



**Aalto-yliopisto  
Kemian tekniikan  
korkeakoulu**

**Maija Mäihäniemi**

**HEVOSENLANNAN HYÖDYNTÄMISVAIHTOEHDOT JA NIIDEN  
VAIKUTUKSET YMPÄRISTÖÖN**

Kemian, bio- ja materiaalitekniikan maisteriohjelma  
Pääaine: Prosessitekniikka

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin  
tutkintoa varten Espoossa 26.3.2017.

Valvoja

Professori Olli Dahl

Ohjaaja

Diplomi-insinööri Antti Pietiläinen



---

**Tekijä** Maija Mäihäniemi

---

**Työn nimi** Hevosenlannan hyödyntämisvaihtoehdot ja niiden vaikutukset ympäristöön

---

**Koulutusohjelma** Kemian-, bio- ja materiaalitekniikan maisteriohjelma

---

**Pääaine** Prosessitekniikka

**Koodi** CHEM3027

---

**Työn valvoja** Professori Olli Dahl

---

**Työn ohjaaja** Diplomi-insinööri Antti Pietiläinen

---

**Päivämäärä** 26.3.2017

**Sivumäärä** 96 + 10

**Kieli** Suomi

---

### **Tiivistelmä**

Tämän diplomityön tavoitteena oli selvittää ympäristön kannalta järkevimmit hevosenlannan hyödyntämisvaihtoehdot. Hyödyntämisvaihtoehdot valittiin nykyisistä Suomessa käytössä olevista kompostointimenetelmistä ja kehitysasteella olevista energiahyödyntämisen menetelmistä. Menetelmien hyvyys osoitettiin laskemalla elinkaarilaskennalla menetelmien vaikutukset ympäristöön eri vaikutusluokissa. Elinkaariarviointi suoritettiin Gabi 7.3.3-ohjelmalla, käyttäen uusinta Ecoinvent 3.3 tietokantaa. Prosessien arvot kerättiin pääosin kirjallisuudesta löytyvistä tutkimuksista sekä asiantuntijahaastatteluiden pohjalta. Elinkaariarvioinnin lisäksi työssä tehtiin myös teknistaloudellinen tarkastelu menetelmille.

Kirjallisuusosiossa käydään läpi Suomen hevostaloutta, hevoselannan ja kuivikkeiden ominaisuuksia, hukkakauraongelmaa, hyödyntämismenetelmät kompostoinnin ja energiahyötykäytön osalta, sekä niitä koskeva lainsäädäntö. Menetelmiksi valittiin auma-, rumpu- ja tuubikompostointi, Talli-Jussi -järjestelmä, kuivamädätys, poltto, terminen kaasutus ja hidasperoxyysi. Kirjallisuuskatsauksen perusteella voitiin jo todeta, että kasviperäinen kuivikelanta soveltuu paremmin kompostointiin ja kuivamädätykseen ja puupohjainen kuivikelanta puolestaan energiahyödyntämiseen.

Elinkaariarvioinnissa hyödyntämismenetelmien vaikutusarviointitulosten pohjalta voitiin todeta, että ravinteiden kierrätys eli kompostointi ja kuivamädätys ovat ympäristön kannalta parhaimmat hyödyntämismenetelmät. Puupohjaisen kuivikelannan hyödyntäminen tuottaa ongelmia prosesseihin näillä tekniikoilla, joten sen suuntaaminen energiakäyttöön voisi olla järkevää. Kuivikelannan poltto ei ole kuitenkaan kannattavaa pienmittakaavassa, koska jätelainsäädännön sallitut päästöjen raja-arvot ylittyvät ja lanta on vaikea polttoaine sen kosteuden vuoksi. Kuivikelannan poltto on siis ympäristön kannalta parempi järjestää suuremmissa mittakaavassa voimalaitoksessa ja mahdollisesti seospoltona, jossa prosessin hallinta on vakaampaa. Hidasperoxyysi olisi mädätyksen jälkeen energiakäytön menetelmistä toiseksi paras hyödyntämistapa, koska sillä saadaan tuotettua arvokasta biohiiltä, joka on erinomainen lannoite ja maanparannusaine.

Hevoselannan hyödyntämisessä tulee aina tapauskohtaisesti harkita tallin sijainnin ja käytetyn kuivikkeen perusteella käyttökelpoisin menetelmä. Ei ole yhtä oikeaa menetelmää, vaan kaikki menetelmät ovat käyttökelpoisia, riippuen kuivikelannan määrästä ja käytetystä kuivikkeesta.

---

**Avainsanat** Hevoselanta, Kompostointi, Energiahyödyntäminen, Elinkaariarviointi

---



---

**Author** Maija Mäihäniemi

---

**Title of thesis** Alternatives for horse manure utilization and assessment of environmental impacts

---

**Degree programme** Master's Programme in Chemical, Biochemical and Materials Engineering

---

**Major** Chemical Engineering**Code** CHEM3027

---

**Thesis supervisor** Professor Olli Dahl

---

**Thesis advisor** M.Sc. Antti Pietiläinen

---

**Date** 26.3.2017**Number of pages** 96 + 10**Language** Finnish

---

### Abstract

Objective of this master's thesis was to survey environmentally the most reasonable alternatives for horse manure utilization. Alternatives were chosen amongst various Finnish composting and energy recovery methods, which are currently being used and some, which are under the stage of development. The superiority of the methods was evaluated by using life cycle assessment (LCA) software and LCA databases. Calculations of environmental impact were made in different impact categories within the software. The software used in the study was Gabi 7.3.3 and database was the newest Ecoinvent 3.3. Process values were collected from the research results found from literature and from the specialist interviews of this field. In addition to the life cycle assessment the economic cost-benefit analysis of the methods was also done.

Literature part of the thesis goes through issues, such as, Finnish horse economy, quality of horse manure and beddings, common wild oat problem, the utilization methods of composting and energy recovery and lastly the legislation associated to the methods. The chosen methods in the study are stack-, drum- and tube composting, Talli-Jussi -technique, dry anaerobic digestion, combustion, thermal gasification and slow pyrolysis. Based on the literature part, it is noticeable that plant based bedding is more suitable for composting or for anaerobic digestion. Wood based bedding is more suitable for energy utilization. According to life cycle assessment results it is possible to interpret, that recycling the nutrients (composting) or dry anaerobic digestion are the best methods of utilization. With the previous methods recycling horse manure mixed with wood based bedding poses more issues, so it is more reasonable to utilize it mainly for energy production.

Combusting horse manure is not economical in small scale. By combusting manure the emission values of Finnish waste legislation will be exceeded due to high moisture content of manure. So, the combustion process is better to be done in a large-scale power plant and possibly in a mixed combustion, so the handling of the process is steadier. Slow pyrolysis would be the second-best utilization method after the anaerobic digestion. It produces valuable biochar as a side production. Biochar is an excellent fertilizer and greatly improves the soil. When choosing the best way of utilizing horse manure it should be considered case-specific, when the horse stable location and used bedding material is known. Each of the previously mentioned methods in this study are good and usable methods, but the suitability between methods varies with the different bedding material and amount of bedding.

---

**Keywords** Horse Manure, Composting, Energy Utilization, Life Cycle Assessment

---

## **Alkusanat**

Tämä diplomityö on tehty Puunjalostustekniikan laitoksella Aalto yliopiston kemiantekniikan korkeakoulussa Otaniemessä, Espoossa.

Diplomityön aihe osoittautui todella mielenkiintoiseksi ja maanläheiseksi aiheeksi. Erityisesti hevosenlannan hyödyntämismenetelmien elinkaariarviointi ja ympäristövaikutusten mallintaminen olivat hyvin mielenkiintoiset ja antoisat vaiheet. Toivon, että tulevaisuudessa saisin mahdollisuuksia työskennellä LCA-laskennan parissa ja oppia siitä lisää!

Suurimman kiitoksen haluaisin esittää työni valvojalle professori Olli Dahlille arvokkaista kommentteista ja koska hän alun perin mahdollisti työn tekemisen. Haluan myös kiittää diplomi-insinööri Antti Pietiläistä työni ohjauksesta ja lukuisista hyvistä neuvoista. Kiitos myös Ladec Oy:lle, joka osaltaan mahdollisti työni tekemisen.

Kiitos paljon myös perheelleni tuesta opintojen ja diplomityön tekemisen aikana. Ja erityiskiitos rakkaalle Lovisa tyttärelleni siitä ajasta, mikä äidiltä on kulunut diplomityön tekemiseen.

Tampereella, 26.3.2017

Maija Mäihäniemi

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Alkusanat

Sisällysluettelo

1. Johdanto.....	8
2. Hevostalous Suomessa.....	9
2.1 Lantahuolto ja lannan varastointi.....	11
2.2 Hevosenlannan ominaisuudet ja koostumus.....	13
2.3 Kuivikemateriaalit.....	14
2.3.1 Kutterin- ja sahanpuru.....	15
2.3.2 Turve.....	16
2.3.3 Olki.....	17
2.3.4 Kuivikepelletit.....	18
2.3.5 Kuivikkeiden käyttömäärät ja kustannukset.....	18
2.4 Hevostalouden ympäristövaikutukset.....	20
2.5 Hukkakaura.....	21
2.5.1 Hukkakauran leviäminen.....	22
3. Hyötykäyttömenetelmät.....	23
3.1 Kompostointi.....	23
3.1.1 Aumakompostointi.....	24
3.1.2 Rumpukompostointi.....	26
3.1.3 Tuubikompostointi.....	28
3.1.4 Talli-Jussi järjestelmä.....	30
3.2 Energiahyödyntäminen.....	33
3.2.1 Mädätys.....	33
3.2.1.1 Kuivämädätys.....	34
3.2.1.2 Biokaasun hyödyntäminen.....	36
3.2.2 Poltto.....	37
3.2.2.1 Arinapoltto.....	38
3.2.2.2 Polttokokeet Suomessa ja Ruotsissa.....	40

3.2.3	Terminen kaasutus.....	42
3.2.4	Pyrolyysi.....	44
3.2.4.1	Hidaspyrolyysi.....	45
3.3	Hyötykäyttömenetelmien yhteenveto.....	47
4.	Lainsäädäntö.....	48
4.1	Jätelaki.....	48
4.2	Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta.....	49
4.3	Laki eläimistä saatavista sivutuotteista.....	50
4.3.1	Lainsäädännön muutokset.....	51
4.4	Lannoitevalmistelaki.....	52
4.5	Valtioneuvoston asetus eräiden maa- ja puutarhataloudesta peräisin olevien päästöjen rajoittamisesta.....	52
4.6	Ympäristölupavaatimukset.....	54
5.	Elinkaariarviointi.....	55
5.1	ISO- standardit ja elinkaariarvioinnin vaiheet.....	55
5.1.1	Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely.....	56
5.1.2	Inventaarioanalyysi.....	56
5.1.3	Vaikutusarviointi.....	57
5.1.4	Tulosten tulkinta.....	58
5.2	Elinkaariarvioinnin työkalut.....	58
6.	Hyötykäyttömenetelmien ympäristövaikutusten elinkaariarviointi.....	59
6.1	Aineisto ja käytetyt menetelmät.....	60
6.2	Tavoite ja soveltamisalan määrittely.....	60
6.3	Inventaarioanalyysi.....	61
6.3.1	Hevosenslanta.....	61
6.3.2	Kompostointi.....	61
6.3.2.1	Aumakompostointi.....	62
6.3.2.2	Rumpukompostointi.....	63
6.3.2.3	Tuubikompostointi.....	65
6.3.2.4	Talli-Jussi.....	65
6.3.3	Energiahyödyntäminen.....	66
6.3.3.1	Kuivamädätys.....	66
6.3.3.2	Poltto.....	67
6.3.3.3	Terminen kaasutus.....	69

6.3.3.4 Hidaspyrolyysi.....	70
7. Tutkimuksen tulokset ja tulosten tulkinta.....	71
7.1 Vaikutusarvioinnin tulokset.....	71
7.1.1 Ilmastonmuutos.....	72
7.1.2 Happamoituminen.....	74
7.1.3 Rehevöityminen.....	75
7.1.4 Otsonikato.....	75
7.1.5 Alailmakehän otsonin muodostuminen.....	76
7.2 Hyötykäyttömenetelmien kustannukset.....	77
7.2.1 Kuivikkeen varastointi.....	78
7.2.2 Kuljetus.....	79
7.2.3 Aumakompostointi.....	80
7.2.4 Rumpukompostointi.....	80
7.2.5 Tuubikompostointi.....	81
7.2.6 Talli-Jussi.....	82
7.2.7 Kuivamädätys.....	82
7.2.8 Poltto.....	83
7.2.9 Terminen kaasutus ja pyrolyysi.....	84
7.3 Tulosten tulkinta.....	84
7.3.1 Vaikutusarviointi.....	84
7.3.2 Hyötykäyttömenetelmät.....	85
7.3.3 Kuivikkeen vaikutus vaikutusarviointituloksiin.....	88
8. Yhteenveto ja johtopäätökset.....	90
Lähdeluettelo	
Liiteluettelo	
Liitteet	

## 1. JOHDANTO

Hevosala kasvaa vuosi vuodelta ja alalle tulee jatkuvasti uusia yrittäjiä, harrastajia ja hevosia. Suomessa oli vuonna 2015 noin 16 000 hevostallia ja 75 000 hevosta [1]. Ne tuottavat vuositason yli miljoona kuutiota kuivikelantaa [3]. Hevosharrastuksen kasvun myötä hevostallit sijoittuvat yhä enemmän kaupunkien läheisyyteen ja hevosenlannasta on muodostunut merkittävä ongelma ja jäte, josta hevosityrittäjät joutuvat hankkiutumaan eroon. Lantahuolto aiheuttaa huomattavia kustannuksia hevosityrittäjälle, sekä lait ja asetukset luovat tiukat velvoitteet hevosenlannan käytölle ja hyödyntämiselle.

Suomessa hevosenlanta tulkitaan jätelain ja EU:n sivutuoteasetuksen mukaan eläinperäiseksi sivutuotteeksi ja jätteeksi. Eläimistä saatavat sivutuotteet eivät kuulu jätelainsäädäntöön, paitsi niissä tapauksissa, jos ne viedään poltettavaksi, biologiseen käsittelylaitokseen tai kaatopaikalle. Orgaanisen jätteen kaatopaikkakielto on astunut voimaan vuoden 2016 alusta, joten hevosenlantaa ei voi enää sijoittaa kaatopaikoille. Jätelainsäädännön mukaan jätteen hyödyntämisessä tulee noudattaa etusijajärjestystä, eli hevosen kuivikelannasta tulisi ensisijaisesti hyödyntää sen sisältämät ravinteet ja toissijaisesti energia. Hevosen kuivikelanta hyödynnetäänkin tällä hetkellä pääosin lannoite- ja maanparannuskäyttöön. Hevosharrastuksen kasvun myötä tallit sijoittuvat nykyään yhä lähemmäs taajamia ja talleilla ei ole omaa peltopinta-alaa, jossa lannan voisi hyödyntää. Usein ainoa keino lannasta eroon pääsemiseksi on löytää taho, joka ottaa syntyvän lannan vastaan ja käsittelee sen. Suomessa käytetyimpiä ovat puupohjaiset kuivikkeet, turve ja olki. Turve ja muut kasvipäiset kuivikkeet kompostoituvat hyvin, mutta puupohjainen kuivike puolestaan hitaasti. Puupohjaiset kuivikkeet aiheuttavat ongelmia kompostoitumisprosessiin ja vaikeuttavat kompostin hyödyntämistä varsinkin peltokäytössä. Kompostoinnin rinnalle, varsinkin puupohjaisen kuivikelannan hyödyntämiseen, tarvitaan kipeästi muita kustannustehokkaita hyödyntämisvaihtoehtoja.

Hevosen kuivikelannan energiahyödyntämistä on selvitetty ja selvitetään tälläkin hetkellä useiden eri hankkeiden avulla. Hevosen kuivikelannassa ja kuivikkeessa on hyvä energiapotentiaali ja se soveltuu hyvin energiahyödyntämiseen. Kuivikelannan energiahyötykäyttöä koskeva lainsäädäntö on muutoksen alla ja kevään 2017 aikana lan-

nan polton vaatimukset tulevat helpottumaan. Jatkossa ei tarvita enää jätteenpolttolupaa ja jatkuvatoimista päästöjen seurantaa. Ympäristönsuojelun korkea taso säilyy kuitenkin, vaikka lainsäädäntöä helpotetaan. Polton lisäksi muita kehitteillä olevia ja pilot-mittakaavan energiatuotannon hyödyntämistapoja ovat kuivikelannan biokaasutus eli kuivamädätys, terminen kaasutus ja hidaspYROLYYSI.

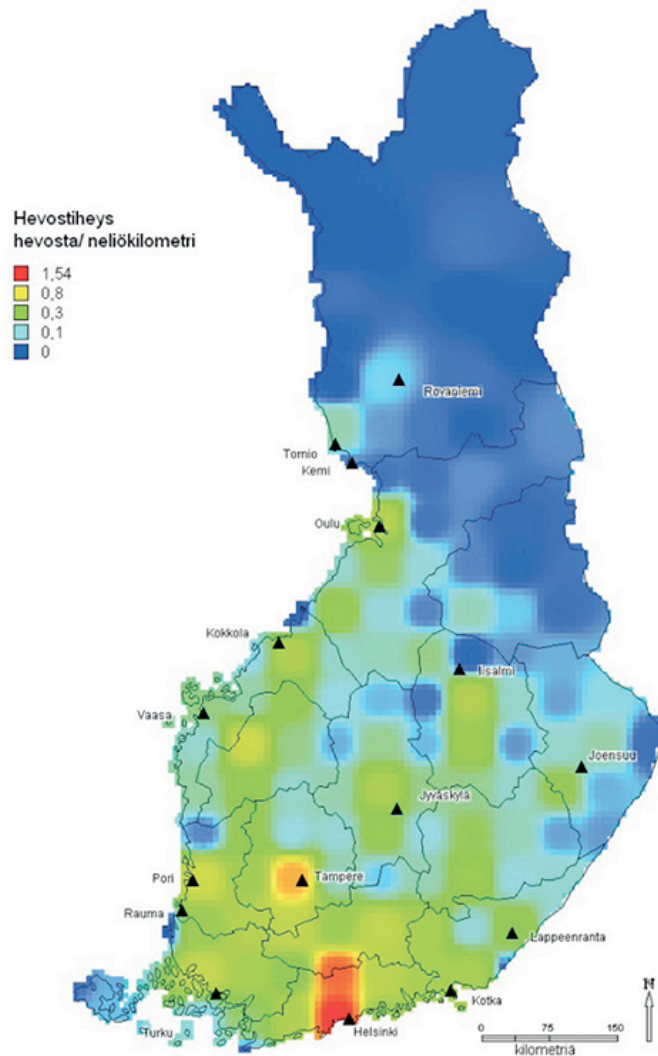
Tämän diplomityön kirjallisuusosiossa tutustutaan Suomen hevostalouteen ja sen aiheuttamiin ympäristövaikutuksiin, lantahuoltoon, kuivikevaihtoehtoihin, kuivikelannan hyötykäyttömenetelmiin ja niitä koskevaan lainsäädäntöön. Työn kokeellisessa osiossa tehdään elinkaariarviointi kuivikelannan hyötykäyttömenetelmille eli arvoketjuille ja selvitetään niiden ympäristövaikutukset. Työssä tehdään myös arvoketjujen teknistaloudellinen tarkastelu. Diplomityön tulosten avulla voidaan arvioida mikä tai mitkä vaihtoehdot olisivat ympäristön kannalta järkevimmät hevosenlannan hyödyntämismenetelmät, kun otetaan huomioon lannan määrä.

## **2. HEVOSTALOUS SUOMESSA**

Hevosten lukumäärä on kasvanut yli kolmen vuosikymmenen ajan tasaisesti, mutta pysynyt nyt viimeiset viisi vuotta suunnilleen samana 75 000 hevosessa (Suomen Hippos ry 2015). Hevosmäärän on kuitenkin ennustettu nousevan jopa 90 000 hevoseen vuoteen 2030 mennessä. Alan kasvu perustuu suurelta osin alan harrastajien ja näin ollen harrastusratsujen lisääntymiseen. Viimeisten 10 vuoden aikana ratsutallien määrä on kaksinkertaistunut ja ratsujen määrä on ohittamassa ravihevosten määrän. Ratsastusta Suomessa harrastaa tällä hetkellä noin 170 000 ja raviurheilua seuraa 210 000 henkilöä. Hevosalan yrityksiä ovat muun muassa ratsastuskoulut, ravivalmennustallit, kasvatustallit ja täyshoitotallit. Varsoja Suomessa syntyy vuosittain noin 3000–4000 ja ulkomailta hevosia tuodaan noin 2000 vuodessa. [1]

Talleja Suomessa on noin 16 000 ja suurin osa niistä sijaitsee maan länsiosassa. Kuvasta 1 nähdään, että suurimmat hevoskeskittymät sijaitsevat pääkaupunkiseudulla ja Tampereen läheisyydessä ja näillä alueilla myös suurimmat, 30–50 hevospaikan, tallit sijaitsevat. Maatiloilla hevosia on vielä vajaa 30 %. Tallien kokonaismäärästä suurin osa on kuitenkin pieniä, vain noin 5–6 hevosen talleja. Hevoskanta jakautuu suomenhevosiin (19 200 kpl), lämminverisiin ravihevosiin (25 200 kpl), ratsuhevosiin

(19 400 kpl) ja poneihin (10 400 kpl). Ravi- ja ratsuhevosten käyttömuodolla on eroja hevosten pito- ja hoitokäytännöissä, mikä tarkoittaa myös eroja hevosten kuivituksessa ja lannankäsittelyssä. [1]



Kuva 1. Hevostiheys Suomessa (hevosia/km<sup>2</sup>) [2].

Hevosala on tänä päivänä laaja-alainen toimintakenttä, joka tarjoaa elinkeinotoimintaa, työtä ja harrastusmahdollisuuksia niin maaseudulla, kunnissa kuin kaupungeissa-kin. Ala työllistää Suomessa noin 15 000 henkilöä. Lisäksi se työllistää ihmisiä myös oheispalveluiden kautta, joita ovat mm. rehu-, kuivike-, varuste-, eläinlääkäri- ja kengityspalvelut. Hevosalan ja hevosten rooli on muuttunut yhteiskunnan mukana ja ne ovat suurelta osin jo erkaantuneet maataloudesta. Hevoset ovat nykyään yhä vah-



vemmin osa hyvinvoinnin edistämistä ja ovat rantautuneet ihmisten läheisyyteen kasvukeskusten luo. [2]

Suurin osa talleilla syntyvästä kuivikelannasta on tähän asti käytetty maanparannusaineena ja pelloilla. Nykyään, kun suuri osa talleista sijaitsee taajamissa ja niillä ei ole omaa peltopinta-alaa, syntyy ongelmia lannan sijoituksen kanssa. Tallien on keksittävä muita ratkaisuja, koska lainsäädäntö edellyttää tallilta toimivaa ja järjestettyä lantahuoltoa. Tämä tuo haasteita ja lantaongelmaan tulisikin löytää järkeviä ja hyviä ratkaisuja niin ympäristön kuin hevosityrittäjänkin kannalta. [2,3]

## **2.1 Lantahuolto ja lannan varastointi**

Toimiva lantahuolto edellyttää, että jokaisella tallilla on lannan varastointiin asianmukaiset tilat. Lannan varastointia säädellään Valtioneuvoston asetuksella eräiden maa- ja puutarhataloudesta peräisin olevien päästöjen rajoittamisesta ja asetusta kutsutaan lyhyemmin nitraattiasetuksiksi [3]. Lantavaraston on oltava tiivispohjainen ja sen rakenteiden tulee estää, sekä lannan, että sen valumavesien pääsy ympäristöön, sekä pinta-, että pohjavesiin. Lantala tulee mitoittaa 12 kuukauden varastointia varten, eli sinne tulee mahtua tallin hevosten lukumäärän mukaan laskettu vuodessa syntyvä lantamäärä [3]. Lantalan rakentamisessa tulee mitoituksen ja rakenteiden lisäksi huomioida myös vesi- ja pohjavesialueet sekä naapurien sijainti.

Hevosta kohden kuivikelantaa syntyy vuodessa noin 17 m<sup>3</sup> (hevonen > 150 cm), ponia kohden 12 m<sup>3</sup> (poni 120–150 cm) ja pienponia 8 m<sup>3</sup> (poni < 120 cm) [3]. Suomessa syntyy nitraattiasetuksen mukaan siten noin 1 200 000 m<sup>3</sup> kuivikelantaa (Taulukko 1). Syntyvästä lantamäärästä on arvioitu, että noin 36 % jää sontana ja virtsana laitumelle [4]. Pelkkää lantaa hevoselta syntyy vuorokaudessa noin 24,25 kg, mikä vuodessa on noin 8 850 kg [5].

Taulukko 1. Hevosten kokonaismäärä (2015) ja syntyvän kuivikelannan määrä vuodessa nitraattiasetuksen mukaan [1,3].

Hevoskanta	Hevosten kokonaismäärä (kpl)	Syntyvän kuivikelannan määrä (m <sup>3</sup> /a)
Suomenhevoset	19 200	326 400
Lämminveriset ravihevoset	25 200	428 400
Ratsut	19 400	329 800
Ponit	10 400	124 800
<b>Yhteensä</b>	74 200	1 209 400

Lantaa voidaan varastoida joko katetussa lantalassa, avolantalassa tai tilapäisessä lantalassa. Myös pihaton kestokuivikepatja lasketaan osaksi varastointitilavuutta. Lantaa ei välttämättä tarvita tai se voi olla ohjetilavuutta pienempi, jos lantaa kuljetetaan säännöllisesti pois siirtolavalla yhteislantalaan tai suoraan lannan vastaanottajan lantavarastoon. Yhden hevosen tai ponin talleilla, joilla lantaa syntyy alle 25 m<sup>3</sup> vuodessa tai lanta myydään tallilta pakattuna, ei tarvitse olla omaa lantala, mutta tällöin täytyy kuitenkin tehdä valvontailmoitus kunnan ympäristöviranomaiselle. Tilapäisen lantavaraston tulee aina olla katettu tai peitettävissä ja sillä tulee olla tiivispohjainen alusta, jotta se on suojassa sadevesiltä. [6]

Lantahuolto on yksi työllistävin ja raskain työ tallilla. Lannan poisto karsinoista tapahtuu suurelta osin perinteisesti käsivoimin, talikolla ja kottikärryillä. Lantahuollon menetelmät vaikuttavat oleellisesti tallin työmäärään. Koneellistuminen ja automaatio ovat tehneet tuloaan talleihin hitaasti. Koneellisia lannanpoistomenetelmiä on erilaisia mekaanisia raappaussysteemejä tai alipaineella toimivia lannanpoistomureita tai kanavia. Kaikki menetelmät ovat investoinneiltaan kalliita verrattuna tallin muuhun tekniikkaan ja niiden soveltuvuus eri kuivikkeille vaihtelee. Yleisin koneellinen puhdistustapa on karsinoiden tyhjentäminen pienkuormaajalla tai traktorilla. Tämä asettaa kuitenkin rakenteellisia vaatimuksia tallille, koska tilojen tulee olla avarammat, jotta sisätiloissa mahdutaan liikkumaan työkoneella. [6]

## 2.2 Hevosenlannan ominaisuudet ja koostumus

Lannan koostumus riippuu täysin hevosen ruokavaliosta. Hevosen ruokavalio sisältää pääasiassa heinää, kauraa ja näiden lisäksi vähän teollisesti tuotettuja valmisrehuja, kivennäisaineita ja vitamiineja. Rehun laatuun ja puhtauteen kiinnitetään yleisesti paljon huomiota, koska hevonen on arvokas eläin. Hyvälaatuinen heinä on hevosen ruuansulatuksen ja sen lopputuotteena syntyvän lannan perusraaka-aine. Kauran puhdistus on myös hyvin tärkeä kriteeri huomioitaessa hukkakauran leviäminen. Hukkakauraa ja sen leviämistä käsitellään työssä myöhemmin. [7]

Hevosen lantaan erittyy vuorokaudessa keskimäärin 46,3 g/d typpeä ja fosforia 21 g/d ja vuositasolla lantamäärä sisältää typpeä noin 16,9 kg ja fosforia 7,6 kg. Tyypestä 68 % erittyy kuitenkin virtsan mukana eli kokonaismäärä mitä hevosen ulosteisiin erittyy, on 53,4 kg/a typpeä ja 7,6 kg/a fosforia. Virtsan pidättäminen kuivikkeisiin on erityisen tärkeää, jotta saadaan vähennettyä typpikuormaa. Kuten taulukosta 2 voidaan nähdä, hevosen lanta sisältää muihin lantoihin verrattuna vähiten ravinteita. Se sisältää vain vähän kasveille käyttökelpoista typpeä, joten sen lannoitevaikutus on vähäinen ja siksi sitä käytetäänkin usein puutarhaviljelyyn ja mullan valmistukseen. Muiden ravinteiden ja ominaisuuksien osalta kuivikelantakompostilla on kuitenkin hyviä maanparannusvaikutuksia, joista kerrotaan myöhemmin lisää ympäristövaikutusten ja kompostoinnin yhteydessä. [5,8]

Taulukossa 2 on esitetty hevosenlannan ravinnearvot typen, fosforin ja kaliumin osalta ja vertailun vuoksi siihen on lisätty naudon-, sian- ja kananlantojen vastaavat arvot. Lisäksi taulukkoon on lisätty kuivikkeista turve ja olki. Tutkimuksen mukaan hevosenlannassa on kokonaistyppeä 4,6 kg/t, liukoista typpeä 0,6 kg/t, fosforia 0,9 kg/t ja kaliumia 3,1 kg/t [5]. Hevosenlannassa osa ravinteista on sitoutuneena orgaaniseen ainekseen ja osa on liukoisessa muodossa. Hevosenlanta on hidaskaikutteinen lannoite ja se soveltuu parhaiten myöhään kypsyvien kasvien lannoitukseen, kuten perunan, joka tarvitsee erityisesti kaliumia kasvuunsa. Hevosenlannan arvokkain ravinne on fosfori, joka on uusiutumaton ravinne ja jota ei voida valmistaa keinotekoisesti. [8]

Taulukko 2. Hevosenlannan ja muiden eläinperäisten lantojen sekä kuivikkeiden ravinnearvot [5].

<b>Materiaali</b>	<b>N<sub>tot</sub>, (kg/t)</b>	<b>N<sub>liuk</sub>, (kg/t)</b>	<b>P, (kg/t)</b>	<b>K, (kg/t)</b>
Hevosenlanta	4,6	0,6	0,9	3,1
Naudanlanta	4,6	1,3	1,3	3,6
Sianlanta	7,2	1,7	3,1	3,7
Kananlanta	15,6	12,8	10,5	11,3
Olki	4,5	1	0,5	14
Turve	3,4	0,3	0,1	0,1

Hevosen kuivikelanta sisältää kuiviketta noin 60–80 %. Sen keskimääräinen kosteuspitoisuus on noin 65 %. Kuivikelannan tilavuuspaino on noin 350–400 kg/m<sup>3</sup>, mutta vaihtelee paljon, riippuen miten sitä on varastoitu ja mitä kuiviketta se sisältää. Energiakäytön kannalta kuivikelannan lämpöarvo on myös tärkeä parametri. Purukuivitetulla lannalla se on 65 % kosteudessa noin 4,5 MJ/kg ja kuivattuna 8 % kosteuteen se on noin 17,4 MJ/kg. Lämpöarvo on turvekuivitetulla lannalla hiukan matalampi ja noin 15,75 MJ/kg. Taulukossa 3 on esitetty hevosen lannan ominaisuuksia ilman kuiviketta. Taulukossa on ilmoitettu myös lannan kokonaiskiintoainepitoisuus veden haihdutuksen jälkeen (TS) ja orgaaninen kiintoainepitoisuus (VS). [9]

Taulukko 3. Hevosenlannan ominaisuuksia. [5,9].

