

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Ylempi ammattikorkeakoulututkinto

Hanne Turunen

HEVOSENLANTA LÄMMÖNLÄHTEENÄ VESIKIERTOISESSA
LÄMMITYSJÄRJESTELMÄSSÄ

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2013



OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2013
Ympäristötekologian
koulutusohjelma

Sirkkalantie 12 A
80100 JOENSUU
(013) 260 6900

Tekijä
Hanne Turunen

Nimeke
Hevosenlanta lämmönlähteenä vesikiertoisessa lämmitysjärjestelmässä

Toimeksiantaja
Haapialan talli

Tiivistelmä

Opinnäytetyössä selvitettiin hevosenlannan hyötykäyttöä energianlähteenä Suomessa. Tehdyn selvityksen perusteella eteläsavolaiselle keskikokoiselle hevosetilalle suunniteltiin vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä, jossa lämmönlähteenä käytettiin hevosenlannan varastoinnin aikana tapahtuneen passiivisen kompostoinnin aikaansaamaa lämpöenergiaa. Hevosenlannan kompostilämmön talteenotto ja hyötykäyttö kasvattaa tilan energiaomavaraisuutta ja vähentää muilla energiamuodoilla tapahtuvaa lämmöntuottoa.

Työ oli pääasiallisesti kvalitatiivinen ja siinä on käytetty myös kvantitatiivisia metodeja. Kuvaileva kirjallisuuskatsaus on tehty integroivalla menetelmällä. Työtä varten tehtiin talliyrittäjien sekä asiantuntijoiden teemahaastatteluja. Haapialan tilalla tehtiin myös lannan kompostilämpöön liittyviä mittauksia. Kirjallisuuden, haastattelujen sekä mittausten perusteella tilalle suunniteltiin lämmitysjärjestelmä lantalan tuottaman kompostilämmön hyödyntämiseksi.

Työssä todettiin kompostilämmön olevan maassamme vähän hyödynnetty mutta hyvin käyttökelpoinen, paikallinen ja uusiutuva energianlähde esimerkiksi tallin varuste- ja sosiaalityökalujen lämmittämiseksi. Vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä on edullinen ja kohtuullisen huoltovapaa järjestelmä, joka soveltuu myös pienehköille hevosiloille.

Kieli
suomi

Sivuja 102
Liitteet 3
Liitesivumäärä 3

Asiasanat
Hevosenlanta, kompostointi, lämmitysjärjestelmä, energia



THESIS
April 2013
Degree Programme in Environmental Engineering
Sirkkalantie 12 A
FI 80100 JOENSUU
FINLAND
(013) 260 6900

Author
Hanne Turunen

Title
Horse Manure as a source of Thermal Energy in Hydronic Heating System

Commissioned by
Haapialan talli

Abstract

The purpose of this study was to investigate the utilisation of horse manure in the production of energy in Finland. On the basis of the results of this study a hydronic heating system was designed for a medium sized horse ranch in southern Savo. The heat generated by passive composting of horse manure during storage was used as a source of thermal energy in the heating system designed. The recovery and utilisation of thermal energy of composting increases the energy self-sufficiency of the ranch and decreases the need to use other energy sources to produce heat.

The study was mainly qualitative and partly quantitative. A descriptive literature review was made by an integrative method. For this study, theme interviews of stable entrepreneurs and professionals were done. The study also includes an empirical part at Haapiala ranch, where some temperature measurements concerning compost heat were taken. Based on the literature, interviews and temperature measurements a heating system was designed under the manure pit to utilise the compost heat.

The study indicates that utilisation of compost heat is a meagerly used but very usable, local and renewable source of energy for example in heating the locker room and storage spaces at the stables. The hydronic heating system is a cheap and quite maintenance free system which is also applicable for smallish horse ranches.

Language
Finnish

Pages 102
Appendices 3
Pages of Appendices 3

Keywords
Horse manure, composting, heating system, energy

Sisältö

1	Johdanto.....	6
2	Hevostalous Suomessa.....	7
2.1	Hevosienlanta ja sen tuotanto.....	8
2.1.1	Kuivike.....	10
2.2	Hevosienlannan varastointiin hyödyntämiseen vaikuttava oleellinen lainsäädäntö.....	13
2.3	Hevosienlannan nykyiset hyötykäyttö- ja loppusijoituskohteet.....	16
3	Hevosienlannan energiakäyttö Suomessa.....	18
3.1	Poltto.....	19
3.1.1	Lannanpolton lainsäädännön problematiikkaa ja kansalliset poikkeavuudet direktiivien tulkinnassa.....	19
3.1.2	Hevosienlanta polttoaineena ja polttokokeet.....	21
3.1.3	Lannanpolton tulevaisuudet näkymät.....	23
3.2	Biokaasutus (mädätys).....	25
3.2.1	Hevosienlanta biokaasun raaka-aineena.....	26
3.3	Kaasutus.....	28
3.3.1	Kaasutuksen lainsäädännön tulkintaa.....	29
3.3.2	Hevosienlannan kaasutuksen taloudelliset mahdollisuudet.....	30
3.4	Jatkojalostus (briketöinti ja pelletöinti).....	31
3.5	Kompostointi.....	33
3.5.1	Kompostoitumisprosessi.....	33
3.5.2	Hevosienlannan ominaisuudet lähtöaineena ja kuivikkeen vaikutus kompostoitumiseen.....	37
3.5.3	Kompostointitekniikat.....	40
3.5.4	Kompostilämpö.....	47
3.5.5	Lämmönsaanti teoriassa.....	48
3.5.6	Lämmönsaanti käytännössä.....	50
3.5.7	Lämmön talteenotto.....	53
4	Lantalämmön hyötykäyttö kotieläintuotannossa.....	57
5	Lannan hyötykäyttö energianlähteenä ulkomailla.....	58
5.1	Ruotsi.....	59
5.2	Saksa.....	60
6	Työn tutkimusstrategia, käytetyt tutkimusmenetelmät ja tiedonhankinta.....	62
6.1	Tutkimusmenetelmät.....	62
7	Esimerkkejä lannan hyötykäytöstä lämpöenergian lähteenä Suomessa.....	63
7.1	Pinewood Stables, Mäntsälä.....	64
7.2	Taipaleen talli, Kiiminki.....	66
7.3	Mäkelän tila, Orimattila.....	68
7.4	Tampereen ratsastuskeskus, Tampere.....	69
7.5	Hingunniemen koulutila, Kiuruvesi.....	70
8	Haapialan tila.....	72
8.1	Tilan lantahuolto.....	74
8.2	Lämpökeskus.....	75
8.3	Eri lämmitysjärjestelmien soveltuvuuden arviointi.....	77
8.4	Lantalämmön hyödyntäminen nykyisissä tiloissa.....	80
8.4.1	Tallit.....	80

	8.4.2	Konehuoltotilat.....	82
	8.4.3	Asuinrakennukset.....	83
8.5		Lantalämmön hyödyntäminen uudisrakennuksessa.....	83
	8.5.1	Talli.....	84
	8.5.2	Pihatto.....	84
	8.5.3	Maneesi.....	85
9		Lantalán lämpötilamittaukset Haapialan tilalla.....	86
10		Lanta lämmönlähteenä vesikiertoisessa lämmitysjärjestelmässä Haapialan tilalla.....	87
	10.1	Idea.....	88
	10.2	Tekniikka.....	89
	10.3	Kustannusarvio ja taloudellinen kannattavuus.....	92
	10.4	Hyödyt ja haitat.....	93
11		Johtopäätökset ja tulosten arviointi.....	95
		Lähteet.....	98

Liitteet

Liite 1	Haapialan lantalán lämpötilamittausten kaavio
Liite 2	Haapialan tilan asemapiirros
Liite 3	Haapialan tallin pohjapiirros

1 Johdanto

Suomen hevosala ja hevosten määrä on kasvanut vuodesta 1980 lähtien tasaisesti ja nykyisin Suomessa on noin 75 500 hevosta (Suomen Hippos ry 2012). Tallit sijaitsevat yhä useammin kaupunkialueilla tai niiden läheisyydessä eikä talleilla välttämättä ole enää viljeltyjä peltoja, joilla tilan tuottaman hevosenlannan voisi käyttää lannoitteena ja samalla päästä eroon hevosenlannasta. (Airaksinen 2006, 13.). Monille talleille hevosenlanta on ongelma ja jäte, josta joudutaan hankkiutumaan eroon ja maksamaan jätteen hävittämisestä.

Toisaalla Suomen vallitseva pitkän aikavälin ilmastostrategia vuodelta 2008 asettaa Suomelle tavoitteeksi nostaa uusiutuvien energialähteiden osuuden energianlähteenä vuoden 2008 noin 28,5 prosentista 38 prosenttiin vuoteen 2020 mennessä. Pitkän aikavälin ilmastostrategiassa on osana uusiutuvia energianlähteitä mainittu myös maataloudet sivuvirrat, kuten lanta ja sen hyötykäyttö energianlähteenä. Ilmastostrategiassa esitetään mm. lannan hyötykäytön tukemista energialähteenä siten, että maatalouspohjaisista bioenergiälähteistä saatavan energian määrä olisi noin 4 – 5 TWh vuonna 2020. (Valtioneuvoston selontekoehdotus eduskunnalle 6.11.2008, 38-39.) Lanta energianlähteenä on uusiutuvaa, paikallista raaka-ainetta ja tukee siis erinomaisesti Suomen ilmastostrategiassa itselleen asettamien tavoitteiden saavuttamista. Lisäksi hevosenlannan hyötykäyttö energianlähteenä on hyvä esimerkki kotimaisesta, hajautetusta energiantuotannosta, joka lisää Suomen huoltovarmuutta ja vähentää riippuvuutta tuontienergiasta.

Tämä opinnäytetyö käsittelee Suomen hevosalan tuottamaa hevosenlantaa energiakäytön näkökulmasta: hevosenlannan nykyistä hyötykäyttöä energianlähteenä sekä energiakäytön hyötykäyttöpotentiaalia tulevaisuudessa. Lisäksi työssä käydään läpi aiheeseen liittyvää lainsäädäntöä sekä tutustutaan myös Ruotsin ja Saksan malleihin hyötykäyttää hevosenlantaa energiantuotannossa. Työssä esitellään tunnetut, mutta toistaiseksi vain vähän käytetyt tavat hyötykäyttää hevosenlantaa energianlähteenä: poltto, biokaasutus, kaasutus, jatkojalostus sekä kompostointi. Näistä kompostointiin perehdytään muita tarkemmin.

Varsinaisena toimeksiantona työssä oli suunnitella eteläsavolaiselle, 23 hevosen hevestallille vesi-/glykolikiertoinen lämmitysjärjestelmä, jossa lämmönlähteenä toimii hevosenlannan passiivisesti varastoinnin aikana kompostoituaan tuottama lämpö. Hevosenlannan tuottaman lämmön avulla voitaisiin vähentää muiden energianlähteiden, kuten hakkeen tai ostosähkön käyttöä tilalla ja näin saavuttaa sekä taloudellista säästöä, että nostaa tilan omavaraisuusastetta energiansaannin suhteen. Työtä varten on myös haastateltu viittä eri suomalaista hevestilaa, jotka käyttävät lannan kompostoituaan tuottamaa lämpöä hyväkseen. Lannan hyötykäyttö energianlähteenä on toistaiseksi hyvin harvinaista, mutta siihen liittyy suuri potentiaali niin pienten, keskisuurten kuin suurtenkin hevestilojen toiminnassa.

2 Hevostalous Suomessa

Hevostalous on Suomessa muuttunut sadassa vuodessa oleellisesti niin rakenteensa, kuin hevosten lukumääränkin suhteen. Sota-aikaan, 1940-luvulla Suomessa oli hevosia noin 375 000 kappaletta. Määrä lähti rajuun laskuun maataloudessa käytettävien koneiden myötä ja 1980-luvulla hevosia oli enää vain noin 31 500. Ratsastusharrastuksen yleistyminen ja raviurheilun suosion revanssi siivittivät hevosten määrän uuteen nousuun siten, että vuonna 2000 hevosia oli Suomessa noin 57 600 ja nykyisin Suomen hevosten lukumäärä on noin 75 500. Tästä hevosmäärästä suomenhevosia on 19 800 (26 %), lämminveriravureita 25 800 (34 %), ratsuhevosia 19 700 (26 %) ja poneja 10 200 (14 %). (Suomen Hippos ry 2012.) Hevosten määrän on arvioitu kasvavan vuosittain noin 2000 eläimellä (Hippolis ry 2013, 4).

Suomessa on hevestalleja noin 16 000 kappaletta. Hevosalan työllistävyys on koko- tai osa-aikaisesti noin 15 000 henkilöä, ja hevosen perusrehun tuotantoon sitoutuu 100 000 hehtaaria peltoalaa. Hevostalouden yritysmuotoina ovat esimerkiksi ravivalmennus, hevosten hoitopalvelut, ratsastuskoulutoiminta, hevoskasvatus, siittolapalvelut ja hevosmatkailupalvelut. (Suomen Hippos ry 2012.) Usein hevosalan yritykset toimivat monella näistä eri hevostalouden sektoreista.

Hevoset myös kiinnostavat ihmisiä – ratsastusta harrastaa noin 160 000 ihmistä ja raviurheilun harrastajia on yli 200 000 henkilöä. Raviradat vetivät puoleensa yli 730 000 henkilöä vuonna 2011. (Suomen Hippos ry 2012.)



