitenkin suuremmat ja kerralla voidaan levittää jopa 120-200 tonnia tuhkaa päivässä. Maa levityksessä päivittäinen levitysmäärä on noin 40 tonnia. (Jutila 2012, 39.)

Tuhkan lastauksen ja levityksen ajanmenekki vaikuttaa lannoituksen kustannustehokkuuteen. Saaranen (2014) opinnäytetyössä selvitettiin maalevityksen kustannuksia ja ajanmenekkiä (kuvio 4). Mittauksissa käytettiin kolmea erilaista kohdetta, jotka sijaitsivat eri etäisyyksillä varastopaikasta. Tuhka levitettiin lautaslevittimellä varustetulla metsäkoneella vanhoja ajouria pitkin. Kaikille kolmelle kohteelle levitettiin yksi kuorma tuhkaa ja aika mitattiin sekuntikellolla. Levitykseen kuuluvia toimintoja olivat lastaus, kuormattuna ajo, levitys, muu levitysajo ja kuormaamattomana ajo. Jokainen työvaihe kelloitettiin erikseen. Muuhun levitysajoon sisältyi ajo levityskohteen ulkopuolella tai aika kun tuhkaa ei levitetty.

Ajanmenekki eri työvaiheittain

■ Kuormattuna ajo ■ Levitys ■ Kuormaamat. Ajo ■ Muu levitysajo ■ Lastaus



KUVIO 4. Maalevityksen työvaiheiden ajanmenekin jakautuminen (Saaranen 2014.)

Kolmen kohteen kustannuksista laskettiin keskiarvo kustannukset tuhkan levitykselle. Kustannukset olivat 300 m:n matkalla 8,44 € tonnia kohti. Hehtaarihinnaksi muodostui 28,42 €. Ajomatkan pidentyessä 100 m tonninhinta nousi noin 0,5 € ja hehtaarikohtainen hinta 1,8 €. (Saaranen 2014, 27.)

Parhaimmillaan päästiin 13,8 tonnin levitysmäärään tunnissa. Tähän tulokseen päästiin kohteella, joka sijaitti lähellä tietä ja ajomatka metsävarastolta lannoituskohteelle oli lyhyt. Pitkä ajomatka laskee huomattavasti tuntuottoa. Erityisesti ajouraverkosto vaikutti ajamenekkiin ja sen suunnitteluun tulisikin kiinnittää huomiota. Hyvin suunnitellut ajourat nopeuttavat levitystä ja estävät puustovaurioiden syntymistä. (Saaranen 2014.)

Metsän terveyslannoitukseen voi hakea Kemera tukea (kestävän metsänhoidon rahoituslaki). Terveyslannoitus on tarpeen, jos metsän maaperän kärsii ravinnepuutoksesta tai ravinne epätasapainosta. Ravinnepuutokset vaikuttavat puuston kehitykseen ja kasvuun. Lannoitus kohteen tulee olla vähintään kahden hehtaarin suuruinen ja mahdolliset vesistö- ja ympäristöhaitat tulee ottaa huomioon. Ympäristöhaittojen ehkäisyyn tulee erityisesti kiinnittää huomiota. Tuen suuruus on 30 % lannoituksen kokonaiskustannuksista. Hakemukseen on liitettävä suunnitelma lannoituksesta, kustannukset, mitä lannoitetta käytetään ja miten paljon, lisäksi tulee liittää mahdolliset ravinneanalyysi tulokset lannoitettavasta metsäpalstasta. Tuhkalannoituksessa mukaan on liitettävä tuhkalannoitteen tuoteseloste tai tuhka-analyysi. Lannoituksen jälkeen metsäkeskukselle on tehtävä vielä erillinen toteutusilmoitus. (Metsäkeskus 2018.)

4.5 Tuhkan levityksen haasteet

Tuhkan levitykseen sisältyy jonkin verran haasteita. Kalusto tulee valita tarkoin sillä väärinlaisella ja liian pienellä kalustolla, sekä huonosti toimivalla levittimellä tuhkaa voi joutua alueen vesistöihin ojia pitkin. Vesistöihin joutuessaan tuhka voi aiheuttaa typen vapautumista maaperästä sekä ravinteiden ja raskasmetallien huuhtoutumista. (Makkonen 2015, 19 & 35.)

Turvemaiden tuhkan maalevitys voidaan suorittaa vain talvi aikaan, kun maasto on tarpeeksi kantavaa eli maa on jäässä. Metsänhoitotoimenpiteiden ajoitus on tärkeää. Maalevityksessä lannoitus voidaan tehdä vasta hakkuun jälkeen. (Huotari 2012, 43.) Lentolevitys taas on altis sään vaihtelulle. Kova tuuli ja pakkasen vaikeuttavat lentolevitystä. Mikäli näkyvyys on huono lentolevitystä ei pystytä tekemään ollenkaan. (Mäkinen 2012, 24.)

Ilmastonmuutoksen takia maapallon keskilämpötila nousee ja sateet lisääntyvät, etenkin talvella. Lämpötilan nousu vähentää lumipeitteen paksuutta. Tulevaisuudessa on yhä todennäköisempää, että joulukuussa ei ole lunta ollenkaan ja maa on sula.

Ilmastonlämpenemisen takia roudan muodostuminen vähenee. Tämä taas vaikeuttaa metsänhoitotoimenpiteiden, kuten lannoituksen tekemistä ja heikentää metsäteiden ja maaston kantavuutta. (Syke 2018.)

Ajourasuunnittelu on suurimmalla osalla kohteista ollut onnistunutta. Lannoite valmistajan edustajan mukaan ongelmia syntyy niin sanotuissa hankintahakkuu leimikoissa eli koh-teissa, joissa metsänomistaja on itse tehnyt hakkuut. Ajourat ovat usein liian kapeita ja vaikeuttavat suurien koneiden liikkumista kohteella. Ajourien vieressä olevat puut painuvat uralle päin ja osuvat koneisiin, mikä aiheuttaa puustovaurioita. (Lannoitevalmistaja 2018.)

Tuhkalannoitteen raekoolla on vaikutusta erityisesti maalevityksen onnistumiseen. Liian hieno aines leviää heikosti, mutta isoimmat rakeet voivat lentää jopa 15 metrin päähän le-vittimestä. Tämän seurauksena levitysjäljestä tulee epätasaista ja kohteelle voi jäädä täy-sin lannoittamattomia kohtia. Koska ravinteet eivät etene maaperässä kovinkaan pitkälle, on tasaisella lannoitteen levityksellä vaikutusta puuston kasvuun. (Joensuu 2017.)

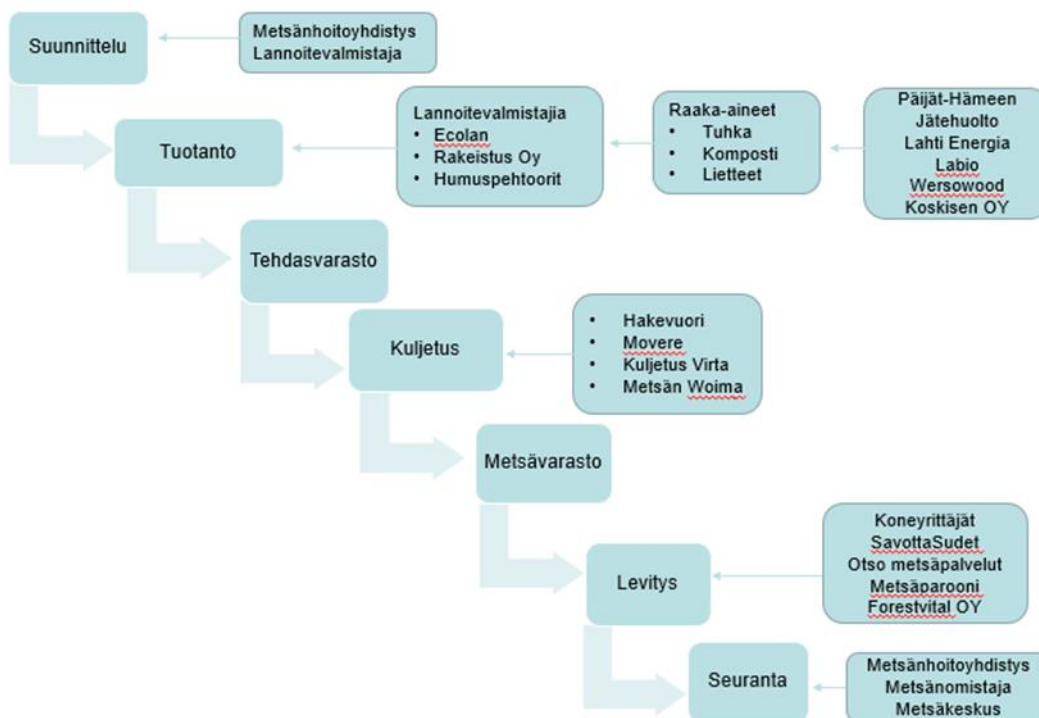
Liian iso raekoko ei ole kuitenkaan hyvä, sillä siitä aiheutuu haittaa levityslaitteistolle. Heli-kopteri levityksessä liian isot kappaleet voivat pudotessaan aiheuttaa turvallisuusriskin ja omaisuusvahinkoja. Irtotavaraa käytettäessä on varmistettava, että metsässä olevan va-rastopaikan pohjalla ei ole kiviä tai oksia ja se on tasainen. Kivet ja oksat voivat aiheuttaa laiterikkoja ja turvallisuusriskiä ympäröivälle alueelle. (Lannoite valmistaja 2018.)

5 TUTKIMUSTULOKSET JA TARKASTELU

5.1 Tuhkan toimitusketju

Rakeistetun tuhkan nykyisessä toimitusketjussa metsänhoitoyhdistys markkinoi lannoitusta metsänomistajille. Varsinaisen lannoitusketjun tehtaalta metsään levitykseen asti hoitaa lannoitevalmistaja. Haastattelemani lannoitevalmistajan mukaan 90 % asiakkaista tilaa valmiin lannoituspaketin. Päijät-Hämeeseen tuleva tuhkarake valmistetaan Viitasaaressa. Varastointi tapahtuu tehtaalla, josta lannoite kuljetetaan metsävarastoon. Jos lannoite kuljetetaan irtotavarana, käytetään kuljetuksessa sorakasettiautoa. Säkkitavaraa voidaan kuljettaa autolla, jossa on nosturi ja laidat saadaan auki. Tällöin voidaan kuorma purkaa kummalle puolelle metsätietä tahansa. Metsävarastosta lannoite levitetään mahdollisimman nopeasti maastoon. Yleisin tapa lannoituksen levitykseen on lentolevitys. Lannoituksen jälkiseurannasta huolehtii metsänhoitoyhdistys ja metsänomistaja. Metsäkeskus hoitaa tarkkailua terveyslannoituskohteilla, joihin on haettu Kemera -tukea.