<b>Materiaali</b>	<b>Lantaa (kg/d)</b>	<b>Lantaa (kg/a)</b>	<b>TS (%)</b>	<b>TS (kg/a)</b>	<b>VS (%)</b>	<b>VS (kg/a)</b>
Hevosenlanta	22,7–25,8	8300–9400	31.5–38.6	3 102	80.77	2 505

### 2.3 Kuivikemateriaalit

Kuivikkeella on oleellinen merkitys hevosen hyvinvointiin ja tallihygieniaan. Kuivikemateriaalit voidaan jakaa kasvi- ja puupohjaisiin materiaaleihin. Kasvipohjaisia ovat turve, olki, pellava ja hamppu. Puupohjaisia ovat kutterilastu, sahanpuru ja paperisilppu. Yleisimmät Suomessa käytetyt kuivikkeet ovat puupohjaiset kuivikkeet (36 %), turve (42 %) ja olki (13 %). Jonkin verran käytössä on myös näiden sekoitteita (3,9 %). Sahanpurua ja olkea voidaan mm. pelletöidä ja käyttää siinä muodossa kuivikkeena. Kuivikkeen määrä kuivikelannassa vaihtelee ja riippuu monesta tekijästä,

muun muassa hevosesta, karsinan siivoojasta ja käytetystä kuivikemateriaalista. Hevosen kuivikelanta on silti huomattavasti kuivempaa kuin naudant- ja sianlannat. [10]

Kuivikkeen tärkeimmät ominaisuudet ovat hyvä nesteen ja ammoniakin sitomiskyky ja sen tulee olla myös hygieenistä laadultaan. Muita kuivikkeen valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat mm. käsiteltävyys ja toimivuus, saatavuus, hinta, loppusijoituksen helpous, kompostoitavuus, tilavuuspaino, väri, haju sekä tottumukset ja mieltymykset. Tärkeä kriteeri on myös, että se on hevoselle pehmeä ja lämmin makuualusta ja joka pölyää mahdollisimman vähän. Kuivikevalinnalla on hyvin tärkeä vaikutus myös tallin ilmanlaatuun ja näin hevosten ja tallissa työskentelevien ihmisten hyvinvointiin. Kuivikkeen valinta määrittelee myös osittain kuivikelannan jatkohyödyntämisen mahdollisuudet. [10, 11]

### 2.3.1 Kutterin- ja sahanpuru

Puupohjaisia kuivikkeita ovat sahanpuru ja kutterinlastu. Sahanpurua syntyy sivutuotteena puutavaran sahauksesta ja kutteria höyläyksestä. Puupohjaiset kuivikkeet ovat miellyttäviä käytössä, koska puuaineksen terpiineistä muodostuu tallin ilmaan raikas tuoksu ja vaalea väri tuo valoisuutta talliin ja näin helpottaa myös karsinan siivousta lannan erottuessa hyvin joukosta. Niiden hinta on kuitenkin noussut ja saatavuus hiukan huonontunut, koska niiden käyttö ohjautuu yhä enemmän energiatuotantoon. [11]

Puupohjaisilla kuivikkeilla on huono ammoniakin ja nesteen sitomiskyky ja sen takia niiden kulutus on suurempi ja kuivikelantaa syntyy kokonaisuudessaan suurempi määrä kuin muilla kuivikevaihtoehdoilla. Kutteri- ja sahanpuru sisältävät vain vähän typpeä verrattaessa turvelantaan. Puupohjaisen kuivikkeen kompostoituminen on myös hidasta ja maatumisen kuluttaa entisestään maaperän typpivarjoja. Kutterinlastun heikkouksia ovat sen keveys ja pieni tilavuuspaino, jolloin sen varastoiminenkin vie paljon tilaa. Keveys haittaa myös siivousta, koska lanta painuu helposti kuivikkeen sekaan. Kutterinlastu on lisäksi hyvin kuivaa, joka lisää pölyä talli-ilmaan. Puupöly aiheuttaa allergioita ja tulehdussairauksia niin hevosille kuin tallissa työskenteleville. Sahanpuru on hieman kosteampaa, pysyy paremmin hevosen alla ja pölyää vähemmän, mutta se taas saattaa jäätyä talvella. Kutteri- ja sahanpuruputjaa voidaan käyttää myös pihatoissa, mutta kompostoitumisen käynnistyminen on turvetta ja olkea

hitaampaa. Tämän takia oikeanlaista kestopatjaa ei välttämättä ehdi muodostua tyhjennyskertojen välillä. Tällöin kuivikelannan kompostoitumista täytyy jatkaa esimerkiksi lantalassa. [11, 13]

Kutteria ja sahanpurua voi nykyään ostaa suoraan monilta saha- ja höyläämötuotantolaitoksilta. Kuivikekutterin yksi suurin tuottaja ja jalostaja on Pölkky Oy. Pölkky Oy:n 20 kg kuivikekutteripaalin hinta on 5,85 €/paali ja kilohinta 0,29 €/kg. Vapon 30 kg purupaalin hinta puolestaan 10,79 €/paali ja kilohinta 0,36 €/kg. [12]

### 2.3.2 Turve

Turve on kutterin- ja sahanpurun ohella yhtä suosittu kuivike. Sillä on erinomaiset ominaisuudet kuivikkeena ja se sitoo parhaiten virtsan, ravinteet ja ammoniakkin itseensä. Tutkimuksissa on todettu, että turve pidättää lähes täysin ammoniakkin, kun taas kutterinlastua käytävillä hevosstalleilla ammoniakkipitoisuus tallin sisäilmassa on huomattavasti korkeampi. Kuiviketurpeeksi soveltuu parhaiten vähän maatonut rahkaturve. Turpeen hyvä mekaaninen suodatusvaikutus ja imukyky perustuvat sen ilma-vaan sammalen huokosrakenteeseen ja ammoniakinsitomiskyky sen happamuuteen. Hyvän sitomiskyvyn vuoksi sen käyttömäärä on pienempi, kuivikelantaa syntyy vähemmän ja varastointitilan tarve ja käsittelykustannukset ovat pienemmät. Kutterinlastuun verrattuna turvetta kuluu alle puolet kutterinlastu määrästä. Turve soveltuu myös kestopuivikkeeksi pihattoon. [11, 13]

Turpeen huonoja puolia ovat tumma väri, pölyävyys ja leviäminen karsinoista muualle talliin. Turpeen pöly on kuitenkin vaaratonta suuripartikkelista pölyä, eikä sisällä homepölyä. Turve ja kutterinlastu pölyävät suunnilleen saman verran. Pölyäminen voidaan estää huolehtimalla turpeen kosteudesta ja käyttämällä oikeanlaista vähän maatonut rahkaturvetta, jonka kosteuspitoisuus on noin 50%. [11]

Turvelannan kompostoituminen on nopeampaa ja tapahtuu korkeammassa lämpötiloissa kuin muilla kuivikevaihtoehdoilla. Korkea lämpötila varmistaa turvelannan hygienisoitumisen kompostoitumisprosessissa. Kuivikkeista turve sitoo parhaiten tyypin ja myös säilyttää sen parhaiten kompostoinnin ja varastoinnin aikana. Turvelanta vapauttaa vain pienen määrän ammoniakkia kompostoituaan, kun taas sahanpurul-

la määrä on yli kymmenkertainen turpeeseen verrattuna ja oljella kaksinkertainen sahanpuruun verrattuna. Turpeen käyttö kuivikkeena alentaa typpipäästöjä ympäristöön, parantaa kompostoidun kuivikelannan lannoiteominaisuuksia ja myös maan rakenne parantuu ja pieneliöstö lisääntyy. [11]

Turpeen kuivikekäytössä on kuitenkin huomioitava sen ekologiset vaikutukset. Euroopan unioni ja IPCC luokittelevat turpeen fossiiliseksi polttoaineeksi. Suomessa turpeen luokittelu on taas aiheuttanut erimielisyyksiä ja turve luokitellaan hitaasti uusiutuvaksi biomassapolttoaineeksi, noudattaen kuitenkin IPCC:n kantaa. Turve ei ole siis fossiilinen polttoaine, mutta ilmastopolitiikassa sitä käsitellään samalla tavoin kuin fossiilisia polttoaineita, eli sen polton päästöjen katsotaan lisäävän kasvihuonekaasupitoisuutta. Sen nosto vaikuttaa myös suoluontoon ja vesistöihin. [8]

Turpeen suurin toimittaja on Vapo, joka tuottaa vuodessa noin 1 000 000 m<sup>3</sup> turvetta. Kuiviketurpeen hinta on kuitenkin noussut, koska uusia turvesoita saadaan enää vain vähän tuotantoon ja vanhoilta soilta ei saada enää hyvää turvetta kuivitukseen. Muut toimittajat tuovat turvetta maahan myös mm. Baltiasta. Turpeen hinta 300 kg pyöröpaaliin pakattuna on 116,54 €/paali ja kilohinnaksi tulee 0,39 €/kg. Turvetta on saatavilla myös 500 kg kuiviketurvelevy eränä (25 x 8 kpl), jonka hinta on 428 €/erä ja kilohinta 0,86 €/kg. Irtotavarana turpeen hinta on edullisin 16 €/m<sup>3</sup> ja kilohinta 0,11 €/kg. [12,14]

### 2.3.3 Olki

Olki on suosittu kuivike erityisesti pihatoissa ja varsovilla tammoilla. Olki toimii hyvänä virikkeenä hevosilla ja se myös muodostaa pihatossa tiiviin ja lämpimän patjan. Oljen ammoniakinsitomiskyky on kuitenkin huono ja sitä täytyy käyttää suuria määriä, jotta se toimii kuivikkeena. Huonosta ammoniakinsitomiskyvystä johtuen, se sisältää vain vähän typpeä. Oljesta karkaavan typen määrä on 20-kertainen turpeeseen verrattuna. Silputtuna ja muihin kuivikkeisiin sekoitettuna oljen kuivikeominaisuuksia voidaan hieman parantaa. Olki on myös työläs siivota ja vie paljon varastointitilaa. Oljen hygieenisuus riippuu suurelta osin korjuuajan sääolosuhteista, korjuumenetelmästä ja varastoinnista ja se saattaa sisältää enemmän haitallista pölyä kuin kutteri- ja sahanpuru. Tutkimustulosten perusteella voidaan kuitenkin sanoa, että hevoset viihty-

vät parhaiten olkikuivitetuissa karsinoissa. Olki siis toimii kuivikkeista parhaana virikkeenä hevosille ja hevoset viettävät eniten aikaa makuullaan olkikuivitetussa karsinassa. [13]

Oljen hankintahinta on edullinen, jos sitä tuotetaan omalla pellolla tai sitä on saatavilla lähietäisyydeltä, esimerkiksi naapurin pellolta. Oljen hinta on 250 kg suurpaalissa on 45 € ja kilohinnaksi tästä tulee noin 0,18 €/kg [15].

#### 2.3.4 Kuivikepelletit

Pellettikuvikkeita on saatavilla olkipellettiä, puupellettiä ja ruokohelpipellettiä. Pelletit ovat jauhettua kuivikemateriaalia, joka on puristettu kasaan pelleteiksi. Kuivikkeiden pelletöinti parantaa niiden ominaisuuksia ja käsiteltävyyttä. Pelletöity kuivike voidaan pakata säkkeihin ja silloin hankinta, kuljetus ja käsittely ovat helppoa ja varastointitilan tarve pienenee. Pelletit eivät juuri aiheuta pölyämistä, ne on helppo käyttää ja siivota. Niiden imukyky on suhteellisen hyvä laajan imupinnan ansiosta. Pellettikuivikkeiden käyttö on lisääntynyt, kun turpeen ja kutterin saatavuuksissa on ollut ongelmia. [13]

Olkipelletti on pelletöidyistä kuivikkeista yleisin. Sen ominaisuudet kuivikkeena ovat huomattavasti paremmat ja esimerkiksi sen imukyky on 12-kertainen verrattuna tavalliseen olkeen. Pelletöinti prosessissa lämpötila nousee 70–150 °C, joten prosessi kuollettaa myös haitalliset mikrobit ja homeet, sekä tekee rikkaruohojen siemenet itämiskyvyttömiksi. Olkipellettilannassa on kuiviketta vain noin 20–30 % ja se vähentää kuivikelannan syntymistä jopa puoleen turpeeseen, sahanpuruun ja kutteriin verrattuna, kunhan sitä vain käytetään oikein. Olkipelletin hinta vaihtelee, mutta yleisesti sitä myydään säkeissä ja 1000 kg maksaa 299 € [15]. Kilohinnaksi muodostuu siten noin 0,3 €/kg. [13]

#### 2.3.5 Kuivikkeiden käyttömäärät ja kustannukset

Kuivikkeen kulutus hevosta kohti eroaa eri kuivikevaihtoehdoilla ja näin myös vuosikustannukset eroavat toisistaan. Anna Tenhunen on kandidaatintyössään 2014 vertailut eri kuivikevaihtoehtoja, niiden kulutusta ja kustannuksia. Kuiviketta kuluu keski-



määrin 36 m<sup>3</sup> hevosta kohti vuodessa ja sen keskimääräiset kustannukset ovat 278 €. Tästä saadaan, että kulutus on keskimäärin noin 7,7 €/m<sup>3</sup>. Taulukosta 4 ja työssä aikaisemmin esitetyn oljen kilohinnan osalta voidaan todeta, että vaikka olkea kuluu eniten, se on myös edullisin vaihtoehto. [16]

Taulukko 4. Kuivikkeen kulutus ja kustannukset hevosta kohden vuodessa [16].

Kuivike	Kuivikkeen kulutus (m <sup>3</sup> /hevonen/a)	Kuivikkeen kustannukset (€/hevonen/a)
Turve	16	208
Puru	65	342
Puru + turve	18	500
Olki	104	103
Olkipelletti	5	308
Puupelletti	8	209
<b>Keskiarvo</b>	<b>36</b>	<b>278</b>

Kuivikelannan muodostuminen kullakin kuivikevaihtoehdolla on esitetty taulukossa 5. Taulukosta nähdään, että keskimäärin kuivikelantaa syntyy 17 m<sup>3</sup> hevosta kohden, joka on myös nitraattiasetuksessa yhden hevosen tuottama ohjekuivikelantamäärä [3]. Kuivikelannan käsittelykustannukset ovat keskimäärin hevosta kohti noin 64 €/a.

Taulukko 5. Kuivikelannan vuosittainen muodostuminen ja lantahuollon kustannukset [16].

Kuivike	Kuivikelantaa (m <sup>3</sup> /hevonen/ a)	Kuivikelantahuollon kustannukset (€/hevonen/ a)
Turve	19	98
Puru	19	112
Puru + turve	20	52
Olki	19	24
Olkipelletti	18	84
Puupelletti	6	16
<b>Keskiarvo</b>	<b>17</b>	<b>64</b>

## 2.4 Hevostalouden ympäristövaikutukset

Maatalous on Suomen merkittävin rehevöittävää ravinnekuormitusta aiheuttava ala, mutta hevosalalla on myös yllättävän suuri rooli ravinnejalanjälkeen suhteessa sen pieneen työntekijä- ja harrastajamäärään. Tämä johtuu siitä, että hevonen on iso eläin ja sen tarvitsema rehuntuotanto vaatii suuren peltopinta-alan ja laiduntaminen myös varaa noin yhdeksän prosenttia nurmialasta. Keskeisimmät hevostalouden ympäristövaikutukset aiheutuvat lannasta ja puutteellisesti hoidetusta lantahuollosta. Ympäristövaikutuksia ovat rehevöitymistä aiheuttavat ravinnepestöt vesistöihin, pohjavesien pilaantuminen ja happamoitumista aiheuttava ilmaan haihtuva ammoniakki. [8]

Lannasta muodostuu helposti paikallinen vakavakin ongelma tarhoissa ja jaloittelualueilla, joista valumia pääsee muodostumaan. Jaloittelutarhoista ja hevosten käyttöpaikoilta, esimerkiksi kentiltä ja radoilta, hevosen sonnasta ja virtsasta ravinteet huuhtoutuvat helposti ympäristöön, jos niitä ei kerätä pois asianmukaisesti ja säännöllisesti. Sade huuhtoo sonnan fosforista 80 % ensimmäisten 8 tunnin aikana. Valumat sisältävät usein paljon fosforia ja typpeä, joista aiheutuu lannan suurin ympäristökuormitus. Valumat kuormittavat ja rehevöittävät vesistöjä, sekä pilaavat pohjavesiä ja aiheuttavat maaperän happamoitumista. Jos lantahuolto kuitenkin hoidetaan oikein ja ravinteet sidotaan oikein, ei valumia pääse muodostumaan. Ja mikäli jaloittelutarhoista ja muilta hevosen käyttöpaikoilta saataisiin kerättyä ja poistettua sonnasta edes puolet, voitaisiin näin fosforikuormaa vähentää 50 % ja typpikuormaa 20 %. [8]

Hevosen kuivikelannalla on myös positiivisia ympäristövaikutuksia. Lannan tärkein ravinne on fosfori ja koska maapallon fosforivarat ovat rajalliset, lannan käyttö kasvien fosforilähteenä olisi hyvin suotavaa. Suomen maaperässä on jo luontaisesti puutetta fosforista, joten kuivikelannan fosfori olisi arvokas ravinnelisa maaperälle. Kuivikelanta sisältää myös muita hyödyllisiä ravinteita, mm. orgaaninen aine vaikuttaa maan ravinteiden käyttökelpoisuuteen. Kun lanta hajoaa maassa, se tuottaa orgaanisia happoja ja hiilidioksidiä, jotka puolestaan liuottavat ja kelatoivat metalleja. Samalla metalleihin sitoutuneet anionit, kuten fosfaatti, muuttuvat liukoisemmiksi. Myös lannan hajoamisesta johtuvat pelkistävät olosuhteet maaperässä parantavat kasviravinteiden liukoisuutta. Lanta siis vaikuttaa maan fysikaalisiin ominaisuuksiin parantamalla

humuspitoisuutta ja vilkastuttamalla mikrobitoimintaa. Kun humuspitoisuus nousee, se lisää myös maan puskuri-, kationi- ja vedenpidätyskapasiteettia. [8]

## 2.5 Hukkakaura

Hukkakaura (*Avena fatua*) on yksivuotinen rikkakasvi, joka kuuluu tavallisen viljeltävän kauran (*Avena sativa*) kanssa samaan sukuun. Se tuottaa vakavia ongelmia viljanviljelyyn ja siementuotantoon. Se on vaatimaton kasvuolosuhteiltaan, mutta viihtyy parhaiten multamailla ja erityisesti kosteissa olosuhteissa. Hukkakaura vie elinvoimaa viljelykasveilta ja näin alentaa satoa. Se kasvaa muuta kasvustoa korkeammaksi ja kasvattaa voimakkaan juuriston, jonka vuoksi sen hävitys on hankalaa. [17]

Eviran tilastojen mukaan hukkakauran saastuttamaa peltopinta-alaa on noin 14,5 % koko viljeltävästä peltopinta-alasta. Suomen tilanne on huolestuttava, koska hukkakauran saastuttama peltopinta-ala kasvaa vuosi vuodelta, vaikka valvontaan, tiedotukseen ja kouluttamiseen käytetään paljon aikaa. Hukkakaura on erittäin helposti leviävä rikkakasvi ja se voi vallata pellon muutamassa vuodessa, jos sitä ei torjuta. Sen torjuntaan tulisi suhtautua vakavasti, koska siemenet säilyvät itämiskykyisinä pellossa vuosikausia ja jotta maan siemenpankki ei lisääntyisi vuosi vuodelta. Viljelijät voivat estää hukkakauran leviämisen peltoon valitsemalla kylvösiemenet hyvin ja käyttämällä vain virallisesti tarkastettua, sertifioitua siementä. Suomessa toimivien siemenliikkeiden, pakkaamoiden ja maahantuojien täytyy noudattaa tarkkoja määräyksiä hukkakaurattomuutta koskien. [17]

Suomessa on säädetty hukkakauralaki 185/2002, jonka tavoitteena on ylläpitää korkealaatuista kasvintuotantoa edistämällä hukkakauran torjuntaa [18]. Laki velvoittaa viljelijät torjumaan ja tarkkailemaan hukkakauraa, jotta sen leviäminen saataisiin estettyä. Hukkakauran torjunnalle on erilaisia keinoja ja ne voidaan jakaa ennakoiviin, kemiallisiin ja viljelyteknisiin torjuntakeinoihin. Parhaiten torjunta onnistuu, kun yhdistellään eri torjuntakeinoja. Suomessa hukkakauran torjuntaa valvovat viranomaiset ovat Evira, kuntien maaseutuelinkeinoviranomaiset ja ELY-keskukset. Kuntien maaseutuelinkeinoviranomaiset pitävät hukkakauran valvonnasta rekisteriä, josta selviää kaikki tilat, joilla hukkakauraa on esiintynyt. Kun tila on todettu hukkakauravapaaksi, se poistuu rekisteristä kahden vuoden kuluttua [18]. [17]

### 2.5.1 Hukkakauran leviäminen

Suomessa hevosten väkirehuruokinta on kauravaltaista ja se asettaa lannan peltokäytössä hukkakauran leviämismahdollisuuden. Suuri osa viljelijöistä ei halua vastaanottaa hevosenlantaan lannoitekäyttöön pelloilleen juuri tämän takia. Viljelijöistä erityisen tarkkoja ovat siemenviljan tuottajat, koska heidän pelloillaan hukkakauraa ei saa esiintyä lain mukaan. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen tuottaman Ravinteiden kierrätyksen edistämisen ja saaristomeren tilan parantamisen eli niin kutsutun RAKI-ohjelman osana tuotettiin Horse Manure-hanke (2012–2015). Hankkeessa tutkittiin hevosenlannan ravinteiden kierrätystä ja siinä käsiteltiin neljä osiota: ravinnetaseet ja ravinnekuormat, lannan ravinnehävikkien minimointi, biokaasukokeet, hyvät käytännöt ja kirjallisuustutkimus. Hankkeessa tehtiin tutkimus hukkakauran siementen itävyydestä, kun ne ovat kulkeneet hevosen ruuansulatuskanavan läpi ja kuivamädätysprosessin läpi. [8]

Tutkimustulokset osoittavat, että kun siemenet kulkevat 3–4 vuorokauden aikana hevosen ruuansulatuskanavan läpi (ruumiinlämpö n. 38 °C) hukkakauran itävyys väheenee 77 %. Mitä kauemmin siemen viipyy ruuansulatuskanavassa, sitä paremmin hukkakaura inaktivoituu eli tuhoutuu. Kokeen perusteella voidaan olettaa, että ruuansulatuskanavan entsyymit tuhoavat suhteellisen hyvin hukkakauran itävyyttä. Vaikka itävyys selvästi huononee, voivat siemenet kuitenkin säilyä itämiskykyisinä, varsinkin jos ne selviytyvät kokonaisina ruuansulatuskanavan läpi. Tuloksien perusteella voidaan siis sanoa, että hevosenlanta, joka sisältää kokonaisia hukkakauran siemeniä, voi edelleen aiheuttaa hukkakauran leviämisen riskin. Biokaasutusprosessi puolestaan inaktivoi hukkakauran itävyyden kokonaan kuukauden mittaisessa mesofiilisessä prosessissa (n. 37 °C). [8, 17]

Todennäköisyys kuitenkin sille, että hukkakauran siemen pääsee itämiskykyisenä hevosenlannan mukana peltoon, on hyvin pieni. Kun pelloille levitettävä kuivikelanta kompostoidaan asianmukaisesti ja riittävän pitkän aikaa, tuhoutuvat mahdolliset hukkakauransiemenet hyvin prosessissa. Myös jos hevosityrittäjät ovat tarkkoja mistä hankkivat rehun hevosilleen ja tarkistavat, ettei rehuntuottaja kuulu julkiseen IACS-hukkakaurarekisteriin, ei hukkakauraongelmaa pääse myöskään muodostumaan. Jos epäpuhtaat rehuerät saataisiin pois markkinoilta, pienentäisi se heti hukkakauraon-

gelmaa. Rehujen puhtaus lähtee ensisijaisesti viljelijöistä ja heidän aidosta kiinnostuksesta hukkakauraa ja sen ehkäisyä kohtaan. Jos kaura ei sisällä hukkakauraa, ei sitä ole myöskään hevosenlannassa. Hevonen ei itse aiheuta hukkakauraongelmaa, vaan toimii sen mahdollisena levittäjänä. Tärkeää olisi, että myös hevosalalla tiedotettaisiin hukkakaurasta ja sen riskeistä. Näin tietoisuus lisääntyisi eri toimijoiden kesken, osataisiin toimia oikein ja hukkakauraongelma saataisiin pysymään kurissa ja näin myös kuivikelannan jatkohyödyntäminen olisi helpompaa. [17]

### **3. HYÖTYKÄYTTÖMENETELMÄT**

#### **3.1 Kompostointi**

Kompostointi on mikrobiologinen prosessi, jossa mikrobit hajottavat orgaanista ainesta kasveille käyttökelpoisempaan muotoon. Prosessin lopputuotteina syntyy hiilidioksidia, vettä, haihtuvia yhdisteitä, humuspitoista kompostia ja lämpöenergiaa. Hevosenlannan kompostoinnilla saadaan pienennettyä lantatilavuutta, hajuhaitat vähenevät, lanta hygienisoituu sekä lannan mikrobiologiset, kemialliset ja fysikaaliset ominaisuuksien paranevat. Kompostointi parantaa lannan ominaisuuksia lannoitteena ja lanta kompostoituu hyvin, jos olosuhteet ovat sopivat. [19]

Kompostointiprosessi voidaan jakaa viiteen eri vaiheeseen, jotka ovat latenttivaihe (20 °C), mesofiilivaihe (40 °C), termofiilinen vaihe (40–70 °C), viilentymisvaihe ja jälkikypsytysvaihe. Kompostoituminen on tehokkainta termofiilisessä vaiheessa ja jotta komposti toimii hyvin, mikro-organismeilla tulee olla sopivat olosuhteet [20]. Tärkeimmät mittarit ovat syötemateriaalin hiili–typpi ravinnekoostumus (optimi 25–30:1), pH (optimi 5,5–8,0), riittävä hapensaanti, palakoko, lämpöeristys, kosteus (optimi 50–60 %) ja prosessikaasujen poisto (ammoniakki, vesihöyry, rikki- ja typpiyhdisteet) sekä kompostoitumisaika [20]. Hevosenlannan kompostoitumiseen vaikuttaa paljon käytetty kuivikemateriaali ja kuivikkeen määrä lannassa. Kuivikelanta on kuivaa ja sillä on alhainen typpipitoisuus ja jos kuivikkeen määrä nousee liian suureksi, se aiheuttaa ongelmia kompostoitumisprosessiin. Taulukossa 6 on esitetty kuivikkeiden ominaisuuksia. Turve on hyvä kuivike, se sitoo parhaiten liukoista typpeä ja nesteitä ja kompostoituu nopeasti. Turpeen ja oljen hiili-typpi suhde on noin 50–91:1. Puupohjaiset kuivikkeet taas kompostoituvat hitaasti, koska niiden hiili-typpi suhde

on korkea, noin 442–600:1 [20]. Hevosenlannan hiili-tyyppi suhde ilman kuiviketta on noin 30:1 [5]. [19]

Taulukko 6. Kuivikkeiden hiili-tyyppi -suhdelukuja ja kompostoitumis- ja hyötykäyttö ominaisuuksia [5].

<b>Materiaali</b>	<b>C-N -suhde</b>	<b>Kompostoitumisnopeus</b>	<b>Hyötykäyttö viljelyssä</b>
Sahanpuru	442:1	Hidas	Ongelmallinen
Kutterinpuru	600:1	Hidas	Ongelmallinen
Turve	50–91:1	Nopea	Helppo
Olki	80:1	Melko nopea	Melko helppo

Hyvin kompostoitunut lanta on tasajakoista ja sen haju on miellyttävä. Huonosti kompostoituneesta lantaseoksesta erottaa puolestaan hyvin kuivikkeen ja rikkakasvien siemenet. Kompostointi voidaan toteuttaa eri tekniikoilla ja sopivin menetelmä onkin hyvä valita tapauskohtaisesti ja käsiteltävän lantamäärän mukaan. Suomessa käytettyjä menetelmiä hevosenlannan kompostoinnissa ovat aumakompostointi, rumpukompostointi, tuubikompostointi ja Talli-Jussi –järjestelmä. [19]

### 3.1.1 Aumakompostointi

Perinteisin ja edullisin menetelmä hevosenlannan kompostoinnille on aumakompostointi. Se voidaan toteuttaa väliaikaisesti pellolla lantapatteriin (sallittu vain poikkeustapauksissa) tai jatkuvatoimisemmin sitä varten rakennetulla tiivispohjaisella kentällä, jossa valumavedet kerätään talteen ja käsitellään asianmukaisesti. Kuivikelannan patterointi on sallittua ainoastaan poikkeustapauksissa työteknisen tai hygieenisen syyn vaatiessa ja kuiva-ainepitoisuus täytyy olla vähintään 30 %. Varastointi aumassa poikkeustapauksissa on kokonaan kielletty marraskuun alusta tammikuun loppuun, joten keväällä aumaan varastoitu lanta tulee levittää 31.10 mennessä. Aumakompostin perustaminen vaatii nitraattiasetuksen poikkeamisilmoituksen kunnan ympäristöviranomaiselle [3]. [21]

Ammattimaisessa aumakompostoinnissa kompostoitava materiaali levitetään suuriksi pitkiksi kartion muotoisiksi avoauomoiksi tiivispohjaiselle asfalttikentälle. Aumat ovat kooltaan alaosastaan 2–4 metriä, yläosastaan 1–2 metriä leveitä ja 2,0–2,5 metriä korkeita. Kompostin toimivuutta voidaan parantaa erilaisten tukiaineiden avulla. Kom-

postin perustamisen jälkeen lämpötilaa ja lahoamisprosessin kehittymistä seurataan. Alkulämpötila tulisi olla yli 5 astetta ja noin viikon kuluttua perustamisesta lämpötilan pitäisi olla noussut 35–45 asteeseen. Aumakompostointi alkaa aktiivivaiheella, joka kestää noin 21–28 vuorokautta. Tässä vaiheessa tulee huolehtia kompostin riittävästä hapetuksesta, kosteudesta ja kompostikaasujen poistamisesta ja kääntää aumaa koneellisesti tai vaihtoehtoisesti ilmastusputkien avulla, jotta prosessi lähtee kunnolla käyntiin. Kompostiauman kosteus on sopiva, kun vettä on 55–70 % tuorepainosta. Aktiivivaiheen jälkeen seuraa vielä jälkikypsytysvaihe, joka kestää puolesta vuodesta vuoteen, riippuen myös vuodenajasta. [21]

Aumakompostin suurimmat heikkoudet ovat pitkä, noin vuoden mittainen, käsittelyaika, tilantarve, prosessin ja tuotteen epätasaisuus ja vaihteleva laatu sekä hajuhaitat. Muita haasteita ovat ravinteiden huuhtoutuminen sadevesien mukana ja ammoniakkiyhdisteiden eli typen hävikki ilmaan. Kompostointikentällä jätevedet kerätään ja puhdistetaan, joten ne eivät pääse aiheuttamaan ympäristöhaittaa. Etuja aumakompostoinnissa puolestaan ovat sen edullisuus ja menetelmän yksinkertaisuus. [21]

Hevosien kuivikelantaa aumakompostoidaan pääasiassa kaupunkien ja isompien yritysten toimesta erillisillä kompostointikentillä. Pälkäneellä Humuspehtoori Oy on käsitellyt ja kompostoinut hevosienlantaa ja teollisuuden muita sivuainevirtoja jo 1980-luvulta lähtien (kuva 2). Kuivikelantaa aumakompostoidaan keskimäärin 8 000–10 000 m<sup>3</sup> vuodessa ja siitä valmistetaan Hevosvoima-nimistä maanparannus- ja lannoitustuotetta [22]. Humuspehtoori ja Vapo Oy ovat tehneet vuonna 2016 sopimuksen, että Vapo toimittaa lannankierrätyspalvelun tilanneilta talleilta kuivikelannan kompostoitavaksi Humuspehtoorille. Vapon lannankierrätyspalvelusta kerrotaan myöhemmin lisää. Pääkaupunkiseudulla vastaavaa toimintaa harjoittaa Helsingin seudun ympäristöpalvelut –kuntayhtymä, joka kompostoi Sipoon ja Porvoon rajalla Metsäpirtin kompostointikentällä mm. jätevesilietettä ja hevosienlantaa. Näistä jatkojalostetaan turpeen ja muiden lisäaineiden avulla erilaisia ravinteikkaita kompostimultia, jotka eivät sisällä lainkaan keinolannoitteita [23].



Kuva 2. Hevosen kuivikelantakompostit Humuspehtoori Oy:n kompostointikentällä Pälkäneellä. (Kuva: Maija Mäihäniemi)

### 3.1.2 Rumpukompostointi

Rumpukompostoinnissa lantaa kompostoidaan lämpöeristetyssä rummussa, jossa rumpu pyörii akselinsa ympäri. Kompostori on vaaka-asentoinen sylinterinmuotoinen putkimainen säiliö. Prosessi on jatkuvatoiminen ja sitä tehostetaan syöttämällä ilmaa rumpuun. Syöttö tapahtuu päätylaipan eli päädyssä olevan aukon kautta ja vastakkaisessa päässä oleva ruuvikuljetin purkaa ja ohjaa kompostoitunutta massaa jälkikypsytykseen. Rummun sisäpinnalla on kompostia sekoittavat ja eteenpäin siirtävät lamellit eli ohuet levyt. Pyörimisnopeuden säädöllä ja ilman syötöllä voidaan vaikuttaa ja säätää kompostoriin oikea lämpötila ja kosteus. Lämpötila nousee prosessin aikana noin 50–60 asteeseen. Rumpukompostorissa kompostoitava materiaali on suojassa ja prosessin toiminnassa ei ole juuri vuodenaikavaihtelua. Tämän takia kompostoitavan materiaalin lämpötilan nousu kompostorissa on säännöllistä ja sen käyttö on sujuvaa ympäri vuoden. [10, 24]

Lanta viipyy kompostorissa noin 7–10 päivää ja tämän jälkeen lantaa jälkikompostoidaan noin kolme kuukautta, riippuen vuodenajasta. Lannan sisältämä kuivikemateriaali vaikuttaa myös kompostointiaikaan. Kompostimassa pienenee rumpukompostoinnissa noin 25 % ja jälkikompostoinnissa se pienenee vielä 50 %:iin alkuperäisestä



massasta, kokonaisuudessaan kuivikelannan massa vähenee noin 50 %. Lopputuote voidaan käyttää joko omaan peltoviljelyyn tai myydä tai luovuttaa eteenpäin viherrakentamiseen ja maanparannusaineeksi. Orgaanisten lannoitevalmisteiden tai niiden raaka-aineiden valmistajalla tai niitä teknisesti käsittelevällä ja niitä myyvällä toimijalla täytyy olla Eviran laitos- ja lopputuotehyväksyntä. Mikäli lantaa käsitellään vain omaan käyttöön, ei laitoshyväksyntää tarvita. Niihama Riding Oy käyttää tallillaan turvekuiviketta ja kuivikelantaa rumpukompostoidaan (kuva 3). Esikäsitelty kuivikelanta toimitetaan tämän jälkeen Humuspehtoori Oy:n kompostointikentälle kompostoitavaksi. [10, 24]



Kuva 3. Niihama Riding Oy:n Biofacta Oy:n rumpukompostori Tampereella. (Kuvat: Maija Mäihäniemi)

Rumpukompostoinnin etuja ovat sen helppohoitoisuus ja nopeus. Rumpukompostoinnin jälkeen kuivikelanta on koostumukseltaan todella tasajakoista (kuva 4), joka edesauttaa jälkikompostointia. Rumpukompostoreita on olemassa erikokoisia, mutta hevosenlannan kompostoimiseen käytetään yleensä noin 30–75 m<sup>3</sup> kokoisia kompostorei-

ta, riippuen syntyvästä kuivikelannan määrästä. 30 m<sup>3</sup> kompostori on sopiva koko noin 30 hevosen tallille. 75 m<sup>3</sup> kokoinen rumpukompostori sopii suuremmille noin 80 hevosen talleille ja sen energiankulutus on vuodessa noin 20 000 kWh ja prosessi tuottaa energiaa noin 40 000 kWh [25]. Prosessissa syntyvä lämpöenergia on mahdollista ottaa talteen noin 50 % hyötysuhteella ja hyödyntää esimerkiksi rakennusten ja käyttöveden lämmityksessä. Näin voidaan vähentää kustannuksia pidemmällä aikavälillä. Niihama Riding Oy:ssä rumpukompostorin tuottama lämpöenergia otetaan talteen ilmalämpöpumpulla. [10, 30]



Kuva 4. Rumpukompostoitua kuivikelantaa, Niihama Riding Oy Tampere. (Kuva: Maija Mäihäniemi)

### 3.1.3 Tuubikompostointi

Tuubikompostoinnissa hevosen kuivikelanta pakataan pitkään aumamuovituubiin traktoriin kytkettävällä pakkaussyöttövaunulla (kuva 5) [28]. Tuubi on halkaisijaltaan noin 1,5–2 metriä ja pituudeltaan useita kymmeniä metrejä pitkä. Rakennusvaiheessa tuubin keskelle asennetaan kaksi pituussuunnassa kulkevaa salaojaputkea, joiden kautta kompostia ilmastetaan. Kompostoinnissa lantaseoksen massan lämpötila nousee noin 40–60 asteeseen, pienenee noin kolmanneksella ja muuttuu hygieeniseksi, hajuttomaksi ja tasalaatuiseksi. Ravinnehävikit ovat tuubikompostoinnissa pieniä,



koska muovituubi pitää ne sisällään. Tuubit puretaan kaivurilla ja kompostoitunut lanta nostetaan levitysvaunuun. Tuubikompostointi soveltuu hyvin talliyrittäjälle tai viljelijälle, jolla on peltopinta-alaa lannan levitykselle ja joka on valmis investoimaan pakkausvaunuun. Se soveltuu myös useamman tallin yhteishankinnaksi tai urakoitsijalle, jos tallit sijaitsevat kohtuullisen matkan päässä toisistaan ja tuubeille on sijoituspaikka. Tuubikompostointi on edullisin menetelmä, jos hevosenlanta hyödynnetään peltoviljelykäyttöön. [27, 31]



Kuva 5. Tuubikompostien täyttöä Aimo Kortteen Konepaja Oy:n MurskaBiopacker-pakkaussyöttövaunulla [26].