Kuva 1. Ravihevosten treeniä Haapialan tilalla. (Kuva: Elina Kukkosen arkisto 2013)

2.1 Hevosenlanta ja sen tuotanto

Yksi hevonen tuottaa vuodessa noin 12 m³ lantaa ja poni noin 8 m³ lantaa (VnA 931/200, liite 2). Yleisesti sekä tässä työssä käytettävä nimike ”hevosenlanta” on sekoitus lantaa, virtsaa ja karsinassa käytettyä kuiviketta. Kuivikkeen osuus hevosenlannasta on jopa 60-80 prosenttia (Airaksinen 2006, 16). Suomen 75 500 hevosta ja ponia tuottavat siis vuositasonolla noin 900 000 m³ lantaa. Vuositasonolla yksi hevonen tuottaa lannan ja virtsan muodossa 10-12 kiloa fosforia ja 50-65 kiloa typpeä, lannan vuositason kokonaistuotannon ollessa noin 8000-10000 kg yhtä hevosta kohti (Airaksinen 2013).

Lannan koostumus riippuu hevosen ruokavaliosta. Ruokavalio voidaan jakaa kahteen pääosaan: karkearehuun sekä väkirehuun. Hevosen pääravintona tulisi olla korkealaatuinen karkearehu, joita ovat laidunruoho, kuiva heinä, esikuivattu säilörehu, säilöheinä, olki sekä heinästä tehdyt pelletit, hakkeet sekä jauhot. Minimissään karkearehua tulisi syöttää 1,5 kiloa karkearehun kuiva-ainetta hevosen sataa elopainokiloa kohti. Käytännössä siis 500-kiloisen hevosen tulee syödä vähintään 9 kiloa kuivaa heinää tai 50 kiloa laidunruohoa päivässä. Lisäksi hevonen usein tarvitsee myös väkirehua, joita ovat kaura, ohra, muut viljat sekä erilaiset teolliset täys- ja tiivisterehut. Näiden lisäksi jokainen hevonen tarvitsee ruokavalionsa pienen määrän kivennäisaineita sekä vitamiineja. Vettä hevonen juo kymmeniä litroja vuorokaudessa, riippuen hevosen koosta, iästä, karkearehun tyypistä, ulkolämpötilasta ja hevosen käytöstä. (Suomen hevostietokeskus ry 2012.)

Hevosenlanta on ravinteikasta lantaa, joka soveltuu erinomaisesti lannoitteeksi. Hevosenlannassa on tutkimuksen mukaan kokonaistyppeä 4,6 kg/t, liukoista typpeä 0,6 kg/t, fosforia 0,9 kg/t ja kaliumia 3,1 kg/t. Karjanlantaan nähden kokonaistyyppi on täsmälleen sama, liukoista typpeä, fosforia sekä kaliumia on jossain määrin vähemmän kuin karjan- tai sianlannassa. (Airaksinen 2006, 16.) Osa hevosenlannan ravinteista on sitoutuneena orgaaniseen ainekseen ja osa on liukoisessa muodossa (Soininen, Mäkelä, Äikäs & Lahtinen 2010, 36). Hevosenlannan ravinnepitoisuus mm. fosforin suhteen on riippuvainen hevosen ruokinnasta (Airaksinen 2013).

Kompostoidun hevosen turvelannan soveltuvuutta vihannesten ja mansikan lannoitteeksi avomaaviljelyssä on tutkittu Kuopion yliopistossa vuosituhannen alussa ja tutkimuksessa todettiin, että hevosenlannalla lannoitetut vihannessadot olivat muilla lannoitteilla lannoitettuihin satoihin nähden erinomaisia. Vihannesten nitraattipitoisuus oli alhainen ja hygienian laatu erinomainen. Hevosenlanta on nk. hitaasti vaikuttava lannoite ja se soveltuu parhaiten myöhään kypsyvien kasvien lannoitukseen. (Suomen hevostietokeskus ry 2013.)

Hevosenlanta saattaa sisältää lannan, virtsan ja kuivikkeen lisäksi myös pieniä määriä rehua, rikkakasvien siemeniä, lääkkeitä ja loiseläinten munia (Soininen & kumpp. 2010, 36.). Turvelannan kosteusprosentti on keskimäärin noin 60-70 % (Alho, Halonen,

Kuuluvainen & Matilainen 2010, 48), lannan kosteusprosenttiin vaikuttaessa mm. varastointiolosuhteet (lantalan mahdollinen viemärointi tai kate) sekä vallitseva säätila.



Kuva 2. Hevosenlantaa ja turvetta karsinassa. (Kuva: Elina Kukkosen arkisto 2013)

2.1.1 Kuivike

Koska valtaosa hevostilojen tuottamasta lantajätteestä on kuiviketta, on kuivikkeella suuri merkitys lannan jatkokäsittelyyn ja mahdolliseen hyödyntämiseen. Kuiviketta käytetään karsinoissa imemään hevosen virtsaa, sitomaan virtsan ammoniakkia ja parantamaan näin talli-ilman laatua sekä hevosen hyvinvointia. (Airaksinen 2006, 13.) Kuivikkeen päällä hevosen on pehmeä ja miellyttävä oleskella. Kuivikkeet jaotellaan yleisesti joko puu- tai kasvipohjaisiin kuivikkeisiin. Puupohjaisin kuivikkeita ovat esimerkiksi kutterinlastu/-puru, sahanjauho sekä paperisilppu. Kasvipohjaisia kuivikkeita ovat olki, hamppu, turve ja pellava. (Airaksinen 2006, 20.) Myös järviruokoa sekä ruokohelpiä voidaan silputa ja käyttää kuivikkeena (Alho & kumpp. 2010, 15). Nykyisin myös ainakin olkea, sahanpurua sekä ruokohelpiä käytetään myös

pellettimuodossa kuivikkeena. Jonkin verran käytetään myös kuivikkeiden sekoituksia karsinan alusena (Alho & kumpp. 2010, 15). Suomessa käytetään kuivikkeena eniten turvetta, kutterinpurua sekä olkea (Airaksinen 2006, 20).

Eri kuivikkeet ovat ominaisuuksiltaan erilaisia. Tärkeitä ominaisuuksia käytön kannalta ovat etenkin kuivikkeen veden- ja ammoniakkin sitomiskyky sekä hygieeninen laatu (Airaksinen 2006, 20). Eri kuivikemateriaaleja käytetään eri tiloilla eri syistä. Materiaalin käyttöön vaikuttavat edellä lueteltujen ominaisuuksien lisäksi mm. hinta, saatavuus sekä esteettisyys (Airaksinen 2006, 20). Myös käyttäjän tottumukset ja uskomukset sekä kuivikkeen varastoitavuus ja käsiteltävyys vaikuttavat kuivikkeen valintaan (Alho & kumpp. 2010, 16).

Eri kuivikkeilla on erilaisia hyviä ja huonoja ominaisuuksia; kutteri ja sahanpuru ovat useiden mielestä valoisia, hyvätuoksuisia kuivikkeita ja niiden saatavuus on hyvä (Alho & kumpp. 2010, 16). Kutterin veden- ja ammoniakinsitomiskyky on keskimääräinen. Sahanjauho sitoo nestettä itseensä yhtä hyvin kuin turve, mutta ei pärjää turpeelle ammoniakinsitomiskyvyn suhteen. Kutterinpurun ja sahanjauhon huono puoli on kuitenkin niiden hidas hajoaminen puun sisältämän ligniinin vuoksi. Puupohjainen hevoselanta-kuivikeseos vaatii vähintään kolmen vuoden kompostoitumisaian. Lisäksi puupohjaiset kuivikkeet happamoittavat maata. (Hevosmaailma 2012, 40). Purun ja sahanjauhon hidas maatumisen vaikuttaa esimerkiksi viljelijöiden halukkuuteen ottaa vastaan hevoselantaa, jossa on kuivikkeena purua (Konttila & Ramsay 2007).

Turpeen hyviä puolia ovat korkea ammoniakkin- sekä vedensitomiskyky (Airaksinen 2006, 21). Turvelanta kompostoituu jopa kuukaudessa ja se on haluttua lannoitetta ja maanparannusainetta viljelijöiden keskuudessa (Hevosmaailma 2012, 40). Useiden mielestä turve on kuitenkin synkän näköistä, pölyävää ja lisäksi sen matala pH-arvo on hevosen kaviolle hieman liian hapan altistaen sädemädälle ja syövyttää anturaa (Granström, Johansson, Laiho & Skarra 2011, 13). Hevosille soveltuukin parhaiten vain vähän maatunut rahkaturve (Hevosmaailma 2012, 40). Koska turvetta käytetään myös energiantuotannon raaka-aineena, on esimerkiksi kuluvana talvena 2012-2013 ollut

vaikea saada turvetta kotieläinten alusiksi ja monet ovatkin siirtyneet käyttämään vaihtoehtoisia kuivikkeita.

Olki on perinteinen ja esteettinen kuivike, mutta sen käsiteltävyys on melko hankalaa. Oljella on lisäksi heikko veden- ja ammoniakinsitomiskyky ja sen mikrobiologinen laatu on Suomessa useasti hyvin heikko korkean home- ja sädesienipitoisuuden takia (Airaksinen 2006, 22). Oljen ominaisuuksia parantavat sen silppuaminen, jolloin esimerkiksi sen vedensitomiskyky paranee ja olkilanta myös hajoaa nopeammin, kuin silppuamaton olki tai purulanta. Olkilanta on rakenteeltaan kuohkeaa ja sen kompostoitumislämpötila nousee helposti melko korkeaksi, jolloin ongelmana on liukoisen typen muuttuminen ammoniakiksi ja sen karkaaminen ulkoilmaan. Olkilantaa syntyy myös melko paljon verrattuna siihen, jos käytettäisiin jotain imukykyisempää kuiviketta. (Hevosmaailma 2012, 40). Oljesta tehdään myös löysärakenteista olkipellettiä, jonka suosio on noussut viime aikoina. Olkipelletit kuumennetaan valmistusvaiheessa, jolloin oljelle tyypilliset ongelmat eli homeitiöt ja pöly poistuvat. (Malmström 2012, 48.)

Koska perinteisten kuivikkeiden, kuten turpeen ja kutterinpurun saatavuus on ollut monina viime vuosina huono kosteiden kesien, sahateollisuuden supistamisen ja muiden vastaavien syiden vuoksi, on aiemmin hieman vähemmän käytettyjen kuivikkeiden, kuten hampun, pellavan (ja oljen) käyttö viime aikoina lisääntynyt (Soininen & kumpp. 2011, 39).

Kuivikemateriaalin valinta vaikuttaa myös hevosenlannan jatkokäsittelyyn hyvin oleellisesti ja siten myös lannan hyödyntämisaikeet määrittävät osaltaan kuivikkeen valintaa. Pääosa hevosenlannasta menee lannoitekäyttöön kasvinviljelijöille, ja he ottavat mieluiten vastaan turve- tai olkilantaa niiden nopean hajoamisnopeuden takia (Konttila & Ramsay 2007). Mikäli lannalle mietitään lannoitekäytön ulkopuolisia hyödyntämisvaihtoehtoja, on kuivikevalinnalla suuri merkitys hyödyntämisvaihtoehtojen kannalta. Turun ammattikorkeakoulussa selvitettiin Metsämäen raviradan alueen lannankäsittely- ja hyödyntämismahdollisuuksia ja myös eri kuivikemateriaalien vaikutusta jatkokäsittelyyn. Työssä selvisi, että purukuivutusta (kutteri) käytettäessä parhaat vaihtoehdot lannan hyötykäytölle ovat pelletöinti, poltto,

kompostointi sekä biokaasutus. Vaihtoehtoja oli siis laajalti ja esimerkiksi biokaasutuksen prosessin kannalta puru on kuivikkeena jopa turvetta parempi, sillä purulantaa kaasuttaessa metaanipitoisuus on turvelantaa pienempi. Mikäli kuivikkeena käytetään turvetta, todettiin kompostointi sekä pelletöinti parhaiksi jatkokäsittelyvaihtoehdoiksi. (Alho & kumpp. 2010, 38-39.)

Kuivikkeen vaikutusta kompostoitumiseen käsitellään tarkemmin kompostoinnin yhteydessä.

2.2 Hevosennlannan varastointiin ja hyödyntämiseen vaikuttava oleellinen lainsäädäntö

Hevosennlanta luokitellaan EY:n sivutuoteasetuksen N:o 1069/2009 mukaisesti eläimestä saatavaksi sivutuotteeksi. Sivutuoteasetus määrittää lannan käsittelyä, hyötykäyttöä tai loppusijoitusta, jottei siitä aiheudu ihmisterveydelle tai ympäristölle vaaraa tai haittaa. Sivutuoteasetus määrittelee lannan kuuluvan sivutuoteryhmään 2 ja 13. artiklan kohdan e) mukaisesti lanta, mineralisoimaton guano tai muu ruoansulatuskanavan sisältö voidaan käyttää raaka-aineena ilman (esi)käsittelyä kompostointi- tai biokaasutuslaitoksessa, mikäli toimintavaltainen viranomainen ei epäile sen sisältävän vakavan tartuntataudin lähdeä. Kohdan f) mukaan lanta voidaan myös levittää maahan ilman esikäsittelyä, mikäli vakavan tartuntataudinriskiä ei katsota olevan. (EY N:o 1069/2009).

Jätelain (17.6.2011/646) 3 §:n kuudennen kohdan mukaan jätelakia ei sovelleta sivutuoteasetuksen mukaisiin eläimistä saataviin sivutuotteisiin, kuten lantaan. Kuitenkin, mikäli lanta sijoitetaan kaatopaikalle, biologiseen käsittelylaitokseen tai se poltetaan, lanta luokitellaan jätelain 17.6.2011/646 mukaisesti jätteeksi ja siihen sovelletaan jätelakia.