Uudessa hankkeessa Päijät-Hämeen alueelle haluttaisiin perustaa rakeistuslaitos, joka hyödyntäisi tuhkaa ja kompostia. Tuhka tulisi alueen polttolaitoksista esimerkiksi Lahti Energialta ja komposti Labio Oy:ltä. Valmis tuhkalannoite kuljetettaisiin metsään esimerkiksi hakeautolla menopaluukuljetuksia hyödyntäen. Tuhkan levityksestä huolehtisivat paikalliset metsäkoneurakoitsijat. Metsänhoitoyhdistys, metsäkeskus ja metsänomistaja huolehtisivat lannoituskohteen jälkiseurannasta. Toimitusketjua ja sen uusia toimijoita on kuvattu kuviossa 5. Lannoitteen valmistus on ainoa ketjun osa, jota Päijät-Hämeen alueelta ei tällä hetkellä löydy.



KUVIO 5. Toimitusketjun uudet mahdolliset toimijat

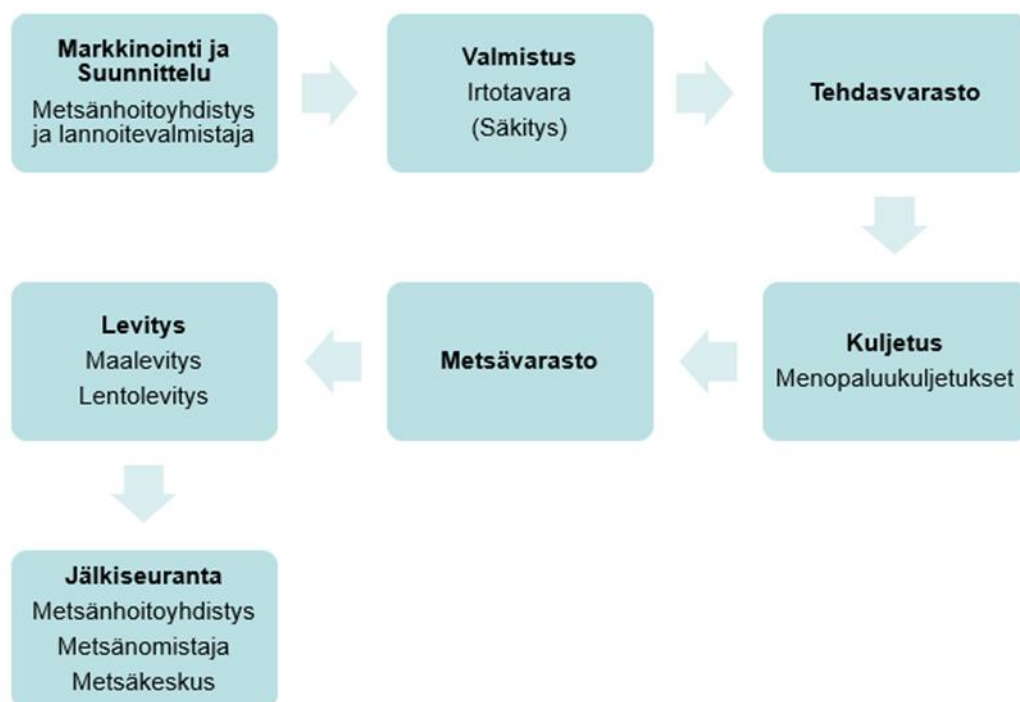
5.2 Toimitusketjun kehittäminen

Nykyisessä toimitusketjussa tuhka tulee kaukaa, sillä Päijät-Hämeessä ei valmisteta lannoitteita. Kuljetusmatkaa kertyy paljon, ja puolet ajasta kuljetukset ajavat tyhjinä. Uudessa toimitusketjussa tulisi kiinnittää huomiota kuljetusten optimointiin ja lisätä mepa eli meno-paluukuljetusten määrää. Haastatteleman kuljetusyrittäjän ja lannoitevalmistajan edustajat eivät pitäneet mepa-kuljetuksia vartenotettavana vaihtoehtona. Lannoitevalmistajan edustaja kertoi, että heidän tekemiensä laskelmien ja kokeilujen perusteella mepa-kuljetuksilla ei juurikaan saada merkittäviä säästöjä. Pelkona on, että tavaraa jää metsään liian pitkäksi aikaa. Kuljetusyrittäjä ei myöskään suhtautunut innokkaasti mepa-kuljetuksiin. Metsäenergiaan erikoistuneen kuljetusyrityksen edustaja oli kiinnostunut tuhkalannoitteen kuljetuksesta, mutta ei nähnyt, että mepa-kuljetus olisi hyvä idea. Ongelmana on, että tuhkalannoitetta kuljetetaan yleensä turvemaille, mutta metsäenergia korjataan pääasiassa kivennäismailta.

Vaikka mepa kuljetuksilla ei saataisikaan merkittäviä kuljetuskustannussäästöjä, sillä voitaisiin optimoida kuljetuksia. Tällä tavoin säästettäisiin aikaa ja vähennettäisiin liikenteestä aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä. Kuljetuksessa voitaisiin hyödyntää jollekin alueelle valmiiksi kulkevaa liikennettä. Lannoituskohteen ei tarvitsisi sijaita saman autotien varressa, mistä metsäenergiaa haetaan, mutta jos esimerkiksi 5 km:n tai 10 km:n säteellä olisi

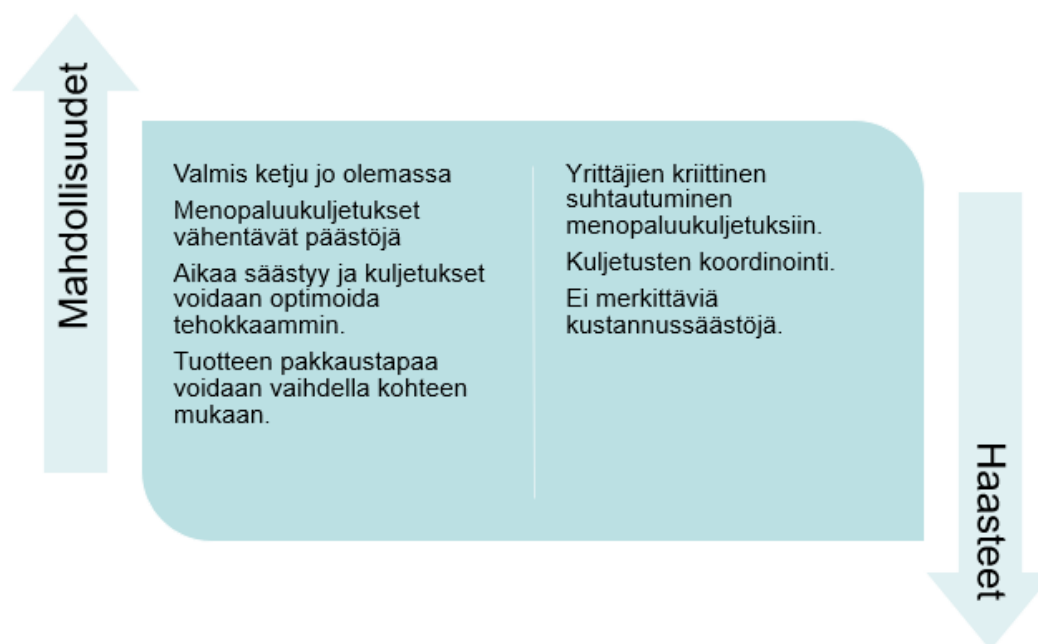
lannoituskohde voisi metsäenergiaa hakeva auto ajaa sitä kautta. Tämä vaatii hyvää tiedonkulkua eri toimijoiden välillä. Näin mahdollistetaan, ettei lannoitetta jää maastoon liian pitkäksi aikaa. Kuviossa 6 on esitetty menopaluu kuljetuksia hyödyntävä toimitusketju.

Ketju on muuten samanlainen, kuin nykyinen toimitusketju, mutta kuljetuksissa käytetään menopaluu kuljetuksia. Mikäli kuljetuksissa käytettäisiin metsäenergiaan erikoistunutta kalustoa, tulisi lannoitteen olla irtotavaraa. Muita kuljetusmuotoja käytettäessä, myös säkkitavaran kuljettaminen onnistuisi.



KUVIO 6. Menopaluu kuljetuksia hyödyntävä toimitusketju

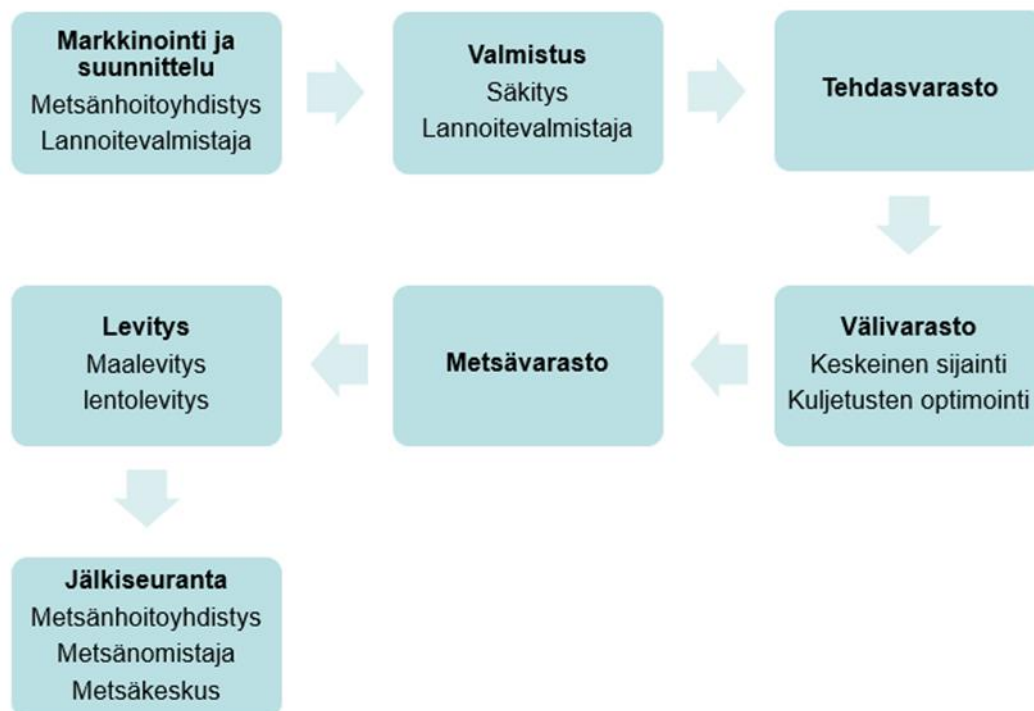
Menopaluu kuljetusketju tehostaa kuljetuksia, mutta varsinaiset kustannussäästöt jäisivät pieneksi. Koska valmiit toimijat ovat jo olemassa, ei ketjun toiminta vaatisi suuria muutoksia. Haasteita ketjulle tuottaisi kuljettajien asenne menopaluu kuljetuksiin sekä monen eri toimijan yhteydenpito.