Tuubikompostoinnin edut ovat sen yksinkertaisuus, perustamisen nopeus ja että hevosenlannan ravinteet saadaan takaisin ravinnekiertoon. Menetelmä ei siis tarvitse aumakompostoinnin kaltaista tiivistä ja kallista pohjarakennetta. Lanta säilyy tuubissa kosteana ja ravinteet lannassa, eikä tekniikka vaadi pysyviä rakenteita. Tuubit voivat olla myös paikallaan pidemmänkin ajan ja ne voidaan purkaa viljelykierrolle sopivassa vaiheessa. Tutkimusten mukaan myös puupohjainen kuivikelanta kompostoituu hyvin tuubissa vuoden mittaisessa ajassa, turve- ja olkikuivitettu puupohjaista hiukan nopeammin. Puupohjainen kuivikelanta ei ole kuitenkaan hyvä lannoite pelloille pidemmän päälle ja vuodesta toiseen, joten kasvipohjainen kuivikelanta soveltuu menetelmään paremmin. [29, 30]

Haittoja tekniikassa puolestaan ovat ilmastuksen vaikeus, pitkä kompostointiaika ja typen menetys prosessissa. Kompostoituminen lähtee sitä paremmin käyntiin, mitä tuoreempaa tuubiin pakattu kuivikelanta on. Kompostoitumista voidaan myös parantaa kompostoimalla tuubissa sekaisin puu-, turve- ja olkikuivitettua lantaa. Tuubi-kompostointi ei ole tällä hetkellä kovin kustannustehokas menetelmä. Siinä syntyy paljon kuluja, mm. muovituubeista, mahdollisista siirtolavoista, kuljetuksesta ja työstä. Lisäksi suurista muovituubeista syntyy paljon muovijätettä, koska muovituubit ovat kertakäyttöisiä. [27, 31]

#### 3.1.4 Talli-Jussi järjestelmä

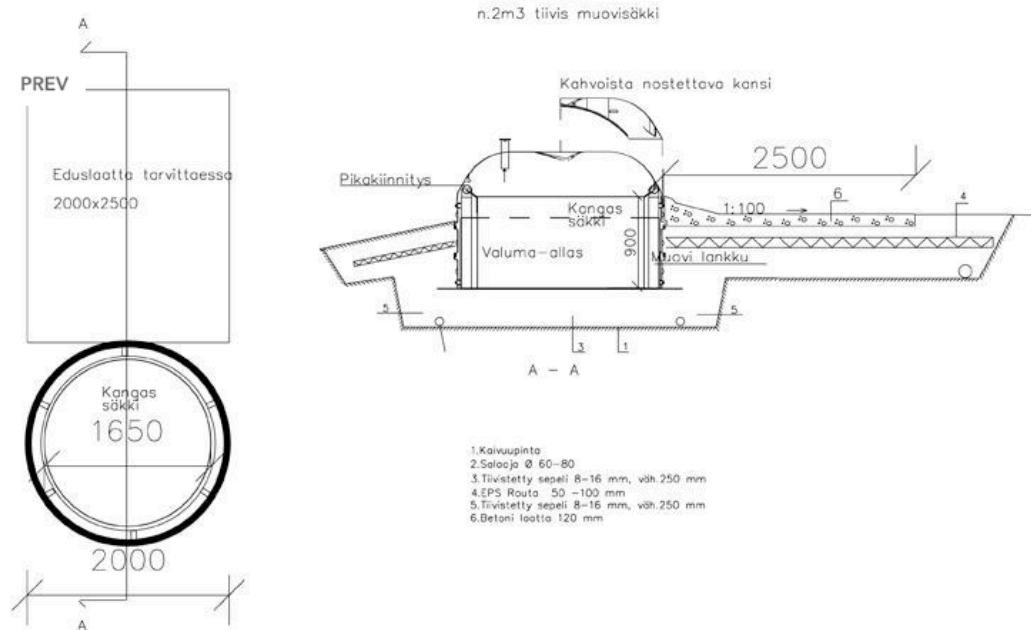
Termosuoja Talli-Jussi on lannalle tarkoitettu pakkausjärjestelmä, jossa lanta voidaan kompostoida, varastoida ja kuljettaa loppusijoituspaikkaansa (kuva 6). Talli-Jussi järjestelmässä lanta kerätään suursäkkiin, joka on sijoitettu kannelliseen maan alle rakennettuun lämpöeristettyyn suojaan. Kompostoitumista voidaan vielä tehostaa asentamalla järjestelmän ulkokehälle vaippalämmitys. Säkin täytyessä, se nostetaan pois säiliöstä ja tilalle asennetaan uusi säkki. Kuivikelannan kompostointia voidaan jatkaa säkissä vielä tarvittava aika. Järjestelmä sopii pienille ja keskikokoisille talleille, koska erillisiä säiliöyksiköitä on helppo asentaa tarpeen mukaan lisää. Suuremmille talleille järjestelmä ei ole järkevä ja kustannustehokas, koska vaikka järjestelmiä olisi useampi, ne täyttyvät ja niitä joudutaan tyhjentämään useammin, kuin esimerkiksi 25 m<sup>3</sup> vaihtolavaa tai vielä suurempaa lantala ja tämä lisää työmäärää. [33, 34]

Järjestelmää on kahta kokoa: Talli-Jussi 4000 on tilavuudeltaan 4 m<sup>3</sup> ja Talli-Jussi 2000 noin 2 m<sup>3</sup>. Järjestelmä on valmistettu polyeteenistä, kierrätysmuovista, teräksestä ja alumiinista. Se on roisketiivis ja se suojataan asennuksen yhteydessä patolevyllä ja pinta ja pohjavedet salaojitetaan. Suursäkit ovat kestosäkkejä ja niitä on kahta kokoa, 120–170 x 180 cm ja 90 x 175 cm. Pienempi säkki painaa täytyessään noin 700–900 kg ja suurempi 1500 kg. Valmistajan mukaan neljän hevosen kokoinen talli tarvitsee yhden Talli-Jussi 2000:n tai 4000:n ja 5 kestosäkkiä, jotta lantahuolto toimii hyvin. [32]



Kuva 6. Ab Wassis Oy:n termosuoja Talli-Jussi lannanpakkausjärjestelmä [32].

Talli-Jussin täyttäminen onnistuu hyvin kottikärryillä ja käsivoimin, mutta säkkien nostamiseen ja siirtämiseen tarvitaan traktoria tai muuta nostokalustoa. Talli-Jussi on siisti, huomaamaton ja lanta on järjestelmässä suojassa haittaeläimiltä ja hyönteisiltä. Järjestelmä on salaojitettu ja suljettu systeemi, joten hajuhaitat ja ravinnetappiot voidaan minimoida, eikä valumia ei pääse muodostumaan (kuva 7). Täydet säkit voidaan varastoida joko vierekkäin tai päällekkäin ja niitä on helppo siirrellä ja kuljettaa, koska ne ovat tiiviitä ja kestäviä. Talli-Jussi soveltuu hyvin taajamiin ja asutusalueiden läheisyyteen, joissa haju- ja hyönteishaittojen torjunta on tärkeää. Ja koska asennus voidaan tehdä pääosin maan alle, sopii järjestelmä myös maisemallisesti arvokkaille alueille. Järjestelmän etu on myös se, että tarvittaessa se voidaan myös siirtää tai myydä eteenpäin, mikäli sen käyttöä ei enää tarvita. [33, 34]



Kuva 7. Talli-Jussi 2000 –järjestelmän leikkauskuva [32].

Lannan kompostoitumisaika on kesällä järjestelmässä noin 2 kuukautta, mutta kylminä vuodenaikoina kompostoituminen hidastuu tai voi jopa pysähtyä kokonaan, jos lanta pääsee jäätymään. Kompostoitumisnopeus riippuu vuodenajan ja lämpötilan lisäksi myös käytetystä kuivikkeesta, kuten muissakin kompostointimenetelmissä, mutta kaikenlainen kuivikelanta kuitenkin soveltuu järjestelmään. Valmistajan mukaan ensimmäisen kuukauden aikana kompostimassan tilavuus putoaa 30 % ja toisen kuukauden aikana 20 %, joten massa vähenee kompostoinnissa kokonaisuudessaan noin puoleen. Säkin täytyessä se poistetaan säiliöstä ja kompostointia on helppo jatkaa edelleen säkissä, joko tallin pihapiirissä tai sitten sen loppusijoituspaikassa. Järjestelmää on siis yksinkertaista käyttää ja tyhjentää ympäri vuoden. [34]

Hevosyrittäjien Talli-Jussin käyttökokemukset ovat olleet pääasiassa positiivisia. Sen käytön on koettu olevan yksinkertaista ja helppoa. Valumia ei ole syntynyt, kuivikelanta on kompostoitunut hyvin ja säkit ovat olleet kestäviä. Talli-Jussissa on positiivista, että säkit ovat uudelleen käytettäviä, joten muovijätettä ei synny samaan tapaan kuten esimerkiksi tuubikompostoinnissa. Rakennus- ja käyttökustannukset ovat Talli-Jussissa myös edullisemmat, verrattaessa lantalan rakennuskustannuksiin. Haasteena järjestelmän käyttöönotossa on ollut viranomaisten vaihteleva suhtautuminen siihen.

Osassa kuntia Talli-Jussi on otettu erittäin positiivisesti vastaan, mutta osa ei ole puolestaan myöntänyt lupaa järjestelmän käytölle. [33]

### 3.2 Energiahyödyntäminen

Hevosen kuivikelannassa on suuri energiapotentiaali ja sen voidaan katsoa olevan uusiutuva hiilidioksidineutraali polttoaine, riippuen tietysti kuivikkeesta. Uusiutuvia polttoaineita käyttämällä voidaan vähentää fossiilisten polttoaineiden tarvetta ja korvata niiden käyttöä. Vuoden 2016 alun jälkeen, kun orgaanisen jätteen kaatopaikkasijoituskielto astui voimaan, on kuivikelannasta eroon pääsemisestä muodostunut entistään hankalampaa varsinkin taajama-alueilla. Tämä on herättänyt yhä enemmän mielenkiintoa lannan energiahyödyntämisen mahdollisuuksista. Jos kuivikelannan energiasisältö pystyttäisiin hyödyntämään sen tuottopaikalla, välttäisiin mm. kuljettamisen aiheuttamilta hiilidioksidipäästöiltä. Kuivikelannan energiahyödyntämismenetelmiä tarkastellaan seuraavaksi ja niitä ovat mädätys, poltto, terminen kaasutus ja pyrolyysi. Kolme viimeistä on termisiä prosesseja ja ne tapahtuvat eri lämpötila-alueilla.

#### 3.2.1 Mädätys

Mädätys eli biokaasun tuotanto on yksi potentiaalinen vaihtoehto kuivikelannan energiahyödyntämisessä. Mädätysprosessit voidaan jakaa käytetyn lämpötilan mukaan. Lantojen käsittelyssä käytetään usein mesofiilistä prosessia, jossa lämpötila on noin 32–42 °C. Mädätys säiliö on usein sylinterin muotoinen säiliö, joka on lämpöeristetty ja jossa on sekoitin sekä lämmityspotket. Säiliö on tiivistetty kahdella kalvolla ja alemman kalvon alla oleva tila toimii kaasuvälikamiona ja ylempi kalvo suojaa sitä. Mädätysprosessi voidaan toteuttaa joko märkä- tai kuivamädätyksenä ja prosessi voi olla joko jatkuvatoiminen tai panosprosessi. Prosessi ei tuota itse riittävästi lämpöä, joten reaktoria ja sen syötettä on lämmitettävä erillisellä lämmönvaihtimella, jotta lämpötila saadaan pidettyä optimissa. Märkäprosessissa sallittu materiaalin kuiva-ainepitoisuus on noin 5–15 % ja kuivamädätyksessä 25–50 %. Hevosen kuivikelannan kuiva-ainepitoisuus on noin 35 %, joten sen käsittelyyn sopii kuivamädätystekniikka. Puupohjaiset kuivikkeet soveltuvat huonosti mädätykseen, koska puun selluloosa ja ligniini hajoavat hitaasti. [9]

Mädätyksessä tuotetaan biokaasua orgaanisesta aineksestä hapettomissa eli anaerobisissa olosuhteissa. Raaka-aineen viipymä reaktorissa on keskimäärin 20–30 päivää. Anaerobinen hajoaminen on biologinen prosessi, jonka vaiheissa toimii lukuisia mikrobeja. Prosessi alkaa hydrolyysillä, jossa haponmuodostajabakteerien tuottamat entsyymit hajottavat mädätettävän orgaanisen aineksen sisältämät yhdisteet yksinkertaisiksi liukoisiksi yhdisteiksi. Seuraavaksi rasvahappokäymisessä nämä tuotteet hajotetaan edelleen rasvahapoiksi. Kolmannessa vaiheessa vetyä tuottavat bakteerit hajottavat muodostuneet rasvahapot vielä asetaatiksi, etikkahapoksi, hiilidioksidiksi ja vedyksi. Prosessin viimeisessä neljännessä vaiheessa metaaninmuodostajabakteerit hajottavat kolmannen vaiheen hajoamistuotteita lopputuotteiksi eli metaaniksi ja hiilidioksidiksi. [9]

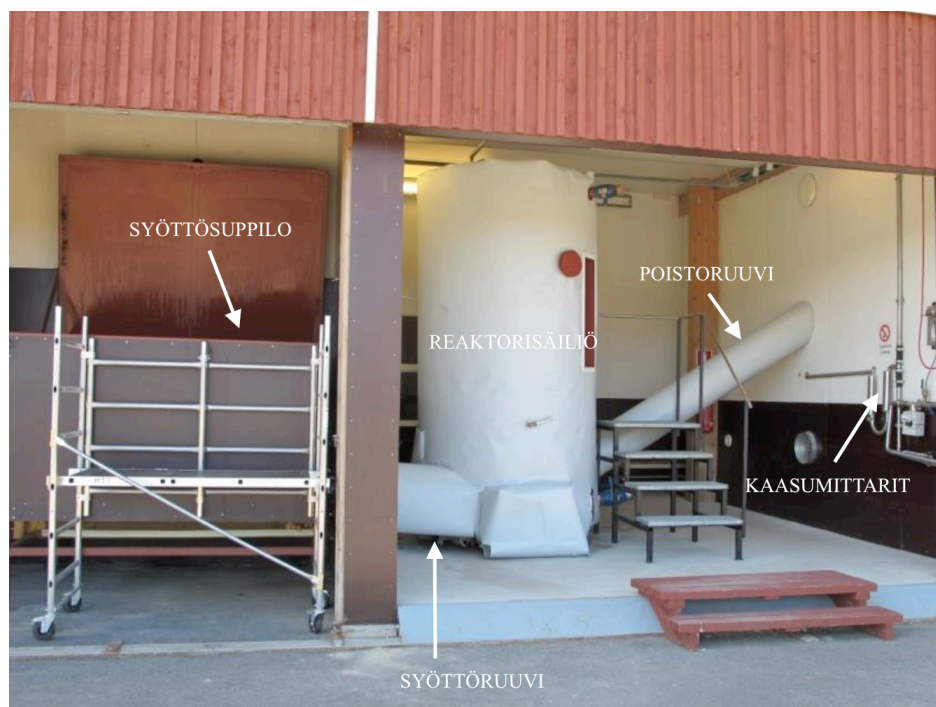
Orgaanista ainesta mädättämällä saadaan tuotettua biokaasua, joka sisältää metaania keskimäärin noin 60 % ja hiilidioksidia noin 40 %. Biokaasun lisäksi prosessissa syntyy mädätysjäännöstä. Mädätettävä massa pienenee prosessissa noin 13–17 % [35]. Mitä enemmän orgaanista hajoavaa materiaalia syöte sisältää, sitä enemmän biokaasua syntyy prosessissa. Lähtöaineesta riippuen, kaasussa saattaa esiintyä pieniä pitoisuuksia rikkivetyä (0–2 %), typpeä (0–25 %) sekä kloori- ja fluoriyhdisteitä. Eläinten lanta soveltuu erinomaisesti biokaasuprosessin raaka-aineeksi, koska siinä on jo valmiina suurin osa mikrobien tarvitsemista ravinteista. Biokaasun lämpöarvo on 4–6 kWh/m<sup>3</sup> eli noin 14,4–21,6 MJ/m<sup>3</sup> ja se soveltuu sellaisenaan poltettavaksi ja myös moottorin polttoaineeksi. [9]

### 3.2.1.1 Kuivämädätys

Hevosien kuivikelannan mädätykseen soveltuvaa kaupallista biokaasureaktoria ei ole vielä olemassa, mutta lantaa on tutkittu pilottivaiheessa olevan kuivämädätyslaitoksen syötteenä Maa- ja elintarviketalouden tutkimuslaitoksen teknologiakeskuksessa Sotkamossa osana MTT:n ja Työtehoseuran Horse Manure –hanketta. MTT:n tutkimuslaitoksen toteuttamassa hankkeessa rakennettiin 4 m<sup>3</sup>:n kokoinen pilottireaktori (kuva 8), joka on puolijatkuvatoiminen ja täyssekoitteinen kiinteän syötteen biokaasureaktori. Tutkimuksessa syötteenä käytettiin puupohjaista kuivikelantaa, koska sillä on ollut eniten ongelmia loppusijoituksen kanssa. Reaktorin kuormitus oli 2 kg sulavaa orgaanista ainetta reaktorikuutiota kohti vuorokaudessa (2 kgVS/m<sup>3</sup>d) ja kokeessa käytetty



ympäri eli alkuaine oli mädätetty lehmänlannasta ja säilörehusta. Maatilamittakaavassa käytetty normaali reaktorikuormitus on vuorokaudessa noin 2,5–3,5 kgVS/m<sup>3</sup> [36]. Kokeessa prosessin lämpötila oli noin 38 °C ja viipymäaika reaktorissa noin 130 päivää. [38]



Kuva 8. MTT:n tutkimuslaitoksen biokaasutuskokeen pilottireaktori [37].

Tutkimuksessa puupohjainen kuivikelanta tuotti 70,5 m<sup>3</sup> metaania tonnia sulavaa orgaanista ainesta kohden (m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/t VS) ja 19,6 m<sup>3</sup> metaania tuoretta lantatonnia kohti (m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/t FM). Metaanintuotto oli noin 10 % vähemmän, kuin kokeessa jossa mädätettiin turvekuivitettua naudanalantaa. Prosessissa tuotetun biokaasun metaanipitoisuus oli keskimäärin 53,8 % ja käsittelyjäännöksen pH 7,5. Alhainen kaasuntuotto tutkimuksessa johtui siitä, että syötemateriaalin kuivikepitoisuus oli suuri suhteessa lantaan. Metaanintuotto kokeessa vastasi muita samanlaisia kirjallisuudesta löydettyjä tutkimustuloksia ja sitä voidaan pitää hyvänä. Kokeessa käytetty pystymallinen reaktori soveltui suhteellisen hyvin purukuivikelannan käsittelyyn, vaikka välillä syötteen kuivuus aiheutti ongelmia syöttöön ja sekoitukseen. Tutkimuksen tuloksena arvioitiin, että vaakamallinen tulppavirtausreaktori voisi soveltua paremmin kuivikelannan käsittelyyn, koska sitä olisi mahdollista ajaa korkeammalla kuormituksella, kun reaktorin kokoluokka kasvaa. [38]

Biokaasutuotantoa voidaan pitää ympäristöystävällisenä, koska prosessilla saadaan lannan ravinteet hyvin talteen, voidaan sulkea typen ja fosforin ravinnekierto ja hajuhaitat jäävät pieniksi. Suljetun ravinnekierron ansiosta saadaan pienennettyä ympäristöön päätyvää typpikuormitusta ja kasvihuonekaasupäästöjä. Jätelain mukaan ensisijaisesti tulisi hyödyntää jätteen sisältämät ravinteet ja vasta toissijaisesti energia, biokaasun tuotannossa nämä kumpikin toteutuvat. Prosessin sivutuotteena saadaan ravinneerikasta mädätysjäännöstä, jossa ravinteet ovat hyvässä muodossa kasveille. Prosessi hygienisoi 99 prosenttisesti käsiteltävän lannan ja inaktivoi täysin rikkakasvien siemenet. Tämä parantaa mädätysjäännöksen käyttökelpoisuutta lannoitteena. Prosessista saatava biokaasuenergia voidaan käyttää hyödyksi esimerkiksi tallin ja käyttöveden lämmityksessä. Puupohjainen kuivikelanta soveltuu prosessiin huomattavasti sen korkean ligniinipitoisuuden vuoksi ja koska mikrobit eivät pysty hajottamaan puupohjaista materiaalia. Turve- tai olkikuivitettu lanta soveltuu puolestaan hyvin biokaasun tuotantoon. Kuivämädätyksen etuja märkämädätykseen verrattuna ovat pienemmät käsittelymäärät, hajuhaitat ja prosessin energiatarve. Kuivaprosessin haittoina ovat puolestaan prosessin vaikeampi hallinta ja ongelmat sekoituksessa. [38]

### 3.2.1.2 Biokaasun hyödyntäminen

Biokaasua voidaan käyttää lämmön ja sähkön tuottamiseen, liikennepolttoaineena ja kotitalouksien kaasuna. Suurin osa Suomen biokaasulaitoksista on pieniä CHP-laitoksia, joissa energiaa tuotetaan vain omaan käyttöön tai paikallisesti. Pienimmät laitokset tuottavat vain lämpöenergiaa. Mädätysprosessilla voidaan kuitenkin yleensä kattaa omat prosessikustannukset, kun tuotekaasua voidaan hyödyntää reaktorin lämmitykseen, eikä ulkopuolista energiantarvetta ole. Kuivikelannan pienmittakaavan biokaasureaktoreissa on mahdollista tuottaa vain lämpöenergiaa. [9]

Yksi hevonen tuottaa vuodessa keskimäärin  $525 \text{ m}^3$  metaania [9]. Lantaa syntyy päivässä  $24,25 \text{ kg}$  [5] ja kuukaudessa  $0,72 \text{ t}$ . Tästä voidaan laskea metaanintuotto kuukaudessa keskimääräisen  $525 \text{ m}^3$  metaanintuotannon perusteella, joka on kuukaudessa  $525/12\text{kk} = 43,75 \text{ m}^3$  ja  $43,75\text{m}^3/0,72 \text{ t} = 61,1 \text{ m}^3/\text{t}$ . Tämä on myös kirjallisuudesta löytyvistä tuloksista keskimääräinen metaanintuottopotentiali. MTT tutkimuksessa metaanintuotto jäi lähes kolmasosaan yllä lasketusta. Prosessiolosuhteissa ei siis yleensä päästä laboratoriotason arvoihin. Metaanin keskimääräinen lämpöarvo on

noin 5 kWh/m<sup>3</sup> ja lämmöntuotannon hyötysuhde keskimäärin noin 50–55 %. Taulukossa 7 on esitetty kuinka paljon 1–50 hevosta tuottavat biokaasua ja paljonko siitä saataisiin lämpöenergiaa 55 % hyötysuhteella. Taulukon 7 laskelmat on esitetty liitteessä 1.

Taulukko 7. Hevosenlannan mädätyksessä syntyvän biokaasun ja saatavan lämpöenergian määrä [5, 9]

Hevosia (kpl)	1	5	10	15	20	25	50
Biokaasua (m <sup>3</sup> /a)	525	2 625	5 250	7 875	10 500	13 125	26 250
Tuotettu lämpöenergia, η=55 % (MWh/a)	1.4	7.2	14.4	21.7	28.9	36.1	72.2

Biokaasun hyödyntäminen lämmöksi on yksinkertainen prosessi ja investointikustannukset ovat pienemmät, kun verrataan sähköksi muuntamiseen. Sähkö voidaan tuottaa aggregaatilla tai turbiinilla. Biokaasusta täytyy poistaa rikkivety ja siloksaanit, jotta se voidaan hyödyntää sähköksi. Puhdistuksen jälkeen kaasu paineistetaan kompressorilla, jonka jälkeen reaktori voidaan lämmittää sähköntuotannosta saatavalla hukkalämmöllä. [9]

### 3.2.2 Poltto

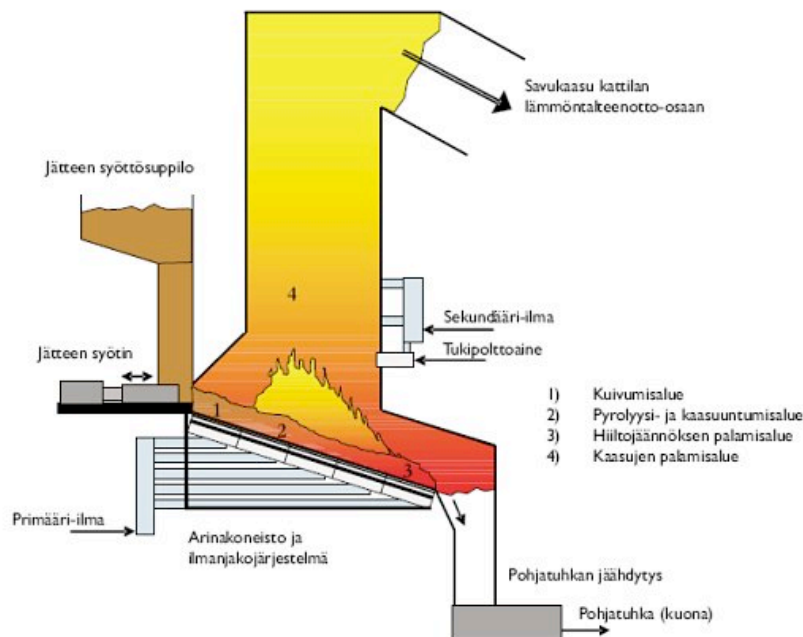
Suomessa hevosen kuivikelannan poltto on ollut tähän asti jätteenpolttamista ja sallittua vain, kun laitoksella on ympäristölupa, jätteenpolttolupa ja kun täytetään jätteenpolttoasetuksen 151/2013 vaatimukset [39]. Jätteenpolttoasetuksen vaatimukseen kuuluu jatkuvatoiminen päästöjen seuranta ja mittaus, joten käytännössä poltto on ollut mahdollista vain isoissa voimalaitoksissa ja rinnakkaisvoimalaitoksissa [40]. Jätteenpolttoasetukseen on kuitenkin tulossa muutos kevään 2017 aikana, eikä kuivikelannan polttoon tarvita enää jätteenpolttolupaa ja jatkuvaa päästöjen mittausta, joten poltto mahdollistuu myös pienemmässä mittakaavassa.

Energiatuotannossa lannan kosteus olisi hyvä olla korkeintaan 30–50 %, koska kosteus vaikuttaa olennaisesti lannasta saatavaan energiamäärään. Käytännössä tämä tarkoittaa, että kuivikelantaa on hyvä kuivata tai sitä tulee sekoittaa energiarikkaamman materiaalin, esimerkiksi hakkeen kanssa tai sitä täytyy pelletöidä, jotta polttaminen on

mahdollista. Energiatuotannon lisäksi, jätteenpoltossa tarkoituksena on pienentää jätteen massaa ja tilavuutta. Poltossa tulee olla käytettävissä happea ylimäärin, jotta täydellinen palaminen varmistetaan. Polttoprosessin sivutuotteena syntyy tuhkaa, johon ravinteet hapettuvat ja rikastuvat ja sille tulee järjestää hyötykäyttö tai loppusijoitus. Jätteenpolttomenetelmiä on useita, mutta biomassolle ja hevosen kuivikelannalle toimiva menetelmä on mekaaninen arinapoltto.

### 3.2.2.1 Arinapoltto

Arinapoltto on yleisin kiinteän polttoaineen jätteenpolttomenetelmä pienissä alle 5 MW:n yksiköissä, mutta se soveltuu myös kaikkiin polton kokoluokkiin. Arinapoltto perustuu polttoaineen hallittuun palamiseen mekaanisen eli liikuteltavan arinan päällä. Siinä ei tarvita esikäsitelyä ja tekniikka kestää kosteuden, lämpöarvon ja tuhkapitoisuuden vaihtelua. Arinan liike liikuttaa polttoainetta eri lämpötilavyöhykkeiden läpi, joita ovat kuivumis-, palamis- ja polttovyöhyke. Tulipesän rakenne pyritään suunnittelemaan, että eri vyöhykkeiden kaasut sekoittuvat ja palavat hyvin arinan yläpuolella yli 800 °C lämpötilassa. Ensin polttoaine kuivuu, jonka jälkeen siitä alkaa irrota tervoja ja kaasumaisia yhdisteitä pyrolyysireaktioiden kautta, jotka sitten palavat varsinaisessa palamisvyöhykkeessä. Pyrolyysireaktioiden jälkeen polttokelpoinen materiaali palaa arinan pinnalla. Arinan mitoitus vaikuttaa siihen, kuinka paljon pohjatuhkan jää palamatonta materiaalia. Tulipesästä poistuvissa savukaasuissa on runsaasti lämpöenergiaa, joten ne johdetaan lämmön talteenottokattilaan esijäähdytettynä. Kattilasta syntyvät savukaasut menevät puhdistukseen. Arinat ovat joko ilma- tai vesijäähdytteisiä. Kuvassa 9 on esitetty arinatulipesän rakenne.



Kuva 9. Arinatulipesän rakenne [41].

Jätteenpoltoasetuksen päästömääräysten mukaan poltossa kaasujen viipymäajan tulee olla vähintään kaksi sekuntia yli 850 °C lämpötilassa viimeisen ilmansyöttökohdan jälkeen prosessissa [40]. Tämä säädös jää voimaan myös kevään 2017 asetusmuutoksessa. Asetuksen tarkoituksena on varmistaa riittävä viipymäaika ja palaminen prosessissa, mikäli sekoittuminen ei ole täydellistä.

Hevosennan lämpöarvo on 65 % kosteudessa 4,5 MJ/kg ja 8 % kosteudessa 17,4 MJ/kg [9]. Tämän mukaan saadaan laskettua lannan poltosta saatava potentiaalinen lämpöenergian määrä. Taulukossa 8 on esitetty 1–50 hevosen lantamäärän poltosta saatava lämpöenergian määrä 60 % hyötysuhteella vuodessa. Laskelmat on esitetty liitteessä 2.

Taulukko 8. Kuivikelannan poltosta saatava lämpöenergian määrä eri hevospäärillä.

Hevosia (kpl)	1	5	10	15	20	25	50
Lantamäärä (kg/a)	8850	44 250	88 500	132 750	177 000	221 250	442 500
Lannasta saatava lämpöenergia, $\eta = 60\%$ (MWh/a)	6,7	33,4	66,7	100,1	133,4	166,8	333,5

Suomessa on tällä hetkellä 8–9 jätteenpolttolaitosta, joista 5 soveltuisi suoraan hevosenlannan polttamiseen. Rinnakkaispolttolaitoksia on 23 ja tekniikaltaan niistä 8–10 soveltuisi hevosenlannan polttoon [43]. Jätteenpolttoasetuksen vaatimukset täyttävä mittausjärjestelmä maksaa arvolisäveroineen noin 140 000–160 000 €, jonka takia poltto on ollut taloudellisesti kannattamatonta pienmittakaavassa tähän asti. Tulevaisuudessa, kun jatkuvatoimista savukaasujen mittausjärjestelmää ei tarvitse hankkia, kuivikelannan polton kustannukset pienenevät, mutta ovat silti edelleen isoja investointeja. [42]

### 3.2.2.2 Polttokokeet Suomessa ja Ruotsissa

Hevosenlannan polttoa on tutkittu Suomessa ja Euroopassa useamman tahon toimesta. VTT ja Työtehoseura toteuttivat 2008 hevosenlannan pienpolttohankkeen, jossa poltettiin 40 kW stokerisyöttöisessä kattilassa sahanpurulanta- ja turvelantaseoksia. Tupakanpolttoaineena molemmissa seoksissa käytettiin vielä haketta 60 % syöttösuhteella. Sahanpurulantahake-seoksen poltossa savukaasujen hiukkas-, orgaanisen hiilen kokonaismäärä (TOC), hiilimonoksidi- (CO) ja dioksiini- sekä furaanipitoisuudet (PCDD/F) ylittivät jätteenpolttoasetuksen sallitut raja-arvot. Turvelantahakeseoksen kohdalla ylittyi lisäksi vielä sallittu typen oksidien pitoisuus (NO<sub>x</sub>). Sahanpurulantaseoksen polton päästöt olivat kuitenkin vastaavat kuin puhtaan puun pienpolton päästöt. [44]

West Breeding Oy on myös tehnyt kuivikelannan koepolttotutkimuksen vuonna 2014. Mittaukset suoritettiin Turosteam Oy:n valmistamalla koepolttolaitoksella, jonka kokoluokka on 25–400 kW. Koepolttotutkimus tehtiin hevosenlanta-puru ja hevosenlanta-turve seoksilla ja sekoitussuhde oli noin 50/50. Mittaukset suoritettiin ISO/EN/SFS-standardien mukaan ja Rambol Analyticsin toimesta. Hevosenlantapuruseoksen savukaasupitoisuudet alittuivat pääosin kokeessa. Molemmilla seoksilla CO-pitoisuus kuitenkin ylitti tavoiteraja-arvon. Myös tässä tutkimuksessa lanta-turve seoksen SO<sub>2</sub>-, hiukkas-, PCDD/F-pitoisuudet ylittivät raja-arvot. [45]

Tavoiteraja-arvojen ylittyminen voi johtua heikoista palamisolosuhteista ja polttoprosessin pienestä mittakaavasta. Jätteenpolton raja-arvot on asetettu suuremman koko-

luokan laitoksille, joissa voidaan paremmin varmistaa täydellinen palaminen ja myös savukaasut saadaan puhdistettua hallitusti. Taulukossa 9 on esitetty Valtioneuvoston asetuksien 151/2013 ja 750/2013 päästöjen raja-arvot, VTT:n ja Työtehoseuran kuivikelannan polttokokeen tulokset sekä West Breeding Oy:n vastaavat tulokset. Päästöjen raja-arvo pitoisuudet on esitetty kuivissa kaasuissa NTP olosuhteissa (273,15 K; 101,3 kPa) ja laskettuna 11 % O<sub>2</sub> pitoisuudessa. [45]

Taulukko 9. VTT:n ja Työtehoseuran sekä West Breeding Oy:n kuivikelannan koe-polton mitatut savukaasupitoisuudet ja jätteenpolttoasetuksen raja-arvo pitoisuudet [44, 45].

Komponentti	Tavoite raja-arvo	Mitattu pitoisuus lanta/puru (mg/m <sup>3</sup> ) VTT & Työtehoseura	Mitattu pitoisuus lanta/turve (mg/m <sup>3</sup> ) VTT & Työtehoseura	Mitattu pitoisuus lanta/puru (mg/m <sup>3</sup> ) West Breeding Oy	Mitattu pitoisuus lanta/turve (mg/m <sup>3</sup> ) West Breeding Oy
NO <sub>x</sub>	340	340	520	60	245
CO	50	320	1700	956	1237
SO <sub>2</sub>	50	19	39	-	58
Hiukkaset	10	120	230	2,7	15,9
TOC	10	14	180	0,14	0,28
HCl	10	5	10	-0,05	-0,016
HF	1	< 2	< 2	-0,02	-0,009
PCDD/F	0,1	0,17	0,24	0,03	0,2

Ruotsissa Swebo Bioenergy Ab on myös tutkinut yhdessä Luulean teknologiayliopiston kanssa jo vuosia hevosen kuivikelannan polttamista. He ovat kehittäneet lannan polttokattilan, jolla voidaan polttaa kuivikelantaa, jonka kosteuspitoisuus voi olla jopa 60 %. Kattiloita on saatavilla 80–1000 kW kokoluokissa. Metlab Miljö Ab:n vuonna 2016 suorittaman polttokokeen päästöarvot on esitetty taulukossa 10. Polttokoe tehtiin 400 kW kattilalla ja hevosenlanta-puruseokselle.

Taulukko 10. Swebo Bioenergy Ab:n purulantaseoksen koepolton savukaasupitoisuudet [46].