Lannan varastointia ja käyttöä lannoitteena ohjaa Valtioneuvoston asetus maataloudesta peräisin olevien nitraattien vesiin pääsyn rajoittamisesta (931/2000). Hevosten karsinat

puhdistetaan useimmiten päivittäin (poislukien esimerkiksi pihatot tai patjaratkaisut) ja poistettu lanta, virtsa ja kuivike varastoidaan tyypillisesti lantalaan. ”Nitraattiasetuksen” (VnA 931/2000) mukaisesti hevostallin lantalan tulee olla niin suuri, että siihen mahtuu 12 kuukauden aikana kerääntynyt lanta, lukuunottamatta laidunkauden aikana laitumelle jäävää lantaa. Mikäli lanta luovutetaan lannanluovutussopimuksella sellaiselle hyödyntäjälle, kenellä on ympäristönsuojelulain mukaan (28 §) sitä oikeus vastaanottaa, voidaan tästä mitoituksista tinkiä. Tyypillisesti tällainen ratkaisu on esimerkiksi siirtolava, joka säännöllisesti tyhjennetään esimerkiksi vastaanottavan maanviljelijän asianmukaiseen varastoon tai välittömään hyötykäyttöön. Nitraattiasetuksessa on tarkemmin määritelty myös lantalan rakenne vesitiiveyden ja vastaavien parametrien suhteen sekä määritetty lannan patterivarastoinnin rajat.

Nitraattiasetus (VnA 931/2000) määrittää myös sallitut ajankohdat ja määrät käyttää lantaa peltolannoitteena. Tyypilannoitteita ei saa levittää lumen peittämään, routaantuneeseen tai veden kyllästämään maahan. Lantaa ei asetuksen mukaan saa levittää pelloille talvisaikaan eli 15.10. - 15.4. välisenä aikana. Mikäli maa on riittävän sula ja kuiva, saa lantaa levittää syksyllä 15.11. asti ja keväällä aikaisintaan 1.4. Rajoituksilla estetään lannoitteiden sisältämien ravinteiden huuhtoutumista vesistöihin. (VnA 931/2000.) Lain mukaan lannan enimmäiskäyttömäärä on 170 kg typpeä per hehtaari, eli yhden hevosen vuosituoton ollessa 50-65 kg typpeä (Airaksinen 2013), lannoitetaan yhden hevosen vuotuisella lannalla noin yksi kolmasosa hehtaarista.

Hevosennannan poltto on ollut Suomessa viime vuodet kiivaan keskustelun alla. Suomessa jätteenpolttua määrittää Valtioneuvoston asetus 363/2003, joka panee täytäntöön Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin jätteenpoltosta 2000/76/EY (Heinonen 2011). Monissa muissa Euroopan maissa, kuten Ruotsissa, Tanskassa ja Saksassa, direktiiviä ei sovelleta hevosenlannan polttoon, sillä hevosenlannan on katsottu olevan kasviperäistä biomassaa eikä jätettä. Suomessa vallassa olevan lainsäädännön ja sen tulkinnan mukaan hevosenlannan poltto on kuitenkin jätteenpolttua, joka VnA:n 363/2003 mukaisesti vaatii esimerkiksi jatkuvatoimista päästömittausta. Korkein hallinto-oikeus on myös ottanut kantaa hevosenlannan polttamisesta vuosikirjapäätöksessään KHO 2009:61, jossa päätetään hevosenlannan ja lannan ja kuivikkeen seoksen, samoin kuin niistä tehtävien brikettien olevan vanhassa

jätelaissa määritettäviä jätteitä, jonka polttamiseen on sovellettava VnA:n 363/2003 mukaisia asetuksia. Lisäksi korkein hallinto-oikeus totesi, että hevosenlanta ei ole kasviperäistä jätettä sen perusteella, että hevonen on kasvissyöjä. (Heinonen 2011.) Hevosenlannan polttoa ja siihen liittyvää lainsäädäntöä käsitellään lisää polttoa käsittelevässä luvussa.

Hevosenlannan biokaasutuksessa lantaa ei tyypillisesti lämpökäsitellä tai polteta, eli jätteenpolttolainsäädäntö ei vaikuta lannan biokaasutukseen. Biokaasutus on kuitenkin jätteen laitos- tai ammattimaista hyödyntämistä tai käsittelyä ja vaatii ympäristöluvan. (Pusa & Ekroos 2009, 23.)

Hevosenlannan ammattimainen kompostointi kompostointilaitoksessa on niin ikään ympäristönsuojelulain 4. luvun, 28. §:n kohta 5:n mukaisesti jätteen ammattimaista hyödyntämistä ja käsittelyä ja on ympäristöluvanvaraista toimintaa.

Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteita koskevan toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta (Asetus Nro 11/12) on tullut voimaan 10.5.2012 ja koskee niitä hevosalleja, jotka myyvät lantaa lannoitetuotteena. Lain määräämän ilmoitusvelvollisuuden ulkopuolelle on kuitenkin rajattu toiminnanharjoittajat, jotka joko luovuttavat käsiteltyä tai käsittelemätöntä lantaa maatilalta toiselle lannanluovutus sopimukseen perustuen, luovuttavat käsittelemätöntä lantaa toiminnanharjoittajalle, jolla on ympäristölupa toiminnalleen, käsittelevät oman tilansa tai yhteistilalla syntynyttä lantaa omaan tai yhteislantalan mautilojen käyttöön tai luovuttavat joko omalla tai yhteislantalan mautiloilla syntynyttä lantaa ns. suoramyyntinä silloin, kun lanta ei sisällä minkään tartuntataudin leviämisen riskiä tai sisällä hukkakauraa. (Airaksinen 2013.)



Kuva 3. Ravinteet kiertävät paikallisesti, kun tilan hevosenlanta voidaan käyttää lannoitteena pelloilla. (Kuva: Elina Kukkosen arkisto 2013)

2.3 Hevosenlannan nykyiset hyötykäyttö- ja loppusijoituskohteet

Valtaosa hevosenlannasta päätyy pellolle lannoitteeksi. Agrologiopiskelijat Kati Konttila ja Otto Ramsay Laurea-ammattikorkeakoulusta selvittivät opinnäytetyössään Riihimäen talousalueen lantahuoltoa ja talliyrittäjien yhteistyötä alueen viljelijöiden kanssa. Kyselytutkimuksen avulla selvisi, että 36:sta vastanneesta tallista 59 prosenttia levittää lannat joko omille tai toisen viljelijän pelloille lannoitteeksi. 14 % lannasta kompostoitii ja 4 % loppusijoitettiin kaatopaikalle. Noin 25 % hevosenlannasta sijoitettiin omakotitalojen puutarhoihin, pienviljelijöille, lantapatteriin tai erilliselle urakoitsijalle tai maansiirtoyrittäjälle mullan raaka-aineeksi. (Viitanen 2007, 22-23.)

Konttilan ja Ramsayn opinnäytetyöstä selviää, että talleista 36 prosenttia käyttää kuivikkeena kutterinpurua ja 16 % kuivikesekoitusta, jossa on mukana kutterinpurua. Pääosa lopputalleista käytti kuivikkeena turvetta. Tutkimuksessa todettiin, että kasvinviljelijöistä 69 % ilmoittaa purulannan nostavan kynnystä vastaanottaa lantaa

purun hitaan maatumisen vuoksi. 45-50 % hevostalleista on halukas vaihtamaan kuivikemateriaalia tarvittaessa, mikä parantaisi lannan vastaanottomahdollisuuksia viljelijöiden keskuudessa. Turvelannasta on ylipäättänsä helpompi päästä eroon. 84 % viljelijöistä on valmis vastaanottamaan lantaa pelloilleen ja haluavat sen mieluiten jonkin muun toimittamana pelloilleen. Purulannan lisäksi viljelijöiden haluttomuutta vastaanottaa hevoselantaa lisää hukkakauran leviämisen mahdollisuus hevoselannan mukana. Viljelijät haluaisivat lannan vastaanotosta korvausta mahdollisen lannan vastaanottotuen (99 euroa / hehtaari vuonna 2007) lisäksi 0-38 euroa lantakuutiometriä kohti. Hevostallien pitäjät ovat valmiita maksamaan lannan hävittämisestä 0-20 euroa lantakuutiometriä kohti. Tästä voi päätellä, että ainakin osa hevostallien pitäjistä ja viljelijöistä voisi tehdä yhteistyötä keskenään (Konttila & Ramsay 2007.)

Myös Piia Kauppinen on tehnyt opinnäytetyössään vuonna 2005 kyselyn hevostallien lantahuollosta, johon vastasi 10 erikokoista hevostallia eri puolilta Suomea. Kyselyssä 7 tallia käytti kuivikkeenaan kutterinpurua, kaksi käytti turve-kutterikuivitusta ja yksi kutteri-sahanjauhoseosta. Tutkimuksessa todettiin maaseudulla sijaitsevien tallien sijoittavan hevoselannan omille tai toisen viljelijän pelloille lannoitteeksi, mutta kaupunkien läheisyydessä sijaitsevista talleista kolme luovutti lannan Helsingin Vedelle kompostoitavaksi, yhden tallin lannan käsitteli yksityinen multayrittäjä ja yksi talli toimitti lannan lämpölaitokselle polton raaka-aineeksi. (Kauppinen 2005, 15.)

Kuten Kauppinenkin tutkimuksessa sivuttiin, on tilanne erilainen kaupunkien läheisyydessä oleville talleille ja toisaalta maaseudulla sijaitsevilla talleilla. Yhä useampi hevostalli sijaitsee lähellä suuria asutusalueita ja tämä korostaa lantahuollon tärkeyttä ja toimivuutta (Airaksinen 2006, 13). Lanta tulisi lainsäädännön mukaan ensisijaisesti hyötykäyttää pelloilla lannoitteena, toissijaisesti hyödyntää energiana esimerkiksi biokaasun tai mullan raaka-aineena (Airaksinen 2013) ja viimeisenä vaihtoehtona tulisi nähdä sen kaatopaikkasijoitus. Kuitenkaan kaupunkialueiden hevostalleilla ei useinkaan ole omia peltoja, joilla lannan voisi käyttää lannoitteena tai läheisyydessä ei välttämättä ole myöskään viljelijää, joka voisi tai haluaisi vastaanottaa hevoselantaa. Tämän ongelman ratkaisemiseksi on hevosväki jo pitkään esittänyt hevoselannan polton mahdollistamista.

3 Hevosenlannan energiakäyttö Suomessa

Hevosenlantaa voidaan käyttää energianlähteenä esimerkiksi polttamalla, kaasuttamalla, tai mädättämällä lanta sekä hyötykäyttämällä lannan kompostoitumisprosessissa syntyvä lämpö. Hevosenlannan hyötykäyttö energian tuotannossa nyky-Suomessa on hyvin vähäistä. Lannanpoltto on lainsäädännöllä tehty maatilakokoluokassa hyvin vaikeaksi ja kalliiksi luokittelemalla se jätteenpoltoksi, joka vaatii suuret investoinnit jatkuvatoimisine päästömittareineen. Hevosenlantaa raaka-aineenaan edes potentiaalisesti käyttäviä biokaasureaktoreita Suomessa ei ole kuin muutamia (Alho & kumpp. 2010, 21). Hevosenlannan kaasutus puukaasuttimen avulla on myös mahdollista, mutta toistaiseksi hevosenlantaa ei tiettävästi kaasuteta (Pusa & Ekroos 2009, 21).

Hevosenlannan hajotessa mikrobiologisesti hapellisissa olosuhteissa syntyy tuotteena myös lämpöä, ja tätä lämpöä on mahdollista ottaa talteen ja hyötykäyttää energiantuotannossa. Kompostoitumisprosessissa hevosenlannan lämpötila voi nousta yli 60 asteeseen (Viitanen 2007, 23-24) ja näin ollen on mahdollista saada talteen verrattain suuriakin lämpömääriä. Lantaa voidaan kompostoida koneellisesti esimerkiksi rumpukompostorissa, josta on esimerkiksi maalämpötekniikan avulla mahdollista ottaa lämpö talteen lämpöpumppua käyttäen. Näitä esimerkkejä esitellään tässä opinnäytetyössä kaksi. Tyypillisin tapa niin sanotusti käsitellä hevosenlantaa on passiivinen kompostointi varastoinnin aikana, jolloin lanta maatuu itsekseen esimerkiksi lantalassa tai lantapatterissa eikä kompostointiprosessia nopeuteta tai säädetä millään tavalla (Airaksinen 2006, 16). Myös tällä tavoin lantaa käsitellessä syntyy lämpöä, jota on mahdollista ottaa talteen ja hyötykäyttää. Tällaisia esimerkkejä esitellään tässä opinnäytetyössä kaksi. Kolmas työssä esiteltävä esimerkki lannan passiivisen kompostoinnin aikaansaaman lämmön hyötykäytöstä on karsinoiden kestopatjan alta tapahtuva lämmön talteenotto.

Vaikka hevosenlannan polttaminen voisi olla oleellinen osa energiantuotantoa, on tässä työssä tarkoitus keskittyä etenkin kompostoinnin avulla tuotettuun lämpöenergiaan. Hevosenlannan polttaminen on ollut jo pitkään eri oikeusasteiden ja lainsäätäjien

käsittelyssä ilman merkkiä sen mahdollistamisesta myös pienessä mittakaavassa, joten lienee aiheellista miettiä myös muita tapoja tuottaa hevosenlannalla paikallista, uusiutuvaa energiaa.