KUVIO 7. Menopaluukuljetuksia hyödyntävän ketjun mahdollisuudet ja haasteet

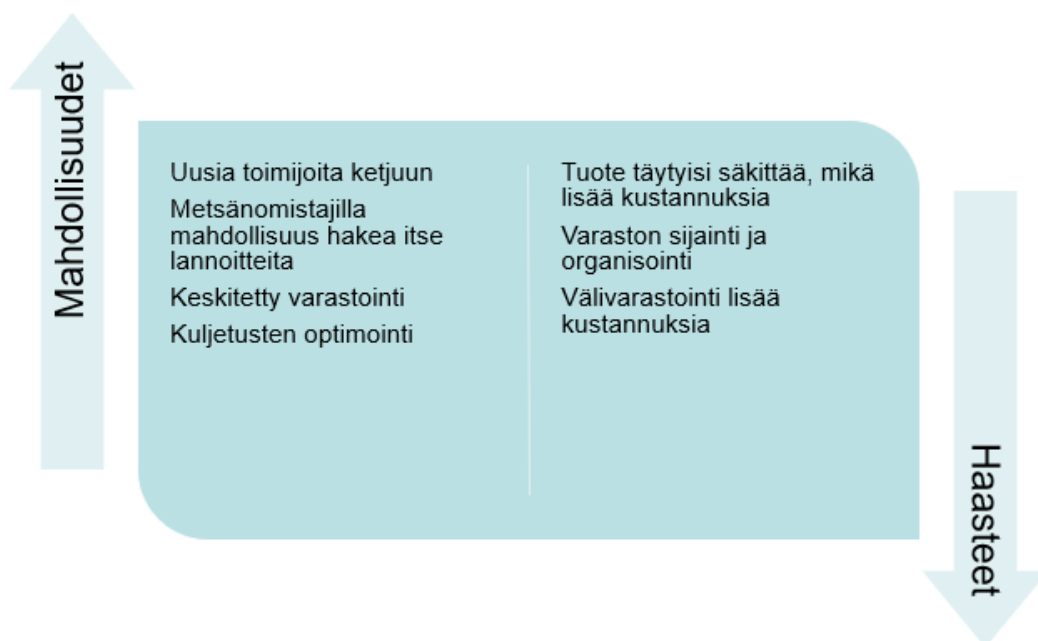
Kuljetus ja toimitusketju voitaisiin myös toteuttaa siten, että valmis lannoite kuljetettaisiin tehtaalta välivarastoon. Kuljetusketjumalli on kuvattu kuviossa 8. Tässä tapauksessa lannoite tulisi olla pakattu säkkeihin, jotta se säilyisi paremmin. Välivarasto voisi sijaita keskeisellä paikalla, josta kulkee paljon kuljetusliikennettä. Vastaavasti metsänomistajat, jotka haluavat suorittaa levitystyön itse voisivat halutessaan hakea lannoitteet keskitetystä varastosta.

Kuljetuksessa pystyttäisiin käyttämään mahdollista menopaluuliikennettä hyödyksi. Esimerkiksi metsäenergiaa hakeva auto voisi viedä välivarastosta lannoitetta metsävarastoon samalla, kun se hakee lähistöltä metsäenergiaa. Toisaalta lannoitetta voitaisiin ajaa kauemmista tuotantolaitoksista esimerkiksi Viitasaarelta Päijät-Hämeen alueelle ja varastoida sitä Päijät-Hämeen alueella. Kaukokuljetuksissa voitaisiin hyödyntää yhdistelmäkuljetuksia.



KUVIO 8. Välivarastollinen toimitusketju

Välivarastollinen toimitusketju mahdollistaisi uusien toimijoiden yhteistyön. Keskitetyllä varastoinnilla voitaisiin optimoida kuljetuksia ja metsänomistajilla olisi mahdollisuus hakea itse lannoitteita. Säkitys ja välivarastointi kuitenkin lisäävät toimitusketjun kustannuksia. Myös varaston mahdollinen sijainti ja sen toiminnan organisointi aiheuttaa haasteita ja kustannuksia.



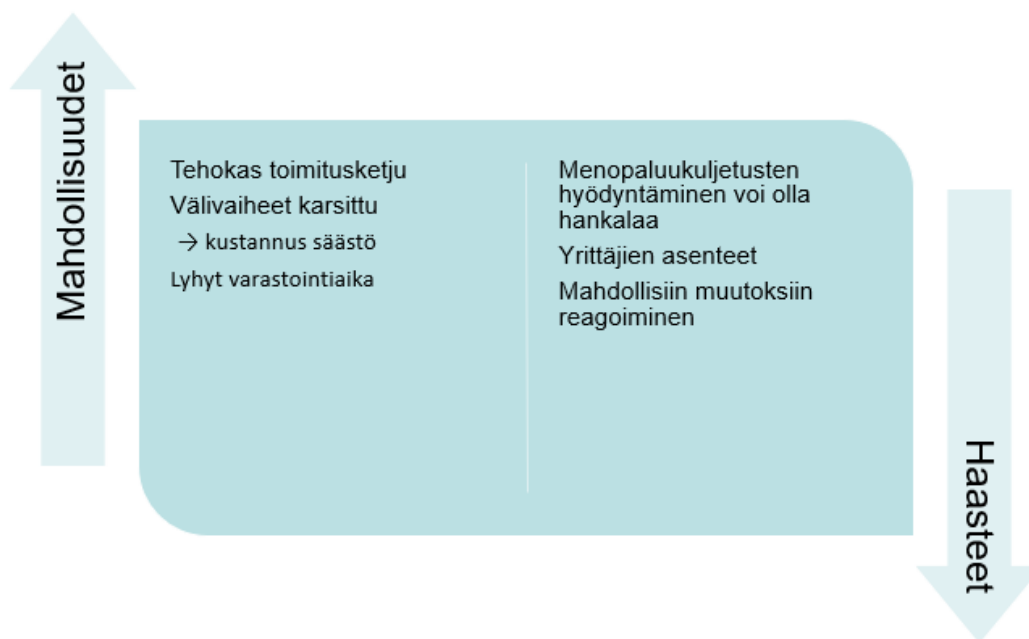
KUVIO 9. Välivarastollisen toimitusketjun mahdollisuudet ja haasteet

Kolmannessa niin sanotussa ”erittäin kuumassa” toimitusketjumallissa kuvio 10 valmistet-
 taisiin lannoitetta vain kysynnän mukaan. Tällöin ei tarvittaisi suuria tehdasvarastoja, joihin
 sitoutuu pääomaa. Varasto vie myös tilaa. Lannoite toimitettaisiin irtotavarana, jolloin
 säästettäisiin säkityskustannuksissa. Ketjussa lannoite ajetaan metsään juuri ennen levi-
 tystä. Tarvittaessa metsävarastoa ei syntyisi tai lannoite olisi maastossa vain muutaman
 päivän. Metsävarasto on kuitenkin hyvä pitää ketjussa, jotta voidaan varautua mahdollisiin
 yllättäviin esteisiin. Esimerkiksi sääolosuhteisiin tai kuljetusyrittäjän sairastumiseen. Koska
 ketju on melko suoraviivainen ja nopea menopaluu-
 kuljetusten käyttäminen saattaa olla haasteellista.



KUVIO 10. ”Erittäin kuuma” toimitusketju

Erittäin kuumassa toimitusketjussa välivaiheet on karsittu pois. Tämä laskee kustannuksia ja tehostaa ketjun toimintaa. Kustannuksissa säästetään ja tuotteen varastointiaika jää mahdollisimman lyhyeksi. Näin tavaa ei jää turhaan seisomaan, eikä kosteudelle herkkä tuhkalannoite ehdi mennä pilalle. Näin suoraviivaisessa ketjussa menopaluu-
 kuljetusten hyödyntäminen voi olla hankalaa. Myös kuljetusyrittäjien asenteet ja sopeutuminen nopeaan ketjuun voivat aiheuttaa haasteita.



KUVIO 11. Erittäin kuumen toimitusketjun mahdollisuudet ja haasteet

5.3 Toimitusketjun toimijat

Rakeistetun tuhkan toimitusketjussa on useita erilaisia toimijoita. Jokaisella toimijalla on oma tehtävänsä ketjussa. Rakeistetun tuhkan toimitusketjulla on vakiintuneet toimintamallit ja toimijat, mutta mukaan mahtuisi myös uusia tahoja.

Metsänhoitoyhdistysten tehtävänä on lannoituksen markkinointi ja työmaan perustaminen sekä mahdolliset hakkuu toimenpiteet ennen lannoitusta. Varsinainen lannoitus tilataan lannoitevalmistajalta palvelupakettina, johon kuuluu kuljetus ja levitys. Metsänhoitoyhdistys toimii linkkinä metsänomistajan ja lannoitevalmistajan välissä.

Lannoitevalmistaja huolehtii, että varastopaikat on suunniteltu niin, että suuret koneet voivat liikkua vaivatta varastopaikalla ja lannoituskohteella. Myös kuljetus ja levitys kuuluu lannoitevalmistajan tehtäviin. Kuljetuksesta ja levityksestä vastaa yleensä alihankkija.

5.4 Tuhkan kuljetuksen ja levityksen reunaehdot

Tuhkan kuljetukseen ja levitykseen liittyy jonkin verran erilaisia reunaehdoja. Tuote on erittäin herkkä kosteudelle ja sääoloille, joten varastoimis aika metsässä on rajallinen. Rakeet ovat huokoisia, joten ne imevät helposti kosteutta. Myös lannoitteen jäätyminen aiheuttaa ongelmia. Levitysominaisuudet kärsivät, jos lannoitteita säilötään maastossa liian kauan ennen levitystä. Erityisesti maasta nouseva kosteus on pidemmässä varastoinnissa uhka tuhkalannoitteen säilyvyydelle. Kosteusvaurioista kärsinyt tuhka voidaan kuitenkin ajaa

takaisin valmistukseen ja rakeistaa uudelleen. Tästä syntyy tietysti huomattavasti ylimääräisiä kuluja.

Raekoon on oltava tarpeeksi pientä, jotta se kulkee hyvin laitteiston läpi, eikä aiheuta ongelmia tai vaaratilanteita. Esimerkiksi lentolevityksessä liian kookkaat rakeet voivat aiheuttaa vaurioita esimerkiksi alueella oleville autoille. Lannoitevalmistajan edustajan mielestä alalle tarvittaisiin tiukempia standardeja tuhkarakeen kokoon liittyen, sillä eri valmistajien raekoot voivat vaihdella huomattavasti.