<b>Komponentti</b>	<b>Mitattu pitoisuus lanta/puru (mg/m<sup>3</sup>) Swebo Bioenergy Ab</b>
<b>NO<sub>x</sub></b>	194
<b>CO</b>	51,8
<b>SO<sub>2</sub></b>	14,4
<b>Hiukkaset</b>	1,1
<b>TOC</b>	0,6
<b>HCl</b>	-
<b>HF</b>	-
<b>PCDD/F</b>	-

Myös Vapo Oy ja Fortum Oy ovat saaneet koepolttoluvat kuivikelannan poltolle ja tehneet koepolttoja. Polttokokeita on tehty vuoden 2016 aikana. Vapo sai luvan polttaa 1000 tonnia kuivikelantaa Forssan voimalaitoksellaan. Forssan voimalaitoksen pääpolttoaineet ovat jyrsinpolttoturve ja puuhake ja niiden seassa poltettiin hevosenlantaa 5 % syöttösuhteella. Vapo tarjoaa asiakkailleen myös lannankierrätyspalvelua, jossa turvekuivike toimitetaan tallille ja noudetaan jatkokäyttöön Vapon toimesta. Vapon tarkoitus on ensisijaisesti hyödyntää lanta ravinteiden kierrätyksessä eli viherkentämissä ja peltojen ja puutarhojen luonnonmukaisten lannoitteiden valmistamisessa. Fortumilla on puolestaan samanlainen konsepti nimeltä Horse Power -hanke, joka koostuu puupohjaisen kuivikkeen toimituksesta talleille ja kuivikelannan noudosta ja toimittamisesta voimalaitokselle. Lanta hyödynnetään Fortumilla vain energiankäyttöön ja sitä on poltettu noin 10 % syöttösuhteella. Hankkeella oli koetoimintajakso vuonna 2016 Järvenpään rinnakkaispolttolaitoksessa, mutta toiminta ja konsepti jatkuvat ja suunnitelmissa on myös laajentua tulevaisuudessa. Molemmat hankkeet ovat saaneet positiivisen vastaanoton ja positiivista palautetta talliyrittäjiltä. Palveluista ja niiden kustannuksista kerrotaan lisää myöhemmin kustannusosiossa. [47, 48]

### 3.2.3 Terminen kaasutus

Hevosenlantaa voidaan kaasuttaa puukaasuttimella, jota kutsutaan myös häkäpöntöksi. Kaasuttaminen tarkoittaa kiinteän polttoaineen polttamista ali-ilmalla, jolloin osa palavasta aineksestä jää hapettumatta. Tämän seurauksena syntyvään raakakaasuun



jää alkuperäisestä raaka-aineesta peräisin olevia aineksia, kuten hiilimonoksidia eli häkää, vetyä, metaania, typenoksideja, raskaita hiilivetyjä eli tervaa, merkaptaaneja ja hiukkasia. Lisäksi siinä voi olla pieniä määriä halogeeneja ja HCN:ää. Pääasiassa kaasu kuitenkin muodostuu hiilimonoksidista, vetykaasusta ja hiilidioksidista. Näiden lisäksi syntyy myös pohjakuonaa, jota muodostuu raaka-aineen epäorgaanisesta aineksesta. [49]

Hevosennälän kosteuspitoisuus on noin 65 % ja jotta saataisiin hyväläatuista tuotekäasua, raaka-aineen kosteuden tulisi olla alle 50 %. Kuivikelantaa täytyy siis kuivata ennen kaasutusta. Jätteenpolttoasetuksen mukaan kaasutus- ja pyrolyysilaitokset, jotka käsittelevät jätteen kaasutuksessa syntyvät savukaasut niin, etteivät ne aiheuta suurempia päästöjä kuin maakaasun polttaminen, on vapautettu jätteenpoltton vaatimuksesta. Asetuksen mukaan kaasutus ja pyrolyysi eivät ole palamista, koska ne ovat hapestomia prosesseja, joten niihin ei ole vuoden 2003 jälkeen päteneet samat vaatimukset kuin jätteenpolttoon. [49]

Kaasutuksen periaate on, että lanta laitetaan ensin kaasuttimeen, jonka lämpötila voi olla jopa 1000 astetta. Kehittyvä kaasu johdetaan kaasunpolttimeen, jossa siitä voidaan tuottaa sähköä tai kaukolämpöä. Kaasutuksen ensimmäiset vaiheet ovat samat kuin palamisessa. Aluksi polttoaine lämpenee kuivumislämpötilaan. Kuivumisen jälkeen seuraa pyrolyysi, jossa haihtuvat aineet kaasuuntuvat eli pyrolysoituvat ja palavat polttoaineen pinnalla. Lämmöntuonnin vuoksi kiinteä aine muuttuu kaasu- ja tervamaiseen muotoon. Pyrolyysivaihe on aina ennen kiinteän polttoaineen jäännöshiilen palamista tai kaasutusta. Kaasutuksessa tarvitaan happea lämmöntuotannon eli riittävän palamisen aikaansaamiseksi. Happi voidaan tuoda kaasuttimeen puhtaana hapeena tai ilman mukana. Polttoaineen ja ilman hapen suhdetta säätämällä voidaan pitää reaktorin lämpötila halutussa arvossa ja reaktorin tarvitsema lämpöenergia saadaan kaasutinreaktioissa vapautuvasta energiasta. [9, 50]

Puuhakkeen kaasuttamisella keskimääräinen kaasuntuotanto on noin 2,45–2,83 Nm<sup>3</sup>/kg [50]. Kun polttoainetta kaasutetaan puhtaalla ilmalla, saadaan matalalämpöarvoista tuotekäasua. Ilman mukana prosessiin tullut palamaton typpi alentaa lämpöarvoa, joka tuotekäasulla on noin 6 MJ/Nm<sup>3</sup>. Mikäli kaasutuskaasuna käytetään puolestaan puhdasta happea, on tuotekäasun lämpöarvo lähes kaksinkertainen eli noin

10–12 MJ/Nm<sup>3</sup>. Syntyvä raakakaasu täytyy puhdistaa kuitenkin ensin pienhiukkasista suodattimella, jotta siitä saadaan puhdasta tuotekaasua. [9]

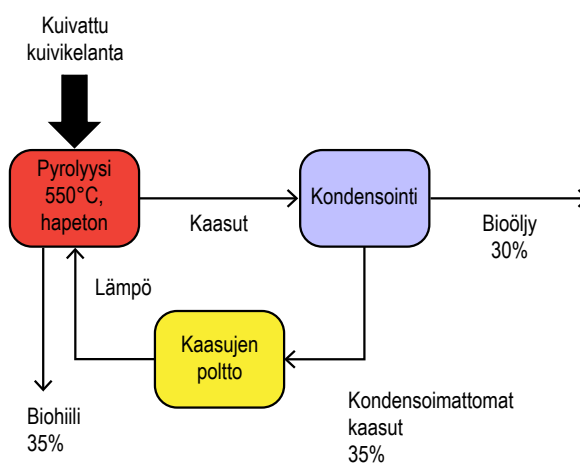
Pientuotannon kaasutusprosesseissa syntyvä kaasu voidaan hyödyntää lämmöksi tai sähköksi mm. Stirling-moottorilla. Se soveltuu alle 150 kW sähköntuotantoon. Stirling-moottorin periaate on, että se toimii kaasujen syklisen puristuksen ja laajenemisen avulla eri lämpötiloissa, siten että se muuntaa lämpöenergian mekaaniseksi työksi. Työkaasua kuumennetaan ensin lämmönvaihtimessa, jonka seurauksena työkaasu laajenee. Kylmää sylinterissä työkaasun tilavuus pienenee jäähtymisen seurauksena. Työkaasun tilavuusmuutokset muunnetaan sitten sylintereiden, tiiviiden mäntien ja kampikoneiston avulla mekaaniseksi energiaksi. Työkaasuna käytetään usein heliumia tai vetyä ja kaasu on paineistettu. Moottorin hyviä puolia on sen pitkä huoltoväli, hiljainen käyntiääni, pakokaasujen puhtaus ja CHP-tuotannossa se tuottaa vaivattomasti sähköä lämmöntuotannon ohessa. Stirling-polttimen päästöt ovat 10-kertaa pienemmät kuin päästöt Otto-moottorista katalysaattorilla. Stirling-moottorin kapasiteetti on sähköä 9 kW, lämpöteho 26 kW ja mahdollisen saavutettava kokonaisteho yli 95 %. Negatiivisia puolia sillä on kallis hinta ja moottorin suhteellisen pieni sähkön tuotannon hyötysuhde. [50, 51]

### 3.2.4 Pyrolyysi

Pyrolyysi on orgaanisen materiaalin hajottamista kuumentamalla massaa. Prosessi suoritetaan hapettomissa olosuhteissa, jolla estetään raaka-aineen palaminen. Tavoitteena prosessissa voi olla joko biohiili tai pyrolyysinesteet. Pyrolyysissa raaka-ainetta kuumennetaan yli 250 asteen ja sitä voidaan jatkaa aina 600 asteeseen asti, kunnes jäljellä on vain hiiltä. Nopeassa pyrolyysissa hienojakoinen raaka-aine kuumennetaan noin sekunnissa 300–550 °C lämpötilaan, jolloin noin 70 % raaka-aineesta muuttuu jäähtyessään nesteiksi, noin 15 % kaasuksi ja 15 % jäännöshiileksi. Nopeassa pyrolyysissa tavoitteena on pääasiassa pyrolyysinesteet eli bioöljy. Hidas pyrolyysi puolestaan toimii hitaasti ja siinä lämmitysajat ovat tunteja tai jopa päiviä. Lämpötila voidaan nostaa joko vaiheittain tavoitelämpötilaan tai yhdellä kertaa. Prosessiasteella eli käsittelyajalla, kuumennusnopeudella ja lämpötilan jaksotuksella vaikutetaan syntyvään lopputuotteeseen ja sen sisältämään energiamäärään. Prosessissa biomassan lämpöarvo eli energiasisältö massaa kohden kasvaa. [53]

### 3.2.4.1 Hidaspyrolyysi

Kuivikelannasta voidaan valmistaa biohiiltä hidaspyrolyysilla ja kuvassa 10 on esitetty prosessin periaatekuva. Kuivikelanta ja erityisesti puupohjainen kuivikelanta toimii hyvin prosessissa, jos se esikäsitellään ja kuivataan. Pyrolyysissa biomassan kosteuspitoisuus saa olla keskimäärin noin 15 %. Pienestä kosteudesta on jopa hyötyä, koska vesihöyry aiheuttaa hydrolyysiä, jolloin puupohjaisen kuivikkeen hemiselluloosa ja ligniini alkavat hajoamaan alhaisemmissa lämpötiloissa ja tämä tehostaa pyrolyysiprosessia. Pyrolyysin laitteistot ovat perinteisiä panostettavia miiluja tai modernimpia jatkuvatoimisia laitteistoja. Hidaspyrolyysi tapahtuu hapettomissa olosuhteissa ja siinä biomassan lämpötila nostetaan ensin hitaasti, keskimäärin noin 5–10 °C minuutissa, 400–550 asteeseen, kunnes hajoaminen on valmis. Lämpö tuodaan prosessiin epäsuorasti, esimerkiksi kuuman hiekan avulla. Prosessissa lopputuotteina syntyy biohiiltä, tuotekaasua ja tervan kaltaista tislettä. Puupohjaisella kuivikkeella saadaan noin 35 % biohiiltä, 35 % synteetikaasua ja 30 % bioöljyä. Kaasut sisältävät mm. metaania, vetyä, hiilimonoksidia ja hiilidioksidia. Ravinteet eivät hapetu pyrolyysiprosessissa yhtä tehokkaasti kuin normaalissa poltossa, jossa prosessin lämpötila on korkeampi. Prosessin tavoitteena onkin säilyttää ravinteet ja saada biohiileen mahdollisimman korkea hiilipitoisuus. [53]



Kuva 10. Pyrolyysiprosessin periaatekuva. (Kuva: Maija Mäihäniemi)

Pyrolyysiprosessilla lannan ravinteet saataisiin tiiviiseen muotoon biohiileksi ja ne olisi helppo kuljettaa käyttö- ja loppusijoituspaikkaan. Biohiilen hyviä puolia ovat sen pitkäikäisyys ja että se lisää mikrobiaktiivisuutta, kerää ravinteita kasvien juurten käyttöön, lisää maan vedenpidätyskykyä ja näin estää myös liettymistä. Biohiili soveltuu lannoitteeksi, maanparannusaineeksi ja myös kalkitukseen. Se on todella hyvä lannoite ja maanparannusaine. Biohiili on myös hyvä lisä kompostoinnin seosaineena, koska se sitoo ravinteita itseensä kompostoituvasta massasta ja näin vähentää päästöjä. Tutkimuksissa on todettu, että sen käyttö kompostimassassa vähentää kompostoisprosessin hiilipäästöjä noin 20–25 % ja typpipäästöjä noin 12– 20 % [54]. Hiilen palautuminen pelloille on myös hyvä asia, koska se korjaisi maan hiilivajetta ja hiilen mukana maahan saataisiin palautettua myös fosforia, joka on ehtyvä arvokas luonnonvara. [53]

Suurin haaste kuivikelannan pyrolysoinnissa on korkea vesipitoisuus. Pyrolyysilaitteet kuivaa lantaa huonolla hyötysuhteella, joten kuivikelanta tulee esikäsitellä ja kuivata jo ennen pyrolyysia. Märkää kuivikelantaa ei ole järkevää pyrolysoida millään laitteistolla, jos halutaan tuottaa biohiilen lisäksi energiaa. Esikäsitely ja kuivaus vie neljäsosan raaka-aineen energiasta, joten prosessista saatava hyöty tulee käytännössä vain biohiilestä. Hyvä menetelmä olisi esim. pelletöidä tai briketöidä kuivikelanta heti tuoreena, joten se olisi helppoa muodossa kuivata. Näin saataisiin suurin mahdollinen lannan energia talteen ja hyödynnettyä. [8, 52]

### 3.3 Hyötykäyttömenetelmien yhteenveto

Seuraaviin taulukoihin 11 ja 12 on koottu hyötykäyttömenetelmien ominaisuuksia. Taulukossa 11 on esitetty kompostointimenetelmien ajallinen kesto ja kompostimassan pienentyminen.

Taulukko 11. Kompostoitumisaika ja kompostimassan pienentyminen eri menetelmissä.

Menetelmä	Aktiivinen vaihe	Jälkikompostointi	Massan pienentyminen prosessissa
Aumakompostointi	21 - 28 d	6 - 12 kk	30 %
Rumpukompostointi	7 - 10 d	2 - 3 kk	50 %
Tuubikompostointi	21- 28 d	6 - 12 kk	30 %
Talli-Jussi	21 - 28 d	2 - 3 kk	50 %

Taulukossa 12 on esitetty puolestaan energiahyödyntämismenetelmien prosessiolosuhteet sekä syntyvät pää- ja sivutuotteet.

Taulukko 12. Energiahyödyntämismenetelmien prosessiolosuhteet, pää- ja sivutuotteet.

	Mädätys	Poltto	Terminen kaasutus	Pyrolyysi
<b>Reaktiolämpötila</b> °C	33–37	850	700–1000	250–600
<b>Olosuhteet</b>	Hapeton	Ilma ylimäärin	Kontrolloitu O <sub>2</sub> ja H <sub>2</sub> O, vähemmän kuin poltossa	Hapeton
<b>Energiantuotto-potentiaali</b> MWh/hevonen/a	1,4 ( $\eta=55\%$ )	6,7 ( $\eta=60\%$ )	3,3	-
<b>Päätuotteet</b>	NH <sub>3</sub>	Lämpöenergia	synt.kaasu	synt.kaasu
<b>Sivutuotteet</b>	CO <sub>2</sub> + mädäte	CO <sub>2</sub> + tuhka	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, kuona	biohiili, pyrolyysiöljy, terva, H <sub>2</sub> O

## 4. LAINSÄÄDÄNTÖ

Lainsäädäntö asettaa rajoitteita ja vaatimuksia tallien sijoittamiselle, lannan varastoinnille ja käsittelylle. Suomessa hevosenlanta luokitellaan jätelain 646/2011 ja EU:n sivutuoteasetuksen mukaan eläinperäiseksi sivutuotteeksi ja jätteeksi. Maatalous- ja puutarhakäytössä hevosenlantaan sovelletaan ympäristönsuojelulakia 527/2014, lannoitevalmistelakia 593/2006 ja valtioneuvoston asetusta eräiden maa- ja puutarhataloudesta peräisin olevien päästöjen rajoittamisesta 1250/2014, jota kutsutaan lyhyemmin nitraattiasetuksiksi. Energiakäyttöön sovelletaan puolestaan jätelakia 646/2011, Valtioneuvoston asetuksia 151/2013 ja 750/2013 jätteen polttamisesta, lakia eläimistä saatavista sivutuotteista 517/2015 ja ympäristönsuojelulakia 527/2014 sekä asetusta 713/2014. [39, 40, 55, 56, 57]

Kuivikelannan polttoa koskeva sivutuote- ja ympäristölainsäädäntö on tällä hetkellä murroksessa ja muutoksen alla. Suomessa lannan poltto on ollut tähän asti mahdollista jätteenpolttolaitoksissa, joilla on jätteenpolttolupa ja jatkuvatoiminen päästöseuranta. Käytännössä se on ollut mahdollista vain suuren mittakaavan jätteenpolttolaitoksissa, koska pienmittakaavassa se olisi liian kallista ja siksi kannattamatonta. Lannan energiakäyttöön on kuitenkin nyt tulossa keväällä 2017 helpotusta. Euroopan unioni hyväksyi EU:n sivutuoteasetuksen täytäntöönpanoasetuksen 142/2011/EU muutoksen 17.1.2017. Asetusmuutoksen ansiosta lannan poltto sallitaan jatkossa ilman jätteenpolttolupaa ja polton vaatimukset lieventyvät. Suomessa lanta pyritään silti edelleen hyödyntämään jätelain mukaisesti eli ensisijaisesti lannoitteena ja maanparannusaineena ja toissijaisesti energiana, vaikka poltto helpottuukin. [58]

### 4.1 Jätelaki

Suomen jätelaki 646/2011 pohjautuu Euroopan unionin jätedirektiiviin 2008/98/EY. Jätelaki määrittelee, mitä jäte on ja säätelee sen käsittelyä, valvontaa ja lupajärjestelyitä. Jätelain tavoitteena on suojella ympäristöä ja ihmisten terveyttä, vähentää jätteen määrää ja ehkäistä roskaantumista, sekä edistää luonnonvarojen kestäväää käyttöä. Jätelain määritelmän mukaan jätteellä tarkoitetaan ainetta tai esinettä, jonka sen haltija on poistanut tai aikoo poistaa käytöstä taikka on velvollinen poistamaan käytöstä 646/2011. Jätelain määritelmä on yhtenäinen EU:n jätedirektiivin kanssa. [39]

Valtioneuvoston asetuksessa jätteen polttamisesta 151/2013 liitteessä on esitetty jäte-luettelo, jossa maataloudessa syntyneet eläinten ulosteet, virtsa ja lanta mainitaan ja määritellään jätteiksi. Jätelaissa on kuitenkin soveltamisrajoituksia ja lakia ei sovelle-ta eläimistä saataviin sivutuotteisiin siltä osin, kuin EU:n sivutuoteasetuksessa 1069/2009/EY on säädetty lannasta ja käsitellyistä tuotteista. Sivutuoteasetus määrit-telee tuotantoeläinten lannan eläinperäiseksi sivutuotteeksi. Tämä tarkoittaa sitä, että raaka-aineena käytettävä lanta ja käsittelemätön lanta, joka käytetään peltojen lannoit-tukseen ja maanparannukseen, jää jätelain soveltamisalan ulkopuolelle. Poikkeuksena kuitenkin on, jos lanta viedään poltettavaksi, käsiteltäväksi biolaitokseen eli biokaasu-tai kompostointilaitokseen tai kaatopaikalle, niin se kuuluu jätelain soveltamisalan piiriin ja toimintaan tarvitaan ympäristölupa. Hevosennannan kaatopaikkasijoitus on loppunut kokonaan 1.1.2016 alkaen. [39, 40]

Jätelain mukaan jätteen hyödyntämisessä tulee aina noudattaa etusijajärjestystä. Tämä tarkoittaa hevosennannan kohdalla, että pyritään ehkäisemään jätteen määrän synty-mistä ja kun sitä syntyy, varmistetaan, että se hyödynnetään ja kierrätetään ensisijai-sesti aineena ja toissijaisesti vasta energiana. Lannan energiakäyttö jätelain mukaan tulisi olla aina vasta toissijainen vaihtoehto. [39]

## **4.2 Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta**

Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta 151/2013 ja Valtioneuvoston asetus polt-toaineteholtaan alle 50 megawatin energiatuotantoyksiköiden ympäristövaatimuksista 750/2013 pohjautuvat EU:n jätteenpolttodirektiiviin 2000/76/EY. Jätteenpolttodirek-tiivin säännökset on sisällytetty tarkistettuina Euroopan parlamentin ja neuvoston IE direktiiviin 2010/75/EU. Asetuksissa määritellään jätteen polton ja siitä syntyvien päästöjen vaatimukset. Asetuksia sovelletaan jätteenpolttolaitoksiin ja jätteen rinnak-kaispolttolaitoksiin, joissa poltetaan kiinteää tai nestemäistä jätettä, kuten hevosennan-taa. Soveltamisalan ulkopuolelle jäävät kaasutus- ja pyrolyysilaitokset, joissa jätteen lämpökäsittelyssä syntyvä kaasu puhdistetaan niin hyvin, että se ei ole enää jätettä ennen sen polttamista ja sen poltosta ei synny päästöjä, jotka ovat suurempia kuin maakaasun poltossa syntyvät päästöt. Hevosennan kuivikelannan hyödyntämiseen näillä tekniikoilla lainsäädäntö tuo helpotusta. [39, 40]

Jätteenpolttoasetuksella 151/2013 ja lisäksi ympäristönsuojeluasetuksella 713/2014 säädetään vaatimukset kaikelle jätteenpoltolle, muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Vaatimukset perustuvat parhaaseen käytettävissä olevaan tekniikkaan ja koskevat poltettavan jätteen laadun selvittämistä, poltto-olosuhteita, päästöjä ilmaan ja veteen, päästöjen mittaamista, toimintaa häiriötilanteissa ja poltossa syntyvän jätteen käsittelemistä ja hyödyntämistä. Jätteenpolttolaitoksella tulee olla ympäristönsuojelulain mukainen ympäristölupa ja ilmaan johdettaville päästöille on tehtävä jatkuvatoimiset mittaukset typenoksideille (NO<sub>x</sub>), hiilimonoksidille (CO), orgaanisen hiilen kokonaismäärälle (TOC), suolahapolle (HCl), vetyfluoridille (HF), rikkidioksidille (SO<sub>2</sub>) sekä hiukkasten kokonaismäärälle. Jatkuvat mittaukset tulee tehdä myös lämpötilalle uunin sisäseinämän läheisyydessä sekä savukaasujen happipitoisuudelle, paineelle, lämpötilalle sekä vesihöyrylle. Lisäksi kaksi kertaa vuodessa tulee vielä mitata raskasmetallit, dioksiinit ja furaanit (PDD/F). [40, 59]

### **4.3 Laki eläimistä saatavista sivutuotteista**

Laki eläimistä saatavista sivutuotteista 517/2015 perustuu EU:n sivutuoteasetukseen 1069/2009/EY. EU:n asetuksen tavoitteena on turvata riittävä hygieniataso tautivairallisten mikrobien leviämisen ehkäisemiseksi ja varmistaa sivutuotteiden tunnistettavuus ja jäljitettävyys kaikissa vaiheissa. Laki eläimistä saatavista sivutuotteista 517/2015 ja sen nojalla annettu maa- ja metsätalousministeriön asetus eläimistä saatavista sivutuotteista 783/2015 sisältävät kansalliseen toimeenpanoon liittyvät sivutuotteiden käytön ja hävityksen helpotukset. Lisäksi laki säätelee lannan käsittelyä, viranomaisvalvontaa ja lupajärjestelyitä. Suomessa Evira myöntää laitoshyväksynnän. [57]

Hevosien kuivikelanta luokitellaan sivutuoteasetuksen 1069/2009 perusteella eläinperäiseksi sivutuotteeksi ja sen käytössä ja hävityksessä tulee noudattaa sivutuotelainsäädäntöä. Asetus ja laki määrittelevät, että kuivikelantaa saa levittää käsittelemättömänä maahan ja kompostoida ja muuntaa biokaasuksi käsittelemättömänä tai käsiteltynä, kun viranomainen ei katso näihin sisältyvän tartuntataudin riskiä. Jos lantaa käsitellään tallilla omaan käyttöön tai luovutetaan eteenpäin tuotteistamattomana korkeintaan 100 m<sup>3</sup> vuodessa, ei toiminta vaadi Eviran laitoshyväksyntää, eikä hygieniakriteerejä tarvitse täyttää. Sivutuoteasetuksen mukaan lantaa saa myös käyttää orgaanisten lannoitevalmisteiden valmistuksessa raaka-aineena. Sivutuoteasetuksella sää-



dellään myös lannan käsittely komposti- ja biokaasulaitoksessa ja vaatimukset, mitkä valmisteen tulee täyttää. Vaatimukset riippuvat siitä halutaanko kompostia tai mädätettä saattaa markkinoille vain kansallisesti vai myös EU-alueella. Molemmissa tapauksissa laitoksella tulee olla Eviran laitoshyväksyntä, mutta hygieniavaatimukset hieman vaihtelevat mm. salmonellan ja E.colin osalta. [57]

#### 4.3.1 Lainsäädännön muutokset

EU:n sivutuoteasetuksen täytäntöönpanoasetukseen 142/2011/EY on Suomen aloitteesta haettu muutosta, jonka Euroopan unioni on hyväksynyt 17.1.2017. Asetusmuutos julkaistaan virallisesti kevään 2017 aikana ja se astuu voimaan tämän jälkeen. Se tulee helpottamaan hevosen kuivikelannan energiakäyttöä erityisesti pienpolttolaitoksissa, koska jatkossa ei enää tarvita erillistä jätteenpolttolupaa ja jätteen polttaminen on asetusmuutoksen ansiosta mahdollista myös tavanomaisissa polttolaitoksissa. Asetusmuutoksen astuttua voimaan lantaa polttavat laitokset voidaan hyväksyä sivutuotelainsäädännön vaatimusten mukaisesti, eikä laitosten tarvitse enää täyttää jätteenpolttolainsäädännön vaatimuksia. Polttoa koskevat velvoitteet keventyvät ja laitoksilta ei enää vaadita mm. kallista jatkuvatoimista päästöjen mittaamista. [58]

Ympäristönsuojelun taso säilyy silti hyvänä, vaikka kevennyksiä on luvassa. Asetusmuutos sisältää edelleen vaativia valvontaa koskevia määräyksiä, jotka liittyvät polttoprosessiin, päästöjen raja-arvoihin ja päästömittauksiin. Polttoprosessissa lämpötila on nostettava vähintään 2 sekunniksi 850 asteeseen. Muita vaatimuksia ovat polttolaitoksen lisäpoltin, jolla varmistetaan riittävä lämpötila kaikissa tilanteissa, lämpötilamittausten kirjanpitovelvollisuus ja päästöjen raja-arvojen mittaus vähintään kerran vuodessa. Lämpötila- ja viipymäaika-vaatimuksille on asetusmuutoksessa asetettu kuuden vuoden siirtymäaika, joten olemassa olevilla laitoksilla on aikaa toteuttaa tarvittavat muutokset. Päästöille säädetyt raja-arvot ovat: rikkidioksidi  $50 \text{ mg/m}^3$ , typen oksidit  $200 \text{ mg NO}_2/\text{m}^3$  ja hiukkaset  $10 \text{ mg/m}^3$ . Pienille, alle 50 MW laitoksille, asetus antaa liikkumavaraa ja hiukkaspäästöt saavat olla enintään  $50 \text{ mg/m}^3$ . Suuremmille polttoaineyksiköille, jotka polttavat lantaa rinnakkaispolttoaineen kanssa, päästöjen raja-arvoja sovelletaan kansallisesti tiettyjen laskentasääntöjen mukaan. [58]

#### **4.4 Lannoitevalmistelaki**

Lannoitevalmistelainsäädännöllä säädelään lannoitevalmisteiden käyttöä, valmistusta, markkinoille saattamista, tuontia ja vientiä EU:n alueella. Lannoitevalmistelain 539/2006 tavoitteena on, että Suomessa markkinoille saatettavat lannoitevalmisteet ovat turvallisia, hyvälaatuisia ja kasvintuotantoon sopivia. Lain tarkoituksena on edistää lannoitevalmisteiksi soveltuvien sivutuotteiden hyötykäyttöä, kun ne eivät aiheuta vaaraa tai haittaa ihmisen tai eläinten terveydelle, kasveille tai ympäristölle ja kun niillä on positiivisia vaikutuksia kasvien kasvuun. Laki edellyttää kaikilta toimijoilta omavalvontasuunnitelmaa ja laitoshyväksyntää laitoksilta, jotka valmistavat orgaanisia lannoitevalmisteita. [43, 56]

Lannoitevalmistelain lisäksi lannoitevalmisteita säätelee Maa- ja metsätalousministeriön asetus 24/11 ja sen muutokset 12/15 ja 21/15. Asetuksessa säädetään yksityiskohtaisemmin lannoitevalmisteiden tyypeistä, tyyppiryhmistä ja tyyppinimikohtaisista vaatimuksista, lannoitevalmisteiden laatu-, merkintä-, pakkaus-, kuljetus-, varastointi-, käyttö- ja muista vaatimuksista sekä lannoitevalmisteiden raaka-aineista. [43, 56]

Toiminnanharjoittajan tulee tehdä ilmoitus toiminnasta Eviralle ennen toiminnan aloittamista. Ilmoitusvelvollisuus ei koske niitä toiminnanharjoittajia, jotka harjoittavat vain tukku- tai vähittäiskauppatoimintaa tai jotka varastoivat, kuljettavat tai käyttävät lannoitevalmisteita tai niiden raaka-aineita vain omassa toiminnassaan. Lannoitevalmistelain 539/2006 mukaan lannoitteen valmistajalla tulee olla myös asianmukaiset tilat, laitteet ja kalusto lannoitevalmisteiden sekä niiden raaka-aineiden valmistukseen, säilytykseen ja kuljetukseen. [56]

#### **4.5 Valtioneuvoston asetus eräiden maa- ja puutarhataloudesta olevien päästöjen rajoittamisesta**

Valtioneuvoston asetus 1250/2014 eräiden maa- ja puutarhataloudesta peräisin olevien päästöjen rajoittamisesta muutoksineen 435/2015 ja 1261/2015 säätelevät hevosenlannan käyttöä lannoitteena. Asetusta kutsutaan lyhyemmin nitraattiasetukseksi ja sillä säädelään kemiallisten ja orgaanisten lannoitteiden käyttöä, lannan varastointia ja erilaisten rakennelmien sijoittamista. Asetus määrittelee miten ja milloin hevosen-

lantaa saa levittää pelloille. Lannoitteet on levitettävä siten, että valumia ei pääse muodostumaan ja maan tiivistymisvaaraa ei ole. Hevoselannan ja orgaanisten lannoitteiden levittäminen pellolle on kiellettyä marraskuun alusta maaliskuun loppuun. Kieltoajan alusta, marraskuun osalta, voidaan tehdä poikkeus, jos lantaa ei ole voitu hyödyntää pellolla kasvukauden aikana poikkeuksellisten sääolosuhteiden takia. Tällaisia sääolosuhteita ovat pitkään jatkunut sade ja kostea kausi, joka on aiheuttanut peltoon liian kosteat olosuhteet. Asetus siis myös kieltää lannan levityksen liian kosteaan, lumipeitteiseen tai routaiseen maahan. Jos kieltoajasta poiketaan, tulee toiminnanharjoittajan tehdä tästä ilmoitus kunnan ympäristöviranomaiselle viimeistään lokakuun loppuun mennessä. [3]

Hevoselantaa saa säilyttää pellolla levitysaikana enintään neljä viikkoa, jos sen kuiva-ainepitoisuus on vähintään 30 %. Kun lanta on levitetty peltoon, tulee se muokata siihen vuorokauden sisällä. Lannan levitys on täysin kiellettyä viiden metrin etäisyydellä vesistöistä ja kiellettyä vielä tämän jälkeen viiden metrin vyöhykkeellä, jos lantaa ei muokata vuorokauden sisällä peltoon. Kaltevilla pelto-olosuhteilla, joiden kaltevuus vähintään 15 % lanta tulee muokata peltoon viimeistään 12 tunnin kuluttua levityksestä. Jos pelto sijaitsee lähellä talousveden hankintaan käytettävien kaivojen tai lähteiden ympärillä, on olosuhteet huomioon ottaen jätettävä vähintään 30–100 metrin vyöhyke, jolle lantaa tai orgaanisia lannoitevalmisteita ei levitetä. [61]

Asetus velvoittaa toiminnanharjoittajaa teettämään lannasta viiden vuoden välein lanta-analyysin, jossa selvitetään ravinnepitoisuudet. Toiminnanharjoittaja on myös kirjapitovelvollinen ja hänen tulee pystyä esittämään viranomaiselle lannoitusmäärät, satotasot ja lannan levityksen ajankohdat. Lanta-analyysissä selvitetään lannan sisältämä liukoinen typpi, kokonaistyppi ja kokonaisfosfori. Lannoituksesta tehdään sitten suunnitelma joko lanta-analyysin tai Valtioneuvoston asetuksen 435/2015 liitteessä esitettyjen taulukkoarvojen mukaan. Tuotantoeläinten lannassa ja orgaanisissa lannoitevalmisteissa kokonaistypen määrä saa olla enintään 170 kg/ha vuodessa. Liukoisen typen sallitut enimmäismäärät on esitetty asetuksen 11§:ssä eri kasveille. 1000 kg kompostoitua hevoselantakuiviketta sisältää noin 3,5 g typpeä, 0,6 kg fosforia ja 14 kg kalsiumia ja lisäksi hiukan hivenaineita. Nitraattiasetuksen mukaan sitä voidaan siis käyttää lähes 50 tonnia/ha, jos vain lannan fosforimäärä ei tule vastaan [60]. [3]

Nitraattiasetuksella säädellään myös lannan varastointi ja lain mukaan tilalla, jolla kertyy lantaa tuotantoeläinten pidosta, tulee olla katettu lannan varastointitila eli lantala. Asetuksen mukaan hevosta kohden lantaa syntyy vuodessa noin 17 m<sup>3</sup> (hevonen > 150 cm), ponia kohden 12 m<sup>3</sup> (poni 120–150cm) ja pienponia 8 m<sup>3</sup> (poni < 120 cm). Asetuksen mukaan lannan varastointitilaan tulee mahtua tallilla 12 kuukauden aikana syntynyt lanta- ja virtsamäärä. Tästä voidaan poiketa, jos toiminnanharjoittaja on tehnyt sopimuksen lannan luovutuksesta toisen tahon kanssa, joka vastaanottaa lantaa ympäristönsuojelulain 527/2014 mukaan myönnetyn ympäristöluvan perusteella. Tällaisia toimijoita ovat esimerkiksi mullan valmistajan, jätteen polttajat ja maanviljelijät. Muita lantalan tilavuutta vähentäviä poikkeuksia ovat muun muassa pitkä laidunusaika vuodessa ja että lantaa syntyy alle 25 m<sup>3</sup>. Jos lantaa syntyy alle 25 m<sup>3</sup>, voidaan lanta varastoida lantalan sijaan katetulla siirtolavalla. [3]

#### **4.6 Ympäristölupavaatimukset**

Ympäristönsuojelulain 527/2014 mukainen ympäristölupa tarvitaan hevostallille, jolla on yli 60 hevosta tai ponia. Myös luparajan alittavalta hevosmäärältä voidaan edellyttää lupaa, jos talli sijaitsee pohjavesialueella (28 §) tai sen toiminnasta voi aiheutua kohtuutonta haittaa ympäristölle tai naapureille. Näissä tapauksissa luvan vaatimista voidaan perustella muun muassa ympäristönsuojelulain mukaisella maaperän pilaamiskiellolla (16 §), pohjaveden pilaamiskiellolla (17 §), yleisellä luvanvaraisuudella (27 §) ja lailla eräistä naapuruussuhteista 26/1920. Pienet ja keskisuuret tallit eivät siis välttämättä tarvitse toimintaansa ympäristölupaa. Ympäristönsuojelulain mukaan ympäristölupaa ei myöskään tarvita, jos vaarattomaksi käsitelty hevosenlanta hyödynnetään lannoitteena tai maanparannusaineena. [55]

Kuivikelannan hyötykäyttömenetelmien kohdalla ympäristölupa tarvitaan, jos lanta hyödynnetään energiakäytössä polttamalla, kaasuttamalla tai mädätyksellä. Ammatillinen kompostointitoiminta vaatii myös ympäristöluvan, esimerkiksi Humuspehtoori Oy:llä ja Helsingin seudun ympäristöpalvelut kuntayhtymän Metsäpirtin kompostointikentällä on toiminnallaan ympäristöluvut. [55]

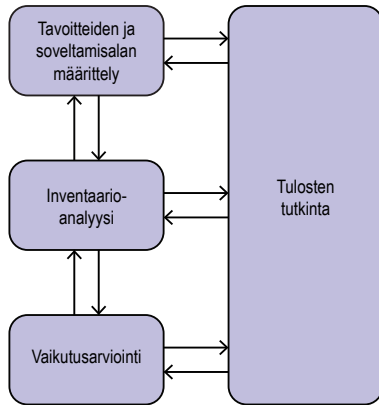
## **5. ELINKAARIARVIONTI**

Elinkaariarviointi eli LCA (Life Cycle Assessment) on ISO 14040-sarjan standardeihin perustuva menetelmä, jolla tuotteeseen tai palveluun liittyviä ympäristövaikutuksia voidaan tutkia koko sen elinkaaren ajalta. Elinkaarella tarkoitetaan tuotteen tai palvelun vaiheita sen alkutuotannosta loppusijoitukseen eli niin sanotusti kehdosta hautaan ja näitä ovat esimerkiksi raaka-aineen hankinta, tuotanto, käyttö, käytöstä poistaminen ja kierrätys tai vaihtoehtoisesti jätteen hyötykäyttö. Tuotteen tai palvelun elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten arviointi on erittäin tärkeää kestävä kehityksen mukaisessa toiminnassa ja kun halutaan vähentää taloudellisen toiminnan aiheuttamaa ympäristökuormitusta. Elinkaariarvioinnin avulla saadaan tietoa ympäristövaikutuksista elinkaaren eri vaiheissa ja näin ongelmiin voidaan puuttua ja estää niiden siirtyminen vaiheesta toiseen. [62]

### **5.1 ISO-standardit ja elinkaariarvioinnin vaiheet**

Elinkaariarviointi perustuu viiteen voimassa olevaan kansainväliseen standardiin. Periaatteet ja pääpiirteet on esitelty standardissa ISO 14040 (2006) ja vaatimukset ja suuntaviivat taas ISO 14044 (2006) standardissa, joka myös opastaa miten elinkaariarvioinnin eri vaiheissa tulee toimia. ISO/TR 14047 ja ISO/TR 14049 (2000) ovat teknisiä raportteja, jotka opastavat esimerkkien avulla ISO 14040 ja ISO 14044 standardien soveltamista. ISO/TS 14048 (2002) esittelee yleiset kehykset ja vaatimukset inventaariotietojen raportointiin. [62]

Elinkaariarviointiin koostuu neljästä päävaiheesta: tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, inventaarioanalyysi, vaikutusarviointi ja tulkinta. Kaikki vaiheet ovat kaksisuuntaisia eli yksittäinen vaihe hyödyntää muiden vaiheiden tuloksia ja jokaisesta vaiheesta on mahdollista palata aiempiin tarkistamaan niiden lähtökohtia ja oletuksia (kuva 11). [62]



Kuva 11. Elinkaariarvioinnin vaiheet ISO 14040 (2006) standardin mukaan.