3.1 Poltto

Yksi hevosen päivässä tuottama kuivikelanta vastaa noin 7 litraa polttoöljyä eli hevosen lannassa on hyvin suuri energiapotentiaali. Suomessa on noin 75 000 hevosta, jolloin niiden vuodessa tuottama kuivikelanta vastaa yli 179:ää miljoonaa litraa öljyä – omakotitaloja tällä määrällä lämmittäisi noin 80 000 kappaletta. (Pusa & Ekroos 2009, 10.) Kun otetaan tämä huomioon sen seikan lisäksi, että lannan hävittäminen on monille kaupunkitalleille kustannuksia ja aikaa vaativa ongelma, tuntuu lannan polttaminen hyvin järkevältä ratkaisulta kylmässä Suomessa etenkin niillä talleilla, jotka käyttävät hitaasti maatuvia puupohjaisia kuivikkeita karsinan alusina.

Hevosenlannan polttoa puoltaa myös se, että hevosenlanta määritellään hiilidioksidineutraaliksi polttoaineeksi. Kuivikelanta muodostuu kuivikkeesta ja hevosenlannasta, joka on kasvinsyöjän tuottamana alunperin kasvimateriaalia. Tällöin sekä kuivikkeen, että hevosen syömien kasvien kasvun aikana niihin on sitoutunut hiilidioksidia, jolloin polttaessa hevosenlantaa sen ei katsota aiheuttavan hiilidioksidipäästöjä. Tämän lisäksi hevosenlannan paikallinen polttaminen vähentää niitä hiilidioksidipäästöjä, jotka aiheutuisivat lannan kuljettamisesta jatkokäsittely- tai loppusijoituspaikkaan, kuten esimerkiksi kaatopaikalle. (Pusa & Ekroos 2009, 11.)

3.1.1 Lannanpolton lainsäädännön problematiikkaa ja kansalliset poikkeavuudet direktiivien tulkinnassa

Vastoin melko yleistäkin käsitystä, hevosenlantaa saa polttaa. Mikäli lantaa poltetaan, se luokitellaan jätelain 17.6.2011/646 kolmannen pykälän mukaisesti jätteeksi, jonka polttoa säädellään muun muassa jätteenpolttodirektiivin 2000/76/EY ja jätteenpolttoasetuksen (VnA 363/2000) avulla. Käytännössä jätteenpoltto ei ole

taloudellisesti kannattavaa pienissä polttolaitoksissa mm. korkeiden laiteinvestointien, kuten jatkuvatoimisten päästömittareiden, vuoksi. Hevosennannan poltosta on tehty useita polttokokeita, joissa on todettu, että vaikka useat jätteenpolttoasetuksen määrittämät raja-arvot eri päästölajeissa ylittyvät, vastaavat hevosennannan polton päästöarvot melko lailla puun pienpolton päästöjä (Alho & kumpp. 2010, 24.)

Lannanpolton mahdollistaminen pienlaitoksissa on ollut keskustelun alla useasti myös eduskunnassa. Edellisen kerran siitä teki välikysymyksen Kansallisen Kokoomuksen Timo Heinonen kesäkuussa 2011. Heinonen kysyi, että onko uusi hallitus valmis selvittämään ja toteuttamaan hevosennannan energiakäytön samalla tavalla, millä energiakäyttö nyt toteutetaan Ruotsissa, Tanskassa, Hollannissa ja Saksassa tai vaihtoehtoisesti hyväksymään hevosennannan polton pienlaitoksissa tietyin rajoituksin siten, että esimerkiksi jatkuvatoimista päästömittausta ei vaadittaisi vaan mittaukset toteutettaisiin esimerkiksi vuosittain. Asunto- ja viestintäministeri Krista Kuru vastasi Heinoselle, että jätteenpolttoasetuksen vaatimia jatkuvia mittauksia hiukkasista, kaasumaisista ja höyrymäisistä orgaanisista yhdisteistä ja typen oksideista ei voida korvata määräaikailla mittauksilla. Suolahappoa, fluorivetyä, rikkidioksidia, raskasmetalleja, dioksiineja ja furaaneja tulee mitata määräjain. Lisäksi asunto- ja kuntaministeri totesi, että jätteenpolttodirektiivin uudistamisvaiheessa Suomi teki kyselyn muille EU-maille lannanpoltosta, jolloin selvisi, että muissa jäsenmaissa lantaa ei joko polteta tai poltto tapahtuu jätteenpolton vaatimuksia noudattaen. Kuru toteaa myös vastauksessaan suolahapon, fluorivedyn ja rikkidioksidin määräaikaisten mittausten maksavan noin 5000-10 000 € per mittauskerta, jolloin kustannustaso on pienille polttolaitoksille liian korkea (Heinonen 2011). Turun ammattikorkeakoulun tekemässä selvityksessä taas on todettu jatkuvatoimisten päästömittareiden hinnan alkavan 90 000 eurosta (ALV 0 %), jolloin polttolaitoksen perustamiskustannukset nousevat jo kohtuuttoman suuriksi pienlaitosta ja sen muuta tekniikkaa ajatellen ja lannanpoltto on kannattamatonta. (Alho & kumpp. 2010, 45.) Riikka-Liisa Säikön aiheita koskevassa kandidaatintyössä (2012) todetaan jätteenpolttoasetuksen vaatimukset täyttävän mittausjärjestelmän maksaneen vuonna 2003 140 000 – 160 000 € (ALV 0 %), joten hintahaarukka pelkälle mittausjärjestelmälle on täysin kohtuuton kiinteistökokoluokan laitosta ajatellen.

Vaikka kuntaministeri toteaa vastauksessaan muiden EU-maiden polttavan lantaa saman direktiivin puitteissa ja sen lainsäädäntöä noudattaen, näin ei kuitenkaan ole, vaan kansallisia poikkeavuuksia asiassa on. Kuten lainsäädäntöä käsittelevässä kappaleessa todettiin, tulkitaan hevosenlanta monissa muissa EU-maissa, kuten Ruotsissa, kasviperäiseksi jätteeksi. Tämä ei ole mahdollista Suomessa, sillä KHO on päätöksessään vuosikirjassa 209:61 todennut, että hevosenlanta ei ole kasviperäistä biomassaa vain sillä perusteella, että hevonen on kasvinsyöjä. Lannanpolto on kysytty useasti Ruotsin viranomaisilta saaden vastaukseksi, että ei ole olemassa hallinnollista tulkintaa, joka poikkeaisi EU:n direktiivistä. Ilmeisesti kyse on direktiivin erilaisesta tulkinnasta ja niiden kansallisista poikkeavuuksista. Ruotsissa hevosenlantaa polttava laitos vaatii vain kunnan myöntämän ympäristöluvan ja laitokseen ei vaadita mm. jatkuvatoimista päästömittausta, jolloin investointi on mahdollinen pientuottajallekin ja laitos on taloudellisesti kannattava (Vainio 2012, 9-11).

Keskustelu lannanpolton pienimuotoisesta polttamisesta ja lainsäädännön kansallisista eroista direktiivien tulkitsemisessa on jatkunut jo vuosia hyvin samankaltaisena. Suomen ympäristöministerit Paula Lehtomäki (hallituskausi 2007-2011) ja istuva ministeri Ville Niinistö suhtautuvat lannanpoltoon myönteisesti eikä sitä kuulemma erityisesti haluta estää. Keskustelut kuitenkin päätyvät samaan lopputulemaan, jossa todetaan lannanpolton olevan mahdollista vain jätteenpolttoasetuksen rajoissa. (Vainio 2012, 9-11.)

3.1.2 Hevosenlanta polttoaineena ja polttokokeet

Hevosenlannalle on tehty muutamia polttokokeita Suomessa, joiden avulla on selvitetty hevosenlannan polton aiheuttamia päästöjä ja arvioitu hevosenlannan laatua polttoaineena. VTT ja Työtehoseura toteuttivat vuonna 2008 hevosenlannan pienpolttohankkeen, jonka tavoitteena oli selvittää polttokokeiden avulla, paljonko kuivikelannasta aiheutuu ilmaan vapautuvia päästöjä poltettaessa hevosenlantaa kiinteistökokoluokan polttolaitoksessa. Lisäksi tutkimuksessa arvioitiin, onko jätteenpolttoasetuksen soveltaminen lannanpoltoon tarpeen. Polttokokeet suoritettiin Työtehoseuran tiloissa syksyllä 2008 ja kattilana oli 40 kW:n tehoinen kaupallinen

stokerisyyttöinen kattila. Tutkimuksessa käytettiin kahta eri polttoaineseosta: hevosenlanta-sahanpuruseosta sekä hevosenlanta-turveseosta. Molempia polttaessa käytettiin tukipolttoaineena haketta, jolloin hakkeen osuus oli 60 % ja kuivikelannan osuus 40 %. Polttokokeissa mitattiin jätteenpolttodirektiivin mukaisesti jatkuvatoimiset sekä kertaluonteiset parametrit. Tutkimuksessa todettiin, että sekä sahanpuru- että turvelantaa polttaessa hiukkaspitoisuus ylittyi huomattavasti jätteenpolttoasetuksen raja-arvoihin nähden. Lisäksi TOC-, CO-, ja PCDD/F-pitoisuudet ylittyivät molempien polttoaineiden kohdalla ja lisäksi turvelantaa polttaessa myös typen oksidien pitoisuus ylitti asetuksen raja-arvot. Huomattavaa on, että jätteenpolttoasetuksen määrittämät raja-arvot on asetettu laitoksille, joissa poltto tapahtuu hallitusti ja savukaasut puhdistetaan ennen päästöä ilmaan. Vaikka raja-arvot ylittyivät tiettyjen parametrien osalta, hevosenlannan ja hakkeen polton päästöt eivät juurikaan eronneet puhtaan puun pienpolton päästöistä. (Pellikka 2009.)

Taulukko 1. Hakkeen ja hevosenlannan poltto-ominaisuuksia (Soininen & kumpp. 2010, 56).

Polttoaineen ominaisuus	Hake	Purulanta	Turvelanta
Kosteus saapuessa (%)	7,7	69,9	68,8
Tuhkapitoisuus kuiva-aineessa (%)	0,45	2,86	17,5
Kalometrinen lämpöarvo (MJ/kg)	19,98	19,84	17,03
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa (MJ/kg)	18,56	18,55	15,75
Tehollinen lämpöarvo saapumiskosteudessa (MJ/kg)	16,94	3,86	3,22
Tehollinen lämpöarvo saapumiskosteudessa (kWh/kg)	4,7	1,1	0,9

Myös Kauppinen on tutkinut opinnäytetyössään vuonna 2005 hevosenlannan polttoteknisiä ominaisuuksia. Hän poltti purulantaa sekoitettuna hakkeeseen ja purulantaa sekoitettuna pellettiin. Polttoaineen kosteuspitoisuus oli hyvin suuri, keskimäärin purulannalla 61,4 % (turvelannalla 68,5 %). Polttokokeet suoritettiin Kolkanlahden Bioenergiakeskuksessa kaupallisella kattilalla ja 40 kW:n tehoisella hakestokerilla. Lantaa varattiin poltto varten 80 kg, haketta 20 kg ja pellettiä 40 kg ja seoksia käytettiin tuorepainoiltaan noin suhteessa 1:1. (Kauppinen 2005, 19.)

Purulantaseoksen **kokonaislämpöarvoksi laskettiin 3,02 kWh/kg eli 5 MJ/kg**, mikä ei ole kovinkaan korkea johtuen hevosenlannan korkeasta kosteusprosentista. (Kauppinen

2005, 24). Suuria teknisiä ongelmia polttamisessa ei havaittu, lukuunottamatta tuhkan sintraantumista eli paakkuuntumista, johtuen hevoselannan sisältämien kivennäisaineiden sulamisesta ja yhteenliimautumisesta korkeassa lämpötilassa. Sintraantuminen aiheuttaa Kauppinen mukaan palopään ilma-aukkojen tukkeutumista, ellei puhdistusta suoriteta usein tai valita liikkuva-arinaista polttolaitteistoa. Kauppinen pitää hevoselannan polttoa mahdollisena vaihtoehtona energiantuotannossa, mutta lanta pitää joko kuivata ennen polttoa tai polttaa se aina tukipolttoaineen kanssa lannan suuren kosteusprosentin takia. (Kauppinen 2005, 29-30).

Myös Ruotsissa on tutkittu hevoselannan ominaisuuksia polttoaineena ja tuhkan soveltuvuutta metsälannoitukseen. Lundgren ja kumppanit suorittivat polttokokeita vuonna 2009 250 kW:n tehoisella, vastavirtaperiaatteella toimivalla arinakattilalla, joka soveltuu hyvin kostealle ja epätasalaatuiselle polttoaineelle kaksiosaisen polttoprosessin vuoksi. Polton ensimmäisessä vaiheessa polttoaine kuivataan ja varsinaisessa polttamisessa lämpö siirretään edelleen esimerkiksi veteen. Tutkimuksessa todettiin hevoselanta-kutteriseoksen soveltuvan hyvin lämmöntuotantoon polttamisen avulla. Mikäli polttoaineen kosteusprosentti pysyy alle 50, ovat myös VTT:n ja Työtehoseuran tutkimuksessakin todetut korkeat CO-päästöt alhaiset. Kosteusprosenttiin on mahdollista vaikuttaa oikeilla varastointiolosuhteilla (esimerkiksi varastointi katetussa lantalassa/varastossa). Typenoksidipäästöt olivat tutkimuksen polttokokeissa korkeat, kuten myös kloori-, pii-, kalium- ja magnesiumpitoisuudet. Lämpöarvoksi laskettiin **19,37 MJ/kg** (eli noin 5,3 kWh/kg, kun 1 kWh=3,6 MJ). Pelkän kutterinlastun lämpöarvo on 20,56 MJ/kg eli melkein sama. Tuhka soveltuu tutkimuksen mukaan metsälannoitukseen, ainoastaan kromi- ja nikkelipitoisuuksien todettiin olevan moninkertaiset verrattuna polttoaineen vastaaviin pitoisuuksiin. Tämän arveltiin johtuvan siitä, että kattilan ruostumatonta teräs kontaminoi tuhkan. (Alho & kumpp. 2010, 25.)