Ajourasuunnittelu on avainasemassa varsinkin maalevitystä suunniteltaessa. Isojen koneiden tulee pystyä liikkumaan maastossa sujuvasti. Liian jyrkät ajourat vaikeuttavat työtä. Maalevityksessä metsäkone voi joutua tekemään jyrkkiä mutkia, jolloin kone osuu levittimen levitysalueelle ja tuhkarakeet osuvat koneen tuulilasiin. Tämä vaikeuttaa näkyvyyttä ja voi aiheuttaa vaaratilanteita.

5.5 Toimitusketjuyritykset ja -kalusto

Haastattelemani kuljetusyrittäjä oli kiinnostunut rakeistetun tuhkalannoitteen kuljetuksesta, erityisesti kesä aikaan sillä olisi työtä lisäävä vaikutus. Yrityksen kalusto ja sijainti asettaa toiminnalle joitakin reunaehtoja. Kuljetuskalusto on suunniteltu metsäenergian kuljetukseen, joten kuljetettavan tuotteen tulisi olla irtotavaraa. Autoissa ei ole nostureita eikä sellaisten asentamiseen ole kiinnostusta. Nostureiden asentamisesta koituisi kustannuksia. Lisäksi ne veisivät osan auton tilavuuspainosta. Yrityksen sijainti asettaa reunaehtoja mahdolliselle toiminta-alueelle. Kuljetusmatkan tulisi olla maksimissaan 100 km. Yritykselle olisi optimaalisinta kuljettaa tavaraa Lahden Etelä puolelle, Kouvolan alueelle tai Heinolan alueelle.

Vuodenaika ja sääolosuhteet asettavat myös omat reunaehdonsa erityisesti maalevitykselle. Maaston ja tiestön kantavuuden tulee olla hyvä. Erityisesti turvemaidella maalevitystä voidaan tehdä yleensä vain talvella. Helikopterilevitystä voi tehdä vuodenaikasta riippumatta, mutta sään tulee olla selkeä. Tuulisella säällä lentäminen ei myöskään onnistu.

5.6 Maalevityksen kustannustarkastelu

Swecon (2018) laskelmien mukaan lannoituksen hinnaksi tulisi 335€ hehtaari. Viiden hehtaarin lannoituskustannukset olisivat siis:

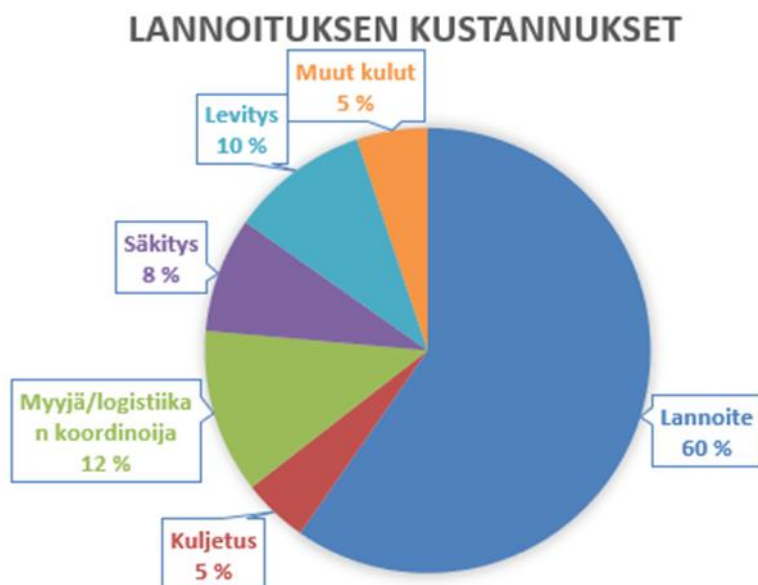
$5\text{ha} \times 335\text{€} = 1675\text{€}$. Lannoituskustannuksiin voi terveyslannoituksissa hakea kemeratukea, joka on 30 % lannoituksen kokonaiskustannuksista. Viiden hehtaarin lannoituskohdeella kemeratuki olisi 502,5€.

Lannoituksessa syntyy kuluja itse lannoitteen lisäksi, kuljetuksesta ja levityksestä. Mahdollinen lannoitteen säkitys lisää lannoitevalmistajan mukaan lannoituskustannuksia noin 25-30€/ha. Säkitys maksaa noin 7-8€ tonnilta.

Alla olevassa taulukossa 1 on esitetty mitä kuluja lannoituksen hintaan sisältyy. Kuvassa oletuksena on hehtaarin alue, jolle levitetään 4 tonnia tuhkalannoitetta. Lisäksi kuviossa 12 on esitetty eri kustannusten prosenttiosuus kokonaiskustannuksista. Lannoituksen suurin kustannuserä on itse lannoite. Hehtaari hinnasta 200€ eli 60 % menee itse lannoitteen. Seuraavaksi suurin kustannus on myyjän ja logistiikan koordinoijan menot. Hehtaari hinnasta 40 € eli 12 % kokonaiskustannuksista menee näihin menoihin. Levityksen kustannus hehtaaria kohti on noin 33,76 € eli 10 %. Tässä oletuksena on, että matka metsävarastolta levityskohteelle on 300m pidempi matka lisää levityskustannusten osuutta. Mikäli tuotetta halutaan säkittää, menee siihen 28€ hehtaaria kohti eli 8% kokonaiskustannuksista. Kuljetuksen osuus on 4€ tonnia kohti eli hehtaarikustannukseksi tulee 16€ tonnille. Kokonaiskustannuksista tämä on 5 %. Mahdollisten muiden kulujen osuus on 17,24€ eli noin 5% kokonaiskustannuksista. Muihin kuluihin luetaan esimerkiksi varastointi.

TAULUKKO 1. Maalevityksen kustannukset €/ha

Lannoituskustannukset €/ha	
Lannoite	200€
Kuljetus	16€
Myyjä/logistiikan koordinoija	40€
Säkitys	28€
Levitys	33,76€
Muut kulut	17,24€
Yhteensä	335€



KUVIO 12. lannoituksen eri kustannusten osuus kokonaiskustannuksista maalevityksessä

Mikäli metsänomistaja tekisi terveyslannoituksen voisi hän hakea siihen Kemera-tukea, joka on 30 % kokonaiskustannuksista. Edellä olevan kustannuslaskelman mukaan hehtaari kustannuksesta 335 € metsänomistaja saisi Kemera-tukea 100,5 €. lannoituskohteen tulee kuitenkin olla vähintään kahden hehtaarin suuruinen.

5.7 Lentolevityksen kustannustarkastelu

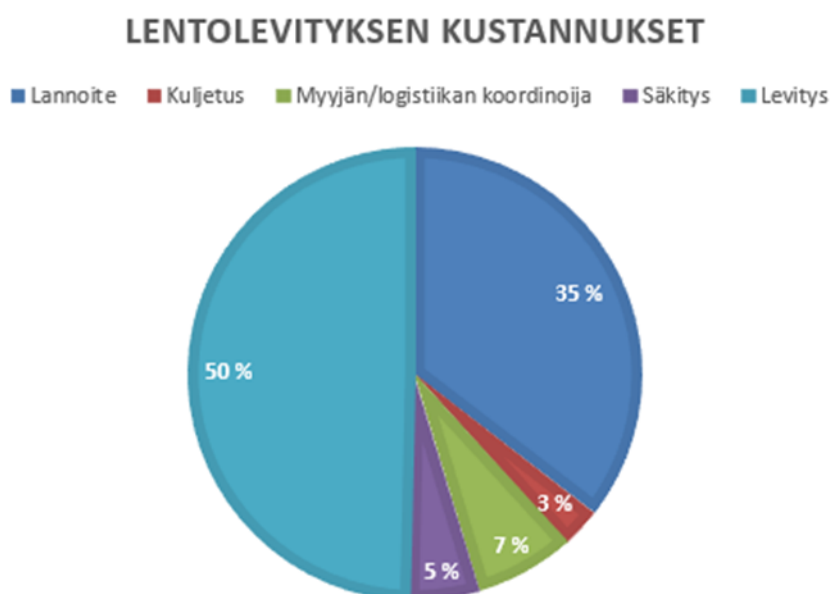
Lentolevityksen keskimääräinen kustannus hehtaarille on noin 450 € +ALV 24 % kokonaiskustannukseksi tulisi siis 558 € (Joensuu2018).

Tässä työssä lentolevityskustannukseksi tuli 564 € hehtaarille. Taulukossa 2 on esitetty lannoituksen kustannukset ja kuviossa 13 eri kustannusten osuus prosentteina kokonaiskustannuksista Lannoitetta levitetään hehtaarille 4 tonnia. Lannoitekulujen määrä oli 200 € eli 35% kokonaiskustannuksista. Levityskustannukset ovat huomattavasti kalliimmat kuin maalevityksessä. Swecon (2018) laskelmien mukaan lentolevityksen kustannus tonnia kohden on 70 - 90 €. Laskelmassa on käytetty 70 €:n kustannusta. Levityksen hehtaari-kustannus olisi siis 280 € eli 50 % lannoituksen kokonaiskustannuksesta. Myyjän ja logistiikan koordinoijan osuus on 40 € eli 7 % lannoituksen kokonaiskustannuksista. Säkitys-kustannukset ovat 28 € eli 5 % kokonaiskustannuksista. Kuljetuskustannus hehtaarille olisi 16 € eli 3 % kokonaiskustannuksista.

Mikäli lannoitus olisi terveyslannoitusta voisi siihen hakea Kemera- tukea. Tuki on 30 % kokonaiskustannuksista. Hehtaarikustannuksesta 564 € Kemera- tukea saisi 169.2 €. Lannoitettavan alueen tulee kuitenkin olla yli 2 hehtaarin suuruinen.

Lannoituskustannukset €/ha Lentolevitys	
Lannoite	200€
Kuljetus	16€
Myyjä ja logistiikankoordinoija	40€
Säkitys	28€
Levitys	280€
Yhteensä	564€

TAULUKKO 2. Lentolevityksen kustannukset €/ha



KUVIO 13. Lentolevityksen kustannusten osuus kokonaiskustannuksista

5.8 Hiilijalanjälki tarkastelu

Fossiilisten polttoaineiden käytöstä syntyvät päästöt aiheuttavat ilmastonmuutosta. Erityisesti ilmakehään kertyvä hiilidioksidi (CO₂) on haitallista. Muita päästöjä aiheuttavia kasvihuonekaasuja ovat esimerkiksi metaani (CH₄) ja typpioksiduuli (N₂O). Lisäksi tieliikenteestä aiheutuu pien-hiukkaspäästöjä (PM), rikkidioksidia (SO₂), typenoksideja (Nox) ja hiilivetyjä (HC). Suurin osa liikenteen päästöistä tulee tieliikenteestä. Päästöt ovat kuitenkin pudonneet 20 vuoden aikana tiukentuneiden pakokaasumääräysten ja puhtaampien

polttoaineiden takia. Autokanta kuitenkin uusiutuu hitaasti, joten päästöt eivät ole laske-
neet niin nopeasti, kuin on toivottu. (Liikenne ja Viestintäministeriö 2017.)