### 5.1.1 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely

Elinkaariarvioinnin ensimmäinen vaihe, tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, on tärkeä vaihe, koska siinä määritellään tutkimuksen tavoitteet ja soveltamiskohde, näihin liittyvät rajaukset, raportointivaatimukset ja tutkimuksen laajuus. Selvityksen kohdetta kutsutaan tuotejärjestelmäksi ja se jaetaan joukkoon yksikköprosesseja. Tässä vaiheessa määritellään tutkimuksessa käytettävä toiminnallinen yksikkö, jota kohti arvioinnin tulokset esim. päästöt ja ympäristövaikutukset kohdennetaan. Lisäksi päätetään mitä vaikutusluokkia tarkastellaan. [63]

### 5.1.2 Inventaarioanalyysi

Inventaarioanalyysin (Life Cycle Inventory analysis, LCI) tarkoituksena on kerätä yksityiskohtaiset tiedot koko tuotejärjestelmästä. Inventaariovaiheessa saadaan tietoa tarkastellun tuotejärjestelmän käyttämisestä energia-, materiaali- ja kemikaalipanoksista sekä prosessin aiheuttamista päästöistä ympäristöön sekä syntyvistä jätteistä. Päästöjä ovat esimerkiksi hiilidioksidipäästöt ilmaan ja ravinne- eli typpi- ja fosforipäästöt vesistöihin. Pelkän inventaariotiedon perusteella ei tule tehdä vielä päätelmiä aiheutuvista ympäristövaikutuksista, vaan tämän takia elinkaariarvioinnissa on oma vaikutusarviointiprosessi. Inventaarioanalyysin aineisto koostuu kuormitustekijöistä. Sen vaiheissa selvitetään tarkasteltavan tuotejärjestelmän perusvirrat eli syötteen, luonnonva-

rojen kuluminen ja niiden määrä, sekä tuotokset, luontoon joutuvat päästöt ja niiden määrä toiminnallista yksikköä kohti. [62, 63]

### 5.1.3 Vaikutusarviointi

Vaikutusarviointi (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) on elinkaariarvioinnin vaihe, jonka tarkoituksena on ymmärtää ja arvioida tuotejärjestelmän potentiaalisten ympäristövaikutusten laajuutta ja merkittävyyttä koko tuotteen elinkaaren aikana inventaarioanalyysin perusteella. Tässä vaiheessa saadut inventaariotiedot ryhmitellään vaikutusluokkiin ja inventaariotulokset muunnetaan näiden mukaisiksi ympäristövaikutusluokkaindikaattorituloksiksi ja näin yritetään ymmärtää kyseisiä vaikutuksia. Vaikutusarviointi koostuu neljästä vaiheesta: luokittelu, karakterisointi, normalisointi ja painotus. Vaikutusluokat voidaan jakaa kolmeen luokkaan: luonnonvarojen käyttö, vaikutukset terveyteen ja ekologiset vaikutukset. Yksityiskohtaisempia vaikutusluokkia ovat esimerkiksi ilmastonmuutos, otsonikato, rehevöityminen, happamoituminen, pienhiukkaset, alailmakehän otsonin muodostuminen, ekotoksisuus, toksisuus ihmisille, melu, maankäyttö, luonnonvarojen ehtyminen, luonnon monimuotoisuus, kuivuminen ja suolaantuminen. [62]

Vaikutusarviointi lähtee liikkeelle karakterisoinnista, jossa tarkasteltaville vaihtoehdoille lasketaan eri vaikutusluokkaindikaattoritulokset. Karakterisoinnissa vaikutusluokkien päästöt muutetaan samaan mittaan toisiinsa nähden ja muunnetaan kaikki hiilidioksidiekvivalenteiksi karakterisointikertoimien avulla. Erilaisten indikaattoritulosten vertailu voi olla hankalaa ja jotta ymmärretään, mikä ympäristön kannalta on paras vaihtoehto. Tätä varten elinkaariarvioinnin vaikutuspotentiaaleja voidaan vertailla käyttämällä normalisointia tai painotusta. Normalisointitekijä voi olla, että verrataan saatuja tuloksia johonkin suurempaan kokonaisuuteen, esimerkiksi Suomen tai Euroopan päästöihin. Jos normalisoinnista ei ole apua käytetään painotusta. Painotuksessa tarkoituksena on laittaa eri vaikutusluokat tärkeysjärjestykseen ja tuloksena saadaan kokonaisvaikutusluokkaindikaattoritulokset jokaiselle vaihtoehdolle. Tuloksista voidaan sitten poimia paras tai parhaat vaihtoehdot. Painotus on osa vaikutusarviointimenetelmää, mutta sen käyttö on elinkaariarvioinnin ISO-standardien mukaan vapaaehtoista, kuten myös normalisoinnin ja vaikutusluokkien ryhmittelykin. Kokonaisvaikutusluokkaindikaattoritulosten kohdalla tulee aina tulkita tuloksia varovaisesti ja

niistä ei saa vetää liian suoria johtopäätöksiä, koska tulokset ovat subjektiivisia. Elinkaariarvioinnin ISO 14044 standardissa ohjeistetaan, että painotusta ei tulisi käyttää lainkaan, jos elinkaariselvitys on julkinen kokonaisuus. [62, 63].

#### 5.1.4 Tulosten tulkinta

Elinkaariarvioinnin lopussa arvioidaan jokaista tutkimuksen vaihetta ja selvitetään merkittävimmät tekijät mitkä ovat vaikuttaneet saatuihin tuloksiin. Tärkeitä kohtia on tulosten todenmukaisuuden, herkkyuden ja johdonmukaisuuden arviointi ja näistä tehdään lopuksi johtopäätökset. Tulosten arvioinnissa selvitetään elinkaariarvioinnin tai inventaarioanalyysin tulosten luotettavuus, kun käydään läpi kaikki käytetyistä menetelmistä johtuvat rajoitukset ja seuraukset. Arvioinnissa tulisi huomioida täydellisyys, herkkyys sekä tehdä tarkistuksia. Tulosten tulkintavaiheen lopussa tehdään johtopäätökset, tunnistetaan rajoitukset ja annetaan suosituksia kohderyhmälle. Tulosten tulkintavaiheen tulisi tuottaa määritellyn tavoitteen ja soveltamisalan mukaisia tuloksia. Läpinäkyvyys tulee huomioida tuloksia tarkasteltaessa ja myös elinkaariarvioinnin jokaisessa vaiheessa [62, 63].

## 5.2 Elinkaariarvioinnin työkalut

Elinkaariarviointi lähtee käyntiin työläästä inventaariotiedon keräämisvaiheesta. Tämän vaiheen avuksi markkinoilla on lukuisia elinkaariarvioinnin tietokantoja, jotka voidaan jakaa kolmeen ryhmään tiedollisen kattavuuden ja maksullisuuden perusteella: 1) ilmaiset tietokannat, 2) ilmaiset yhteen alaan keskittyvät tietokannat ja 3) maksulliset kattavat tietokannat, joista löytyy monen eri toimialan tietoja. Ensisijaisesti elinkaariarvioinnissa tulisi käyttää primääritietoa eli yksityiskohtaista prosessikohtaista tietoa ja vasta sitten sekundäärisiä tietolähteitä eli tietokantoja. Suuri osa tietokannoista perustuu keskimääräiseen tietoon ja näin ollen niiden sisältämä tieto on tuotteiden ja palveluiden keskimääräisiä tuotanto-olosuhteita. [63].

Tässä työssä elinkaariarvioinnissa käytetään maksullista Gabi 7.3.3 software-elinkaariarviointiohjelmaa. Uusin versio Gabi 7.3.3 on saksalaisen Thinkstep-nimisen yrityksen kehittämä ohjelmisto ja on yksi käytetyimmistä elinkaariarvioinnin ohjelmistoista, jolla voidaan arvioida tuotteiden, prosessien ja palveluiden elinkaaren ai-



kaisia ympäristövaikutuksia [64]. Se vastaa elinkaariarvioinnin ISO-standardin vaatimuksia ja käsittää koko tuotteen tai palvelun elinkaaren raaka-aineista loppukäyttöön. Ohjelmiston avulla voidaan laskea myös tuotteen tai palvelun kokonaiskustannukset koko sen elinkaaren ajalta, jolloin voidaan arvioida ja vertailla eri vaihtoehtojen taloudellisia näkökohtia keskenään. Arvioinnin avulla yritys saa tietoa investointien, projektien ja hankkeiden kustannustekijöistä ja tarvittavista resursseista. Gabi 7.3.3 sisältää kattavat tietokannat, jotka ovat erityisen tärkeitä elinkaariarvioinnin onnistumiselle. Ohjelmistoon voidaan valita kolme tietokantaa jotka ovat: Gabi Database, Ecoinvent ja U.S. LCI [64]. Lisäksi ohjelma tarjoaa käyttäjälleen mahdollisuuden vielä itse tarkentaa syötteitä tai tuotoksia. Ecoinvent 3.3 on uusin tietokanta ja se on hyvin kattava ja sisältää kansainvälisen teollisen elinkaari-inventaarioanalyysin energiatuotannon, materiaalityönteon, kemikaalien, metallien, maatalouden, jätteen käsittelyn ja kuljetuksen aloilta [65].

## **6. HYÖTYKÄYTTÖMENETELMIEN YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ELINKAARIARVIOINTI**

Työn kokeellisen osan tarkoituksena oli selvittää hevosenlannan hyötykäyttömenetelmien ympäristövaikutukset ja vertailla niitä keskenään. Näin voidaan arvioida ympäristön kannalta järkevimät vaihtoehdot hevosenlannan hyödyntämiselle eri kokoisilla lantamäärillä, kun huomioidaan lisäksi kustannukset. Tieto missä kohtaa ympäristövaikutukset syntyvät yksittäisessä menetelmässä, auttaa kehittämään menetelmää ja ehkäisemään syntyviä ympäristövaikutuksia. Hyödyntämisreittejä kutsutaan arvoketjuiksi ja niille jokaiselle luodaan oma arvokortti, jossa esitetään kyseisen reitin tärkeät tiedot.

Jokaisella arvoketjulla on oma kohderyhmä ja minkä kokoiselle hevos- ja lantamäärälle kyseinen menetelmä soveltuu. Kaikki menetelmät eivät sovellu pienien lantamäärien käsittelyyn, eivätkä toiset taas hyvin suurien lantamäärien käsittelyyn. Käytetty kuivike asettaa myös vaatimuksia hyödyntämismenetelmän valintaan.

## 6.1 Aineisto ja käytetyt menetelmät

Työssä elinkaariarvioinnin työkaluna käytettiin Gabi 7.3.3 -elinkaariarviointi ohjelmistoa ja Ecoinventin uusinta 3.3 tietokantaa. Ohjelmisto perustuu ISO 14040 standardiin. Elinkaariarvioinnissa mallinnettiin jokaisen arvoketjun eli hevosenlannan hyödyntämismenetelmän aiheuttamat ympäristövaikutukset kerätyn inventaariotiedon perusteella. [64]

## 6.2 Tavoite ja soveltamisalan määrittely

Työn tavoitteena oli löytää ympäristön kannalta paras menetelmä kuivikelannan käsittelylle eri lantamäärille. Arviointiin sisällytetyt menetelmät esiteltiin aiemmin kirjallisuusosiossa ja ne ovat: aumakompostointi, rumpukompostointi, tuubikompostointi, Talli-Jussi järjestelmä, kuivämädätys, poltto, terminen kaasutus ja pyrolyysi. Elinkaariarvioinnin vaikutustenarviointi rajattiin hyödyntämismenetelmien aikana syntyneiden ympäristövaikutusten selvittämiseen. Laskennassa jätetään huomioimatta kuivikkeen valmistuksesta ja hankinnasta syntyvät ympäristövaikutukset. Menetelmässä mahdollisesti syntyvän lopputuotteen ja sen käytön ympäristövaikutukset jätetään myös huomioimatta. Hevosenlanta on siis päästötön, kun se tulee hyödyntämismenetelmään. Työssä piirrettiin jokaiselle arvoketjulle havainnollistava kuva menetelmästä Adobe Illustrator -ohjelmalla ja lisäksi prosessilohkokaavio. Prosessilohkokaaviot esitetään liitteissä 3–10 jokaisen menetelmän yksityiskohtaisessa arvokortissa.

Työssä tuotejärjestelmä on hevosenlannan hyödyntäminen ja jokainen arvoketju on sen alainen yksikköprosessi. Toiminnallisena yksikkönä työssä käytetään 1000 kg tuoretta hevosen lantaa ilman kuiviketta. Yksi hevonen tuottaa keskimäärin 8850 kg/a lantaa ja 24,25 kg/d [5]. Toiminnallisen yksikön lisäksi tarvittiin tietoja mm. päästökertoimista, päästöistä, lannan ominaisuusarvoista, kuljetusmatkoista, prosessien perustiedoista ja energiankulutuksesta. Yksityiskohtaisemmat menetelmäkuvaukset on esitetty luvun seuraavassa alajakeessa.

Työssä lasketaan arvoreittien elinkaariset ympäristövaikutukset vaikutusluokissa, joita ovat: ilmastonmuutos (Global warming potential, GWP), happamoituminen (Acidification potential, AP), rehevöityminen (Eutrofication potential, EP), otsonikato (Ozone

layer depletion potential, ODP) ja alailmakehän otsonin muodostuminen (Photochemical ozone creation potential, POPC). [63]

### 6.3 Inventaarioanalyysi

Inventaarioanalyysivaiheessa selvitettiin jokaisen arvoketjun yksityiskohtaiset tiedot eli syötteet ja tuotokset toiminnallista yksikköä kohden. Gabin tai Ecoinventin tietokannoista ei löytynyt kaikkia prosesseja ja niiden päästötietoja, joten päästökertoimia selvitettiin kirjallisuudesta ja tämän jälkeen laskettiin syntyvät päästöt toiminnallista yksikköä kohti. Arvoketjuja vastaavia prosesseja löytyi huonosti tietokannoista, joten osa prosesseista mallinnettiin kokonaan itse. Energiahyödyntämisen prosessien mallintaminen olisi kuitenkin ollut niin työlästä, joten osassa jouduttiin valitsemaan lähin vastaava prosessi, joka löytyi tietokannasta.

#### 6.3.1 Hevoselanta

Kirjallisuudesta selvitettiin laskentaa varten hevoselannan ominaisuustiedot. Alla olevassa taulukossa 13 on ilmoitettu hevoselannan koostumus kg/t lantaa, jonka arvojen perusteella päästöt laskettiin.

Taulukko 13. Hevoselannan koostumus [5].

Arvo	Hevoselanta
Lantaa/hevonen/a (t)	8,85
N <sub>tot</sub> , kokonaistyppeä, (kg/t)	4,6
P <sub>tot</sub> , kokonaisfosfori, (kg/t)	0,9
K <sub>tot</sub> , kokonaiskalium, (kg/t)	3,1
C, hiili (kg/t)	138
Kuiva-aine (kg/t)	350,5
Orgaaninen aine (kg/t)	283,1

#### 6.3.2 Kompostointi

Gabin tai Ecoinventin tietokannoista ei löytynyt päästötietoja kompostointiprosesseista, joten kompostointia varten selvitettiin kirjallisuudesta päästökertoimet ja laskettiin

kompostoinnissa syntyvät päästöt. Lähteenä käytettiin ruotsalaista Gävlen yliopistossa vuonna 2015 tehtyä Hennessyn ja Erikssonin elinkaariarviointi- ja inventaarioraporttia hevosenlannan energiasta ja ravinteista. Tutkimuksessa on esitetty päästökertoimet kompostointiprosessille ja rumpukompostoinnille. Siinä on myös vertailtu päästöker-toimia muista kirjallisuustutkimuksista, joten sen tiedot ovat kattavia. [66]

Kompostoinnissa syntyvät ilmapäästöt ovat ammoniakki, metaani, typpikaasu, dityppioksiidi ja hiilidioksiidi. Hiilidioksidipäästöjä ei huomioida, koska ne ovat bioperäisiä ja niiden katsotaan voivan sitoutua uudelleen biomassaan. Metaanipäästöt puolestaan huomioidaan ja on arvioitu, että 2 % hajoavasta hiilestä vapautuu metaanina. Bioha-joavan massan sisältämästä typestä on arvioitu, että suurimmillaan ilmaan voi haihtua noin 25–50 %. Kompostoinnin päästökertoimet ja niiden avulla lannan koostumukses-ta lasketut päästöt on esitetty taulukossa 14. [35]

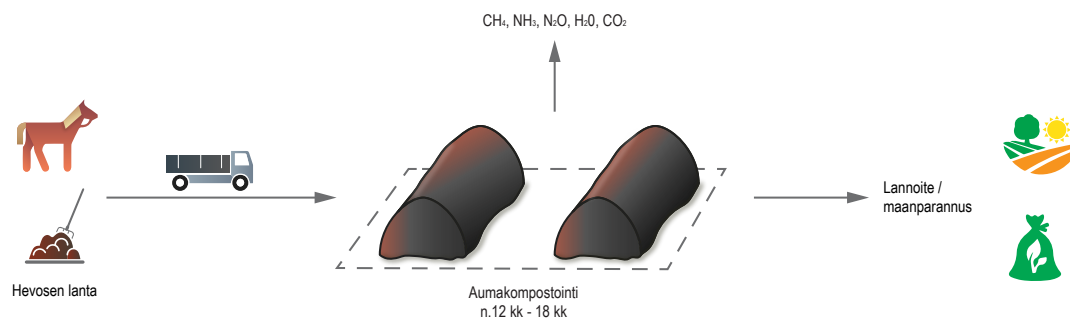
Taulukko 14. Kompostointiprosessin aiheuttamat päästöt [5, 66].

<b>Päästö</b>	<b>Päästökerroin (%)</b>	<b>Kompostointiprosessin päästö (kg/t)</b>
CH <sub>4</sub> (% C <sub>tot</sub> )	2,00	2,760000
NO <sub>3</sub> (% N <sub>tot</sub> )	0,033	0,001518
NH <sub>3</sub> (% N <sub>tot</sub> )	10,00	0,460000
NH <sub>4</sub> (% N <sub>tot</sub> )	0,004	0,000184
N <sub>2</sub> O (% N <sub>tot</sub> )	0,25	0,011500
N <sub>2</sub> (% N <sub>tot</sub> )	0,3	0,013800
P (% P <sub>tot</sub> )	0,7	0,006300

### 6.3.2.1 Aumakompostointi

Aumakompostointi on tarkoitus suorittaa ammattimaisella kompostointikentällä, jolla on toimintaan myös ympäristölupa. Tässä menetelmässä lantaa kerätään ensin tallin omaan lantalaan tai vaihtoehtoisesti katettuun vaihtolavaan. Lantala tai vaihtolava tyhjennetään sopimukseen mukaan, kun lantaa on kertynyt vaihtolavallinen. Tämän jälkeen lanta kuljetetaan kompostointikentälle, jonka kanssa on tehty sopimus. Tyhjennyskerrat tulee minimoida ja aina tulee kuljettaa täysiä kuormia. Menetelmäkuvaus on esitetty kuvassa 12. Aumakompostoinnin aumojen kääntäminen kuluttaa energiaa ja polttoainetta ja polttoaineen kulutus on koko kompostointiajalla noin 1,5 kg/t [35].

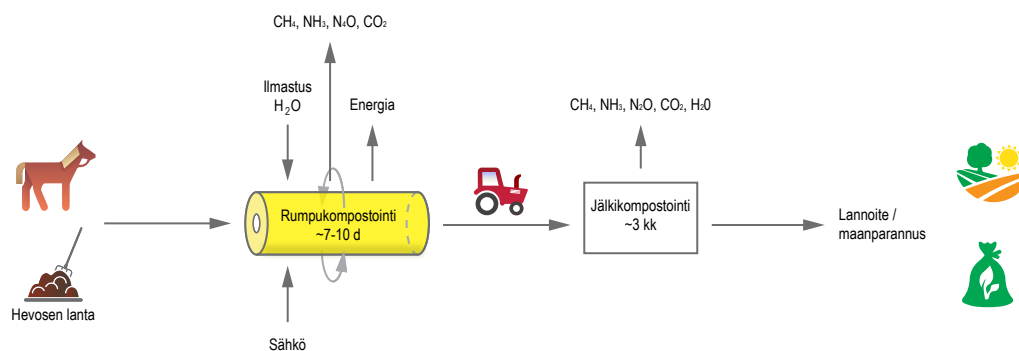
Aumakompostointi kestää noin vuoden ja massa pienenee noin 30 %. Laskennassa käytetään taulukon 14 päästöjä ja kuljetusmatkana käytetään 50 kilometriä. Ecoinventin 3.3 tietokannasta kuljetuksessa käytetään 7,5–16 m<sup>3</sup> kuljettamiseen tarkoitettua kuorma-autoa ja prosessi on ”Transport freight lorry 7,5-16 metric ton EURO4” ja inventaariotieto on Euroopan keskiarvotietoa.



Kuva 12. Aumakompostoinnin periaatekuva (Kuva: Maija Mäihäniemi).

### 6.3.2.2 Rumpukompostointi

Rumpukompostointimenetelmässä rumpukompostorin on ajateltu sijaitsevan tallin sisällä tai sellaisen matkan päässä, että lantaa voidaan kuljettaa kompostoriin kottikärryillä päivittäin. Kuivikelanta kompostoituu kompostorissa noin 7-10 päivää ja massan tilavuus pienenee noin 25 %. Rumpukompostoinnin jälkeen kuivikelantaa jälkikompostoidaan vielä 2–3 kuukautta, jolloin massa pienenee lopulta puoleen alkuperäisestä. Menetelmäkuvaus on esitetty kuvassa 13. Ympäristövaikutusten mallintamisessa ei huomioida kuljetusta lainkaan, vaan jälkikompostoinnin on ajateltu tapahtuvan tallin pihapiirissä, joten lantaa ei tarvitse kuljettaa kuorma-autolla jälkikompostointiin. Mikäli rumpukompostoitua lantaa kuitenkin kuljetettaisiin kauemmaksi jälkikompostointiin, olisi sen ympäristövaikutus pienempi kuin muilla kompostointimenetelmillä, koska kuivikelannan massa pienenee lyhyessä ajassa heti 25 % ja näin myös kuljetustilavuus ja päästöt pienentyvät.



Kuva 13. Rumpukompostoinnin periaatekuva (Kuva: Maija Mäihäniemi).

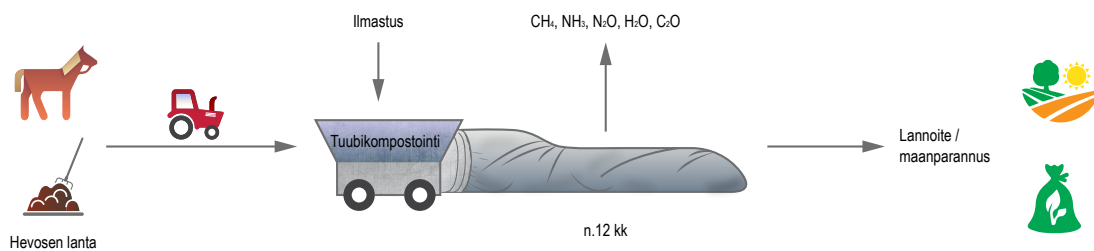
Rumpukompostointi kuluttaa sähköä noin 79,2 MJ kohti 1000 kg lantaa. Gabin tai Ecoinventin tietokannoista ei löytynyt prosessitietoja rumpukompostoinnille, joten kirjallisuudesta selvitettiin jälleen päästökertoimet ja näiden avulla laskettiin syntyneet päästöt menetelmän eri vaiheissa. Lähteenä käytettiin aiemmin mainittua Hennesyn ja Erikssonin (2015) tutkimusta [66]. Päästökertoimet ja päästöt on esitetty taulukossa 15. Ecoinventin 3.3 tietokannasta sähköntuotannon prosessiksi valittiin ”Market for electricity medium voltage” ja inventaariotieto on Suomesta.

Taulukko 15. Rumpukompostoinnin ja jälkikompostoinnin päästökertoimet ja syntyvät päästöt [66].

<b>Päästö</b>	<b>Päästökerroin (%)</b>	<b>Rumpukompostoinnin päästö (kg/t)</b>
CH <sub>4</sub> (% C <sub>tot</sub> )	0,82	1,1316
N <sub>2</sub> O (% N <sub>tot</sub> )	0,01	0,0005
NH <sub>3</sub> (% N <sub>tot</sub> )	1,02	0,0469
NH <sub>4</sub> (% N <sub>tot</sub> )	0,01	0,0005
<b>Päästö</b>	<b>Päästökerroin (%)</b>	<b>Jälkikompostoinnin päästö (kg/t)</b>
CH <sub>4</sub> (% C <sub>tot</sub> )	0,04	0,0552
N <sub>2</sub> O (% N <sub>tot</sub> )	0,26	0,0120
NH <sub>3</sub> (% N <sub>tot</sub> )	1,77	0,0814
NH <sub>4</sub> (% N <sub>tot</sub> )	-	-

### 6.3.2.3 Tuubikompostointi

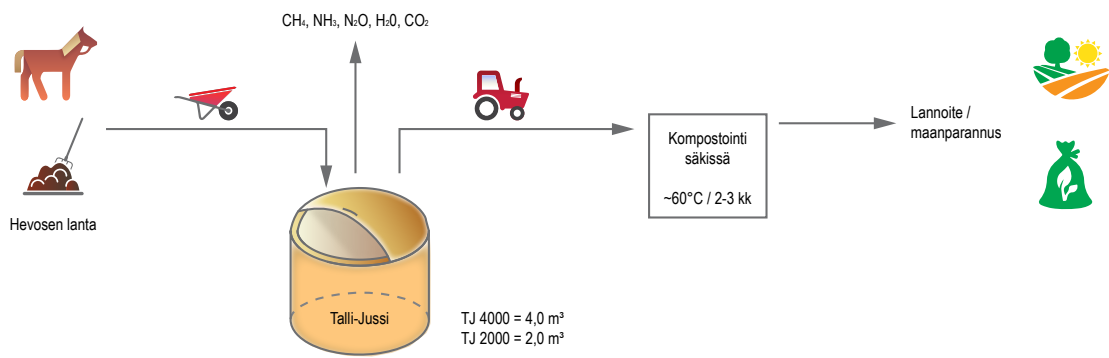
Tuubikompostoinnissa lantaa kerätään tallin omaan lantalaan tai vaihtoehtoisesti ka-  
tettuun vaihtolavaan. Lantala tyhjenetään sopimuksen mukaan joko tallin tai viljeli-  
jän toimesta, kun kuivikelantaa on kertynyt vaihtolavallinen. Kuivikelannan kulje-  
tusmatkana tuubituspaikalle käytetään 20 kilometriä. Menetelmäkuvaus on esitetty  
kuvassa 14. Kirjallisuudessa tuubikompostoinnin yhteydessä on mainittu, että järkevä  
maksimi kuljetusmatka on noin 20 kilometriä, joten sen vuoksi tämä arvo valitaan  
laskentaan. Tuubikompostointi kestää noin vuoden ja massa pienenee 30 %. Lasken-  
nassa käytetään taulukossa 14 laskettuja kompostoinnin päästöjä. Ecoinventin 3.3  
tietokannasta kuljetuksessa käytetään prosessia ”*Transport freight lorry 7,5-16 metric  
ton EURO4*” ja inventaariotieto vastaa Euroopan keskiarvoa.



Kuva 14. Tuubikompostoinnin periaatekuva (Kuva: Maija Mäihäniemi).

### 6.3.2.4 Talli-Jussi

Talli-Jussissa kuivikelantaa kerätään kottikärryillä päivittäin järjestelmään. Kolmen  
hevosen tallilla suuremman 4m<sup>3</sup> järjestelmän kestoäkki täyttyy noin kuukaudessa.  
Säkin täytyessä säkki nostetaan koneellisesti jälkikompostoitumaan tallin pihapiiriin.  
Menetelmäkuvaus on esitetty kuvassa 15. Talli-Jussissa kompostoitumisaika on noin  
3 kuukautta ja laskennassa käytetään taulukossa 14 laskettuja päästöarvoja. Kuljetus-  
matkana käytetään 2 km. Talli-Jussi järjestelmässä koneellinen kuljetus muodostuu  
täyden kestoäkin siirtelystä tallin pihapiirissä traktorilla jälkikompostoitumaan. Kul-  
jetukselle käytetään Ecoinventin 3.3 tietokannasta prosessia ”*Transport tractor and  
trailer agricultural*”.



Kuva 15. Talli-Jussin periaatekuva (Kuva: Maija Mäihäniemi).

### 6.3.3 Energiahyödyntäminen

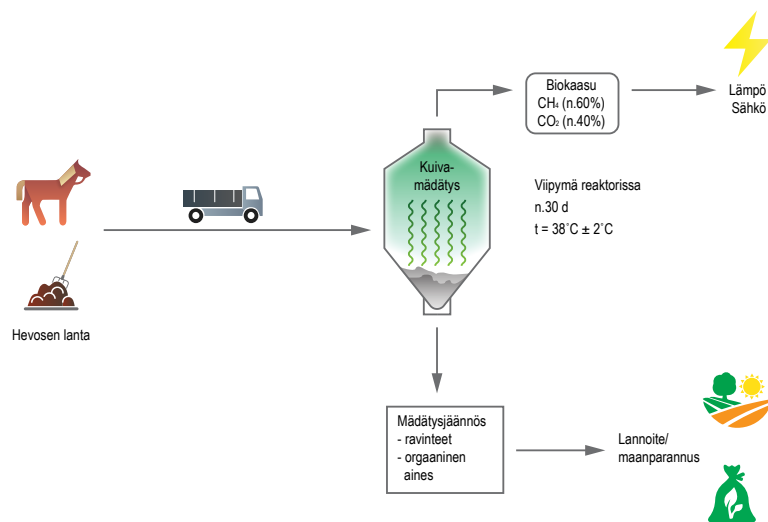
Energiahyödyntämisen kaikissa menetelmäketjuissa oletetaan, että lantaa varastoidaan ensin tallin omaan lantalaan tai katettuun vaihtolavaan ja kun lantaa on kertynyt vaihtolavallinen, se kuljetetaan sopimuksen mukaan käsiteltäväksi keskitettyyn laitokseen. Energiakäytön menetelmät ovat kalliita investointeja, joten ne ovat mahdollisia vain harvoille talleille, koska yli 50 % Suomessa sijaitsevista talleista on alle 3 hevosen talleja [11]. Kuljetusmatkana kaikissa energiakäytön menetelmissä käytetään 50 km. Hevosenlanta on tarkoitus kuljettaa kuorma-autolla käsiteltäväksi ja ympäristövaikutusten mallinnuksessa käytetään Ecoinventin 3.3 tietokannasta prosessia ”*Transport freight lorry 7,5-16 metric ton EURO4*”, jonka inventaariotieto vastaa Euroopan keskiarvoa.

#### 6.3.3.1 Kuivamädätys

Gabin tai Ecoinventin tietokannoista ei löytynyt kuivamädätysprosessia. Lähin vastaava prosessi oli märkämädätysprosessi naudanlannalle ja sen inventaariotietoa käytettiin kuivamädätysmenetelmän mallintamisessa. Valittu yksikköprosessi on ”*Anaerobic digestion of manure*” ecoinventin tietokannasta. Valittu prosessi kuluttaa sähköä 239,7 MJ kohti 1000 kg mädätettävää raaka-ainetta. Tuloksia tulee tarkastella varovaisesti, koska märkä- ja kuivamädätysmenetelmät eroavat toisistaan ja se aiheuttaa virhemarginaalia. Märkämädätysmenetelmä on raskaampi prosessi, joten kuivamädätysmenetelmän vaikutusarviointitulokset ovat saatuja tuloksia todennäköisesti



hieman pienemmät. Hevonen tuottaa vuodessa keskimäärin 525 m<sup>3</sup> biokaasua, joten 1000 kg lantaa kohden saadaan noin 61,1 m<sup>3</sup> biokaasua. Kuivamädätyksessä mädätettävä massa pienenee noin 13 %, joten prosessissa syntyy mädätysjäännöstä noin 870 kg. Ecoinventin 3.3 tietokannasta sähkö valittiin prosessin “*Market for electricity low voltage*” mukaan ja inventaariotieto on Suomesta. Kuivamädätyksen menetelmäkuvaus on esitetty kuvassa 16.



Kuva 16. Kuivamädätyksen periaatekuva (Kuva: Maija Mäihäniemi).

### 6.3.3.2 Poltto

Gabin tai Ecoinventin tietokannoista ei löytynyt sopivaa polttoprosessia kuivikelannan poltolle, joten kirjallisuudesta selvitettiin poltossa syntyvät päästöt. Lähteenä on käytetty ruotsalaista Andras Bakyn 2013 tekemää elinkaariarviointi- ja inventaarioreporttia hevosen kuivikelannan poltosta. Tutkimus on tehty Ruotsin maatalouden ja ympäristötekniikan instituutissa (JTI) ja se on osa Baltic Manure hanketta, joka on yksi Euroopan Unionin Itämeri-strategian lippulaivahankkeista. EU rahoittaa hanketta ja myös Suomen ympäristökeskus on mukana yhtenä asiantuntijana. Hankkeen tavoitteena on tehdä lantaongelmista liiketaloutta muuttamalla jäte resurssiksi. Lähde ja sen tietoja voidaan pitää kattavina. [67]

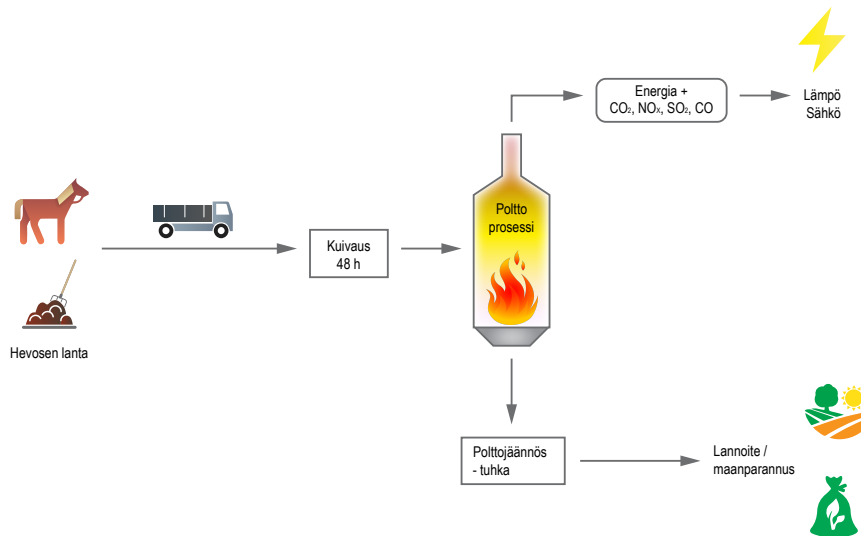
Hevoselannan polttomenetelmässä kuivikelantaa kuivataan ennen polttoa 48 tuntia 10 % kosteuteen. Kuivaus kuluttaa energiaa 1919 MJ kohti 1000 kg lantaa. Ecoinven-

tin 3.3 tietokannasta sähkö valittiin ”*Market for electricity medium voltage*” ja inventaariotieto on Suomesta. Kuivauksessa massa pienenee noin 56 % ja on kuivauksen jälkeen 438 kg. Kuivauksessa syntyvät päästöt on esitetty taulukossa 16. Kuivauksen jälkeen lanta poltetaan. Hevosenlannan lämpöarvona lähteen tiedoissa on käytetty 13 655 MJ/t poltettua lantaa ja se on laskettu lannan koostumuksen mukaan. Energiatohokkuuden on ajateltu olevan poltossa 80 %. Kun vähennetään kuivauksen energiantarve, voidaan laskea prosessin lämmöntuotto, joka on 9005 MJ/t kuivattua lantaa. Polttomenetelmässä kuivausprosessi kuluttaa sähköä, mutta polttoprosessilla pystytään kattamaan kuivauksen sähkönkulutus ja vielä tuottamaan energiaa tämän lisäksi. Prosessissa syntyy tuhkaa noin 7 % alkuperäisestä massasta eli 71 kg. Poltossa syntyvät päästöt on esitetty taulukossa 16 ja niitä käytetään laskennassa. [67]

Taulukko 16. Kuivauksen ja polton päästöt kg/t hevosenlantaa [67].