3.1.3 Lannanpolton tulevaisuuden näkymät

Hevoselannan polttamiselle on olemassa selvät perusteet niin energiantuotannon kuin lannankäsittelynkin näkökulmasta. Hevostilat tuottavat lantaa suurina määrinä ja siitä on

päästävä tavalla tai toisella eroon. Tallien on jo aiemmin todettu sijaitsevan yhä useammin lähellä kaupunkeja, jolloin omia tai naapurin pelloja ei ole, jolloin lannan voisi hyötykäyttää lannoitteena. Koska useat tallit käyttävät purukuivutusta, on lannan hyötykäyttö maanparannusaineena haastavaa puupohjaisen kuivikkeen pitkän kompostoitumisajan vuoksi. Toisaalta jokainen talli tarvitsee lämpöenergiaa lämmittämään tiloja ja käyttövetä ja hevosenlannan on tutkimuksilla todettu olevan kohtuullisen hyvä polttoaine, mutta ennen kaikkea hiilidioksidineutraali, uusiutuva ja ilmainen. Tällaista tilannetta vastaamaan olisi lannanpolto kiinteistökokoluokan laitoksissa sovelias ratkaisu kun otetaan huomioon, että lannanpolton päästöt vastaavat puun pienpolton päästöjä. Ne tallit, jotka käyttävät hevosenlannan lannoitteeksi pelloilleen, tuskin ovat edes kiinnostuneita lannan polttomahdollisuuksista, sillä hevosenlannan lannoitekäyttö säästää sekä ostolannoitteiden tarvetta ja lannan hävityskustannuksia.

Kuitenkaan jo usean vuoden ajan jatkunut tulokseton keskustelu siitä, että hevosenlannan polttoa ei katsottaisi jätteenpolttodirektiivin alaiseksi toiminnaksi ei anna viitteitä siitä, että hevosenlannan poltto kiinteistökokoluokan laitoksissa tulisi taloudellisesti kannattavaksi vaihtoehdoksi aivan lähivuosina. Yhtenä mahdollisena vaihtoehtona nykyisen lainsäädännön tulkinnan vallitessa olisi esimerkiksi aluelämpökeskuksen perustaminen, jossa alueen talli olisi osakkaana mukana ja tuottamassa polttoainetta. Tällöin lakisääteiset päästömittausvaatimukset eivät olisi kohtuuttomia. (Alho & kumpp. 2010, 45.) Saksassa hevosenlantaa poltetaan jatkojalostettuna eli brikettinä, jolloin sen ei katsota olevan jätettä. Suomen hevospiireissä on mietitty sitäkin vaihtoehtoa, että Suomen hevosten tuottama lanta briketoidään ja edelleenlähetetään Saksaan poltettavaksi – mikä voisi olla jopa hyvää liiketoimintaa, mutta ympäristön kannalta melko kestävä ajatus (Järnefelt 2007).

MTT:n Hyötylanta-ohjelmassa sivuttiin myös hevosenlannan polttoa. Raportissa pääteltiin Työtehoseuran vielä Hyötylanta-raportin kirjoitushetkellä julkaisemattoman polttokokeen kirjallisuuskatsauksen perusteella, että hevosenlannan epähomogeenisuus ja ominaisuuksien muuttuminen ovat ongelma lannanpolton kannalta. Epähomogeenisuuden vuoksi päästöt voivat ylittyä ja vaihdella, ajatellen polttoa kiinteistökokoluokan kattilassa. Myös typpihävikki on MTT:n mukaan merkittävä

(MTT 2011, 50). Tämä tukee ajatusta siitä, että hevosenlanta olisi pääosin hyötykäytettävä lannoitteena ja maanparannusaineena, mutta lannanpoltolle olisi ehdottomasti myös oma paikkansa, ajatellen niin jätteenkäsittelyä kuin energiantuotantoakin.

3.2 Biokaasutus (mädätys)

Biokaasun tuotanto perustuu prosessiin, jossa mikrobit hajottavat orgaanista ainesta hapettomissa olosuhteissa eli mädättämällä. Biokaasu sisältää metaania, hiilidioksidia sekä esimerkiksi vettä, typpeä, happea, ammoniakkia ja rikkivetyä. Metaanin ja hiilidioksidin osuus kaasusta vaihtelee riippuen mädätyksen raaka-aineesta, keskimäärin metaania on 40-70 % ja hiilidioksidia 30-60 %. Lisäksi biokaasun tuotannossa jää jäljelle orgaanista jäännöstä eli mädätyslietettä. Biokaasua käytetään maakaasun tavoin energiantuotannossa ja liikenteen polttoaineena. Mädätysliete on erinomaista maanparannusainetta ja lannoitetta maatalouden käyttöön, sillä mädätysliete on anaerobisen käsittelyn ansiosta hygieenistä ja miltei hajutonta lannoitetta. (Motiva 2013.)

Suomen biokaasureaktorit sijaitsevat tyypillisesti esimerkiksi jätevedenpuhdistuslaitoksen tai maatilojen yhteydessä. Maatiloilla voi olla joko omia pienlaitoksia, tai useampi maatila voi hallinnoida yhteistä biokaasulaitosta, jossa käsitellään kaikkien osakastilojen tuottama biojäte, kuten lanta. Myös teollisuudella on omia laitoksia, joissa ne käsittelevät tuottamiaan biohajoavia jätteitä. Vuonna 2009 muita kuin teollisuuden biokaasulaitoksia oli toiminnassa 35 kappaletta, joista suurin osa (18 kpl) oli jätevedenpuhdistamojen laitoksia jätevesilietteen käsittelemiseksi. (Laitila 2009, 10.)

Maatalouden biokaasureaktorit ovat useimmiten yhden maatilan nautakarjan- tai sianlantaa käsitteleviä laitoksia, jotka tuottavat lannan avulla omaan käyttöönsä lämpö- ja/tai sähköenergiaa esimerkiksi CHP-laitoksilla (Combined Heat and Power) ja käyttävät mädätyslietteen lannoitteena omilla pelloillaan. Laitilan julkaisussa ”Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä” on kerrottu maatalouden

yksittäislaitosten olleen reaktorikapasiteetiltaan 50-310 kuutiometriä. Näistä yksi laitos tuotti myös liikennekaasun polttoaineeksi biokaasua. (Laitila 2009, 12.) Yhteiskäsittelylaitokset ovat Laitilan mukaan nouseva konsepti, jossa osakkaana voi maatilojen lisäksi olla myös muita toimijoita. Laitosten on mahdollista ottaa vastaan esimerkiksi porttimaksullisena myös muuta jätettä, kuin maatalouden sivutuotteita tai -jätteitä. (Laitila 2009, 13).

Biokaasu on nykyiselläkin tekniikalla erittäin hyvin hyödynnettävissä. Pelkässä lämmöntuotannossa hyötysuhde on noin 90 %, sähkön ja lämmön yhteistuotannossa hyötysuhde on 85 % (josta sähkön osuus 35 % ja lämmön osuus 50 %). Biokaasun lämpöarvo on keskimäärin **6,4 kWh/m³** eli hyvä. (Motiva 2013). Biokaasutus tapahtuu Suomessa useimmiten märkäprosessina, jolloin raaka-aineen kuiva-ainepitoisuuden olisi hyvä olla noin 5-15 %. Myös kuivaproessin avulla on mahdollista tuottaa biokaasua, mutta prosessi ei ole vielä niin vakaa ja eikä kaasuntuotto niin hyvä, kuin mitä märkäprosessin avulla. Kuivamädätys soveltuu muuten paremmin hevosenlannan mädätykseen, sillä sen avulla onnistuu myös hieman kuivemman biomassan mädätys. (Säikkö 2012, 31). Lahden Kujalan jätekeskukseen valmistuu vuonna 2014 Suomen ensimmäinen kuivamädätysreaktori, jonne hevosenlanta voisi soveltua raaka-aineeksi. Lahden lähetyvillä on suuria hevoskeskittymiä, kuten Orimattila, jolloin rahtikustannus ei välttämättä olisi kynnyskysymys, sillä Orimattilasta kuljetetaan hevosenlantaa tällä hetkellä jopa yli sata kilometriä Sipooseen kompostoitavaksi. (Peltonen 2013.)

3.2.1 Hevosenlanta biokaasun raaka-aineena

Hevosenlanta soveltuu biokaasun raaka-aineeksi hyvin. Mikäli kuivikkeena on käytetty puupohjaisia kuivikkeita, kuten sahanpurua tai kutterinpurua, ei hevosenlanta ole puun sisältämän ligniinin vuoksi niin hyvää raaka-ainetta, kuin esimerkiksi sianlanta. Sen sijaan esimerkiksi turvelanta soveltuu mädätykseen hyvin. (Pusa & Ekroos 2009, 23). Turun ammattikorkeakoulun julkaisun mukaan purulanta on raaka-aineena turvelantaa parempaa suuremman metaanintuoton vuoksi (Alho & kumpp. 2010, 38-39), joten tästä asiasta on hieman ristiriitaista tietoa. Laitilan (2009, 22) mukaan ligniinipitoisia

syötteitä ei edes pitäisi ottaa biokaasulaitokselle vastaan, sillä ne hajoavat heikosti anaerobisissa olosuhteissa.

Taulukko 2. Hevosenlannan, naudanolannan ja sianlannasta tuotetun biokaasun laskennallinen vuosituoanto (Säikkö 2012, 31).

Materiaali	Keskimääräinen biokaasun tuotto / eläin (m³/t_{vs})^A	Biokaasua/eläin (m³/a)
Hevosenlanta	250	525
Naudanolanta	250	508
Sianlanta	450	53

Suomessa ei tiettävästi ole biokaasulaitosta, joka vastaanottaisi hevosenlantaa (Alho & kumpp. 2010, 26). MTT:n teknologiakeskuksessa on kuitenkin tehty mädätyskokeita myös hevosenlannalle. Kokeessa mädätettiin 38 kg hevosenlanta-turveseosta, lisättynä kolmella kilolla lehmänlannan mädätysjäännöstä. Yhden vuorokauden mädätyksen jälkeen saatiin noin 30 litraa biokaasua, jonka metaanipitoisuus oli 46 % ja lopossa hiilidioksidia ja vesihöyryä. Metaanipitoisuuden olisi hyvä olla korkeampi, kun sitä käytetään polttoaineena energiantuotannossa kaasumootorin avulla. Metaanipitoisuutta saadaan nostettua esimerkiksi lisäämällä raaka-aineen sekaan nurmisilppua tai kotitalouksien biojätettä (Alho & kumpp. 2010, 26).

Taulukko 3. Eri raaka-aineista saatavan biokaasun määrä sekä biokaasun metaanipitoisuus (Alho & kumpp. 2010, Mannonen 2004, 27 mukaan).

Raaka-aine	Syntyvän kaasun määrä NTP (m³/tonni kuiva-ainetta)	Kaasun metaanipitoisuus (%)
Sianlanta	340-550	65-70
Naudanolanta	90-310	65-70
Kananlanta	310-620	60
Hevosenlanta	200-300	-
Lampaanolanta	90-310	-
Olki	200-460	50-60
heinä	280-550	70
Vihannesjätteet	330-360	-
Perunanvarret	280-490	-
Maatalousjäte	310-430	60-70
Pudonneet lehdet	210-290	58
Vesihyasintti	375	-
Levä	420-500	63
Puhdistamoliete	310-750	-

Merkittävä hyöty hevosenlannan biokaasutuksessa suhteessa lannanpolttoon on se, että biokaasutukseen ei sovelleta jätteenpolttoa koskevaa lainsäädäntöä. Biokaasutuksessa jätettä ei polteta tai lämpökäsitellä, ellei se oli välttämätöntä esimerkiksi mädätteen kaupallisen hyödyntämisen kannalta (Kilpeläinen 2013). Sen sijaan biokaasutus vaatii ympäristöluvan, sillä se on ympäristönsuojelulain 28 § 2 luvun 4. kohdan mukaisesti ammattimaista jätteenkäsittelyä tai hyödyntämistä. (Pusa & Ekroos 2009, 23).

Biokaasutuksen selkeä etu lannankäsittelymuotona on nykyisen lainsäädännön suopea suhtautuminen biokaasutukseen ja luvituksen keveys verrattuna esimerkiksi YVA-menettelyn tarvitsemiin laitoksiin. Investointina biokaasulaitos on suuri, ja siksi voisi olla järkevää tietyillä hevoskeskittymäalueilla miettiä yhteislaitosta hevosenlannan käsittelemiseksi. Mikäli laitokseen toimitettava hevosenlanta on epäedullista biokaasutuksen kannalta, sisältäen esimerkiksi runsaasti puupohjaista kuiviketta, olisi mahdollista myös luvittaa laitos ottamaan vastaan maksua vastaan myös muiden alan toimijoiden sivutuotteita ja biojätteitä, jotka jos mahdollista, parantaisivat hevosenlannan mädätysominaisuuksia. Tällöin saataisiin myös laitoksen kustannuksia kuoletettua hieman nopeammin. Esimerkiksi Juvalla toimii pääasiassa maanviljelijöiden omistama yhteislaitos, joka ottaa vastaan myös muiden kuin osakkaiden sivuainevirtoja. Laitokselle on palkattu erillinen huoltohenkilö vastaamaan laitoksen toiminnasta ja erillinen kuljetusyrittäjä hoitaa keskitetysti jätteen ja lannan kuljetuksen maataloilta laitokselle ja mädätyslietteen kuljettamisen takaisin viljelijöille. Yksi osakasyritys ostaa laitoksen tuottaman sähköön ja lämmön. (Ilmase 212.) Tämäntapainen järjestelmä sopisi myös hevostilojen sovellettavaksi alueilla, joilla on paljon hevosia ja talleja.