Lannoitteen valmistuksesta, kuljetuksesta ja levityksestä syntyy kasvihuonekaasuja. Kier-
rätyslannoitteen vahvuutena on, että sen valmistuksessa hyödynnetään sivuvirtoja. Uu-
siokäyttö pienentää lannoitteen valmistuksen ympäristöpäästöjä ja edistää kiertotaloutta.
Täysin neitseellisestä raaka-aineesta valmistettu lannoite tuottaisi enemmän päästöjä.

Liikenne on merkittävä kasvihuonepäästöjen aiheuttaja. Lannoitteen kuljetuksesta syntyy
erilaisia päästöjä. Y-hiilari laskurilla voi selvittää kuljetusten hiilijalanjälkeä. Laskuriin syö-
tetään kuljetuksen tonnikilometrit eli kerrotaan yhteen kuljetuksen massa ja kuljetusmatka.
Tonnikilometrien avulla voidaan laskea, paljonko hiilidioksidipäästöjä syntyy. Esimerkiksi
60 tonnin painoisen täysperävaunun hiilidioksidi ekvivalentti on 0,034 (kg/tkm). Tonnikilo-
metrejä kertyy 100km matkasta 6000 joten hiilidioksidipäästö on 204kg/CO₂ekv. Laskurin
hiilidioksidipäästö on laskettu täydelle kuormalle. (Syke 2018, Y-hiilari.) Hiilidioksidi ekvi-
valentti on kasvihuonekaasujen yhteismitta, jossa kasvihuonekaasupäästöt muutetaan
ekvivalenttiseksi hiilidioksidiksi. Näin voidaan laskea yhteen eri päästöjen vaikutus kasvi-
huoneilmiön voimistumiseen. (Ilmatieteenlaitos 2018.)

Päästöihin vaikuttaa kuljetuksen paino. Tyhjänä ajava rekka tuottaa eri määrän kasvihuo-
nekaasuja, kuin täysi kuorma. Esimerkiksi 60 tonnia painavan täysperävaunun, jonka kan-
tavuus on 40 tonnia, hiilidioksidipäästö tyhjänä on 788g/km. Täyden rekan hiilidioksidi-
päästö on 1197 g/km. Alla olevassa taulukossa 3 on esitetty täysperävaunun kasvihuone-
kaasupäästöjen määrät kilometriä kohden.

Kuljetuksen päästöt g/km		
	Tyhjä	Täysi
Hiilivety (HC)	0,084	0,10
Typpioksidi (NO _x)	4,7	6,5
Pienhiukkaset (PM)	0,040	0,062
Metaani (CH ₄)	0,0054	0,0056
Typpioksiduuli (N ₂ O)	0,029	0,029
Rikkidioksidi (SO ₂)	0,0026	0,0040
Hiilidioksidi (CO ₂)	788	1197
Hiilidioksidi ekvivalentti (CO ₂ ekv)	796	1205

TAULUKKO 3. Täysperävaunun (60 tonnia) kasvihuonepäästöt g/km (VTT 2016.)

5.9 Toimitusketjun SWOT-analyysi

Tuhkan nykyisen toimitusketjun vahvuutena on, että raaka-ainetta on hyvin saatavilla. Tuhkaa syntyy runsaasti erilaisissa polttolaitoksissa. Markkinoilla on useita toimivia ja korkealaatuisia tuhkalannoite tuotteita. Tuhkan käyttäminen kierrätyslannoitteena tehostaa kiertotaloutta. Poltetusta metsähakkeesta syntyvä tuhka palautuu takaisin ravinnekiertoon. Tuhka lannoituksella on valmiit toimivat verkostot ja toimijat. Vaikka Suomi onkin pitkien välimatkojen maa, on tuhkan kuljetushinta kuitenkin suhteellisen alhainen. Tuotetta pystytään kuljettamaan myös pidempiä matkoja. Lentolevityksen vahvuutena on sen riippumattomuus vuodenajasta.

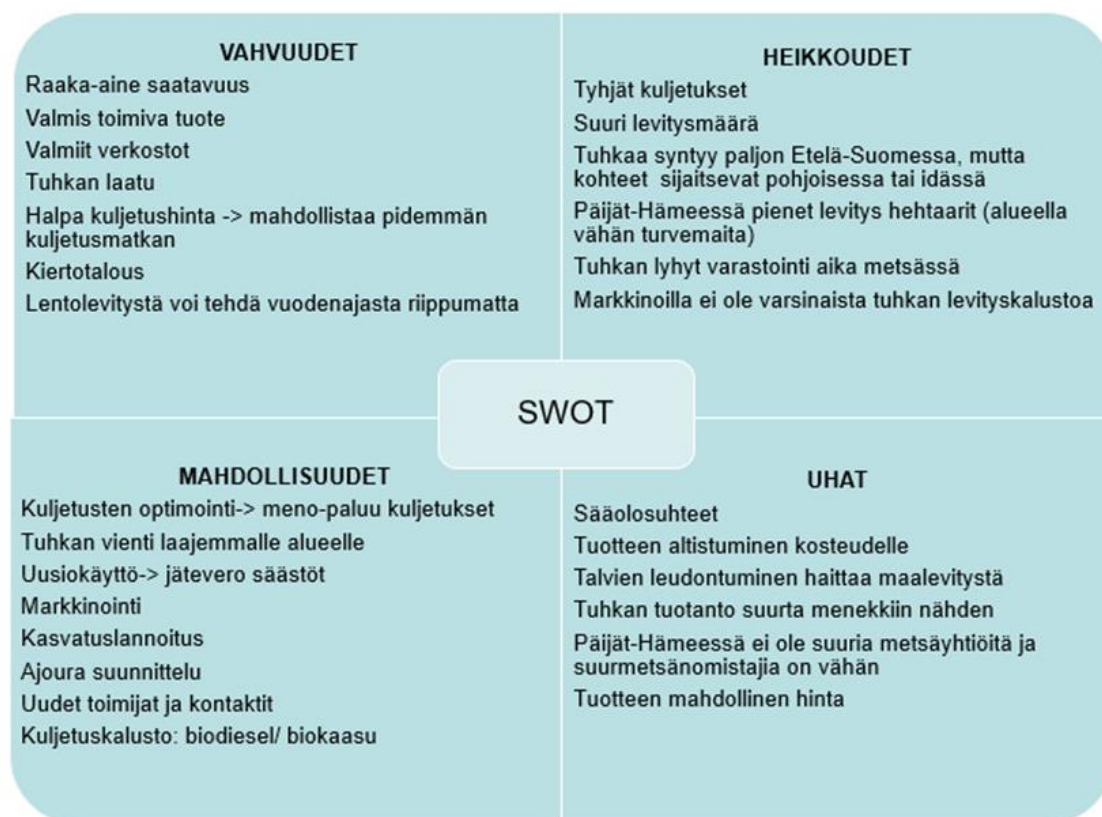
Toisaalta toimitusketjun heikkoutena etenkin nykyisessä mallissa ovat tyhjät kuljetukset, joita erityisesti metsäalalla on paljon. Turhat kuljetukset lisäävät kustannuksia ja kasvihuonepäästöjä. Tuhkalannoitetta myös tarvitaan noin 4 tonnia hehtaaria kohti, mikä on huomattavasti enemmän, kuin muita lannoitteita. Koska tuhkalannoite on altis kosteudelle, sen varastointiaika metsässä on rajallinen. Säkitettyä tuhkaa pystyy varastoimaan metsässä pidempään, kuin irtotuhkaa. Lannoitevalmistajan edustaja kuvaili tuhkan toimitusketjua niin sanotuksi kuumaksi ketjuksi, jossa tavara pyritään saamaan mahdollisimman nopeasti metsään.

Suurin osa poltossa syntyvästä tuhkasta tuotetaan Etelä-Suomessa. Lannoitteen suurin menekki on kuitenkin Itä-Suomessa ja pohjoisessa. Päijät-Hämeen alueen sijainti asettaa myös haasteita toiminnalle. Turvemaita on melko vähän ja vuotuiset levityshehtaarit ovat pieniä.

Toiminnalla on myös mahdollisuuksia. Kuljetuksia voidaan optimoida tehokkaammiksi menopaluu kuljetusten avulla. Vaikka mahdolliset kuljetuskustannus säästöt jäisivät pieniksi, säästetään kuitenkin aikaa ja ympäristöä. Kuljetuskaluston polttoaineet voitaisiin vaihtaa biodieseliksi tai biokaasuksi. Erityisesti kasvatuslannoituksen markkinoinnin lisäämisellä olisi potentiaalia. Tuotetta voisi myös kuljettaa laajemmalle alueelle. Tuhkan uusiokäytöllä voitaisiin säästää jäteveromaksuissa. Uusien toimijoiden ja kontaktien löytäminen lisäisi kiertotalouden mahdollisuuksia. Tehokkaalla ajourasuunnittelulla voitaisiin tehostaa ja helpottaa maalevityksen tekemistä.

Mahdollisia uhkia toiminnalle asettavat esimerkiksi sääolosuhteet. Tuhka on altis kosteudelle, joten sen varastointiin on kiinnitettävä huomiota. Ilmastomuutos ja talvien leudontuminen aiheuttavat ongelmia maalevitykselle. Tuhkaa syntyy vuodessa huomattava määrä, mutta vain pieniosa siitä päätyy lannoitteeksi. Koska Päijät-Hämeen lannoitusmäärät ovat pieniä ei kaikkea syntyvää tuhkaa pystytä käyttämään lannoitteen valmistukseen.

Uhkana on myös tuotteen mahdollinen menekki. Päijät-Hämeessä ei ole suuria metsäyhtiöitä ja suurmetsänomistajia on vähän. Kierrätyslannoite ei välttämättä herätä metsänomistajien kiinnostusta. Lisäksi tuotteen mahdollinen hinta saattaa olla haaste. Moni metsänomistaja mieltää, että kierrätyslannoite olisi huomattavasti halvempaa, kuin normaali lannoite.



KUVIO 14. Rakeistetun tuhkan toimitusketjun kehittämisen SWOT-analyysi

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Rakeistetun tuhkalannoitteen toimitusketjussa metsänomistaja tilaa lannoituksen metsänhoitoyhdistykseltä. Yhdistyksen tehtäväksi jää markkinoinnin lisäksi lannoituskohteen perustaminen. Lannoitevalmistaja hoitaa koko lannoituksen pakettina. Suurin osa eli noin 90% lannoitevalmistajan asiakkaista tilaa valmiin paketin. Metsänhoitoyhdistyksen rooli onkin lähinnä olla linkkinä metsänomistajien ja lannoitevalmistajan välissä. Lannoitukset hoidetaan yhteishankkeina, joissa on mukana useampia metsänomistajia.