Arvo	Kuivauksen päästö (kg/t)
NH <sub>3</sub>	1,2252
NO	0,2799
CO <sub>2, BIO</sub>	42,3181
Arvo	Polton päästö (kg/t)
NO <sub>x</sub>	2,6859
CO	1,1281
SO <sub>2</sub>	2, 5258
CO <sub>2, BIO</sub>	1306

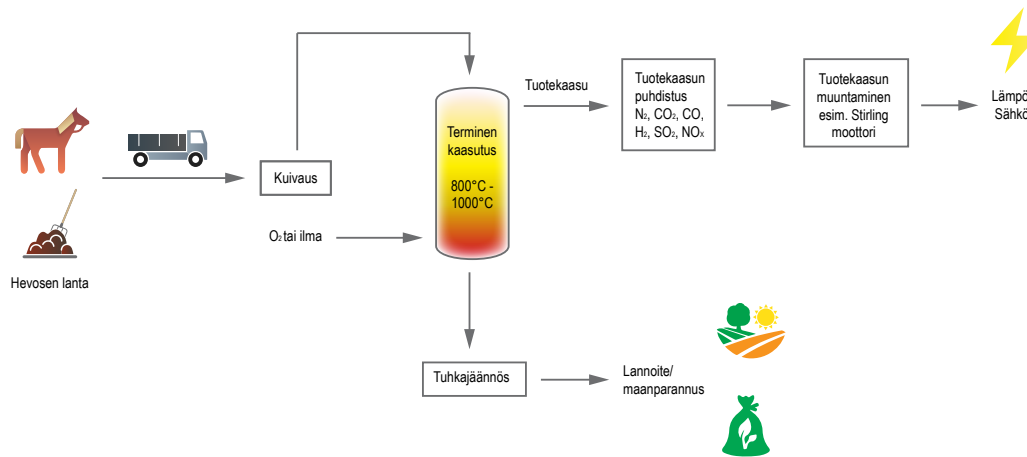
Biomassan poltosta vapautuvat hiilidioksidipäästöt katsotaan hiilineutraaleiksi biogeenisiksi päästöiksi, joten vaikka taulukossa 13 on ilmoitettu kuivauksessa ja poltossa syntyvät hiilidioksidipäästöt havainnollisuuden vuoksi, niin niitä ei huomioida vaikutusarvioinnissa. Polton menetelmäkuvaus on esitetty kuvassa 17.



Kuva 17. Polton periaatekuva (Kuva: Maija Mäihäniemi).

### 6.2.2.3 Terminen kaasutus

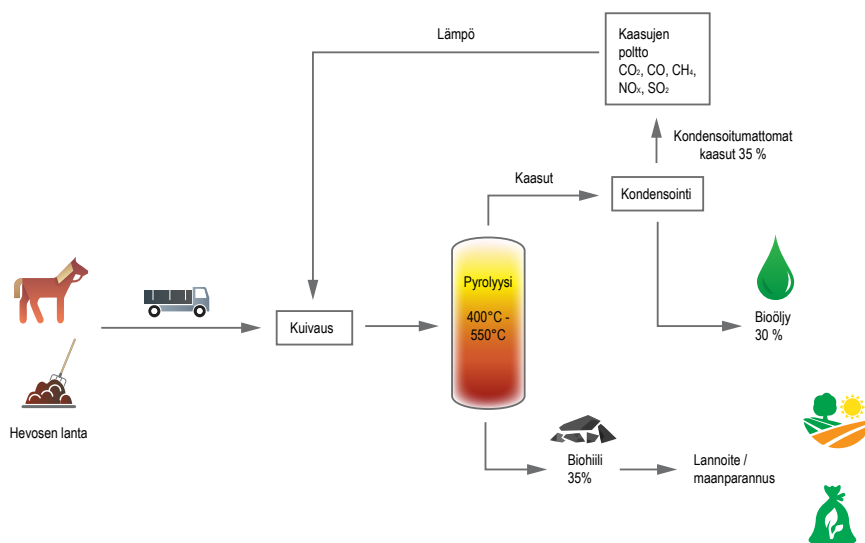
Termisen kaasutuksen kohdalla on käytetty Ecoinventin tietokannasta ”*Synthetic Gas Production From Wood At Fixed Bed*” prosessin inventaariotietoja. Termisessä kaasutuksessa lantaa täytyy kuivata ennen kaasutusta, joten kuivauksessa käytetään poltto- menetelmän kuivausprosessin päästötietoja, jotka on ilmoitettu taulukossa 13. Kaasutusprosessissa ei huomioida hiilidioksidipäästöjä. Kuivikelanta kuivataan 10 % kosteuteen ja sen massa kuivauksen jälkeen on 438 kg. Kaasuntuotanto on keskimäärin  $2,64 \text{ Nm}^3/\text{kg}$ , joten kaasutuksessa saadaan tuotekaasua noin  $1156,3 \text{ Nm}^3$  toiminnallista yksikköä kohti [50]. Kaasutuksesta saatava energia on laskettu lämpöarvon  $18,3 \text{ MJ/kg}$  mukaan ja se on noin  $6096,4 \text{ MJ/t}$ , kun vähennetään kuivauksen energiantarve. Prosessissa syntyy jäännöstuhkaa noin 1,9 % kuiva-aineesta eli kokonaisuudessaan noin 8,3 kg. Käytetty Ecoinvent 3.3 tietokannan prosessi on puulle, joten vaikutusarviointitulokset ovat suuntaa antavia puupohjaisen kuivikelannan kaasutukselle. Kaasutuksen menetelmäkuvaus on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. Terminen kaasutus periaatekuva (Kuva: Maija Mäihäniemi).

#### 6.2.2.4 Hidaspyrolyysi

Pyrolyysimenetelmän kohdalla on käytetty Ecoinventin 3.3 tietokannasta aktiivihiilen tuotantoprosessin inventaariotietoja. Käytetty prosessi on ”*Chargcoal Production*”. Pyrolyysi menetelmässä käytetään myös taulukossa 13 laskettuja polttomenetelmän kuivauksen päästötietoja, jossa kuivikelanta kuivataan 10 % kosteuteen. Pyrolyysiprosessissa ei huomioida myöskään hiilidioksidipäästöjä itse prosessissa. Pyrolyysissä on tarkoituksena tuottaa hevosenlannasta biohiiltä ja sitä saadaan tuotettua noin 35 % kuiva-aineesta eli noin 153,3 kg toiminnallista yksikköä kohti. Pyrolyysin menetelmäkuvaus on esitetty kuvassa 19.



Kuva 19. Pyrolyysin periaatekuva (Kuva: Maija Mäihäniemi).

## 7. TUTKIMUKSEN TULOKSET JA TULOSTEN TULKINTA

### 7.1 Vaikutusarvioinnin tulokset

Vaikutusarviointimenetelmässä laskettiin inventaariotiedon mukaan jokaiselle arvoketjulle ympäristöindikaattoritulokset seuraavissa vaikutusluokissa: happamoituminen, rehevöityminen, ilmastonmuutos, yläilmakehän otsoni ja alailmakehän otsonin muodostuminen. Bioperäisiä hiilidioksidipäästöjä ei katsota kasvihuonekaasuiksi, vaan ne luetaan hiilidioksidineutraaleiksi päästöiksi. Bioperäisiä päästöjä ei huomioida myöskään päästökaupassa eikä niitä lasketa Suomen kasvihuonekaasuinventaarion kokonaispäästömäärään, vaan ne raportoidaan erikseen biomassaperäisinä päästöinä. Bioperäisillä hiilidioksidipäästöillä ei siis katsota olevan ilmastonmuutosvaikutusta. Hiilidioksidipäästöjä ei ole myöskään huomioitu arvoketjujen vaikutusarvioinnissa.

Kuiviketta ei huomioitu arvoketjujen osana laskennassa vaan vaikutusarviointi on tehty hevosenlannalla ilman kuiviketta. Termisen kaasutuksen ja pyrolyysin kohdalla, joissa prosessien inventaariotieto otettiin suoraan ecoinventin tietokannasta, prosessit oli suunniteltu puulle, joten niiden ympäristövaikutukset vastaavat puukuivitetun lannan tuloksia. Jos vaikutusarviointi tehtäisiin laajemmin ja otettaisiin huomioon koko kuivikkeen ja kuivikelannan elinkaari eli kuivikkeen valmistus, käyttö, kuivikelannan syntyminen, kuivikelannan hyödyntäminen eli kompostointi tai energiakäyttö, sekä prosessien lopputuotteen käyttö, olisi kuivikevalinnalla tässä tapauksessa oleellinen vaikutus kokonaispäästöihin.

Taulukossa 17 on koottu yhteen jokaisen arvoketjun kokonaistulokset vaikutusluokittain. Yksityiskohtaiset tulokset arvoketjujen menetelmävaiheista on esitetty liitteissä 3–10 menetelmien arvokorteissa.

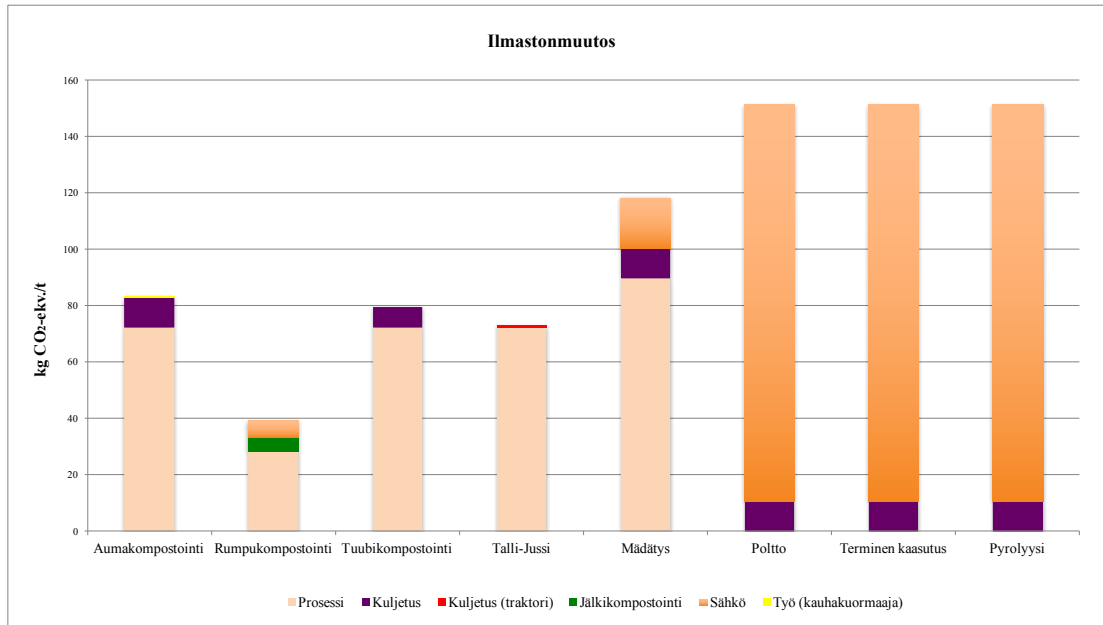
Taulukko 17. Arvoketjujen vaikutusluokkaindikaattoritulokset.

Vaikutusluokka	Auma-kompostointi	Rumpu-kompostointi	Tuubi-kompostointi	Talli-Jussi
Ilmastonmuutos kg, CO <sub>2</sub> -ekv./t	83,28	39,18	79,4	73,01
Happamoituminen kg, SO <sub>2</sub> -ekv./t	0,78	0,23	0,75	0,74
Rehevöityminen kg, PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> -ekv./t	0,20	0,06	0,19	0,19
Otsonikato kg, CFC <sub>11</sub> -ekv./t	2E-06	0,000001	0	7E-08
Alailmakehän otsoni kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -ekv./t	0,02	0,01	0,02	0,02

Vaikutusluokka	Mädätys	Poltto	Terminen kaasutus	Pyrolyysi
Ilmastonmuutos kg, CO <sub>2</sub> -ekv./t	118,6	151,5	151,5	151,5
Happamoituminen kg, SO <sub>2</sub> -ekv./t	0,27	9,96	3,05	3,03
Rehevöityminen kg, PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> -ekv./t	0,07	1,58	0,64	0,75
Otsonikato kg, CFC <sub>11</sub> -ekv./t	0,000006	0,00003	0,00003	0,00004
Alailmakehän otsoni kg, C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -ekv./t	0,03	0,20	0,1	0,12

### 7.1.1 Ilmastonmuutos

Ilmastonmuutos on yksi merkittävin globaaleista ympäristövaikutuksista. Ilmastonmuutosta aiheuttavia tekijöitä ovat hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>), metaani (CH<sub>4</sub>) ja typpioksiduuli (N<sub>2</sub>O). Kuvassa 20 on esitetty arvoketjujen lämpenemispotentiaali CO<sub>2</sub>-ekvivalentteina 100 vuoden tarkasteluvälille toiminnallista yksikköä kohden.



Kuva 20. Ilmastonmuutosvaikutus kg, CO<sub>2</sub>-ekv./t lantaa.

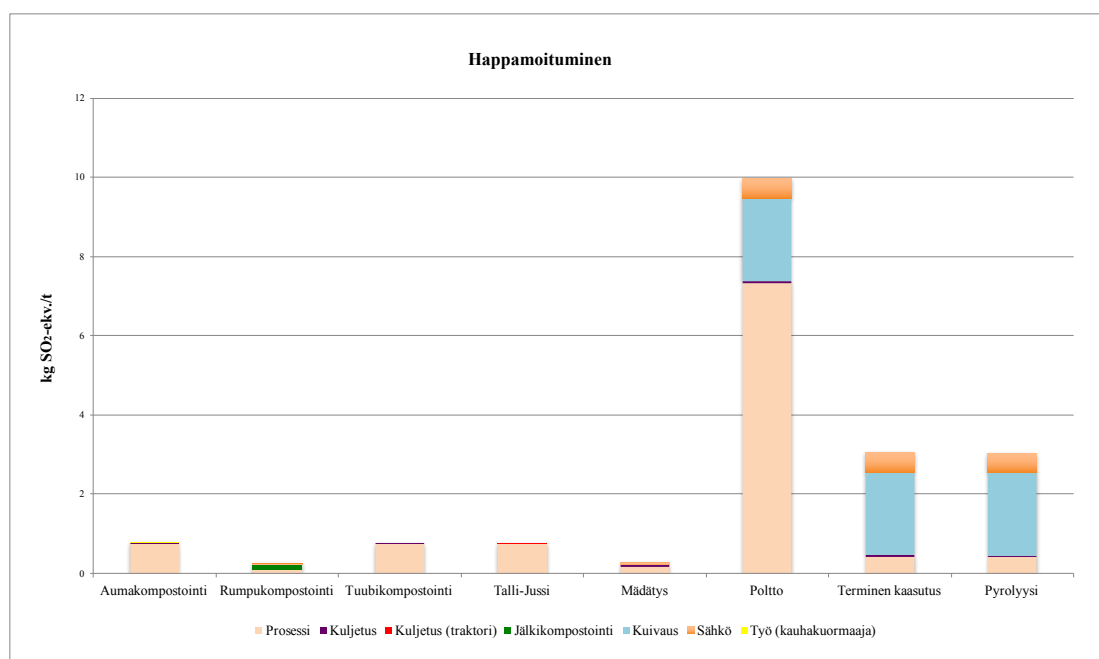
Arvoketjuista kompostointiprosesseilla on suurempi ilmastonmuutosvaikutus kuin energiahyödyntämisen prosesseilla, lukuun ottamatta mädätystä. Tämä johtuu itse kompostoitumisprosessista, jossa vapautuu enemmän raskaita kasvihuonekaasuja eli metaania ja dityppioksidia. Esimerkiksi dityppioksidin ilmastovaikutus on 296-kertainen ja metaanin 23-kertainen hiilidioksidiin nähden [68]. Hiilidioksidia vapautuu myös kompostointi- ja polttoprosesseissa, mutta sitä ei kuitenkaan lasketa, koska sen katsotaan voivan sitoutua uudelleen biomassaan. Rumpukompostointimenetelmä erottuu edukseen muista kompostointimenetelmistä, koska sillä on selvästi, noin puolet pienempi, ilmastovaikutus kuin muilla kompostointimenetelmillä.

Mädätysmenetelmässä prosessin kokonaisvaikutus on suurempi kuin kompostointiprosesseissa. Sen kohdalla tulee muistaa, että tuloksia vääristää se, että menetelmä ei täysin vastaa kuivamädätysmenetelmää. Energiakäytön menetelmissä prosessien sähköntarpeella on oleellinen osa vaikutuksiin. Poltossa, termisessä kaasutuksessa ja pyrolyysissä kuivauksen sähköntarpeella on suurin vaikutus. Biomassan energiakäytössä hiilidioksidipäästöjä ei huomioida, mutta jos ne huomioitaisiin esimerkiksi polttoprosessissa, olisi ilmastonmuutoksen kokonaisvaikutus noin 1503 CO<sub>2</sub>-ekvivalenttia toiminnallista yksikköä kohden. Suurin osa polttomenetelmän hiilidioksidipäästöistä, jotka aiheuttavat ilmastonmuutosta, muodostuu juuri polttoprosessissa (1306 CO<sub>2</sub>-ekv./t lantaa), mutta niitä muodostuu myös kuivauksessa (42,1 CO<sub>2</sub>-ekv./t lantaa).

Termisessä kaasutuksessa ja pyrolyysissä prosesseilla olisi samansuuntainen kokonaisvaikutus. Kuljetuspäästöillä on vain pieni ilmastovaikutus verrattuna prosesseihin, joten kuljetusmatkojen kasvulla ei ole suurta vaikutusta kokonaisvaikutuksiin.

### 7.1.2 Happamoituminen

Happamoitumista aiheuttavia tekijöitä ovat typen oksidit ( $\text{NO}_x$ ), ammoniakki ( $\text{NH}_3$ ) ja rikin oksidit ( $\text{SO}_2$ ). Happamoitumisessa suurin vaikutuskerroin on ammoniakilla (0,85) [68]. Typpidioksidi päästöjä syntyy erityisesti korkeassa lämpötilassa tapahtuvassa palamisprosessissa. Kuvassa arvoketjujen happamoittava vaikutus on esitetty  $\text{SO}_2$ -ekvivalenteissa toiminnallista yksikköä kohden.



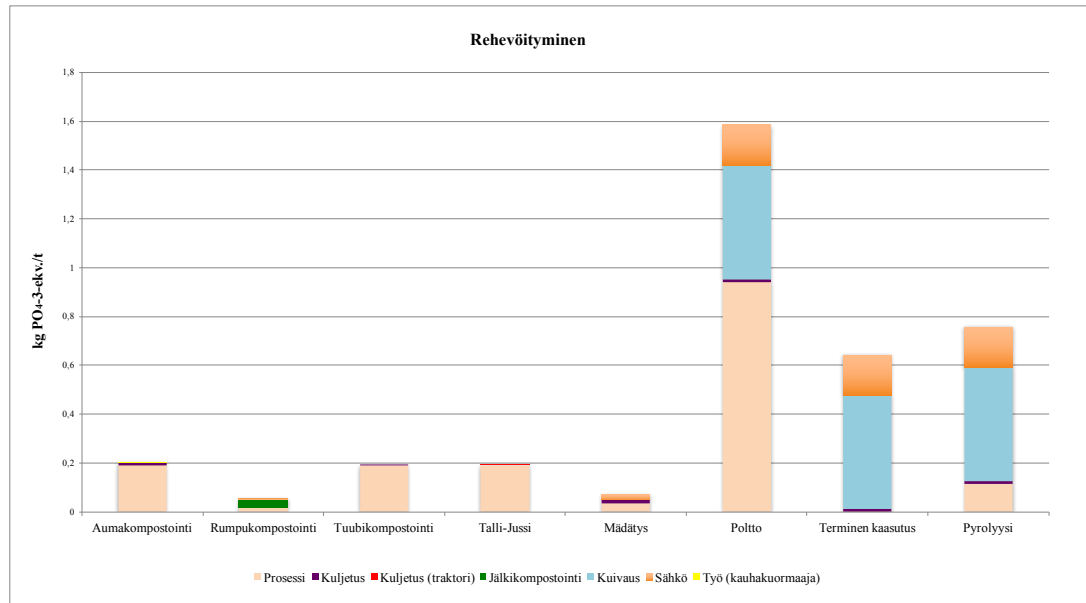
Kuva 21. Happamoitusvaikutus kg SO<sub>2</sub>-ekv./t lantaa.

Typen- ja rikin oksideja syntyy arvoketjuista eniten polttoprosessissa ja ammoniakkaa kompostoinnissa. Kuvasta 21 voidaan nähdä, että polttomenetelmän kuivauksen ja sen sähköntarpeen ja polttoprosessin kokonaisvaikutus on selvästi suurempi, kun verrataan arvoketjuja keskenään. Termisessä kaasutuksessa ja pyrolyysissä kuivauksen vaikutus on sama kuin poltossa, koska laskennassa on käytetty samaa inventaariotietoa.



### 7.1.3 Rehevöityminen

Rehevöitymistä aiheuttavia tekijöitä ovat typpi (N) ja fosfori (P). Fosforilla (3,04) on typpeen (0,434) verrattuna noin seitsemänkertainen vaikutuskerroin [68]. Kuvassa 22 arvoketjujen rehevöitymisvaikutus on esitetty  $\text{PO}_4^{-3}$ -ekvivalentteina toiminnallista yksikköä kohden.



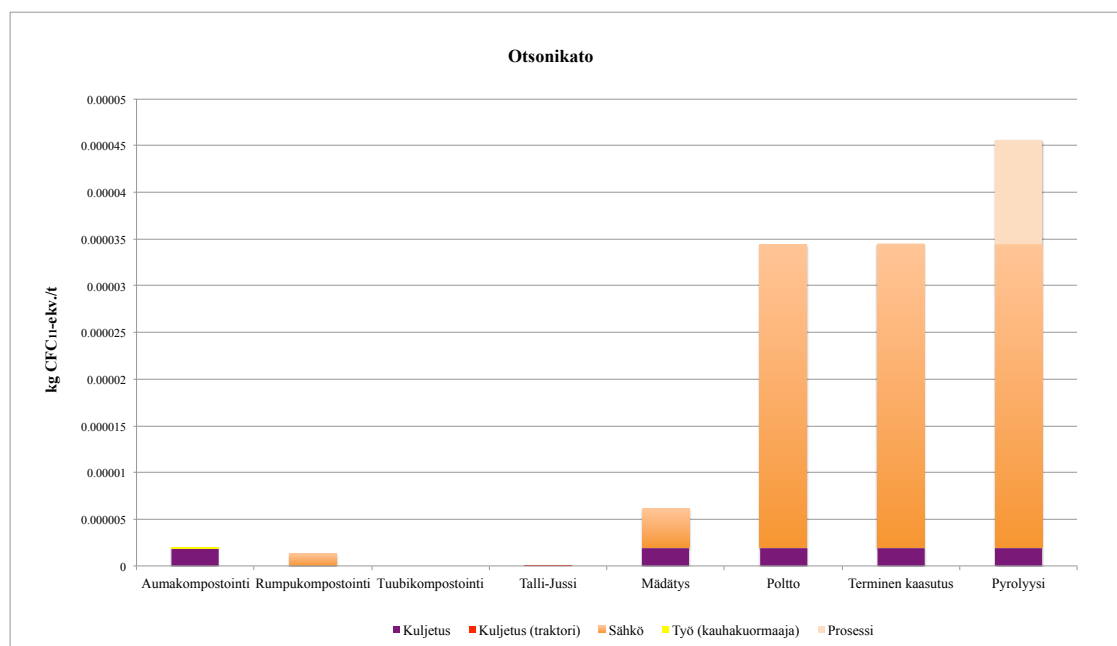
Kuva 22. Rehevöitymisvaikutus  $\text{kg PO}_4^{-3}$ -ekv./t lantaa.

Arvoketjuista suurin rehevöittävä vaikutus on polton arvoketjussa itse prosessilla sekä kuivauksella ja sen sähköntarpeella. Termisessä kaasutuksessa ja pyrolyysissä kuivaus ja sen sähköntarve muodostavat suurimman vaikutuksen. Kompostointiprosesseilla ja sen sähköntarve muodostavat suurimman vaikutuksen. Kompostointiprosesseilla ja määtätyksellä on puolestaan poltto huomattavasti pienemmät kokonaisvaikutukset.

### 7.1.4 Otsonikato

Otsonikatoa aiheuttava tekijä on typpidioksidi. Suurin dityppioksidipäästöjen aiheuttaja on maatalous. Vaikka dityppioksidipäästöjen määrä olisi hyvin pieni, on niiden vaikutus painoyksikköä kohden kuitenkin noin 300-kertainen, jos verrataan hiilidioksidiin [68]. Kuten kuvasta 23 voidaan nähdä, arvoketjujen kokonaisvaikutus muodostuu lähinnä kuljetuksesta ja sähköntarpeesta. Energiakäytön prosesseilla vaikutus on huomattavasti suurempi kuin kompostointiprosesseilla, joissa ei ole sähköntarvetta

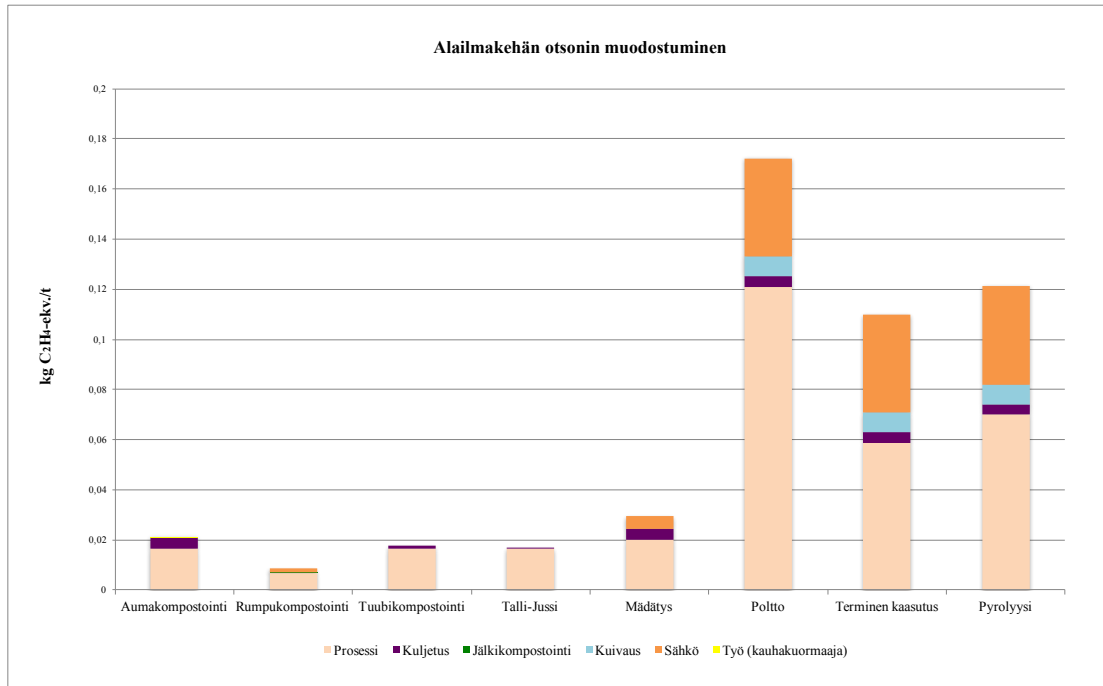
kuin rumpukompostoinnissa. Pyrolyysiprosessi on hapeton prosessi, jossa muodostuu hiilimonoksidia, joten prosessin kohdalla vaikutus johtuu juuri tästä.



Kuva 23. Otsonikato vaikutus kg CFC<sub>11</sub>-ekv./t lantaa.

### 7.1.5 Alailmakehän otsonin muodostuminen

Alailmakehän otsonin muodostumista aiheuttavat tekijät ovat metaani, hiilimonoksidi (CO), haihtuvat orgaaniset yhdisteet (NMVOC) ja typen oksidit. Otsonia ei esiinny sellaisenaan päästöissä vaan sitä muodostuu auringonvalon vaikutuksesta ilmassa olevien typen oksidien ja hiilivetyjen hapettuessa. Päästöjen suurimmat lähteet ovat energiatuotanto, teollisuus ja liikenne. Typpidioksidi on epäsuora kasvihuonekaasu ja juuri se muodostaa otsonia maanpinnan lähellä. Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä vapautuu mm. palamisprosesseissa.



Kuva 24. Alailmakehän otsonin muodostumisen vaikutus kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-ekv./t lantaa.

Polttomenetelmä erottuu kuvasta 24 suurimmalla kokonaisvaikutuksellaan ja pyrolyysi ja terminen kaasutus toiseksi, lähes samanlaisella, kokonaisvaikutuksellaan. Näissä kolmessa menetelmässä kokonaisvaikutus muodostuu pääasiassa prosessista ja sänkönkulutuksesta, myös kuljetuksella ja kuivauksella on pieni vaikutus. Mädätys- ja kompostointimenetelmissä kokonaisvaikutus on samaa luokkaa ja on kokonaisuudessaan hyvin pieni. Pyrolyysiprosessi on hapeton prosessi ja sen suuri kokonaisvaikutus johtuu prosessin hiilimonoksidipäästöistä, joita muodostuu epätäydellisestä palamisesta. Pyrolyysiprosessissa syntyvät päästöt poltetaan, joka pienentää alailmakehän otsonipäästöjä, mutta taas nostaa hiukan hiilidioksidipäästöjä, jotka vaikuttavat taas ilmastonmuutosvaikutukseen.

## 7.2 Hyötykäyttömenetelmien kustannukset

Kuivikelannan käsittelykustannukset vaihtelevat hyvin paljon riippuen tallin sijainnista, käytetystä kuivikkeesta, menetelmästä ja muista seikoista. Kirjallisuudesta löytyvissä tutkimuksissa käsittelykulut vaihtelevat jopa 0–282 €/m<sup>3</sup> välillä, mutta keskimäärin ne ovat noin 15,5 €/m<sup>3</sup> [69]. Kirjallisuudessa vertaillaan lannankäsittelyn kustannuksia yleensä yhtä lantakuutiota kohti ja tässäkin työssä arvoja on esitetty samoin. Arvoja tarkastellessa tulee kuitenkin muistaa, että kuivikelantaa syntyy eri määrä eri

kuivikkeilla (taulukko 4) ja ne sitovat itseensä eri tavalla mm. virtsaa eli paino vaihtelee, vaikka massan tilavuus pysyy silti samana. Esimerkiksi puupohjaista kuivikelantaa syntyy enemmän hevosta kohti vuodessa kuin turvepohjaista, joten kustannuksia tarkasteltaessa kuutiokustannuksen rinnalla olisi hyvä tarkastella myös kustannusta yhtä hevosta kohti. [14]

Maatilatalleilla lanta yleensä kompostoidaan ja käytetään omilla pelloilla lannoitteena ja maanparannusaineena. Taajamissa sijaitsevilla talleilla lanta puolestaan yleensä luovutetaan eteenpäin, koska omaa peltopintaa ei ole. Pienempien tallien lanta päätyy usein naapuritiloille ja yksityiset ihmiset tulevat hakemaan sitä tallilta kotipuutarhoihin. Suurempien tallien kuivikelanta on tähän asti ohjautunut suurelta osin ulkopuoliselle lannoite- ja maanparannusvalmisteita valmistavalle yritykselle, mm. Ypäjän Hevosopiston kuivikelanta kuljetetaan Biolan Oy:lle Turkuun, joka valmistaa siitä orgaanisia lannoite- ja maanparannustuotteita. Ypäjän hevosopistolla on hevosia noin 300 ja kuivikelantaa syntyy vuodessa noin  $5\ 100\ \text{m}^3$  ja se kuljetetaan 80 kilometrin päähän käsiteltäväksi [70]. Tästä aiheutuu huomattavia kustannuksia ja kuljetuksesta hiilidioksidipäästöjä, joten tällaisten isojen ratsastuskeskusten kohdalla tulisi arvioida aina tapauskohtaisesti voisiko lannan energian hyödyntää järkevämmiin paikallisesti ja näin sillä korvata fossiilisia polttoaineita. Seuraavaksi on tarkasteltu eri hyödyntämismenetelmien aiheuttamia kustannuksia ja kannattavuutta.

### 7.2.1 Kuivikelannan varastointi

Lannan varastointi tallilla tulee tehdä joko tallin lantalaan, omaan tai vuokrattuun katettuun vaihtolavaan. Betonipohjaisen ja katetun  $100\ \text{m}^3$  kokoisen lantalan rakentamiskustannus on noin 4 000 € ja 20 vuoden poistoajalla kustannus on korkoineen 300 €/a ja  $5\ \text{€/m}^3$  [71].  $25\ \text{m}^3$  kokoisen vaihtolavan kuukausivuokra puolestaan olisi noin 161 € ja vuodessa kustannus olisi 1 932 € eli se tekee  $6,5\ \text{€/m}^3$  [9]. Vaihtolava investointikustannus on noin 4 000 €, jos se hankitaan tallille ja 10 vuoden poistoajalla sen vuosittainen kustannus korkoineen on noin 500 €/a ja tämä tekee  $8,33\ \text{€/m}^3$  [71].

## 7.2.2 Kuljetus

Kuljetuskustannukset nousevat sen mukaan mitä useammin lantala tyhjenetään. Kun asiaa tarkastellaan ottaen huomioon myös ympäristövaikutukset, ei tyhjennyskertojen väli saisi kuitenkaan olla liian pitkä. Jos kuivikelanta on pitkän aikaa lantalassa, se alkaa jo kompostoitua tai jopa mädäntyä, jos olosuhteet ovat hapettomat ja tällöin syntyy päästöjä. Myös lannan energiasisältö laskee mitä pidempään se viettää lantalassa. Keksimäärin lantalat tyhjenetään noin 1,5–4 viikon välein. Mikäli kuivikelantaa varastoidaan suoraan siirtolavaan, tulee talviaikaan varmistaa, ettei se pääse jäätymään lavaan kiinni. Jos kuivikelanta toimitetaan esimerkiksi kompostointikentälle, ei jäätynyttä lantalavaa saada kompostointikentällä tyhjennettyä. Tästä aiheutuu talliyrittäjälle vain ylimääräisiä kustannuksia, kun joudutaan palaamaan täyden lavan kanssa takaisin tallille.