3.3 Kaasutus

Hevosenlantaa on myös mahdollista kaasuttaa puukaasuttimella eli ns. häkäpöntöllä. Kaasuttamisessa polttoaine muutetaan kaasumaiseen muotoon polttamalla se ali-ilman avulla. Tällöin polttoaine ei kokonaisuudessaan pääse hapettumaan, jonka seurauksena muodostuvaan raakakaasuun jää alkuperäisestä raaka-aineesta peräisin olevia aineksia, kuten hiilimonoksidia (eli häkää, CO), vetyä, metaania, hiukkasia, raskaita hiilivetyjä (tervaa), merkaptaneja ja typenoksideja. Lisäksi kaasussa voi olla pieniä määriä

halogeenejä ja HCN:ää. Pääasiassa kaasu muodostuu hiilimonoksidista, vetykaasusta ja hiilidioksidista. (Lassi & Wikman 2011, 26.) Lisäksi kaasuttamisessa syntyy pohjakuonaa, joka muodostuu raaka-aineen epäorgaanisista ainesosista. Raakakaasu on mahdollista ja usein tarkoituksenomaista puhdistaa pienhiukkasista ja muista epäpuhtauksista, jolloin raakakaasu on puhdasta ja käyttökelpoista polttoainetta esimerkiksi voimalaitoksissa tai liikennepolttoaineena. Kaasutuksen seurauksena ei synny päästöjä ja pudistetun tuotekaasun polttamisessa syntyy lähinnä hiilidioksidia ja vesihöyryä. Pohjakuona ja raakakaasun puhdistusjäte sen sijaan ovat polttojätettä. (Pusa & Ekroos 2009, 18; Säikkö 2012, 27).

Hevosenslanta on kaasutuksen kannalta hieman liian kosteaa sellaisenaan, sillä kaasutukseen soveltuvan aineksen optimaalinen kosteusprosentti on alle 50 % ja hevosenslannan kosteus on noin 60-70 % (Säikkö 2012, 27). Näin ollen lanta olisi hyvä kuivata ennen kaasutusta. Kaasutuksen ensimmäisessä vaiheessa lanta joka tapauksessa kuivuu, ja kuivumisen jälkeen haihtuvat aineet kaasuuntuvat eli pyrolysoituvat palaen polttoaineen, tässä tapauksessa hevosenslannan, pinnalla. Tuotekaasun laatuun vaikuttaa se, millä prosessia kaasutetaan: ilman käyttö kaasuttimena johtaa matalan lämpöarvon tuotekaasuun, sillä ilman mukana tulee palamatonta typpeä, mikä alentaa lämpöarvoa. Ilmalla kaasutetun tuotekaasun lämpöarvo on noin **6 MJ/Nm³**. Mikäli taas prosessissa käytetään puhdasta happea kaasuttimena, on syntyvän tuotekaasun lämpöarvo lähes kaksinkertainen eli noin **10-12 MJ/Nm³**. (Säikkö 2012, 27-28.)

3.3.1 Kaasutuksen lainsäädäntöä

Pusa & Ekroos (2009) ovat käsitelleet kaasutuksen ja kaasunpolton lainsäädäntöä lähinnä siitä näkökulmasta, onko toiminta jätteenpolttodirektiivin alaista toimintaa. Kaasutinlaitoksen tarkoituksena on tuottaa energiaa tai aineellisia tuotteita, eikä niinkään käsitellä jätteitä. EY-tuomioistuimien on tehnyt ennakkopäätöksen, jossa todetaan kaasutinlaitoksen tarkoituksena olevan tuottaa lämpökäsittelyn avulla kaasumaisia tuotteita, jolloin puhutaan rinnakkaispolttolaitoksesta (jätteenpolttodirektiivin 3 artikla, alakohta 5). Siten kaasutinlaitokseen on sovellettava jätteenpolttodirektiiviä, vaikka laitoksessa ei olisi polttolinjaakaan. Koska kaasutuksesta ei kuitenkaan aiheudu

päästöjä, ei KHO:n välipäätös 2009:52:n mukaan laitokselta vaadita hevostaloudessakin kynnyskysymyksenä olevia kalliita jatkuvatoimisia päästömittauslaitteita. Kaasutinlaitos vaatii kuitenkin ympäristöluvan. (Pusa & Ekroos 2009, 20-21.)

Kaasun polttaminen ei niin ikään ole Pusan ja Ekroosin tulkinnan mukaan jätteenpolttoasetuksen ja -direktiivin alaista toimintaa, sillä jätteenpolttolainsäädäntö ei koske puhdistettujen, kaasumaisten aineiden polttamista. Kaasua polttoaineenaan käyttävä voimalaitos ei myöskään vaadi ympäristölupaa, mikäli sen polttoaineteho on alle 5 MW tai jos käytettävä polttoaine vuodessa on alle 54 TJ. (Pusa & Ekroos 2009, 22.)

Hevostalouden kannalta kiinnostava asia on pienten yhdistelmälaitosten lainalaisuus, eli sähköä ja lämpöä tuottavien CHP-laitosten määrittely jätteenpolttoon koskevan lainsäädännön näkökulmasta. Jo aiemmin todettiin, että polttolinjan olemassaolo ei ole välttämätön kriteeri, jotta laitos määriteltäisiin polttolaitokseksi. Näin ollen rinnakkaispolttolaitoksen käsite ei laajene, vaikka rinnakkaispolttolaitokseen lisättäisiin polttolinja. Puhdistettua tuotekaasua polttavaa voimalaitosta on käsiteltävä lain kannalta samoin riippumatta siitä, onko sen yhteydessä puhdistettua tuotekaasua tuottava laitos tai ei. Siten jätteenpolttodirektiiviä sovelletaan vain kaasutinlaitoksen osuuteen ja polttolinjan osuus rajautuu ulos jätteenpolttodirektiivin alaisuudesta. (Pusa & Ekroos 2009, 22-23.)

3.3.2 Hevosenlannan kaasutuksen mahdollisuudet

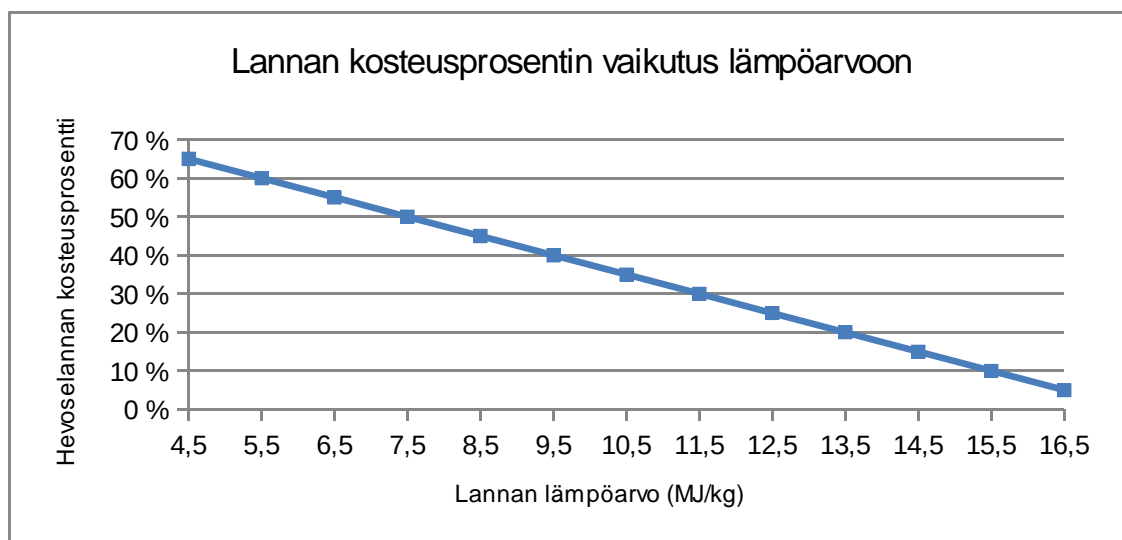
Hevosenlannan kaasutus on hyvin mielenkiintoinen tapa hyötykäyttää hevosenlantaan energiantuotannon lähteenä. Kaasutus on ollut viime aikoina suosittu tutkimusten aihe sekä teollisuuden, että tieteen saralla mutta hevosenlannan käsittelymenetelmäksi ja samalla energian tuotantomuodoksi sitä on harvoin ajateltu sen tarkemmin. Hevosenlannan käyttö kaasutuksen raaka-aineena on nykyisen lainsäädännön puitteissa mahdollista myös pienille toimijoille ilman, että se koituisi taloudellisesti liian raskaaksi. Mielenkiintoisin vaihtoehto on luonnollisesti hajautetun energiatuotannon muoto eli hevosenlannan kaasutus CHP-laitosten raaka-aineeksi myötävirtakaasutuksen

avulla. Tämän lisäksi syntynyttä tuotekaasua voidaan käyttää biopolttoaineiden sekä kemikaalien tuotannossa. (Lassi & Wikman 2011, 33.)

Hevosenlannan kaasutus koetaan kiinnostavaksi vaihtoehdoksi energiantuotannossa, ja esimerkiksi Lahden uuteen kaasutusvoimalan tyypisiin voimaloihin voisi olla mahdollista ottaa vastaan myös hevosenlantaa raaka-aineeksi (Peltonen 2013).

3.4 Jatkojalostus (briketöinti ja pelletöinti)

Hevosenlantaa on mahdollista jatkojalostaa pelleteiksi tai briketeiksi, joiden lämpöarvo ja käyttökelpoisuus polttoaineena on huomattavasti korkeampi, kuin pelkän hevosenlannan. Pelletöinnissä ja briketöinnissä hevosenlanta puristetaan hyvin kappaleeksi. Pelletti on muodoltaan pieni ja lieriömäinen, briketti on suurempi ja usein kantikas. Pellettejä poltetaan tyypillisesti lämmityskattiloissa ja brikettejä esimerkiksi kotitalouksien takoissa. (Alho & kumpp. 2010, 27.) Turun ammattikorkeakoulun hankkeessa (Alho & kumpp. 2010) hevosenlannan hyödyntämismahdollisuuksien kartoittamisessa tehtiin myös pelletöintikokeita. Pelletöintikokeet osoittivat, että hevosenlannan pelletöinti tai briketöinti ilman kuivausta, edes helteisenä kesänä, ei ole mielekäästä, mutta kuivatun hevosenlannan pelletöinti onnistui erittäin hyvin ja lopputuloksena tullut pelletti oli lämpöarvoltaan jopa korkeampi, kuin mitä vastaavan puupolttoaineen lämpöarvo on. Puupohjaisen pelletin lämpöarvo on noin 4,8 kWh/kg (Alho & kumpp. 2010, 27, Metsäkeskus 2010 mukaan). Säikkö on kandintutkielmassaan vuonna 2012 tutkinut hevosenlantapellettien lämpöarvoa saaden **hevosenlantapellettien ja -brikettien teholliseksi lämpöarvoksi 15,8 MJ/kg eli noin 4,0-4,8 kWh/Kg** (1 kWh=3,6 MJ). Hevosenlannan kosteuspitoisuuden nousu heikentää lannan lämpöarvoa. (Säikkö 2012, 9-10).



Kuva 4. Lannan kosteuspitoisuuden vaikutus lannan lämpöarvoon. (Säikkö 2012, 10.)

Turun ammattikorkeakoulun pelletöintikokeet tehtiin turvelannalla. Pelletöinti käsittelemättömällä ja kuivaamattomalla turvelannalla (kosteus noin 60-70 %) ei ollut mielekästä eikä pellettien laatu ollut riittävän hyvä. Sen sijaan lannan kuivaus lantakuivurin prototyypillä 12 kosteusprosenttiin ja sen jälkeen pelletöinti Lokapelletit-yrityksen Hypipress MP 250-laitteella antoi korkealuokkaisen, kiiltävän ja kiinteän pelletin. Hankkeella ei ollut valitettavasti resursseja koepolttaa pellettejä, mutta hankkeen tiimoilta oltiin sitä mieltä, ettei kyseisten pellettien polttaminen voi erota päästöiltään vastaavan puupelletin polttamisesta. (Alho & kumpp. 2010, 47-49.)

Huomioitavaa on, että kuten lainsäädäntöä käsittelevässä kappaleessa tuli ilmi, on KHO:n vuosikirjapäätöksen 2009:61 hevoselannasta valmistettujen pellettien ja brikettien poltto hevoselannan polttoon verrattavaa eli jätteenpolttoasetuksen alaista toimintaa (Heinonen 2011). Toisaalta jälleen samoja EU-säädöksiä noudattavassa Saksassa on luvallista polttaa hevoselannasta tehtyjä pellettejä ja brikettejä laitoksissa, joiden päästöjä seurataan määräaikailla savukaasumittauksilla (Soininen & kumpp. 2011, 57).

3.5 Kompostointi

Kompostoitumisessa orgaaninen aines hajoaa aerobisissa olosuhteissa mikrobitoiminnan ansiosta pääasiassa stabiiliksi humukseksi, vedeksi, hiilidioksidiksi ja epäorgaanisiksi suoloiksi. Mikrobitoiminnan ansiosta kompostoitumisessa syntyy myös lämpöenergiaa. Kompostoitumisen optimaalinen onnistuminen vaatii aina riittävästi happea, kosteutta ja lämpöä. (Tontti & Mäkelä-Kurtto 1999, 15.)