Päijät-Hämeen alueelle tuleva tuhkalannoite kuljetetaan kaukaa, aina Viitasaarelta asti, sillä alueella ei ole omaa rakeistamo. Oma rakeistamo pienentäisi kuljetusmatkoja, säästäisi aikaa ja vähentäisi päästöjen syntymistä. Kuljetusten optimoinnissa tulisi hyödyntää menopaluu kuljetuksia. Samalla autolla ajettaisiin ensin tuhkalannoitetta ja haettaisiin sen jälkeen esimerkiksi metsähaketta. Yhdistetyt kuljetukset eivät alentaishi huomattavasti kuljetuskustannuksia, mutta vähentäisivät aiheutuvia päästöjä tuntuvasti. Yhdistetyissä kuljetuksissa on tärkeää, että osapuolten kommunikaatio toimii moitteettomasti. Tuhkalannoitetta ei saa jäädä metsään turhaan seisomaan.

Menopaluu kuljetukset eivät ole kovinkaan suosittuja ja niihin suhtaudutaan epäilevästi. Haastateltavat eivät kokeneet, että niistä olisi taloudellista hyötyä. Lannoitevalmistaja oli jopa itse tehnyt laskelmia, joissa olisi todettu menopaluu kuljetusten hyödyt pieniksi. Koska tuhkalannoite on kosteudelle erityisen herkkää, pelkona on, että tavaraa jää metsään ja se menee pilalle. Excel laskelmia pidetään epätarkkoina, sillä ne eivät ota huomioon esimerkiksi sääolosuhteita.

Kuljetusyrittäjä, joka on erikoistunut metsäenergiaan, oli kiinnostunut lannoitteen logistikasta, mutta koki menopaluu kuljetukset ongelmallisena. Lannoituskohteet sijaitsevat turvemailla, mutta metsäenergiaa korjataan yleensä kivennäismailta. Yrityksellä on myös reunaehtoja. Kuljetettava matka ei saisi olla yli 100km. Lisäksi kuljetettavan lannoitteen tulisi olla irtotavaraa, sillä autoissa ei ole nosturilaitteita.

Kuljetusketjuun on mahdollista saada uusia toimijoita. Kun ketjuun liittyy uusia tekijöitä, on tärkeää, että kaikki ovat selvillä mitä tapahtuu. Yhteistyö tavarantoimittajan ja kuljetuksen kanssa on tärkeää. Näin vältetään, ettei tuhkalannoitetta jää metsävarastoon seisomaan.

Kuljetuskalustoa tulisi kehittää toimivammaksi ja mukaan voisi ottaa uusia toimijoita. Metsäenergiakuljetus kalustoa voisi hyödyntää menopaluu kuljetuksissa, sillä ne on suunniteltu metsäteillä ajamiseen. Kalusto asettaa silti reunaehtoja kuljetukselle. Esimerkiksi kuljetettavan tuhkarakeen tulisi olla irtotavaraa. Tulisikin selvittää voisiko kalustoa kehittää niin, että sillä pystyttäisiin ajamaan myös säkkitavaraa.

Kuljetusten optimointi olisi tärkeää. Vaikka menopaluukuljetukset eivät juurikaan alentaisi kustannuksia, olisi sillä merkittävä vaikutus ympäristöön. Suurin osa päästöistä syntyy liikenteestä. Menopaluukuljetuksissa esimerkiksi lannoituskohteen ja metsäenergiakasan ei tarvitsisi sijaita saman metsätien varressa. Jos 5km tai 10km säteellä energiapuukasasta olisi lannoituskohde, olisi järkevää ajaa kohteisiin yhdellä ja samalla autolla kahden sijasta.

Kustannustehokkain ketju olisi niin sanottu erittäin kuuma ketju, jossa tuotetta valmistetaan menekin mukaan eikä varastoja pidetä. Menopaluukuljetusten hyödyntäminen toisi lisää säästöjä. Niiden hyödyntäminen näin suoraviivaisessa toimitusketjussa voi kuitenkin olla ongelmallista. Kuljetusyrittäjät eivät välttämättä pysty reagoimaan näin lyhyessä ajassa. Menopaluukuljetuksia hyödyntävä toimitusketju toimisi todennäköisesti parhaiten sillä ketju muistuttaisi nykyistä ketjua ja tarvitsisi vain vähäisiä muutoksia.

Toimitusketjun merkittävin ympäristöä säästävä vaikutus tapahtuu ketjun alussa. Lannoitteen valmistaminen sivuvirroista tukee kiertotaloutta ja vähentää päästöjä. Samalla säästetään jätemaksuissa. Tuhkaa syntyy paljon, joten raaka-aineesta ei ole puutetta. Tuhkaa on lähinnä sijoitettu kaatopaikoille tai läjitetty tehtaiden pihaille, joten sen hyötykäytöllä vähennetään myös jätteen määrää. Vaikka tuotteen valmistuksessa käytetään uusioraaka-aineita, tulee myös ketjun muihin ympäristöpäästöihin kiinnittää huomiota. Liikenteen päästöjä saataisiin alemmaksi hyödyntämällä menopaluukuljetuksia, vaihtamalla polttoaineet biopohjaisiin ja uusimalla kuljetuskalustoa.

Ongelmana Päijät-Hämeen alueella on, että täällä ei ole juurikaan turvemaita, joille lannoitusta usein tehdään. Vuotuiset lannoitusmäärät ovat pieniä ja alueelta puuttuvat isot metsäyhtiöt. Suurmetsänomistajia on myös vähän. Koska turvemaita on vähän, tulisi kiinnittää markkinoinnissa huomiota kasvatuslannoituksiin. Tuhkalannoitetta voitaisiin myös markkinoida alueen ulkopuolelle. Yhteistyö ison metsäyhtiön kanssa varmistaisi tuotteen menekin.

Tuhkarae on erittäin herkkä kosteudelle eikä säily kovin kauaa. Siksi se tulee levittää mahdollisimman nopeasti. Varastoitu tuhka tulee peittää huolellisesti. Säkityksellä voidaan pidentää säilytysaikaa maastossa. Säkkien lavoille asettelu ja huolellinen peittäminen suojaavat lannoitetta kosteudelta. Raekoon tulee olla sopiva, ei liian pientä, mutta ei myöskään liian suurta. Liian pieni rae ei levity kunnolla. Liian isot rakeet taas voivat aiheuttaa ongelmia levityskalustolle. Lentolevityksessä liian isot rakeet aiheuttavat turvallisuushaittaa.

Varastopaikan tasaisuus ja siisteys ovat tärkeitä seikkoja. Varastopaikalta lannoitteen mukana levittimeen joutuvat kivet ja kepit voivat rikkoa laitteita. Lentolevityksessä putoilevat

kappaleet ovat turvallisuusriski. Lannoituksen jälkeen varastopaikka on siivottava kunnolla. Tiealueelle jääneet tuhkarakeet aiheuttavat metsänomistajille ja heidän autoilleen haittaa.

Yleisin lannoitteen levitystapa on lentolevittäminen, sillä se ei ole riippuvainen vuodenajasta tai maaston kantavuudesta. Helikopterilla saadaan lannoitettua isompia alueita kerralla. Varastopaikkojen suunnitteluun on kiinnitettävä erityistä huomiota. Kääntöpaikkojen tulee olla leveitä, jotta raskas kalusto pääsee liikkumaan alueella sujuvasti. Myös helikopteri tarvitsee laajan aukean alueen lentoon lähtöä varten. Varastoitavalle lannoitteelle on oltava myös tilaa. Tien kuntoon ja kantavuuteen on myös kiinnitettävä huomiota. Lannoituskohteiden metsätiestö on yleensä hyvässä kunnossa ja kääntöpaikat on suunniteltu riittäviksi. Ongelmallisimpia kohteita ovat metsätiet, joilla ei ole tiekuntaa.

Maalevitys tehdään yleensä talvella, sillä maasto on silloin kantavaa. Ajourasuunnitteluun tulee kiinnittää huolellisuutta, sillä liian kapeat ajolinjat aiheuttavat ongelmia raskaalle kalustolle. Liian kapeilla ajourilla kone osuu puihin aiheuttaen niihin vaurioita. Erityisesti jos metsänomistaja on itse tehnyt hakkuut ovat ajourat usein liian kapeita. Osa koneyrityksistä ei suostu tekemään lannoitusta maalevityksenä kyseisillä kohteilla. Myös liian jyrkät käännökset ajourissa aiheuttavat ongelmia. Kone taittuu niin, että levittimestä lentävä tuhkarake voi osua koneen tuulilasiin. Koneyrittäjät rakentavat ja parantelevat itse koneitaan, sillä markkinoilla ei ole varsinaista tuhkanlevityskalustoa. Yleisimmin käytetään traktoreita tai pieniä metsäkoneita. Metsälannoitus on koneyritykselle täytetyötä, jonka kate on pieni.

Maalevitys on halvempaa kuin lentolevitys. Maalevityksen hehtaarihinnaksi tuli laskelmien mukaan 335€. Lentolevityksen hehtaarikustannus oli 564€. Maalevitys on huomattavasti halvempaa, mutta epävarmempaa, kuin lentolevitys. Helikopteri levityksellä saadaan levitettyä päivän aikana suurempi määrä tuhkaa kuin maalevityksessä. Lannoitushankkeitten tulisi olla mahdollisimman suuria, jotta hehtaarihinta pysyisi matalana. Lannoitevalmistajan mukaan hyvillä lentolevityskohteilla, joissa kuljetusmatka varastopaikalta levityskohteelle on kohtalainen voi lento- ja maalevityksen hinnassa olla vain 50€ ero hehtaarikustannuksissa.

- Päijät-Häme tarvitsee oman rakeistamon
- Alueen lannoitushehtaarit ovat pienet, joten tuotetta tulisi markkinoida Päijät-Hämeen ulkopuolelle esimerkiksi isoille metsäyhtiöille
- Kasvatuslannoituksen markkinointia tulisi lisätä
- Kuljetuksia tulisi optimoida, jotta hiilidioksidipäästöt vähenisivät

- menopaluukuljetusten hyödyntäminen
- metsäenergiakaluston soveltuvuutta tuhkan kuljettamiseen tulee selvittää ja mahdollisesti kehittää
- kaluston polttoaineena tulee hyödyntää biokaasua ja biopolttoaineita
- metsänomistajat ovat tyytyväisiä lannoituspalveluihin
- metsätiestön kunto on pääosin hyvä
- varastopaikkojen ja ajourien suunnitteluun tulee kiinnittää huomiota
- kustannustehokkain toimitusketju olisi ”erittäin kuuma” ketju
- paras vaihtoehto toimitusketjuksi olisi menopaluukuljetuksia hyödyntävä toimitusketju.