Tampereella Niihama Riding Oy kuljettaa kuivikelannan Humuspehtoori Oy:n kompostointikentälle kompostoitavaksi. Tallilla on noin 30 hevosta ja lantaa syntyy noin 510 m<sup>3</sup> vuodessa. He kuljettavat 1,5 viikon välein siirtolavallisen lantaa 50 km päähän ja se maksaa tallille noin 200 €/lava. Tämän mukaan lannan kuljetuskustannukset ovat noin 6 400 € vuodessa ja 12,6 €/m<sup>3</sup>, kun kuljetusmatka on 50 km. Niihama Riding Oy myös käsittelee lannan rumpukompostorissa ennen kompostointikentälle toimittamista, joka nostaa kuivikelannan kokonaiskustannuksia. Rumpukompostointi ei olisi välttämätön käsittely, mutta siinä mielessä se on hyvä, että lannan massa pienenee käsitelystä 25 % ja se vähentää näin lantalan tyhjennyskertoja ja kuljetustilavuutta. [72]

Kuljetusmatkan vaikutus kustannukseen nousee tasaisesti matkan kasvaessa: 10 kilometrin matkalla kustannus on keskimäärin noin 3–5 €/m<sup>3</sup> ja 30 kilometrin matkalla kustannus on jo noin 7–8 €/m<sup>3</sup> [31]. Järkevä kuljetusmatka mitä lantaa kannattaa kuljettaa on maksimissaan 50 km. Taloudellisesti se on ehkä vain 10–20 km. Vertailun vuoksi maatalousyrittäjä, joka tulee hakemaan tallilta kuivikelantaa omalla vaihtolavallaan, ottaisi siitä 10 kilometrin hakumatkalta noin 12–15 €/m<sup>3</sup>. [31]

### 7.2.3 Aumakompostointi

Aumakompostoinnin kustannukset talliyrittäjälle muodostuvat kuivikelannan varastointitilan järjestämisestä tallilla, lannan kuljetuksesta ja mahdollisesta porttimaksusta kompostointikentälle. Kuljetuskustannukset 10 km matkalla keskimäärin noin 9–12,3 €/m<sup>3</sup> ja 30 km matkalla noin 12,5–15,8 €/m<sup>3</sup>. Näiden kustannusten päälle tulee vielä mahdollinen porttimaksu kompostointikentälle. Humuspehtoori Oy on ottanut kuivikelantaa toistaiseksi vastaan ilman porttimaksua. Helsingin seudun ympäristöpalvelut –kuntayhtymän Metsäpirtin kompostointikenttä puolestaan ottaa porttimaksun lannan tuonnista, joka on ilman arvolisäveroa 10 €/t [23]. Yleisesti kompostointikentät ottavat lantaa vastaan vain niiltä talleilta, joiden kanssaan he ovat tehneet vastaanottosopimuksen.

Kompostointikentän perustamiskustannuksien on arvioitu kirjallisuudessa olevan noin 5–21 €/t. Kustannuksiin on sisällytetty kentän rakentamiskustannukset, aumojen kääntämisen ja lopputuotteen seulonnan kustannukset. Kompostin tuotteistamisen kustannuksien, että se hyväksytään viherrakentamiskäyttöön sopivan turvemullan korvikkeeksi, on arvioitu olevan noin 10 €/t valmista lopputuotetta. [35]

Vapo tarjoaa lannankierrätyspalvelua Uudenmaan, Kanta-Hämeen ja Päijät-Hämeen alueella sekä Tampereen ympäristössä vähintään 3–5 hevosen talleille ja siitä suuremmille talleille. Palvelun hinta riippuu lantalan tyypistä ja kuivikkeen kuljetus- sekä lannan noutomatkoista. Vapon tarjoamassa palvelussa lanta hyödynnetään tällä hetkellä pääasiassa ravinnekierrätykseen, kasvualustaksi ja maanparannukseen. Tällä hetkellä Vapo ei polta lantaa, mutta he eivät sulje sitäkään vaihtoehtoa pois tulevaisuudessa. Palvelun hinta hevosta kohti on keskimäärin noin 25–30 € kuukaudessa ja noin 300–360 € vuodessa eli noin 17,6–21,2 €/m<sup>3</sup> lantaa. [14]

### 7.2.4 Rumpukompostointi

Rumpukompostointi menetelmän investointikustannukset koostuvat rumpukompostorin, sen siirtoruuvien ja kompostoidun lannan välivaraston hankinnasta. Muita mahdollisia investointeja on kompostorihalli, mikäli rumpukompostoria ei saada sijoitettua jo olemassa oleviin tallin tiloihin. Kustannuksiin tulee huomioida edellä mainittu-

jen investointien kunnossapito- ja huoltokustannukset. Rumpukompostorilla näitä ovat mm. erilaiset laakereiden, voimansiirtolaitteiden ja pyörivien osien rasvaukset, voitelut ja vaihdot. Muita kustannuksia syntyy vielä mm. rumpukompostorin sähkönkulutuksesta, jota kuluttaa rummun pyörityslaitteista, syöttö- ja purkuruuvit sekä ilmastuslaitteisto. Energiankulutus ei ole merkittävä kustannustekijä ja se on keskimäärin noin 22 kWh/t jätettä. [35]

Biofacta Oy:n 30 m<sup>3</sup> rumpukompostori, maksaa ilman arvolisäveroa 73 000 euroa. Tämän lisäksi täytyy hankkia vielä 6–8 kW lämpöpumppu, jonka investointikustannus on noin 10 000 € [25]. Biofacta Oy:n suuremman 75 m<sup>3</sup> kokoisen rumpukompostorin kustannus on puolestaan ilman arvolisäveroa 150 000 €, sisältäen lämpöpumpun 15 kW, asennuksen, käynnistyksen ja koulutuksen [25].

Kokonaiskustannuksia vähentää pitemmällä aikavälillä rumpukompostorin tuottama energia, joka voidaan ottaa talteen ja hyödyntää. Myös rumpukompostoinnissa saatavan kompostin ravinteiden rahallinen arvo vähentää kustannuksia. Kompostori on kallis hankinta yksittäiselle tallille, mutta useamman toisiaan lähellä sijaitsevan tallin yhteishankintana, rumpukompostori voisi olla hyvä vaihtoehto. Toinen vaihtoehto on myös, että rumpukompostori hankitaan yhdelle tallille ja talli perii muilta talleilta portti- ja/tai käsittelymaksua lannantuonnista. Rumpukompostori ei ole pienille talleille järkevä hankinta ja hevosia tulee olla yli 30, että sen hankinta kannattaa ja että lantaa syntyy tarpeeksi.

#### 7.2.5 Tuubikompostointi

Tuubikompostoinnin investointikustannukset koostuvat tarvittavista tuubituslaitteista, muovituubeista ja kuivikelannan varastoinnista. Murska Biopacker -syöttölaitetta tuubikompostointiin valmistaa Aimo Kortteen Konepaja Oy Ylivieskassa [28]. MTT:n Sotkamon Biojäte ja hepolanta -hankkeen osana tehtiin vuonna 2012 tuubikompostointikoe ja laskettiin kone- ja laitekustannukset (alv. 0 %) tuubikompostoinnille. Syöttölaite, jolla tuubit täytetään, maksaa noin 32 000 euroa. Lisäksi tarvitaan kaksi traktoria, toinen pyörittämään syöttölaitetta ja toinen lastaamaan lantaa syöttölaitteeseen, näiden yhteiskustannus on noin 96,20 €/h. Muita kustannuksia muodostuu lait-

teiden säilytyksestä (3,57 €/h) ja kunnossapidosta (9,60 €/h), joten yksikkökustannus on kokonaisuudessaan 145 €/h ja 1,53 €/m<sup>3</sup>. Muovituubit maksavat noin 350 €/kpl ja yhteen mahtuu lantaa noin 180 m<sup>3</sup>, joten kustannus on 1,9 €/m<sup>3</sup>. [31, 71]

Menetelmän kokonaiskustannukset muodostuvat siten laite- ja tarvikekustannuksista, siirtolavan hankinnasta, vuokrasta tai lantalan perustamiskustannuksista. Kustannuksiin vaikuttaa eniten kuivikelannan kuljetus tuubikompostien perustamispaikalle. MTT:n tutkimuksessa todettiin, että kustannukset ovat lantakuutiota kohti pienimmät, kun lanta kuormataan asiakkaan luona betonipohjaisesta lantalasta. Käsittelykuluille eli lannan haulle, tuubitukselle ja levitykselle kokonaiskustannukset ovat noin 12–15 €/m<sup>3</sup> [71]. [31]

#### 7.2.6 Talli-Jussi

Talli-Jussi järjestelmän investointikustannukset koostuvat itse järjestelmän ja keskosäkkien hankinnasta ja asennuksesta. Talli-Jussi järjestelmää on kahta kokoa, suuremman järjestelmän Talli-Jussi 4000 hinta on 4 990 € ja pienemmän Talli-Jussi 2000 noin 3 990 €. Asennus maksaa 150–1 500 €, riippuen omasta työstä. Säkkien hinta on noin 150–200 €, riippuen säkin koosta. Käyttö- tai huoltokustannuksia Talli-Jussista ei juuri muodostu. Säkin täytyessä se joudutaan nostamaan koneellisesti jälkikompostoitumaan, mutta konekustannukset ovat vähäiset. Säkit ovat myös uudelleenkäytettäviä, joten se vähentää kustannuksia pidemmällä aikavälillä. [32]

#### 7.2.7 Kuivämädätys

Mädätys- eli kuivämädätysmenetelmän investointikustannuksista suurin hankinta on mädätysjärjestelmä. Muita kustannuksia syntyy mädätetyn lannan eli mädätteen varastosäiliöstä ja kuljetuskalustosta. Kuten muissakin menetelmissä kunnossapito- ja huoltokustannuksia syntyy kaluston ja laitteiden huollosta. Käyttökustannuksia muodostuu mädätyslaitteiston energiankulutuksesta, mutta se on kuitenkin vähäistä ja prosessilla tuotetulla biokaasuenergialla saadaan katettua nämä kustannukset. Kokonaiskustannuksia mädätyksessä vähentävät mädätetystä lannasta saatava ravinteiden arvo ja prosessissa syntyvä biokaasuenergia, josta on esitetty työssä jo aiemmin laskelma taulukossa 7.



Investointikustannuksia on hankalaa arvioida, koska kuivamädätyslaitoksia ei ole tarjolla pienessä mittakaavassa. Maatilakokoluokan märkämädätyslaitoksen, joka käsittelee 4000 t biojätettä ja lietettä ja sähköntuotanto tapahtuu 90 kW:n mikroturbiinilla ja laitoksen tarvitsema energia saadaan omasta prosessista, investointikustannukset olivat noin 670 000 € ja vuotuiset kokonaiskustannukset noin 15 €/t [35]. Laitos, joka puolestaan käsittelee hevosen kuivikelantaa 1000 t/a, investointikustannukset olisivat noin 270 000 € (alv. 0%). Arvio tehtiin Biokaasulaskurilla, joka on toteutettu MTT:n ja Ukipolis Oy:n yhteistyössä, Maaseuturahaston rahoittamassa Biokaasulaitosinvestoinnin laskentatyökalu –hankkeessa vuonna 2014 [73]. Investoinnin suuruuden vuoksi, kuivamädätysmenetelmä ei ole yksittäiselle tallille taloudellinen ratkaisu, mutta suuremmissa hevoskeskitymissä se olisi varmasti toimiva hyödyntämistapa.

#### 7.2.8 Poltto

Kuivikelannan polton kustannukset talliyrittäjälle muodostuvat lannan varastoinnista ja kuljetuksesta polttolaitokselle käsiteltäväksi. Tulevaisuudessa polton lainsäädännön helpottuessa, on mahdollista rakentaa myös oma polttokattila tallin yhteyteen, mutta sen kustannuksia ei tällä kertaa tarkastella. Kirjallisuudessa tehtyjen laskelmien perusteella pienetkin polttokattilat tarvitsevat kuitenkin kymmenien hevosten lannan, jotta toiminta on järkevää. Esimerkiksi 50 kW polttokattila tarvitsee 66 hevosen tuottaman lannan eli 1593 kg/d ja 100 kW kattila 131 hevosen lannan eli 3186 kg/d, jotta päästää hyödyntämään laitteen täysi teho [9]. Poltto on siis järkevää edelleenkin vain suuremmissa mittakaavassa ja useamman tallin yhteistoimintana.

Fortum tarjoaa talleille Horse-power –palvelua, jossa se toimittaa talliyrittäjän valitseman kuivikkeen tallille ja noutaa sovituin väliajoin kuivikelannan polttolaitokselle käsiteltäväksi eli poltettavaksi. Palvelua tarjotaan tällä hetkellä Etelä-Suomen alueella vähintään neljän hevosen talleille, jotka pystyvät varastoida kuivikelantaa vähintään 15 m<sup>3</sup> verran kerrallaan. Palvelun hinta perustuu tallin ja lähimmän voimalaitoksen etäisyyteen, sekä kuivikkeen ja kuivikelannan toimituserien suuruuteen. Palvelussa tarjolla olevat kuivikkeet ovat: Horse Power puu- ja purupelletti, sahanpuru ja kutterinpuru. Kuivikevalikoima on laajenemassa lähitulevaisuudessa viiteen. Palvelun kustannukset vaihtelevat 20–45 € välillä hevosta kohti kuukaudessa. Vuodessa tämä on

hevosta kohti 240–540 €, eli noin 14,1–31,8 €/m<sup>3</sup> kuivikelantaa. Palvelun kohdalla tulee muistaa, että kuutiohinta sisältää sekä kuivike- että sen käsittelykustannukset molemmat, joten palvelu on hyvin kilpailukykyinen muiden käsittelyvaihtoehtojen kanssa. Palvelu myös säästää aikaa ja vaivaa talliyrittäjältä, koska kuivike toimitetaan ja kuivikelanta noudetaan tallilta pois ulkopuolisen tahon toimesta. [14]

### 7.2.9 Terminen kaasutus ja pyrolyysi

Kaasutus ja pyrolyysilaitteistojen investointihintoja on vaikea arvioida, koska menetelmiä ei ole tarjolla pienessä mittakaavassa, jotka sopisivat tilakohtaiseen käyttöön. Kaasutus- ja pyrolyysilaitoksia ei ole myöskään järkevää hankkia jokaiselle tallille, vaan kuten muidenkin energiahyötykäyttömenetelmien kanssa, olisi järkevää luoda lähietäisyydellä sijaitsevien tilojen kanssa toimiva yhteistyö. Kaasutuksessa ja pyrolyysissa lanta tulee kuivata, joten kuivikelanta olisi näissä menetelmissä hyvä pelletöidä tai briketöidä, jotta kuivaus onnistuisi helposti. Kuivausprosessille tulisi keksiä energia- ja kustannustehokas menetelmä. MTT on tehnyt kuivikelannan pyrolyysista tutkimuksia ja heillä käytössään myös pieni koelaitteisto, jolla voi käsitellä lantaa, kutterinlastua tai mitä tahansa kasvimassaa. Kaupallisia 16 m<sup>3</sup> vetoisia laitteistoja on olemassa ja investoinnin suuruus on noin 40 000 €. Kiinteiden jatkuvatoimisten laitteistojen investointi on puolestaan jo satoja tuhansia euroja. [52]

## 7.3 Tulosten tulkinta

### 7.3.1 Vaikutusarviointi

Vaikutusarvioinnin tulosten pohjalta voidaan sanoa, että kompostoinnin arvoketjujen kokonaisvaikutukset ovat kaikki muut samaa luokkaa, paitsi rumpukompostoinnissa, joka erottuu positiivisesti muista menetelmistä pienemmällä kokonaisvaikutuksellaan kaikissa vaikutusluokissa. Rumpukompostoinnissa rumpu pyörittää ja ilmastaa massaa jatkuvasti, joten prosessi ja kompostoituminen lähtevät käyntiin nopeammin. Juuri rumpukompostoinnin suljetumman, kontrolloidumman ja nopean prosessin vuoksi menetelmällä on luultavasti pienemmät päästöt ja ympäristövaikutus. Yleisesti kompostointiprosesseilla on kokonaisuudessaan pienemmät ympäristövaikutukset kaikissa vaikutusluokissa, kun verrataan energiakäytön menetelmiin.

Mädätyksellä on kompostointiprosessien kanssa samansuuntainen kokonaisympäristövaikutus ja se eroaa näin muista energiakäytön menetelmistä huomattavasti. Hap-pamoitumis- ja rehevöitymisvaikutukset ovat jopa pienemmät kuin kompostoinnissa. Mädätys on siten vaikutusarviointitulosten perusteella ympäristön kannalta hyvin käyttökelpoinen menetelmä kuivikelannan käsittelyyn.

Energiakäytön arvoketjujen vaikutusarviointitulokset ovat huomattavasti suuremmat kuin kompostoinnissa. Poltossa, termisessä kaasutuksessa ja hidaspYROLYYSISSÄ lannan kuivauksen sähkönkulutuksella on suurempi vaikutus lähes kaikissa vaikutusluokissa, kun sitä verrataan kompostointiprosesseihin. Termisellä kaasutuksella ja hidaspYROLYYSILLÄ on samansuuntainen kokonaisvaikutus kuin poltolla. Jos niiden kohdalla unohdetaan kuivaus ja sen energiantarve, ei itse prosessin vaikutus ole kovin suuri. Jos kuivaukselle kehitetään hyvä kustannustehokas ja ympäristöä säästävä menetelmä olisivat myös terminen kaasutus ja hidaspYROLYYSI käyttökelpoisempia menetelmiä polttoon verrattaessa.

Kuljetusten päästöillä on kokonaisuudessaan vain pieni ilmastovaikutus, joten kuljetusmatkojen kasvulla ei ole suurta vaikutusta tuloksiin. Kuivikelantaa ei ole kuitenkaan taloudellisesti kannattavaa kuljettaa paljon kauemmaksi, kuin laskennassa käytetty 50 kilometrin kuljetusmatka. Joten taloudellinen kannattavuus määrittelee kuljetusmatkan pituutta enemmän kuin ympäristövaikutukset.

### 7.3.2 Hyötykäyttömenetelmät

Käytetty kuivike vaikuttaa oleellisesti lannan hyödyntämiseen ja mahdollisiin hyödyntämistapoihin. Kasvipohjaiset kuivikelannat, esimerkiksi turvelanta, soveltuvat paremmin kompostointiin ja kuivamädätykseen. Puupohjaista kuivikelantaa voi myös kompostoida ja kuivamädättää, mutta se aiheuttaa prosesseihin ongelmia, koska mikrobit eivät pysty hajottamaan puupohjaista biomassaa. Mädätyksessä puukuivitetusta lannasta saatava biokaasun määrä on myös tämän takia pienempi kuin esimerkiksi turvepohjaisella kuivikelannalla. Puupohjainen kuivikelanta soveltuu kasvipohjaisia kuivikelantoja huonommin myös peltokäyttöön. Kertaluontoisesti sitä voi hyvin käyttää, mutta vuodesta toiseen se ei ole hyvä vaihtoehto. Käytetty kuivike siis määrittelee

lannan hyödyntämiselle suunnan eli kasvipohjainen kuivikelanta soveltuu paremmin kompostointiin ja kuivamädätykseen ja puupohjainen puolestaan energiakäyttöön.

Kompostointiprosessi on luonnon oman kiertokulun prosessi, josta ravinteet palautuvat takaisin kiertoon, kun bakteerit hajottavat biomassan kompostimullaksi. Kaikki menetelmät ovat nopeita ja helppoja toteuttaa. Positiivisena puolena kompostoinnissa on juuri peltojen kasvukunnon parantuminen, kun kompostia levitetään peltomaahan. Negatiivisena puolena ovat hiilidioksidipäästöt, vaikka ne ovatkin bioperäisiä ja että lannan tyyppi menetetään ammoniakkipäästöinä. Muita huonoja puolia menetelmässä on pitkä, jopa yli vuoden mittainen kompostoitumisaika, hajuhaitat ja hiukkaspäästöt.

Hyödyntämismenetelmistä kompostoinnin osalta aumakompostointi sopii kaikille talleille, joiden lähietäisyydellä vain sijaitsee kompostointikenttä, jolle lantaa voidaan toimittaa. Pienille, noin alle 5 hevosen talleille, joilla lantaa syntyy vähän, käyttökelpoisin menetelmä olisi Talli-Jussi. Siinä lantaa voidaan kompostoida huomaamattomasti, järjestelmän tilantarve on pieni ja hankintahintakin edullinen. Kuivikelantakompostia voidaan sitten hyödyntää tallin omilla mailla tai sitten myydä/antaa eteenpäin. Tuubikompostointi vaatii menetelmään paljon kuivikelantaa, joten se sopii suuremmille talleille, joilla on itsellään peltopinta-alaa ja/tai viljelijälle, joka noutaa lantaa tallilta omaan käyttöön pelloilleen. Se on myös mahdollinen menetelmä useamman tallin lannan käsittelyyn viljelijän toimesta, jos peltojen lähialueella sijaitsee useita talleja. Negatiivisia puolia tuubikompostoinnissa ympäristön kannalta on siinä syntyvä muovijäte, verrattaessa esimerkiksi Talli-Jussiin, jossa järjestelmän kestoakkeja voi käyttää uudelleen. Myös rumpukompostointi sopii vain suuremmille lantamäärille ja talleille tai hevoskeskittymiin yhteishankinnaksi, koska niitä ei valmisteta pienessä mittakaavassa. Sen positiivisena puolena on lannan varastointitilavuuden pieneneminen heti lyhyen, vajaan kahden viikon, rumpukompostoinnin jälkeen 25 prosentilla. Myös hajuhaitat pienenevät rumpukompostoinnin ansiosta. Lannan rumpukompostointi nopeuttaa myös huomattavasti jälkikäsittelyä. Prosessin tuottama lämpöenergia voidaan myös ottaa talteen, mikä pidemmällä aikavälillä vähentää kustannuksia. Rumpukompostori on investoinniltaan kallis hankinta, joten sen hankintaa kannattaa harkita vasta kun hevosia on yli 30 ja lantaa syntyy suurempia määriä.

Mädätyksessä bakteerit hajottavat biojätteen suljetussa hapettomassa tilassa. Prosessista syntyy mädätysjäännöstä, joka on hyvää lannoitetta kasveille ja jolla voidaan

korvata myös kemiallisia lannoitteita. Prosessista syntyy myös biokaasua, joka on pääosin metaania ja sen korkean lämpöarvon takia se voidaan muuntaa hyvällä hyötysuhteella energiaksi. Biokaasun hyödyntäminen lämmöksi on energiahyödyntämisen prosesseista helpointa. Näiden seikkojen perusteella mädätys olisi kompostointia parempi vaihtoehto.

Hevosennannalla on hyvä energiahyötysuhde, riippuen kuitenkin kosteudesta ja kuivikkeesta. Energiahyödyntämisen menetelmät sopivat tällä hetkellä vain suurempien lantamäärien käsittelyyn, koska kaupallisia pienen mittakaavan laitoksia ei ole vielä saatavilla. Pienmittakaavan 50 kW kattilakin vaatii noin 66 hevosen lannan toimiakseen täydellä teholla [9]. Vapon ja Fortumin lannankierrätyspalvelut ovat todella hyviä ja kustannustehokkaita vaihtoehtoja lannan energiahyödyntämiselle, vaikka ovatkin kalliimpia kuin muut kuivikelannan hyödyntämisvaihtoehdot. Niissä talliyrittäjä kuitenkin säästää aikaa ja vaivaa, kun kuivikkeen toimituksen ja kuivikelannan noudon sekä käsittelyn hoitaa ulkopuolinen taho. Kun lannan poltto tapahtuu suuressa mittakaavassa seospoltossa, myös päästöt pysyvät kurissa ja pysytään sallittujen raja-arvojen alapuolella ja prosessiolosuhteita pystytään hallitsemaan paremmin. Lantaa kannattaa polttaa juuri seospolttoaineena, koska 100 % lanta palaa huonosti ja paakkuuntuu. Lannan voimalaitoskäytössä, polttoprosessin lopputuotteena syntyvä tuhka joudutaan kuitenkin suurella todennäköisyydellä sijoittamaan kaatopaikalle, koska se voi sisältää haitta-aineita. Tämä on polttoprosessissa ympäristön kannalta huono asia.

Taulukosta 9, jossa on ilmoitettu polttokokeiden päästöarvoja, voidaan huomata, että pienpoltossa jätelainsäädännön sallimat raja-arvot päästöille ylittyvät. Pienmittakaavassa poltto-olosuhteiden hallinta ja riittävän palamisen varmistaminen on vaikeaa ja sen takia mm. happamoitumista aiheuttavat hiilivety- ja typenoksidipäästöt voivat kasvaa. Hevosennanta on vaikea polttoaine ja sen suuren kosteuspitoisuuden vuoksi kuivikelantaa täytyy kuivata. Kuivauksen takia lannan nimellisteho alenee ja päästöt kasvavat. Kuivikelannassa on myös suuri klooripitoisuus, joka aiheuttaa korroosiota polttokattiloihin. Poltossa myös biomassan hiili palaa kokonaan hiilidioksidiksi ilmaan, kun taas esimerkiksi kompostoinnissa ja mädätyksessä merkittävä osa saadaan palautettua maaperään. Poltosta saatava hyöty on siis käytännössä jätteen määrän pienentyminen ja siitä saatava energia, jota kuivauskin alentaa. Polton kohdalla tulee aina tapauskohtaisesti harkita, onko poltto järkevää ja jos poltetaan, niin suu-

remman mittakaavan voimalaitospoltto on ehdottomasti ympäristön kannalta parempi vaihtoehto kuin pienpoltto.

Termisessä kaasutuksessa ja hidaspYROLYYSISSÄ kuivikelanta täytyy myös kuivata. Kuivaukselle tulisi kehittää energiatehokas menetelmä, jotta kaasutus ja hidaspYROLYYSI olisivat kannattavia. HidasPYROLYYSISSÄ lopputuotteena syntyvällä biohiilellä on erinomaiset lannoite- ja maanparannus ominaisuudet ja prosessilla kuivikelanta saataisiin tiiviiseen muotoon biohiileksi. Biohiiltä olisi kustannustehokasta kuljettaa loppusijoituspaikkaan, koska sen massa vähenee 35 % kuiva-aineen määrästä. Yleisesti voidaan sanoa, että energiakäytön menetelmät sopivat puupohjaiselle kuivikelannalle ja suurempien tallien sekä suurempien lantamäärien käsittelyyn tai hevoskeskittymiin.

Tallin sijainti vaikuttaa myös oleellisesti, mikä menetelmä on kannattava niin ympäristön kuin kustannustenkin kannalta. Kuivikelantaa ei ole järkevää kuljettaa kauemaksi kuin noin 50 kilometrin päähän käsiteltäväksi, koska kustannukset nousevat tämän jälkeen huomattavasti.

### 7.3.3 Kuivikkeen vaikutus vaikutusarviointituloksiin

Turpeen käyttö kuivikkeena vähentää lannan ammoniakkipäästöjä ja se myös kompostoituu nopeammin kuin puupohjainen kuivikelanta, joten ravinteen saadaan kiertoon nopeammin. Turvekuivikelannalla on siten pienemmät kompostointiprosessin päästöt kuin puupohjaisella kuivikelannalla. Asiaa kuitenkin laajemmin tarkasteltaessa on turvetuotannolla mittavat kokonaisympäristövaikutukset, joita ovat mm. hiilidioksidipäästöt, vesistökuormitus, maisemalliset haitat sekä suoekosysteemin tuhoutuminen. Eli vaikka turpeen kuivikeominaisuudet ovatkin parhaimmasta päästä, tulisi sen tuotannon ympäristövaikutukset muistaa kuiviketta valittaessa. Myös puupohjaisen kuivikkeen valmistuksesta aiheutuu päästöjä, mutta koska kuiviketurve katsotaan IPCC:n mukaan fossiiliseksi polttoaineeksi ja Suomessa hitaasti uusiutuvaksi biomassaksi, ovat ne kuivikkeina eriarvoisia, kun tarkastellaan niiden ympäristövaikutuksia.

Puupohjaisen kuivikelannan hiilidioksidipäästöjä ei tarvitse huomioida ympäristövaikutusarvioinnissa. Puun polton päästöttömyydestä ja hiilineutraaliudesta on ollut kuitenkin paljon keskustelua tiedemaailmassa. Puu sitoo kasvaessaan hiilidioksidia it-

seensä ja poltettaessa vapauttaa sitä, hiilineutraalius perustuu siis yksinkertaisuudessaan tähän. Kasvaessaan hiilidioksidin sitominen tapahtuu kuitenkin hyvin hitaasti, mutta poltettaessa ilmakehään puolestaan vapautuu lyhyessä ajassa suuri määrä hiilidioksidia. Jos biomassan polttoa lisätään huomattavasti lyhyessä ajassa, tulee ilmakehän hiilidioksidimäärä kasvamaan, koska metsien hidas kasvu ei riitä poistamaan vastaavaa määrää hiilidioksidia. Ilmastonmuutoksen hillintä ei tässä tapauksessa etene. Ainakaan, jos asiaa tarkastellaan lyhyellä aikavälillä.

Kuivikelannan poltossa kuivike, joko puu tai turve, vaikuttaa siis päästöihin. Turpeen polton hiilidioksidipäästöt ovat kuitenkin ilmastonmuutosta kiihdyttäviä. Tutkimusten mukaan turpeenpolton hiilidioksidipäästöt ja ilmastovaikutus ovat samaa luokkaa kuin kivihiihen käytöllä. Taulukossa 9 on vertailtu kuivikelantaseoksien polttoa ja ilmoitettu polton päästöt purulanta- ja turvelanta seoksille. Taulukon päästöarvojen keskiarvon mukaan happamoitumis- ja rehevöitymisvaikutukset olisivat turvelantaseoksella noin kaksinkertaiset verrattuna purulantaan. Happamoitumista aiheuttaa mm. rikkidioksidi ja sen päästöt ovat suoraan verrannollisia polttoaineen sisältämään rikkiin. Alailmakehän otsonin muodostuminen olisi suurempi myös turvelannalla, noin 2–5-kertainen purulantaan verrattuna. Hiukkaspäästöt olisivat turvelannan poltolla myös suuremmat.

Hevosennannan ja turpeen seoksella voidaan kuitenkin korvata täysin fossiilisia polttoaineita ja näin aikaansaada merkittäviä päästövähennyksiä. Joten vaikka turvepohjaisen biomassan poltosta syntyykin ilmastonmuutosta kiihdyttäviä hiilidioksidipäästöjä, jotka vähentävät biomassasta saatavan energian ilmastohyötyjä, on se silti parempi vaihtoehto kuin täysin fossiilisten polttoaineiden käyttö.

Tapauksessa, jos vaikutusarviointi rajattaisiin laajemmin kuivikkeen, hevosennannan ja kuivikelannan syntymisen osalta, huomattaisiin, että suuri osa happamoitumisen ja rehevöitymisen päästöistä aiheutuu hevosten ulkoilualueilta, tallista ja lannan varastoinnista, eikä niiden hyödyntämismenetelmistä. Hyödyntämismenetelmät ovat oikein suoritettuina lähes suljettuja prosesseja, joten niistä ei pääse muodostumaan valumia. Ulkoilualueille kertyvästä lannasta puolestaan valumia muodostuu ja näistä suuri osa lannan aiheuttamista ympäristöongelmista johtuukin.

## 8. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän diplomityön tarkoituksena oli selvittää elinkaariarvioinnin avulla ympäristön kannalta parhaat kuivikelannan hyödyntämismenetelmät erilaisille lantamäärille. Kuivikelannan käyttö ja hyödyntäminen ovat tällä hetkellä suuren huomion alla, koska ne kuuluvat osana hallitusohjelman kärkihankkeeseen, jossa pyritään biotalouden ja puhtaisten ratkaisujen edistämiseen. Työn aihe on siis hyvin ajankohtainen ja aiheesta löytyikin paljon materiaalia kirjallisuudesta, koska hevosenlannan hyötykäytöstä on meneillään useita hankkeita ja selvityksiä.

Jätelainsäädännön mukaan jätteestä tulisi ensisijaisesti hyödyntää sen sisältämä aine ja vasta toissijaisesti energia. Joten kestäväen kehityksen mukaisesti kuivikelannan kohdalla tulisi aina miettiä tapauskohtaisesti ympäristön kannalta mikä menetelmä on järkevin. Ympäristön kannalta kompostointi- ja kuivämädätysmenetelmät olisivat parhaimmat menetelmät. Niissä ravinteet saataisiin takaisin luonnon omaan kiertokulkuun ja kuivämädätysmenetelmästä saataisiin vielä lisäksi arvokasta biokaasua, joten kuivämädätys olisi jopa kompostointia parempi vaihtoehto. Myös vaikutusarviointitulosten perusteella ympäristön kannalta parhaimmat vaihtoehdot ovat ravinteiden kierätyks eli kompostointi ja kuivämädätys. Kompostointimenetelmistä löytyy hyvä menetelmä kaikille lantamäärille, joten jokainen voi valita niistä sopivan omien tarpeiden mukaan. Puupohjainen kuivikelanta soveltuu huonommin kompostointiin ja mädätykseen. Hevosyrittäjien tulisi miettiä aina kokonaisvaltaisesti tallin koko kuivike- ja kuivikelantaketju, eli onko tallin lähialueella puu- vai kasvipohjaisen kuivikelannan hyödyntäminen helpompaa. Jos kuivikelannasta eroon pääseminen on vaikeaa, olisi syytä pohtia, olisiko se helpompaa toisella kuivikkeella ja jos vain mahdollista valita sellainen kuivike, jonka hyödyntämiselle on enemmän kysyntää tallin sijainnin puolesta.

Suomessa syntyvän kuivikelannan osittainen poltto voisi olla järkevää puupohjaisen kuivikelannan kohdalla, jonka hyödyntäminen kompostoinnilla on hankalampaa. Varsinkin jos poltto toteutetaan suuressa mittakaavassa hallituissa olosuhteissa ja mahdollisesti seospolttona. Pienmittakaavassa poltto ei ole järkevää, koska riittävien palamisolosuhteiden ylläpitäminen on hankalaa lannan ominaisuuksien vuoksi. Voimalaitospoltossa pysytään myös jätelainsäädännön raja-arvojen alapuolella, mutta pienpol-



tossa nämä ylittyvät, mikä ei ole ympäristön kannalta hyvä asia. Vaikka raja-arvot ylittyvät, ovat päästöt silti vastaavat kuin puhtaan puun poltossa, joten jos kuivaukselle keksitään kustannustehokas ympäristöystävällinen menetelmä, olisi kuivikelanta ehdottomasti ympäristöystävällisempi polttoaine kuin fossiiliset polttoaineet. Kuivikelannan pelletointi heti tuoreeltaan, voisi olla järkevä menetelmä, koska silloin estettäisiin kuivikelannan kompostoitumisen käynnistyminen lantalassa ja saataisiin lanta tiiviiseen energiatehokkaaseen muotoon. Pelletöityä lantaa olisi helppo käsitellä ja kuljettaa. Termisestä kaasutuksesta ja kuivikelannan pyrolyysista olisi hyvä tehdä lisää tutkimusta. Kuivikelannan pyrolysointi voisi olla energiakäytön menetelmistä kuivämädätyksen jälkeen ympäristön kannalta toiseksi paras vaihtoehto, koska sillä saadaan tuotettua arvokasta biohiiltä, joka on todella hyvä lannoite ja maanparannusaine. Poltossa puolestaan syntyy lopputuotteena tuhkaa, joka korkeintaan kelpaa maantäyttöön.

Hevosenlannan hyödyntämisessä on tärkeää, että talliyrittäjät, viljelijät ja muut yhteistyötahot saavuttavat toisensa ja saadaan aikaan toimiva ketju, jossa jokainen hyötyy jollakin tapaa. Hevosyrittäjät pääsevät eroon kuivikelannasta ja viljelijät tai muut toimijat saavat biomassaa, josta voivat hyödyntää joko ravinteet tai energian. Hevosenlanta on lopulta hyvin luonnollinen biomassa raaka-aine, eikä sen hyödyntämisestä tulisi tehdä liian vaikeaa, eikä se olekaan, kun vain tehdään yhteistyötä!