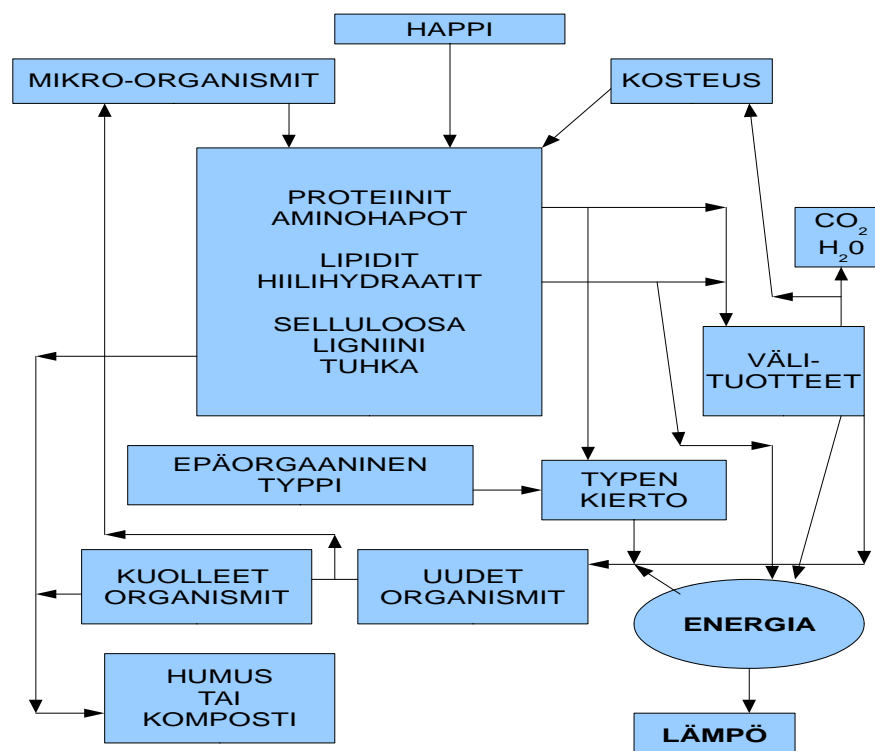
Kompostoimalla hevosenlantaa pyritään tuhoamaan lannan sisältämät patogeenit ja rikkakasvien siemenet ja hajottamaan lannan sisältämä kuivike (Airaksinen 2006, 16). Tämän lisäksi kompostoimalla lantaa saadaan sen tilavuus pienemmäksi, lannan päästämä haju vähäisemmäksi ja yleisesti parannettua hevosenlannan ominaisuuksia lannoite- ja maanparannuskäytön kannalta (Soininen & kumpp. 2010, 49).

Hevosenlantaa voidaan kompostoida joko passiivisesti tai erilaisilla menetelmillä. Hevosenlannan yleisin käsittelymuoto Suomessa on **passiivinen kompostointi varastoinnin aikana**, jolloin lanta tavallisesti sijoitetaan lantalaan ja kompostoitumisprosessia ei pyritä hallitsemaan tai nopeuttamaan millään tavalla. (Airaksinen 2006, 16.) Muista menetelmistä yleisemmin käytössä ovat aumakompostointi sekä rumpu- ja tuubikompostointi. Tässä luvussa esitellään myös karjanlannan ja yhteiskuntajätteen kompostoinnissa käytettyjä menetelmiä ja pohditaan niiden soveltuvuutta hevosenlannan kompostointiin. Merkittävä etu hevosenlannan kompostoinnissa karjalannan kompostointiin nähden on se, että hevosenlannan kompostointi ei vaadi erikseen kompostia kuohkeuttavien ja kuivattavien tukiaineiden, kuten esimerkiksi puuhakkeen, käyttöä (Soininen & kumpp. 2010, 49).

3.5.1 Kompostoitumisprosessi

Kompostoituminen on happea vaativien pieneliöiden suorittamaa orgaanisen aineksen, tässä tapauksessa hevosenlannan ja kuivikemateriaalin, hajotustyötä. Pieneliöstö on joko hevosenlannassa valmiiksi tai siirtyy siihen ympäristöstä kompostoitumisen aikana. Pieneliöstö koostuu tyypillisesti bakteereista, sädesienistä, sienistä ja erilaisista

hyönteisistä, kuten punkeista, tuhatjalkaisista sekä lieroista. Pieneliöstä luokitellaan lämpötilan sietokyvyn mukaan joko psykrofiilisiin (alle 20 astetta), mesofiilisiin (20-40 astetta) ja termofiilisiin (yli 40 astetta) mikrobeihin ja niiden aktiivisuus ja esiintyvyys vaihtelevat kompostointivaiheesta riippuen. Kompostoituminen jaetaan tyypillisesti neljään vaiheeseen: mesofiiliseen, termofiiliseen, jäähtymisvaiheeseen sekä kypsymisvaiheeseen. Näistä kolme ensimmäistä vaihetta voidaan saavuttaa jopa muutamissa päivissä. Kompostoitumisen tuotteina syntyy stabiilia humusta, vettä, hiilidioksidia, epäorgaanisia suoloja sekä lämpöenergiaa. Kompostoitumisprosessin meso- ja termofiilisessä vaiheessa lämpötila nousee tyypillisesti hyvinkin korkeaksi mikrobien aktiivisesta toiminnasta johtuen ja se edelleen nopeuttaa hajoamista. Siinä vaiheessa kun kompostin lämpötila laskee meso- ja termofiilisen vaiheen jälkeen, on tyypillisesti suurin osa kompostin sisältämästä biologisesti käyttökelpoisesti raaka-aineesta ja energiasta käytetty jo hyväksi. Hajoaminen jatkuu kuitenkin vielä pitkään, jolloin puhutaan kompostin kypsymisestä ja hevosalalla tyypillisesti maatumisesta. Kypsymistä tapahtuu, vaikka komposti jäähtyy ympäristön lämpötilaan. (Tontti & Mäkelä-Kurtto 1999, 15-16.)



Kuva 5. Kompostoitumisprosessi (Tontti & Mäkelä-Kurtto 1999, 16).

Täysin kompostoituneesta eli kypsästä hevosenlannasta ei voi enää erottaa silmämääräisesti tarkastellen kuivikemateriaalia, hevosenlantakakkaroita tai esimerkiksi suoliston läpi kulkeutunutta sulamatonta ravintoa, kuten kauranjyviä. Kompostoitunut lanta ei haise ja se on väriltään tummaa. (Soininen & kumpp. 2010, 50.)

Kompostoituminen vaatii onnistuakseen pieneliöstölle sopivat olosuhteet. Tärkeimpiä olosuhteista ovat materiaalin ravinnekoostumuksen hiili-typin suhde (C/N-suhde), jonka optimi on 25-30:1, pH (optimi 5,5-8), riittävä hapensaanti (1-15 %, 1,3 g /O₂ per gramma orgaanista ainesta), palakoko, lämmöneristys, kosteus (optimi 50-60 %, ei alle 30 % eikä yli 60-75 %) sekä ammoniakkin, vesihöyryn sekä rikki- ja typpiyhdisteiden (ns. prosessikaasujen) poistuminen kompostista. Hevosenlannan kompostoitumisessa lannan lisäksi kuivikkeella on suuri merkitys etenkin pH-arvoon, kosteuteen sekä hiili-typin suhteeseen. (Soininen & kumpp. 2010, 50; Tontti & Mäkelä-Kurtto 1999, 17.)

Mikäli olosuhteet eivät ole mikrobeille otolliset, kompostoituminen ei toimi toivotulla tavalla ollen niin tehokas, kuin mitä se voisi olla. Myöskään kompostoitumisen tuote ei ole laadukas. Kompostoitumisessa hiilen pitoisuuden tulee olla suurempi kuin typen. Mikäli typpipitoisuus on liian suuri, mikrobit eivät pysty käyttämään hyväkseen kaikkea typpeä ja silloin syntyy ylen määrin ammoniakkia, joka haittaa mikrobitoimintaa. Mikäli taas hiiltä on liian paljon suhteessa typen määrään, hidastuu mikrobien aktiivisuus typenpuutteen vuoksi. Hiiltä on yleensä huonommin saatavilla kuin typpeä. (Tontti & Mäkelä-Kurtto 1999, 17.)

Kompostoitumista seurataan pääasiassa lämpötilan avulla. Ensimmäinen eli mesofiilinen vaihe tapahtuu ensimmäisten 24-48 tunnin aikana. Tällöin lämpötila kohoaa yli 40 asteeseen ja helposti hajoavat aineet, kuten sokerit, hajoavat. Termofiilisen vaiheen aikana hajoavat selluloosa. Termofiilisessa vaiheessa kasvipatogeenit ja siemenet hajoavat, millä on merkittävä vaikutus kompostin käyttöön esimerkiksi lannoitteena. Kompostoituminen on nopeinta, kun lämpötila on 35 ja 50 asteen välillä. Kompostin kääntäminen kompostoinnin aikana parantaa tyypillisesti mikrobien hapensaantia ja pitää termofiilisen vaiheen toiminnassa tarpeeksi kauan. (Tontti & Mäkelä-Kurtto 1999, 18.) Toisaalta Sanna Airaksisen väitöskirjassaan (2006, 35) esiteltyssä hevosenlannan kompostointikokeessa ilmastaminen kääntämällä ei nostanut kompostin lämpötilaa.

Kompostin pH-arvoa on myös hyvä seurata. PH-arvo laskee heti kompostoitumisen alussa, kun pieneliöstö käyttää nopeasti hyväkseen helposti saatavilla olevan energian ja hajoamistuotteena syntyy orgaanisia happoja. Tämän jälkeen pH nousee jyrkästi, sillä hajoamisvuorossa ovat proteiinit, jolloin ammoniumtyppeä syntyy runsaasti. Tämän lisäksi aiemmin syntyneet orgaaniset hapot hajoavat. pH asettuu noin kahdeksaan jäähtymisvaiheen alussa. Kompostoitumisen etenemistä voidaan seurata myös esimerkiksi hajun perusteella tai biologisin menetelmin. (Tontti & Mäkelä-Kurtto 1999, 19.)

3.5.2 Hevosenlannan ominaisuudet lähtöaineena ja kuivikkeen vaikutus kompostoitumiseen

Kompostoitumisessa raaka-aineella on suuri merkitys kompostoitumisen olosuhteisiin ja siten kompostoitumisen onnistumisasteeseen (Tontti & Mäkelä-Kurtto 1999, 17). Hevosenlannassa on jopa 60-80 prosenttia kuiviketta (Airaksinen 2006, 16), joten kuivikkeella on jopa suurempi merkitys kompostoitumisessa, kuin mitä itse hevosenlannalla.

Hevosenlannan kosteusprosentti on tyypillisesti noin 65 % ja C:N-suhde 30:1. Näiden suhteen hevosenlanta on erinomaista kompostoitavaksi. (Airaksinen 2006, 16). Kuivikepitoisuus vaikuttaa kuitenkin esimerkiksi hevosenlannan kosteuteen.

Taulukko 4. Hevosenlannan, muutaman muun lannan sekä tyypillisten kuivikemateriaalinen hiili-typin -suhdeluku (Airaksinen 2006, 17).

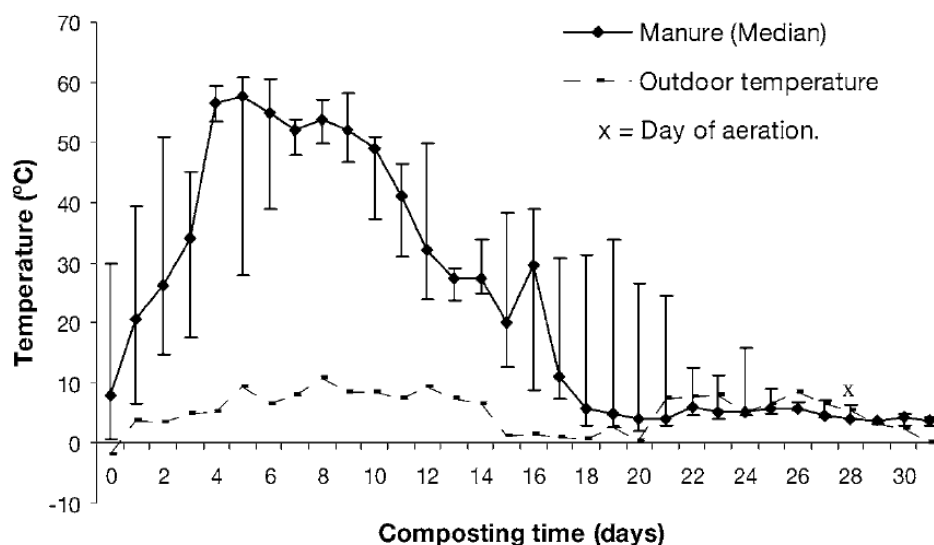
Materiaali	C/N-suhde
Sianlanta	14:1
Lampaanlanta	16:1
Heinä	24:1
Hevosenlanta	30:1
Olki	80:1
Turve	50-91:1
Sahanpuru	442:1
Kutterinpuru	600:1
Paperisilppu	700:1

Kompostoitumiseen vaikuttaa myös raaka-aineiden lahoamistaipumus. Selluloosa, hemiselluloosa ja sokerit hajoavat nopeasti ja ligniini taas hitaasti. Lanta hajoaa siis verrattain helposti. (Tontti & Mäkelä-Kurtto 1999, 17.) Ligniiniä puolestaan on paljon puuaineksessa eli esimerkiksi kuivikkeena käytettävässä kutterin- tai sahanpurussa.