6.1 Jatkotutkimukset

Kuljetusketjumallien ja menopaluukuljetusten toimivuutta pitäisi selvittää käytännössä, jotta saataisiin tarkkoja kustannustietoja. Samalla voitaisiin kokeilla niiden toimivuutta. Eri tahojen yhteistyöhön tulisi kehittää työkalu, jolla kuljetuksia voitaisiin optimoida. Tämä voisi esimerkiksi olla sovellus, jonka kautta voisi reaaliajassa seurata kuljetuksia ja metsävarastojen sijainteja. Eri tahojen olisi hyvä kokoontua yhdessä miettimään miten ketjua ja sen kuljetuksia voisi tehostaa.

Metsäenergiakaluston soveltuvuutta kuljetuksiin tulisi selvittää. Lisäksi tulisi selvittää miten kalustoa voitaisiin kehittää. Kaluston soveltuvuutta voitaisiin testata maasto-olosuhteissa, jotta saataisiin mahdollisimman tarkasti kartoitettua mahdolliset kehityskohteet.

Kustannuslaskelmia pitäisi tehdä lisää. Tässä työssä on esitetty suuntaa antavia laskelmia maa- ja lentolevityksen kustannuksista. Eri malleista on mahdotonta tehdä kustannusvertailua, sillä esimerkiksi varastoinnin kustannuksia ei tiedetä.

Tuhkalannoite säilyy varsin lyhyen ajan. Jatkotutkimuksena voisi selvittää pystyttäisiinkö lannoitteen ominaisuuksia muuttamaan siten, että se säilyisi pidempään. Tulisi myös tutkia lannoitteen raeominaisuuksien vaikutusta lannoitteen leviämiseen. Myös rakeistetun lannoitteen vesistövaikutuksia tulisi tutkia.

Kasvatuslannoituksen ja kierrätyslannoitteen markkinointia tulisi kehittää. Tulisi selvittää yhteistyömahdollisuuksia Päijät-Hämeen ulkopuolella. Erityisesti lähimpien isojen

metsäyritysten mielenkiinto tulisi kartoittaa. Päijät-Hämeen lannoitusmarkkinat ovat liian pienet.

- toimitusketjujen ja menopaluukuljetusten testaaminen käytännössä
- tarkkojen kustannuslaskelmien tekeminen
- metsäenergiakaluston kehittäminen
- eri toimijoiden yhteistyön kehittäminen, esimerkiksi sovellus tilausten ja kuljetusten seurantaan
- tuhkalannoitteen ominaisuuksien kehittäminen, jotta se säilyisi pidempään maastossa
- lannoitteen raeominaisuuksien vaikutus lannoitteen leviämiseen
- tuhkalannoitteen vesistövaikutusten selvittäminen
- yhteistyömahdollisuudet Päijät-Hämeen alueen ulkopuolella.

6.2 Validiteetti ja reliabiliteetti

Tutkimuksen onnistumista voidaan määrittää validiteetin ja reliabiliteetin avulla. Validiteetilla selvitetään, onko mitattu niitä asioita, joita haluttiin selvittää. Hyvä validiteetti saavutetaan, kun kohderyhmä on oikea ja heille on esitetty oikeat kysymykset. Mikäli saadut tulokset puoltavat esitettyä teoriaa on tutkimus validi. Reliabiliteetti kuvaa tutkimuksen luotettavuutta. Mittaustulokset tulee pystyä toistamaan, eivätkä ne saa olla sattumanvaraisia. Jos tutkimus uusittaisiin, pitäisi tulosten olla samanlaisia, jos olosuhteet ovat samat. (Hiltunen 2009.)

Tutkimuksen validiteetti on hyvä. Eri toimijoita haastatteleamalla saatiin hyvä kuva nykyisestä toimitusketjusta ja sen kehittämisestä. Jokaisella oli tietenkin oma mielipiteensä kysyttävistä asioista. Erityisesti lannoitevalmistajan haastattelu osoittautui erittäin informatiiviseksi ja siitä sai laajan kuva koko lannoituksen toimitusketjusta. Haastattelut täydensivät hyvin toisiaan.

Tutkimus on tutkijan mielestä reliaabeli. Eri henkilöitä haastatteleamalla voitaisiin tietysti saada erilaisia tuloksia. Koska, tutkimuksessa on haastateltu ihmisiä, tulee tuloksiin suhtautua sen mukaisesti. Tutkimus antaa kuitenkin hyvää kuvaa nykyisestä ketjusta ja sen avulla pystyttiin luomaan uusia toimitusketjumalleja.

7 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää rakeistetun tuhkan nykyinen toimitusketju ja kehittää sen pohjalta kustannustehokas malli tuhkan kuljetukselle tuotannosta metsävarastoon ja edelleen metsään levitykseen. Samalla kartoitettiin mahdollisia reunaehtoja ja haasteita. Tuhkan toimitusketjulle tehtiin kustannuslaskelma ja hiilijalanjälkitarkastelu.

Opinnäytetyö on kvalitatiivinen opinnäytetyö. Tutkimusmenetelmänä käytettiin haastattelua. Haastatteluja toteutettiin 3kpl marras-joulukuun 2018 aikana. Haastateltavat olivat lannoitusvalmistajan edustaja kuljetusyrittäjä ja metsänhoitoyhdistyksen lannoituksesta vastaava henkilö. Haastattelut suoritettiin teemahaastatteluina, joiden aiheita olivat muun muassa kuljetus, levitys, kuljetuskustannukset ja lannoitteen levityksen haasteet. Lisäksi käytettiin sähköisiä ja kirjallisia lähteitä.

Rakeistetun tuhkan toimitusketjussa on monia toimijoita. Metsänhoitoyhdistys on linkkinä metsänomistajan ja lannoitevalmistajan välissä, sekä hoitaa markkinointia. Lannoitevalmistaja tuottaa lannoitepalveluja valmiina palvelupakettina. Ketjun kuljetuksen ja levityksen hoitavat alihankkijat. Jälkiseurannasta huolehtivat metsänhoitoyhdistys, metsänomistaja ja metsäkeskus.

Toimitusketjun vaiheita ovat suunnittelu, valmistus, varastointi, kuljetus ja levitys. Valmistaa tuhkalannoitetta varastoidaan tehtaalla, josta se kuljetetaan yleensä sorakasettiautolla metsätien varteen ja levitetään siitä edelleen metsään. Toimitusketju pyritään suorittamaan mahdollisimman nopeasti, ettei lannoitetta tarvitse varastoida pitkään metsässä. Yleisin tapa levittää tuhkaa on helikopterilevitys, sillä sitä voidaan tehdä vuodenajasta riippumatta. Maalevitys suoritetaan yleensä talvella, kun maaston kantavuus on riittävä.

Huokoinen tuhkarake on erittäin altis kosteudelle. Sääolot ja kosteus voivat vaikuttaa levitysominaisuuksiin. Lyhyellä varastointiajalla ja lannoitteen huolellisella peittämisellä voidaan varmistaa, että sen levitysominaisuudet eivät kärsi. Myös tuhkarakeen koolla on vaikutusta levityksen onnistumiseen. Liian isot tai pienet rakeet aiheuttavat ongelmia eivätkä leviä kunnolla.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi kolme kuljetusketjumallia rakeistetulle tuhkalannoitteelle. Ensimmäinen malli eli niin sanottu menopaluu-kuljetuksia hyödyntävä ketju on muutoin samalainen, kuin nykyinen, mutta kuljetuksissa hyödynnetään menopaluu-kuljetuksia. Välivarastointi toimitusketjussa lannoite kuljetetaan välivarastoon ja sieltä edelleen metsään. Välivarastosta metsänomistajat voivat itse hakea lannoitteet. Toimitettavan tuotteen tulee olla säkitettyä. Kolmannessa erittäin kuumassa kuljetusketjussa tuotetta valmistetaan vain

menekin mukaan ja varastot pidetään pieninä. Tavara toimitetaan maastoon irtotavarana juuri ennen levitystä.

Kuljetusten optimoinnilla voidaan säästää aikaa ja vähentää päästöjä. Erityisesti menopaluukuljetuksia kannattaisi kokeilla. Metsäenergiaa kuljettavalla autolla voitaisiin kuljettaa ensin tuhkalannoitetta ja sen jälkeen ajaa hakemaan metsäenergiaa. Menopaluukuljetukset eivät herätä suurta intoa ja niiden kustannussäästöä ei koeta merkittäväksi. Enemmän tulisikin keskittyä kuljetuksen päästöjen vähentämiseen, johon kuljetusten optimointi olisi hyvä keino.

Tuhkalannoituksella on haasteita ja vahvuuksia. Kierrätystuhkalannoitteen valmistus hyödyntää kiertotaloutta ja sivuvirtoja. Jätteeksi menevä materiaali saadaan uusiokäyttöön ja samalla säästetään jätekustannuksissa. Ideaalia olisi, että ravinteet palautuisivat takaisin metsän ravinnekiertoon lannoituksen avulla. Raaka-ainetta on hyvin saatavilla, sillä tuhkaa syntyy paljon erilaisissa polttolaitoksissa. Alalla on myös paljon valmiita toimijoita ja myös uudet tahot ovat kiinnostuneita kierrätyslannoitteista. Haasteena on kuitenkin, että Päijät-Hämeen alueella on vähän turvemaita. Vuotuiset levitysmäärät ovat pieniä. Lisäksi alueelta puuttuvat suuret metsäyritykset ja suurmetsänomistajiakin on vähän.

LÄHTEET

Kirjalliset lähteet

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2007. Tutki ja kirjoita. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy.

Hokkanen, S., Karhunen, J. & Luukkainen, M. 2010. Johdatus logistiseen ajatteluun. Jyväskylä: Jyväskylän yliopistopaino.

Tapaninen, U. 2018. Logistiikka ja liikennejärjestelmät. Tallinna: Gaudeamus Oy.

Tikka, J. 2016. Logistiikan perusteet. Nordersted: Bod-Books on Demand.