## Lähdeluettelo:

1. Hippolis, Suomen Hippos ry, Suomen Ratsastajainliitto ry, Luke Hevostalous. Hevostalous lukuina 2015. Kielikuva 2016. [Viitattu 30.8.2016]. Saatavissa: <http://hippolis.fi/UserFiles/hippolis/File/Hevostalous%20lukuina%202015%20lopullinen.pdf>.
2. Laitinen Anne, Mäki-Tuuri Sanna. Hevosen ja kunta –rajapintoja. Hippolis – Hevosalan osaamiskeskus ry 2014. 128s. ISBN 978-952-93-4178-8 (PDF).
3. Valtioneuvoston asetus eräiden maa- ja puutarhataloudesta peräisin olevien päästöjen rajoittamisesta (1250/2014).
4. Huuskonen Viivi, Harju Antti. Kaikki irti hevosenlannasta. Hevosnomistaja 1/2016. [Viitattu 15.5.2016]. Saatavissa: <http://www.shkl.net/wp-content/uploads/2016/06/kaikki-irti-hevosenlannasta.pdf>.
5. Airaksinen Sanna. Bedding and Manure Management in Horse Stables. It's Effect on Stable Air Quality, Paddock Hygiene and the Compostability and Utilization of Manure. Kuopion yliopisto, Kuopio 2006. ISBN 951-27-0443-9 (PDF).
6. Hippolis ry. Lannan varastointi. [Viitattu 23.5.2016]. Saatavissa: [www.hippolis.fi/fi\\_innohorse/fi\\_manure/fi\\_good\\_practices/fi\\_storing/](http://www.hippolis.fi/fi_innohorse/fi_manure/fi_good_practices/fi_storing/).
7. Autio Elena. Eri hevosryhmien ruokinta. Suomen hevostietokeskus ry 2015. [Viitattu 3.5.2016]. Saatavissa: [http://www.hevostietokeskus.fi/uploads/files/Suomen\\_Hevostietokeskus\\_Hevosten\\_ruokintakoulu\\_osa-4\\_A4\\_15\\_03\\_10\\_net\\_SUOJATTU.pdf](http://www.hevostietokeskus.fi/uploads/files/Suomen_Hevostietokeskus_Hevosten_ruokintakoulu_osa-4_A4_15_03_10_net_SUOJATTU.pdf).
8. Saastamoinen Markku. Horse Manure – hevosenlannan käsittely ja hyödyntäminen ravinteiden kierrätyksen tehostamiseksi. MTT, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, TSS Työtehoseura. Loppuraportti 9.12.2014. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7B2DE1FEEA-B335-4FBA-BC50-8FCD8A86A520%7D/106560>.
9. Säikkö Riikka-Liisa. Hevosenlannan nykykäyttö ja hyödyntämismahdollisuudet energiatuotannossa Suomessa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2012. Saatavissa: [https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/84450/Säikkö\\_Riikka-Liisa\\_Kandidaatintyö.pdf?sequence=1](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/84450/Säikkö_Riikka-Liisa_Kandidaatintyö.pdf?sequence=1).
10. Myllymäki M., Särkijärvi S., Karppinen T., Kumpula H., Virkkunen E. Hevosenlannan hyötykäytön lisääminen, Case Kainuu: Biojäte ja hepolanta – hankkeen selvityksiä 2/4. MTT tutkimuskeskus, MTT Sotkamo. 2014. Saatavissa: [https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/485500/Hevosen%20lannan%20hyötykäytön%20lisääminen%20case%20Kainuu\\_final.pdf?sequence=1](https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/485500/Hevosen%20lannan%20hyötykäytön%20lisääminen%20case%20Kainuu_final.pdf?sequence=1).
11. Jansson Helena, Särkijärvi Susanna. Talliympäristöopas. MTT/ Hevostutkimuskeskus. Toinen painos 3/2010. Saatavissa: [https://www.vapo.fi/filebank/277-4794-talliopas\\_2010\\_v3\\_lr.pdf](https://www.vapo.fi/filebank/277-4794-talliopas_2010_v3_lr.pdf).
12. Methator Oy. Lanta talteen – kohti suljettua kiertoa. Loppuraportti 1.3.2013 – 30.6.2014. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7B79483E12-DE8B-401E-931F-CD9B4ED5C676%7D/107892>.
13. Amanda Vesiaho. Hevosten yksilökarsinoiden ja pihattojen kuivikkeet. 2015. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/95954/Vesiaho\\_Amanda.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/95954/Vesiaho_Amanda.pdf?sequence=1).

14. Nevalainen Niko. Vapo Oy. Sähköpostikeskustelu 28.2.2017.
15. Heinäpojat Oy. Sähköpostikeskustelu 27.2.2017.
16. Tenhunen Anna. Selvitys hevosen kuivikelannan hyötykäyttömahdollisuuksista teknisestä, juridisesta sekä talliyrittäjien näkökulmasta. Oulun yliopisto. 2014. Saatavissa: [http://www.hippolis.fi/UserFiles/hippolis/File/PDF-esitteet/Selvitys\\_hevosen\\_kuivikelannan\\_hyotykayttomahdollisuuksista\\_Anna\\_Tenhunen.pdf](http://www.hippolis.fi/UserFiles/hippolis/File/PDF-esitteet/Selvitys_hevosen_kuivikelannan_hyotykayttomahdollisuuksista_Anna_Tenhunen.pdf).
17. Pätäri Sari. Hukkakauran siemenen itävyyden säilyminen hevosen ruuansulatuskanavassa. Hämeen ammattikorkeakoulu. 2013. Saatavissa: <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/83149/HUKKAKAURAN+ITAVYYDEN+SAILYMINEN+HEVOSEN+RUUANSULATUSKANAVASSA.pdf;jsessionid=DC59904F5A0948FFCE178098B2ADF8AE?sequence=1>.
18. Laki hukkakauran torjunnasta (185/2002).
19. Albers M., Helle H., Varpula T., Itävaara M., Kapanen A., Vikman M.. Kompostiprosessin monitorointi ja ohjaus. VTT. Espoo, 2003. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2207.pdf>.
20. Halinen Arja, Tontti Tiina. Laitoskompostien laadun parantaminen kypsytystä tehostamalla. MTT. 2004. ISBN 951-729-895-1 (PDF). Saatavissa: <http://www.mtt.fi/mtts/pdf/mtts70.pdf>
21. Hippolis, Suomen Hippos ry. Aumakompostointi. Saatavissa: [http://www.hippolis.fi/fi\\_innohorse/fi\\_manure/fi\\_good\\_practices/fi\\_pilecomposting/](http://www.hippolis.fi/fi_innohorse/fi_manure/fi_good_practices/fi_pilecomposting/).
22. Humuspehtoori Oy. Maanparannus- ja lannoitetuotteet. [Viitattu 19.7.2016]. Saatavissa: <http://www.humuspehtoori.fi/maatalous/tuotteet/>.
23. HSY. Metsäpirtin multa. 2017. [Viitattu 19.7.2016]. Saatavissa: [www.hsy.fi/metsapirtinmulta/fi/Sivut/default.aspx](http://www.hsy.fi/metsapirtinmulta/fi/Sivut/default.aspx)
24. Hippolis, Suomen Hippos ry. Rumpukompostointi. Saatavissa: [http://www.hippolis.fi/fi\\_innohorse/fi\\_manure/fi\\_good\\_practices/fi\\_drumcomposting/](http://www.hippolis.fi/fi_innohorse/fi_manure/fi_good_practices/fi_drumcomposting/).
25. Kangas Juha-Ville. Biofacta Oy. Sähköpostikeskustelu 25.2.2017.
26. Koivisto Hannu. Tuubikomposti on lantavarasto. MaaseutuMedia. 2014. Saatavissa: <http://www.maaseutumedia.fi/tuubikompostointi-toimii-hyvinlantavarastona/>.
27. Virkkunen E., Karppinen T., Karjalainen H., Heikkinen P., Kempainen J.. Hevosenlannan tuubikompostointi. MTT Sotkamo. 2014. Saatavissa: [http://www.smts.fi/MTP\\_julkaisu\\_2014/Posterit/102Virkkunen\\_ym\\_Hevosenlannan\\_tuubikompostointi.pdf](http://www.smts.fi/MTP_julkaisu_2014/Posterit/102Virkkunen_ym_Hevosenlannan_tuubikompostointi.pdf).
28. Anon. Murska esite. 2013. Saatavissa: <http://www.murska.fi/esitteet/Murskabio-suomi-www.pdf>.
29. Virkkunen Elina. Luonnonvarakeskus, Luke. Sähköpostikeskustelu 27.5.2016.
30. Soininen Hanne, Mäkelä Leena, Laitinen Anni. Ympäristöasiat osana hevos-tallien kannattavuutta. Mikkelin ammattikorkeakoulu. 2010. Saatavissa: [http://www.mamk.fi/instancedata/prime\\_product\\_julkaisu/mamk/embeds/mamkwwwstructure/14224\\_1473-URNISBN9789515882912.pdf](http://www.mamk.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/mamk/embeds/mamkwwwstructure/14224_1473-URNISBN9789515882912.pdf).
31. Karjalainen H., Karppinen T., Virkkunen E., Kempainen J., Tampio E., Lötjönen T.. Biojäte ja hepolanta –hankkeen selvityksiä 3/4. MTT tutkimuskeskus, MTT Sotkamo. 2014. Saatavissa:

- [https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/485460/Raportti%20hevosennan%20tuubikompostoinnista\\_final.pdf?sequence=1](https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/485460/Raportti%20hevosennan%20tuubikompostoinnista_final.pdf?sequence=1).
32. Anon. Ab Wassis Oy. Tarjoukset: Talli-Jussi. Saatavissa: <http://www.wassis.fi/fi/myymala-tarjoukset>.
  33. Hippolis, Suomen Hippos ry. Talli-Jussi. Saatavissa: [http://www.hippolis.fi/fi\\_innohorse/fi\\_manure/fi\\_good\\_practices/fi\\_talli-jussi/](http://www.hippolis.fi/fi_innohorse/fi_manure/fi_good_practices/fi_talli-jussi/).
  34. Santasalo Katri, Retkin Risto, Harjula Jukka. Tallikohtaisen hevosennan kompostointi konsepti –hankesuunnitelma. 2015-2017.
  35. Myllymä T., Moliis K., Tohka A., Rantanen P., Ollikainen M., Dahlbo H.. Jätteiden kierrätyksen ja polton käsittelyketjujen ympäristökuormitus ja kustannukset. Suomen ympäristökeskus. 2008. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39792/SYKEra\\_28\\_2008.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39792/SYKEra_28_2008.pdf?sequence=1).
  36. Anon. Biokaasulaskuri-ohjekirja. MTT. Saatavissa: [https://portal.mtt.fi/images/sovellukset/biokaasu/biokaasulaskuri\\_ohjekirja.pdf](https://portal.mtt.fi/images/sovellukset/biokaasu/biokaasulaskuri_ohjekirja.pdf)
  37. Virkkunen Elina. Nurmi biokaasun raaka-aineena, Vuogas-hanke. MTT Sotkamo. 2014. Saatavissa: <http://www oulu.fi/sites/default/files/content/files/Elina%20Virkkunen%20-%20-%20Kohti%20omavaraista%20maatilaa.pdf>.
  38. Tampio E., Virkkunen E., Heikkinen P., Hietaranta M., Saastamoinen M.. Hevosennanta tuottaa biokaasua. MTT Sotkamo. 2014. Saatavissa: [https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/hankkeet/horsemanure/HorseManure\\_maataloustieteenpäivät2014\\_Biok.pdf](https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/hankkeet/horsemanure/HorseManure_maataloustieteenpäivät2014_Biok.pdf).
  39. Jätelaki (646/2011).
  40. Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta (151/2013).
  41. Anon. Arinapoltto. Jätelaitosyhdistys ry. Saatavissa: <http://www.jly.fi/energia31.php?treeviewid=tree3&nodeid=31>.
  42. Kokko Sami. Jätteiden energiakäytön näkymät Euroopassa leijukerrospolton kannalta. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. 2002. Saatavissa: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/34788/nbnfi-fe20021205.pdf>
  43. Seppänen A. Ympäristöministeriö. Hevosennantaan liittyvä jätelainsäädäntö. Esitelmä. Kaikki irti hevosennannasta! –seminaari. 14.1.2016.
  44. Pellikka Tuula. Hevosennannan pienpolttohankkeen tuloksia. VTT. 2008. Saatavissa: [http://www.hippolis.fi/UserFiles/hippolis/File/04112009/Pellikka\\_VTT\\_041109.pdf](http://www.hippolis.fi/UserFiles/hippolis/File/04112009/Pellikka_VTT_041109.pdf).
  45. Harju Antti. Hevosennannan polton päästömittaukset. West Breeding Oy. 2014.
  46. Forsberg Jens. Rapport: Emission measurement – horse manure. Metlab Miljö Ab. 25.5.2016.
  47. Paalanen Anssi. Hevosennanta hyötykäyttöön uusilla toimintatavoilla. Biotalous. 3.2.2016. Saatavissa: <http://www.biotalous.fi/hevosennanta-hyotykayttoon-uusilla-toimintatavoilla/>.
  48. Nevalainen Niko. Lannankierrätyspalvelulla helpotusta tallin lantahuoltoon. Saatavissa: <https://www.vapo.fi/puhti/lannankierratyspalvelu>.
  49. Pusa Eeva-Maija, Ekroos Ari. Ilmastonmuutos ja hevosennanta – uusiutuvan energian hyödyntämistä koskevan lainsäädännön lähempää tarkastelua. Ympäristöjuridiikka. 2009. Saatavissa:

- <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/18473/Pusa-Ekroos-YJ3-4-2009.pdf?sequence=2>.
50. Lassi Ulla, Wikman Bodil. Biomassan kaasutus sähköksi, lämmöksi ja biopolttoaineiksi. Jyväskylän yliopisto. 2011. Saatavissa: <https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/27058/978-951-39-4313-4.pdf?sequence=1>.
  51. Jarva Kauko, Niskanen Mauri. Stirling-moottori puukaasutuskäytössä. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu. 2011. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/33120/niskanen\\_mauri.pdf](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/33120/niskanen_mauri.pdf).
  52. Tiilikkala Kari. Hevosenlannasta jalostetaan energiaa. Hämeen Sanomat. 8.9.2013. Saatavissa: <http://www.hameensanomat.fi/uutiset/kanta-hame/242245-hevosenlannasta-jalostetaan-energiaa>.
  53. Rasa K., Ylivainio K., Rasi S., Eskola A., Uusitalo R., Tiilikkala K.. Jätevesilietteen pyrolyysi – Laboratorio- ja pilot-mittakaavan kokeita. Luonnonvarakeskus Luke. 2015. ISBN 978-952-326-021-4.
  54. Tiilikkala Kari. Biohiili ja pyrolyysitekniikat osana kierrätystaloutta. Luonnonvarakeskus Luke. 2014. Saatavissa: <https://asiakas.kotisivukone.com/files/biolaitosyhdistys.palvelee.fi/Tiilikkala.pdf>.
  55. Ympäristönsuojelulaki (527/2014).
  56. Lannoitevalmistelaki (593/2006).
  57. Lakia eläimistä saatavista sivutuotteista (517/2015).
  58. EU:n sivutuoteasetuksen täytäntöönpanoasetus (142/2011/EU).
  59. Ympäristönsuojeluasetus (713/2014).
  60. Anon. Hevosenlanta on hyvä maanparannusaine. Humuspehtoori Oy. Saatavissa: <http://www.humuspehtoori.fi/yleinen/hevosenlanta-on-hyva-maanparannusaine/>.
  61. Anon. Hevosenlannan Levittäminen Peltoon. Suomen hevostietokeskus ry. 2015. Saatavissa: <http://www.hevostietokeskus.fi/index.php?id=971&kieli=3>.
  62. Antikainen Riina. Elinkaarimetodiikkojen nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 7. 2010. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39822/SYKEra\\_7\\_2010.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39822/SYKEra_7_2010.pdf?sequence=1).
  63. Antikainen Riina, Seppälä Jyri. Elinkaarimenetelmät yrityksen päätöksenteon tukena. Finlca-hankkeen loppuraportti. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 2012. ISBN 978-952-11-3990-1. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38711/SY\\_10\\_2012.pdf?sequence=3](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38711/SY_10_2012.pdf?sequence=3).
  64. Anon. Gabi Software. Thinkstep. Saatavissa: <http://www.gabi-software.com/nw-eu-english/index/>.
  65. Anon. Ecoinvent version 3.3 database. Saatavissa: <http://www.ecoinvent.org>.
  66. Hennessy Jay, Henriksson Ola. Energy and nutrients from horse manure – Life cycle data inventory of horse manure management systems. University Of Gäfne. 2015. Saatavissa: <http://hig.diva-portal.org/smash/get/diva2:876711/FULLTEXT01.pdf>.
  67. Baky Andras. Life cycle Inventory & Assessment Report: Combustion of Horse Manure with Heat Utilization. JTI – Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering. 2013. Saatavissa: [http://www.balticmanure.eu/download/Reports/lci\\_\\_incineration\\_web.pdf](http://www.balticmanure.eu/download/Reports/lci__incineration_web.pdf).

68. Jaakkola Aapo. Elinkaariarviointi. Lahden ammattikorkeakoulu. 2008. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/11962/2008-07-21-26.pdf?sequence=1>.
69. Luostarinen S., Grönroos J., Saastamoinen M.. Hevosennälän käsittely Suomessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 8/2017. Luonnonvarakeskus Luke. 2017. Saatavissa: [https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/538154/luke-luobio\\_8\\_2017.pdf?sequence=1](https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/538154/luke-luobio_8_2017.pdf?sequence=1).
70. Meller Petri. Ypäjän hevosopisto. Sähköpostikeskustelu 6.6.2016.
71. Lötjönen Timo. Lannan tuubikompostoinnin kustannuslaskelma. MTT Ruukki. 2014.
72. Nyman Tomas. Niihama Riding Oy. Vierailu ja keskustelu 30.5.2016.
73. Anon. Biokaasulaskuri. Luonnonvarakeskus Luke, Ukipolis Oy. Saatavissa: [http://portal.mtt.fi/portal/pls/portal/gas\\_mtt.gas\\_mtt\\_laskuri](http://portal.mtt.fi/portal/pls/portal/gas_mtt.gas_mtt_laskuri).

## **Liiteluettelo:**

Liite 1. Hevosenlannan mädätyksessä syntyvän biokaasun ja saatavan lämpöenergian määrä.

Liite 2. Hevosenlannan poltosta syntyvän lämpöenergian määrä.

Liite 3. ARVOKORTTI: Aumakompostointi.

Liite 4. ARVOKORTTI: Rumpukompostointi.

Liite 5. ARVOKORTTI: Tuubikompostointi.

Liite 6. ARVOKORTTI: Talli-Jussi.

Liite 7. ARVOKORTTI: Kuivamädätys.

Liite 8. ARVOKORTTI: Poltto.

Liite 9. ARVOKORTTI: Terminen kaasutus.

Liite 10. ARVOKORTTI: Pyrolyysi.

Hevosenlannan mädätyksessä syntyvän biokaasun ja saatavan lämpöenergian määrä:

Hevonen tuottaa vuodessa lantaa (kg/a) <sub>A</sub>	8850
Hevonen tuottaa biokaasua vuodessa (m <sup>3</sup> /a)	525
Biokaasun keskimääräinen lämpöarvo (kWh/m <sup>3</sup> )	5
Hyötysuhde (%)	55
Hevosen tuottaman biokaasun lämpöenergia (kWh/a)	1443,75
Hevosen tuottaman biokaasun lämpöenergia (MWh/a)	1,44

A: Airaksinen 2006

Hevosia (kpl)	1	5	10	15	20	25	50
Biokaasua (m <sup>3</sup> /a)	525	2 625	5 250	7 875	10 500	13 125	26 250
Tuotettu lämpöenergia, $\eta = 55\%$ (MWh/a)	1,4	7,2	14,4	21,7	28,9	36,1	72,2

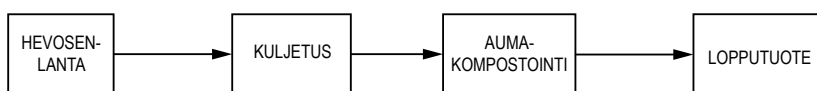


Hevosenlannan poltosta syntyvän lämpöenergian määrä:

Hevonen tuottaa vuodessa lantaa (kg/a) <sub>A</sub>	8850
Kostean lannan tehollinen lämpöarvo (MJ/kg)	4,52
Kostean lannan tehollinen lämpöarvo (MWh/kg)	0,0013
Hyötysuhde (%)	60
Poltosta saatava lämpöenergia (MWh/a)	6,67

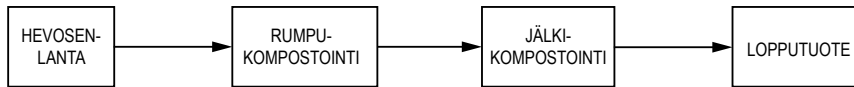
A: Airaksinen, 2006

<b>Hevosia (kpl)</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>50</b>
Lantamäärä (kg/a)	8 850	44 250	88 500	132 750	177 000	221 250	442 500
Lannasta saatava lämpöenergia, $\eta = 60\%$ (MWh/a)	6,67	33,35	66,71	100,06	133,41	166,76	333,53



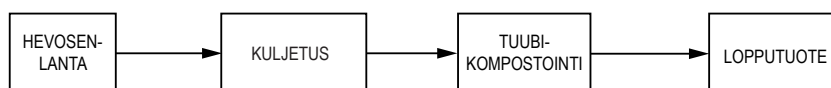
<b>TASEET:</b>			
<b>SYÖTE</b>		<b>TUOTOS, PÄÄSTÖT</b>	
<b>Raaka-aineet:</b>		<b>Lopputuotteet:</b>	
Hevosenslanta	1000 kg	Kompostoitu hevosenslanta	667 kg
		<b>Päästöt:</b>	
		CH <sub>4</sub>	2,76 kg/t
		NO <sub>3</sub>	0,003 kg/t
		NH <sub>3</sub>	0,46 kg/t
		NH <sub>4</sub>	0,0002 kg/t
		N <sub>2</sub> O	0,01 kg/t
		N <sub>2</sub>	0,01 kg/t
		P	0,006 kg/t

<b>VAIKUTUSARVIOINNIN TU- LOKSET:</b>				
<b>Vaikutusluokka</b>	<b>Kuljetus</b>	<b>Auma- kompostointi</b>	<b>Työ (kauhakuor- maaja)</b>	<b>Yhteensä</b>
<b>Ilmastonmuutos (kg, CO<sub>2</sub>-ekv. /t)</b>	10,5	72,4	0,38	83,28
<b>Happamoituminen (kg, SO<sub>2</sub>-ekv. /t)</b>	0,04	0,74	0,003	0,78
<b>Rehevöityminen (kg, PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>-ekv. /t)</b>	0,01	0,19	0,0007	0,20
<b>Otsonikato (kg, CFC<sub>11</sub>-ekv. /t)</b>	0,000002	0	4E-08	2E-06
<b>Alailmakehän otsoni (kg, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-ekv. /t)</b>	0,004	0,02	0,0003	0,02



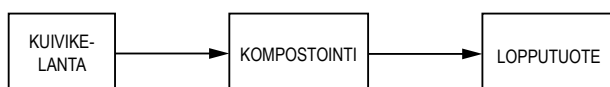
<b>TASEET:</b>			
<b>SYÖTE</b>		<b>TUOTOS, PÄÄSTÖT</b>	
<b>Raaka-aineet:</b>		<b>Välituote rumpukompostoinnista:</b>	
Hevosenlanta	1000 kg	Esikompostoitu hevosenlanta	750 kg
<b>Energia:</b>		<b>Lopputuotteet:</b>	
Sähkö (rumpu)	79,2 MJ/t	Kompostoitu hevosenlanta	500 kg
		<b>Päästöt rumpukompostoinnista:</b>	
		CH <sub>4</sub>	1,13 kg/t
		N <sub>2</sub> O	0,0005 kg/t
		NH <sub>3</sub>	0,05 kg/t
		NH <sub>4</sub>	0,0005 kg/t
		<b>Päästöt jälkikompostoinnista:</b>	
		CH <sub>4</sub>	0,06 kg/t
		N <sub>2</sub> O	0,01 kg/t
		NH <sub>3</sub>	0,08 kg/t

<b>VAIKUTUSARVIOINNIN TU- LOKSET:</b>				
<b>Vaikutusluokka</b>	<b>Sähkö</b>	<b>Rumpu- kompostointi</b>	<b>Jälki- kompostointi</b>	<b>Yhteensä</b>
<b>Ilmastonmuutos (kg, CO<sub>2</sub>-ekv. /t)</b>	5,82	28,4	4,96	39,18
<b>Happamoituminen (kg, SO<sub>2</sub>-ekv. /t)</b>	0,02	0,08	0,13	0,23
<b>Rehevöityminen (kg, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-ekv. /t)</b>	0,007	0,017	0,03	0,06
<b>Otsonikato (kg CFC<sub>11</sub>-ekv. /t)</b>	0,000001	0	0	0,000001
<b>Alailmakehän otsoni (kg, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-ekv. /t)</b>	0,002	0,007	0,0003	0,009



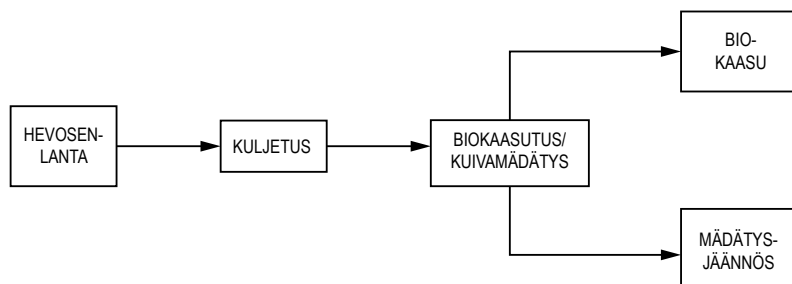
TASEET:			
SYÖTE		TUOTOS, PÄÄSTÖT	
<b>Raaka-aineet:</b>		<b>Lopputuotteet:</b>	
Hevosenslanta	1000 kg	Kompostoitu hevosenslanta	667 kg
		<b>Päästöt:</b>	
		CH <sub>4</sub>	2,76 kg/t
		NO <sub>3</sub>	0,003 kg/t
		NH <sub>3</sub>	0,46 kg/t
		NH <sub>4</sub>	0,0002 kg/t
		N <sub>2</sub> O	0,01 kg/t
		N <sub>2</sub>	0,01 kg/t
		P	0,006 kg/t

VAIKUTUSARVIOINNIN TU- LOKSET:			
Vaikutusluokka	Kuljetus	Tuubikompostointi	Yhteensä
<b>Ilmastonmuutos</b> (kg, CO <sub>2</sub> -ekv. /t)	7	72,4	79,4
<b>Happamoituminen</b> (kg, SO <sub>2</sub> -ekv. /t)	0,01	0,74	0,75
<b>Rehevöityminen</b> (kg, PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> -ekv. /t)	0,004	0,19	0,19
<b>Otsonikato</b> (kg, CFC <sub>11</sub> -ekv. /t)	0	0	0
<b>Alailmakehän otsoni</b> (kg, C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -ekv. /t)	0,001	0,02	0,02



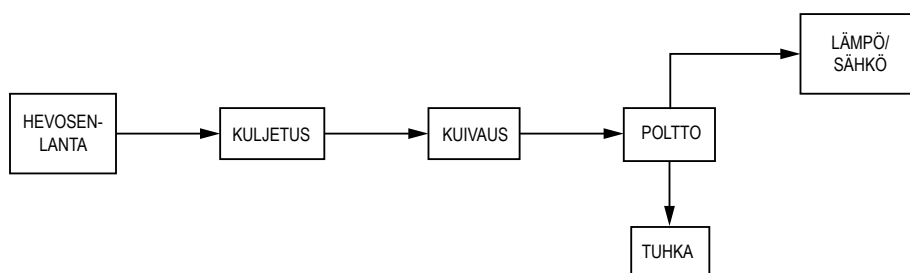
<b>TASEET:</b>			
<b>SYÖTE</b>		<b>TUOTOS, PÄÄSTÖT</b>	
<b>Raaka-aineet:</b>		<b>Lopputuotteet:</b>	
Hevosenlanta	1000 kg	Kompostoitu hevosenlanta	500 kg
		<b>Päästöt:</b>	
		CH <sub>4</sub>	2,76 kg/t
		NO <sub>3</sub>	0,003 kg/t
		NH <sub>3</sub>	0,46 kg/t
		NH <sub>4</sub>	0,0002 kg/t
		N <sub>2</sub> O	0,01 kg/t
		N <sub>2</sub>	0,01 kg/t
		P	0,006 kg/t

<b>VAIKUTUSARVIOINNIN TULOKSET:</b>			
<b>Vaikutusluokka</b>	<b>Talli-Jussi</b>	<b>Kuljetus (traktori)</b>	<b>Yhteensä</b>
<b>Ilmastonmuutos (kg, CO<sub>2</sub>-ekv. /t)</b>	72,4	0,61	73,01
<b>Happamoituminen (kg, SO<sub>2</sub>-ekv. /t)</b>	0,74	0,004	0,74
<b>Rehevöityminen (kg, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-ekv. /t)</b>	0,19	0,001	0,19
<b>Otsonikato (kg, CFC<sub>11</sub>-ekv. /t)</b>	0	7E-08	7E-08
<b>Alailmakehän otsoni (kg, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-ekv. /t)</b>	0,02	0,0005	0,02



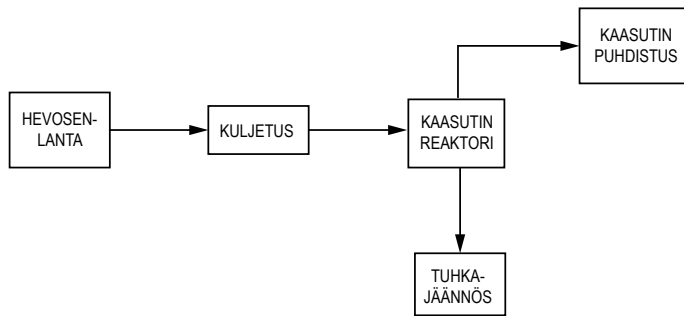
TASEET:			
SYÖTE		TUOTOS, PÄÄSTÖT	
<b>Raaka-aineet:</b>		<b>Lopputuotteet:</b>	
Hevoselanta	1000 kg	Biokaasu	59,3 m <sup>3</sup>
		Mädätysjäännös	870 kg
<b>Energia:</b>		<b>Päästöt:</b>	
Sähkö	230,4 MJ/t	CH <sub>4</sub>	3,37 kg/t
		NH <sub>3</sub>	0,1 kg/t
		N <sub>2</sub> O	0,006 kg/t
		H <sub>2</sub> S	0,00005 kg/t
		CO <sub>2, BIO</sub>	3,78 kg/t

VAIKUTUSARVIOINNIN TULOKSET:				
Vaikutusluokka	Kuljetus	Sähkö	Mädätys	Yhteensä
<b>Ilmastonmuutos</b> (kg, CO <sub>2</sub> -ekv. /t)	10,5	18,2	89,9	118,6
<b>Happamoituminen</b> (kg, SO <sub>2</sub> -ekv. /t)	0,04	0,08	0,16	0,27
<b>Rehevöityminen</b> (kg, PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> -ekv. /t)	0,01	0,02	0,037	0,07
<b>Otsonikato</b> (kg, CFC <sub>11</sub> -ekv. /t)	0,000002	0,000004	0	0,000006
<b>Alailmakehän otsoni</b> (kg, C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -ekv. /t)	0,004	0,005	0,02	0,03



TASEET:			
SYÖTE		TUOTOS, PÄÄSTÖT	
<b>Raaka-aineet:</b>		<b>Väli tuote kuivauksesta:</b>	
Hevoselanta	1000 kg	Kuivattu hevoselanta	438 kg
<b>Energia:</b>		<b>Lopputuotteet:</b>	
Sähkö (kuivaus)	1919 MJ/t	Tuhka	71 kg
		<b>Päästöt kuivauksesta:</b>	
		NH <sub>3</sub>	1,23 kg/t
		NO	0,28 kg/t
		CO <sub>2, BIO</sub>	42,32 kg/t
		<b>Päästöt poltosta:</b>	
		NO <sub>x</sub>	2,69 kg/t
		SO <sub>2</sub>	2,53 kg/t
		CO	1,13 kg/t
		CO <sub>2, BIO</sub>	1306 kg/t

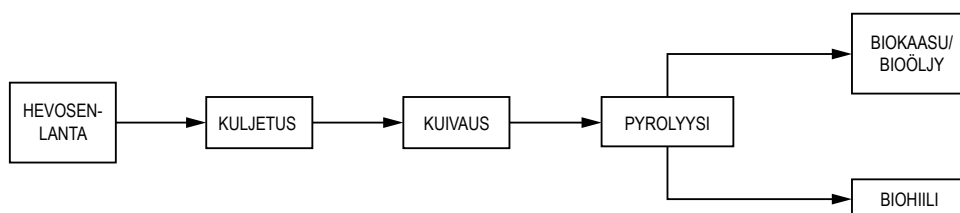
VAIKUTUSARVIOINNIN TU- LOKSET:					
Vaikutusluokka	Kuljetus	Sähkö	Kuivaus	Poltto	Yhteensä
Ilmastonmuutos (kg, CO <sub>2</sub> -ekv. /t)	10,5	141	0	0	151,5
Happamoituminen (kg, SO <sub>2</sub> -ekv. /t)	0,04	0,49	2,1	7,33	9,96
Rehevöityminen (kg, PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> -ekv. /t)	0,01	0,17	0,47	0,94	1,58
Otsonikato (kg, CFC <sub>11</sub> -ekv. /t)	0,000002	0,00003	0	0	0,00003
Alailmakehän otsoni (kg, C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -ekv. /t)	0,004	0,04	0,008	0,15	0,20



<b>TASEET:</b>			
<b>SYÖTE</b>		<b>TUOTOS, PÄÄSTÖT</b>	
<b>Raaka-aineet:</b>		<b>Väli tuote kuivauksesta:</b>	
Hevoselanta	1000 kg	Kuivattu hevoselanta	438 kg
<b>Energia:</b>		<b>Lopputuotteet:</b>	
Sähkö (kuivaus)	1919 MJ/t	Tuotekaasu	1156,3 Nm <sup>3</sup>
		Jäännöstuhka	8,3 kg
		<b>Päästöt kuivauksesta:</b>	
		NH <sub>3</sub>	1,23 kg/t
		NO	0,28 kg/t
		CO <sub>2, BIO</sub>	42,32 kg/t
		<b>Päästöt kaasutuksesta:</b>	
		NO <sub>x</sub>	0,26 kg/t
		CO	0,41 kg/t
		SO <sub>2</sub>	0,22 kg/t
		CO <sub>2, BIO</sub>	530,51 kg/t

<b>VAIKUTUSARVIOINNIN TULOKSET:</b>					
<b>Vaikutusluokka</b>	<b>Kuljetus</b>	<b>Sähkö</b>	<b>Kuivaus</b>	<b>Kaasutus</b>	<b>Yhteensä</b>
<b>Ilmastonmuutos (kg CO<sub>2</sub>-ekv. /t)</b>	10,5	141	0	0	151,5
<b>Happamoituminen (kg SO<sub>2</sub>-ekv. /t)</b>	0,04	0,49	2,1	0,42	3,05
<b>Rehevöityminen (kg PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>-ekv. /t)</b>	0,01	0,17	0,47	0,0002	0,64
<b>Otsonikato (kg CFC<sub>11</sub>-ekv. /t)</b>	0,000002	0,00003	0	8E-09	0,00003
<b>Alailmakehän otsoni (kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-ekv. /t)</b>	0,004	0,04	0,008	0,02	0,11





TASEET:	
SYÖTE	TUOTOS, PÄÄSTÖT
<b>Raaka-aineet:</b>	<b>Välituote kuivauksesta:</b>
Hevosenslanta 1000 kg	Kuivattu hevosenslanta 438 kg
<b>Energia:</b>	<b>Lopputuotteet:</b>
Sähkö (kuivaus) 1919 MJ/t	Biohiili 153,3 kg
	<b>Päästöt kuivauksesta:</b>
	NH <sub>3</sub> 1,23 kg/t
	NO 0,28 kg/t
	CO <sub>2, BIO</sub> 42,32 kg/t
	<b>Päästöt pyrolyysistä:</b>
	NO <sub>x</sub> 0,14 kg/t
	CO 12,14 kg/t
	SO <sub>2</sub> 0,08 kg/t
	CO <sub>2, BIO</sub> 196,5 kg/t

VAIKUTUSARVIOINNIN TULOKSET:					
Vaikutusluokka	Kuljetus	Sähkö	Kuivaus	Pyrolyysi	Yhteensä
<b>Ilmastonmuutos (kg, CO<sub>2</sub>-ekv. /t)</b>	10,5	141	0	0	151,5
<b>Happamoituminen (kg, SO<sub>2</sub>-ekv. /t)</b>	0,04	0,49	2,1	0,41	3,04
<b>Rehevöityminen (kg, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-ekv. /t)</b>	0,01	0,17	0,47	0,12	0,76
<b>Otsonikato (kg, CFC<sub>11</sub>-ekv. /t)</b>	0,000002	0,00003	0	0,00001	0,00005
<b>Alailmakehän otsoni (kg, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-ekv. /t)</b>	0,004	0,04	0,008	0,07	0,12