Sähköiset lähteet

Accon 2018. Suursäkit [viitattu 15.12.2018]. Saatavissa: <https://www.acconsuomi.fi/Tuotteet/Sae-kit/Suursaakit>

ForestVital OY 2018. Tuhkan maalevitys [viitattu 19.11.2018]. Saatavissa: <https://forestvital.com/lannoittaminen/tuhkan-maalevitys/>

Hiltunen, L. 2009. Jyväskylän Yliopisto. Validiteetti ja reliabiliteetti [viitattu 16.1.2019]. Saatavissa: http://www.mit.jyu.fi/ope/kurssit/Graduryhma/PDFt/validius_ja_reliabiliteetti.pdf

Huotari, N. 2012. Tuhkankäyttö metsälannoitteena [viitattu 7.11.2018]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/isbn/978-951-40-2371-2/tuhkan-kaytto-metsalannoitteena.pdf>

Ilmatieteenlaitos. 2018. Ilmakehä-ABC [viitattu 14.1.2019]. Saatavissa: <https://ilmatieteenlaitos.fi/ilmakeha-abc/Hiilidioksidiekvivalentti>

Isännäinen S, Järvelä E, Lindh T & Rinne S. 2006. Tuhkan käyttö metsälannoitevalmisteenä. Tiedote. EU Life -ohjelma, RecAsh -hanke [viitattu 9.11.2018]. Saatavissa: https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/pictures/tuhka_metsalannoitteena_vtt.pdf

Joensuu, S. 2017. Puutuhkan käyttö kivennäismaa metsien lannoituksessa-pilotointi [viitattu 20.12]. Saatavissa: <http://tapio.fi/wp-content/uploads/2018/01/Puutuhka-hankeraportti-2016-2017.pdf>

Joensuu, S. 2018. Miten voitaisiin purkaa tuhkalannoituksen käytännön esteitä, jotta tuhkan kierrättäminen onnistuisi paremmin [viitattu 12.11.2018]. Saatavissa: <http://tapio.fi/wp-content/uploads/2018/01/Tuhkalannoituksen-esteiden-purku.pdf>

Juttila, T. 2012. Tuhkan rakeistaminen Pohjois-Pohjanmaalla [viitattu 19.12.2018]. Saatavissa: <https://docplayer.fi/5389422-Tuhkan-rakeistaminen-pohjois-pohjanmaalla.html>

Kalliopää E, Rantala J, Kalenoja H. 2010. Energiatehokkuus logistiikassa. Liikenne- ja viestintäministeriö [viitattu 9.12.2018]. Saatavissa: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/78174/Julkaisu_25-2010.pdf?sequence=1

Kiertoliike 2018 b. Päijät-Hämeen tiekartta [viitattu 4.11.2018]. Saatavissa: <http://www.kohtikiertotaloutta.fi/materiaalikierrat/tuhka/>

Kiertoliike 2018 a. [viitattu 4.11.2018]. Saatavissa: <https://kiertoa.wordpress.com/>

- Kinnunen, N. 2017. LM: vuosikymmeniä vanha metsätieverkko rapistuu käsiin [viitattu 20.12.2018]. Saatavissa: <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/talous/lm-vuosikymmeni%C3%A4-vanha-mets%C3%A4tieverkko-rapistuu-k%C3%A4siin-1.200829>
- Konttinen, J. 2018 [viitattu 19.12.2018]. Saatavissa: <https://www.kaleva.fi/uutiset/oulu/helikopteri-pommittaa-metsäpalstaa-teollisuuden-biotuhkasta-tehdyillä-rakeilla-lannoituksella-saadaan-metsälle-lisää-tuottoa/810772/>
- Ladec Oy 2018. Ladec buustia bisnekseen [viitattu: 3.11.2018]. Saatavissa: <https://www.ladec.fi/ladec>
- Liikenne- ja viestintäministeriö 2017. Päästöt ilmaan [viitattu 15.1.2019]. Saatavissa: <http://liikennejarjestelma.fi/ymparisto/paastot-ilmaan/>
- Linnunmaa 2016. Tuhkan rakeistamislaitos ja jätevesilietteen terminen käsittely Ympäristövaikutusten arviointiohjelma [viitattu 19.11.2018]. Saatavissa: <https://docplayer.fi/29471697-Ecolan-oy-outotec-finland-oy-tuhkan-rakeistamislaitos-ja-jatevesilietteen-terminen-kasittely.html>
- Logistiikan maailma 2018. Maantiekuljetus [viitattu 19.11.2018]. Saatavissa: <http://www.logistiikanmaailma.fi/kuljetus/maantiekuljetus/>
- Makkonen, V. 2015. Poltosta syntyvän puutuhkan hyötykäytön mahdollisuudet [viitattu 19.11]. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/101193/Makkonen_Ville.pdf?sequence=1
- Makkonen, T. 2008. Tuhkalannoitusopas. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio [viitattu 1.11.2018]. Saatavissa: https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/pictures/tuhkalannoitus_tapio_2008_pakattu.pdf
- Metsäkeskus 2016. Tuhkalannoitus materiaalit [viitattu 18.12.2018]. Saatavissa: <https://www.metsakeskus.fi/tuhkalannoitus-materiaalit>
- Metsäkeskus 2018. Tuki metsän terveyslannoitukseen [viitattu 10.1.2019]. Saatavissa: <https://www.metsakeskus.fi/tuki-metsan-terveyslannoitukseen>
- Metsänhoitoyhdistys Pyhä-Kala 2018. Metsänlannoitus [viitattu 19.12.2018]. Saatavissa: <https://www.mhy.fi/pyha-kala/metsanhoito/metsanlannoitus>
- Mäkinen, P. 2012. Metsätuhkan rakeistus ja levitys [viitattu: 14.11.2018]. Saatavissa: http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/47108/Makinen_Petri.pdf;jsessionid=50AEF94905B984FDEAD6DD4406B4B52E?sequence=1
- Ojala, E. 2010. Selvitys puu- ja turvetuhkan lannoite- sekä muusta hyötykäytöstä. Motiva. Energia-teollisuus [viitattu 15.11.2018]. Saatavissa: https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/pictures/selvitys_puu- ja_turvetuhkan_lannoite_seka_muusta_hyotykaytosta_energiateollisuus_2010.pdf
- Opetushallitus. 2018. SWOT-analyysi [viitattu 4.12.2018]. Saatavissa: https://www.oph.fi/saadokset_ja_ohjeet/laadunhallinnan_tuki/wbl-toi/menetelmia_ja_tyovalineita/swot-analyysi
- RE maatila 2018. Yleistä kierrätyslannoitteista [viitattu 14.12.2018]. Saatavissa: <http://ravinnejaenergia.fi/materiaali/omalannoitteet/yleista-kierratyslannoitteista/>

Ritvanen, V. 2011. Logistiikan ja toimitusketjun hallinnan perusteet [viitattu 23.11.2018]. Saatavissa: http://www.logistiikanmaailma.fi/wp-content/uploads/2018/06/Logistiikan_ja_toimitusketjun_hallinnan_perusteet.pdf

Suomen uusio muovi Oy 2018. Suomen uusio muovi Oy:n terminaalit yrityspakkauksille [viitattu 15.12.2018]. Saatavissa: http://www.uusiomuovi.fi/fin/yritykselle/terminaalit_yrityspakkauksille/

Syke, 2018. Ilmasto-opas [viitattu: 19.12.2018]. Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmaston-muutos/vaikutukset/-/artikkeli/af2da594-445a-42dd-8f57-d085735cc6e0/metsatalous.html>

Tilastokeskus 2017. Liitetaulukko 10. Tieliikenteen tavarakuljetukset 2017 [viitattu 21.12.2018]. Saatavissa: https://www.stat.fi/til/kttav/2017/kttav_2017_2018-04-26_tau_010_fi.html

Yara. Metsänlannoitusopas 2008 [viitattu 20.11.2018]. Saatavissa: https://www.farmit.net/sites/default/files/YARA_Metsalannoitusopas.pdf

Yara 2018. Metsänlannoitus [viitattu 26.11.2018]. Saatavissa: <https://www.yara.fi/lannoitus/metsa/>

Yle 2018. Tyhjä lannoitesäkki muuttuu uusiomuoviksi-säkkien kerääminen työllistää satoja nuoria [viitattu 15.12.2018]. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-10277764>

VTT 2016. LIPASTO Liikenteen päästöt [viitattu 16.1.2019]. Saatavissa: <http://lipasto.vtt.fi/>

4H-yhdistys 2018. Lannoitesäkkien pakkausohjeet [viitattu 15.12.2018]. Saatavissa: <https://4h.fi/4h-jarjestona-2/osallistu-ymparistotekoon/lannoitesakkikerays-viljeliijoille/lannoitesakkien-pakkausohjeet/>

Haastattelut

Kuljetusyrittäjä 2018. Metsäenergian kuljetusyrittäjä. Haastattelu 20.11.2018.

Lannoitevalmistaja 2018. Rakeistetun tuhkalannoitteen valmistajan edustaja. Haastattelu 14.11.2018.

Metsänhoitoyhdistys 2018. Lannoituksesta vastaava toimihenkilö. Haastattelu 14.11.2018.

Muut lähteet

Syke 2018 Y-Hiilari laskuri

Sweco 2018. Swecon laskelmat

LIITTEET

LIITE 1. Haastattelukysymykset

Haastattelukysymyksiä

Rakeistus

Mikä on keskimääräinen tuhkan kuljetusmatka rakeistukseen? (onko joku km katto)

Kuinka kauas rakeistettua tuhkaa toimitetaan tehtaalta? (ajetaanko suoraan metsään vai välivarastoidaanko jossain?)

Mikä on tuotteen raekoko ja mikä siihen vaikuttaa?

Miten tuote pakataan?

Kuinka pitkään sitä voi varastoida metsässä?

Kuljetus:

Mikä on optimi kuljetusmatka? (mikä on km katto, minkä jälkeen kuljetus ei ole enää kannattavaa? Miten jätevero vaikuttaa tähän?)

Keskimääräinen kuljetusmatka metsään?

Mitä kuljetus keskimäärin maksaa?

Voisiko hakeautolla kuljettaa rakeistettua tuhkaa metsään? (Miksi, miksi ei?) -> haasteet?

Onko kohteisiin mielestäsi helppo päästä? -> Missä kunnossa metsätiet mielestäsi ovat?

Miten kuljetuksia voisi mielestäsi kehittää kustannustehokkaammiksi?

Onko kuljetusten hiilijalanjälki otettu huomioon? Miten?

Kuljetusyrittäjä: Ovatko kiinnostuneita kuljettamaan kalustollaan, kestäkö kalusto?

Tuhkan levitys:

Onko tuhkan varastointipaikat mielestäsi suunniteltu hyvin? Miten voisi kehittää?

Mikä on keskimääräinen etäisyys varastopaikalta lannoitus kohteelle? (Mikä olisi optimi?)

Onko ajoura suunnittelu ollut onnistunutta? Miten voisi parantaa?

Onko levityskaluston käytössä haasteita? Millaisia?

Miten levityskalustoa voisi kehittää?

Kuinka kauan tuhkaa varastoidaan metsässä ennen levitystä?

Toimihenkilöt:

Mikä on yleisin tuhkan levitystapa metsänhoitoyhdistyksessäsi/ yrityksessäsi?

Miten työmaa suunnittelu otetaan huomioon? (lannoitus alueiden koko, työ vaiheiden ketjuttaminen (käytetään jo paikalla/ lähistöllä olevaa kalustoa, lannoitus harvennuksen jälkeen)

Miten ajourasuunnittelu otetaan huomioon?

Metsänomistajat: (tehnyt lannoituksen itse)

Miten levitit rakeistetun tuhkan metsääsi?

Miksi päätit tehdä lannoituksen itse?

Oliko levityksessä jotain haasteita? Mitä?

Miten levityskalustoa voisi mielestäsi kehittää?