Sanna Airaksinen on esitellyt väitöskirjassaan ”Bedding and Manure Management in Horse Stables. Its Effect on Stable Air Quality, Paddock Hygiene and the Compostability and Utilisation of Manure.” (2006) vuonna loka-marraskuussa 1998 Kiuruvedellä toteutettua hevosenlannan kompostoimiskoetta. Kokeessa testattiin hevosenlannan ja eri kuivikkeiden (pitkäkorsinen olki, turve, hamppu, kutterinpuru,

sanomalehtisilppu, turve-/kutterinpurusekoitus, turve./sahanpurusekoitus sekä turve-/olkisilppusekoitus) kompostoitumista. Kokeessa siivottiin viikon ajan karsinoista hevosenlantapallerot sekä virtsainen kuivike yhden kuutiometrin vetoisiin puulaatikoihin. Kompostin lämpötilaa mitattiin kolmesta eri syvyydestä (10 cm, 22 cm ja 30 cm pinnasta) joka päivä 34-35 päivän ajan. Myös ulkoilman lämpötilaa seurattiin. Kompostit myös käännettiin 28 päivän kompostoitumisen jälkeen. Lannasta analysoitiin viljavuuden kannalta oleellisia tekijöitä (kokonaiskalium, kokonaisfosfori, liukoinen typpi, kuiva-ainepitoisuus sekä tilavuuspaino) ensimmäisenä päivänä sekä kolmen ja kuuden viikon kompostoinnin jälkeen. Komposteista tutkittiin päivittäin biologista aktiivisuutta: kärpästen määrä, home sekä sienten muodostuminen. Hukkakauransiementen olemassaoloa tutkittiin idättämällä kompostilantaa. (Airaksinen 2006, 29.)

Kokeessa todettiin kompostoitumisen alkavat kaikissa komposteissa heti ja lämpötilan kohoavan yli 20 asteeseen ja pysyvän siellä 2-3 viikkoa. Lämpötila nousi alussa rajusti jopa 60 asteeseen, alkaen noin viikon jälkeen laskea hiljalleen. Eri syvyyksissä ei ollut lämpötilaeroja eli biologinen aktiivisuus oli melko sama läpi kompostimassan. 28 päivän kohdalla tapahtunut kääntäminen ei nostanut enää kompostin lämpötilaa, vaan siinä vaiheessa kompostin lämpötila oli lähellä ulkoilman lämpötilaa. Ulkolämpötila oli alle kymmenen astetta. Kolmen viikon kompostoinnin jälkeen etenkin hamppua, olkea, kutterinpurua ja sanomalehtisilppua sisältävän kompostit olivat kuivia. Kuukauden kompostoinnin jälkeen suurin osa hevosenlantapalleroista oli hajonnut, mutta kuivike oli miltei koskemattoman näköistä, turve pois lukien. Hukkakauransiemenet tuhoutuivat kompostoitumisessa. (Airaksinen 2006, 34-35.)



Kuva 5. Hevosenselannan kompostointikokeessa loka-marraskuussa mitattuja lämpötilalukemia (Airaksinen 2006, 34).

Tutkimuksessa todettiin vastoin Moncolin (1996) aiempaa tutkimusta, etteivät kompostin lämpötilat eri kuivikemateriaaleilla eronneet juurikaan toisistaan. Kompostin hygieenisyyden patogeenien suhteen katsottiin olevan kunnossa, sillä kaikissa kompostissa lämpötila nousi nopeasti yli 40,7 asteen, jonka katsotaan olevan kriittinen raja patogeenien tuhoutumisen kannalta. Oleellinen huomio oli se, että ainoastaan turvelanta oli lannoitekäyttöön valmista kuukauden kompostoinnin jälkeen, muut kuivikelannat eivät. Mikäli peltoon levitetään kuivikkeen suhteen epäkypsää kompostia, saattaa se heikentää satoisuutta, sillä kompostoituminen kuluttaa maaperän liukoista tyyppiä. Kolmen viikon kompostoinnin jälkeen liukoisen tyyppien määrä oli suurin turvelannassa ja pienin kutterinlastu-, hamppu- ja olkilannassa. (Airaksinen 2006, 42.)

Airaksinen toteaa, että vastoin oletusta, kuivikemateriaali ei estänyt kompostoitumista, mikäli kuivikkeen osuus kompostissa ja lantaseoksessa oli tarpeeksi pieni ja olosuhteet muuten hyvät. Hän toteaa kuitenkin, että puupohjaisten kuivikkeiden kompostoitumisnopeus verrattuna kasvipohjaisiin kuivikkeisiin oli erittäin hidas. Airaksinen peräänkuuluttaa väitöksessään ekologisesti ja taloudellisesti järkevää lannan käsittelytapaa etenkin niille kaupunkien lähistöllä sijaitseville hevostalleille, jotka käyttävät karsinoiden alusena puupohjaisia kuivikkeita. (Airaksinen 2006, 45.)

Taulukko 4. Kuivikkeen vaikutus kompostoitumiseen lannan varastoinnin aikana ja kuivikkeen vaikutus lannan hyötykäyttöön maanviljelyksessä (Airaksinen 2006, 42).

Materiaali	Kompostoitumisnopeus lantalassa	Lannan hyötykäyttö viljelykäytössä
Turve	Nopea	Helppoa
Olki	Melko nopea	Melko helppoa
Hamppu	Melko nopea	Melko helppoa
Pellava	Melko nopea	Melko helppoa
Kutterinpuru	Hidas	Ongelmallista
Sahanpuru	Hidas	Ongelmallista
Sanomalehtisilppu	Hidas	Ongelmallista

Myös Yhdysvalloissa Swinker kumppaneineen on tutkinut vuonna 1998 hevosenlannan kompostoimista kahden kuukauden ajan. Kuivikkeena kompostoitumiskokeissa käytettiin kuusesta peräisin olevaa sahanpurua, puhelinluetteloista silputtua paperia sekä vehnän olkea. Swinker totesi, että sahanpurua sisältävä kuivikelanta kompostoitui nopeimmin kolmesta eri vaihtoehdosta. Myös sahanpurulannan lämpötila oli optimaalisin mikrobien toiminnan kannalta ja kompostoituneen sahanpurulannan tuoksu oli ”maatunut.” Hajoamista hidasti kaikissa kolmessa kuivikelantaseoksessa liian suuri hiilen ja typen suhde. Tutkimuksessa todettiin, että komposteissa olisi pitänyt olla enemmän lantaa ja virtsaa tai typen määrää tulisi lisätä keinotekoisesti esimerkiksi ruohosilppua lisäämällä. Olkilannan katsottiin olevan liian tiivistä eikä mikrobitoiminta ollut siksi tarpeeksi aktiivista, eivätkä esimerkiksi patogeeneja ja rikkakasvien siemenet tuhoutuneet. Paperisilppu ei hajonnut juuri laisinkaan. Kaksi kuukautta oli siis liian lyhyt aika kompostoida hevosenlantaa olkeen, paperisilppuun tai sahanpuruun sekoitettuna. (Alho & kumpp. 2010, 19-20, Airaksinen 2006, 16.)

3.5.3 Kompostointitekniikat

Hevosenlantaa voidaan kompostoida useilla eri menetelmillä. Yleisin lannan käsittelymenetelmä ja samalla kompostointimenetelmä on passiivinen kompostointi lantalassa varastoinnin aikana (Airaksinen 2006, 16). Tämän lisäksi on käytössä ja myös kaupallisina tuotteina saatavilla rumpukompostoreita sekä tuubikompostoreita.

Aumakompostointi on hyvin perinteinen tapa kompostoida hevosenlanta. Muita, lähinnä biojätteiden ja lietteiden kompostoinnissa käytettyjä kompostointimentelmiä ovat tunnelikompostointi, tornikompostointi, konttikompostointi sekä membraanikompostointi.

Hevosenlanta ei aseta kompostointimenetelmälle suuria vaatimuksia, vaan ympäröivät olosuhteet määrittävät soveltuvan kompostointitavan. Usein lähtökohtana on joko kustannus, tila ja sen puute ja sitä myöden aika. Halvimpia menetelmiä kompostointiin ovat passiivisen kompostoinnin lisäksi aumakompostointi, jossa hyvänä lisänä olisi käyttää ilmastusta ja/tai membraanikatetta. Rumpukompostointi on reaktorimenetelmistä laajalti käytetty ja tehokas.

Passiivisessa kompostoinnissa lanta kompostoituu ilman ulkopuolista säätelyä tai hallintaa lannan varastointipaikassa, eli yleensä lantalassa. Edellisessä, kompostoitumisprosessia käsitelleessä luvussa esiteltiin Airaksisen ja kumppaneiden kompostoitumiskoe vuodelta 1998, jossa kompostoitumista ei erityisemmin säädelty tai pyritty nopeuttamaan. Lantaa ilmastettiin kääntämällä 28 päivän kompostoinnin jälkeen, mutta esimerkiksi ravinnelisyystä tai kastelua ei lannalle tehty. Lämpötilamittauksin todettiin, että kompostin lämpötila ei noussut ilmastuksen jälkeen eli mikrobitoiminnan ei oletettu kiihtyvän ilmastuksen seurauksena. Kompostin lämpötilakäyrä on esitelty tämän työn sivulla 39 (Airaksinen 2006, 34-35). Airaksisen koetta voidaan pitää esimerkkinä passiivisesta kompostoinnista varastoinnin aikana. Passiivinen kompostointi tapahtuu usein käytännön sanelemana esimerkiksi talven aikana, jolloin lantaa ei voida ajaa esimerkiksi pellolle lannoitteeksi. Passiivisen kompostoinnin jälkeen hevosenlanta tyypillisesti joko käytetään peltolannoitteena tai siirretään muuhun loppusijoitus- tai hyötykäyttöpaikkaan. Myös **patterivarastointi** on eräänlaista passiivista kompostointia, jolloin hevosenlanta aumataan ja jätetään kompostoitumaan ilman erityistä hoitoa tai prosessin hallintatoimia. Lantapatterin rakentamista ja vaatimuksia säätelee nitraattiasetus (VnA 931/2000).



Kuva 6. Haapialan tallin lantala eli lanta kompostoituu passiivisesti varastoinnin aikana. (Kuva: Hanne Turunen).

Aumakompostointi on tyypillinen aktiivisen kompostoinnin muoto hevosenlannalle. Hevosenlanta aumataan ulos noin 2-4 metriä leveisiin, muutaman metrin korkuisiin aumoihin. Aumakompostointi on helpointa suorittaa asfaltoidulla kentällä, jolloin lanta ei sekoitu pohjamateriaaliin ja suotovesien hallinta on helppoa. Aumaa joko ilmastetaan koneellisesti esimerkiksi salaojaputkituksen avulla tai kääntämällä säännöllisin väliajoin. Aumakompostoinnin aktiivinen vaihe kestää noin 21-28 vuorokautta (meso- ja termofiilinen vaihe), jonka aikana aumaa tulee ilmastaa säännöllisesti ja huolehtia esimerkiksi auman riittävästä kosteuspitoisuudesta ja kompostikaasujen poistosta. Tämän aktiivisen kompostoinnin jälkeen vaaditaan vielä jälkikompostointi, joka kestää puolesta vuodesta vuoteen. (Soininen & kumpp. 2010, 54.) Jälkikompostoinnin kesto riippuu luonnollisesti kuivikemateriaalista: puupohjaisten materiaalien täydellinen kompostoituminen saattaa kestää jopa kolme vuotta (Hevosmaailma-lehti 2012, 40). Turvelannan jälkikypsytysvaihe on noin kolme kuukautta. Jälkikypsytystä aumassa

käytetään usein myös esimerkiksi rumpukompostoinnin jälkikypsytysmenetelmänä (Soininen & kumpp. 2010, 54).

Aumakompostointi vie melko paljon tilaa ja saattaa vaatia esimerkiksi aumojen peittämisen sääolojen vuoksi (liialliset sateet tai liiallinen kuivuus). Toisaalta aumakompostointi ei välttämättä vaadi etukuormaajalla varustettua konetta erityisempää tekniikkaa, siihen investointia tai tiedon hallintaa. Aumakompostointi on siis melko vähätöinen ja huokea tapa kompostoida. Aumakompostoinnin aikana saattaa ympäristöön päästä ravinnevalumia, jonka vuoksi kompostointikentän vesien hallinta tulisi ottaa huomioon esimerkiksi salaojituksen avulla (Soininen & kumpp. 2010, 54).

Rumpukompostoinnissa kompostoituminen tapahtuu akselinsa ympäri pituussuunnassa pyörivässä reaktorissa. Rumpuun syötetään usein päivittäin uutta lantaa ja tyhjennetään vastaavasti toisesta päästä jo kompostoitua lantaa. Rumpukompostointi perustuu rummun pyörivään liikkeeseen, joka ilmastaa ja sekoittaa kompostoitavaa massaa (Soininen & kumpp. 2010, 51). Rumpukompostoreihin voidaan liittää myös lämmön talteenottojärjestelmä ja näitä on mahdollista ostaa jo kaupallisinakin tuotteina (Airaksinen 2013). Rumpukompostoreita valmistavat Suomessa mm. Someron Terästyö Oy ja BioFacta Oy. Rumpukompostoreita on käytössä mm. Tampereen ratsastuskeskuksessa. Hingunniemen koulutilalla, Poni-Haan tallilla, Peuramaa Horsella sekä Talli Wistillä. Näistä esimerkiksi Peuramaan sekä Wistin tilan kompostorit ovat tilavuudeltaan 30 kuutiometriä (Someron Terästyö 2013), kun taas Tampereen ratsastuskeskuksen ja Hingunniemen koulutilan kompostorit ovat 64-70 kuutiometriä.

Rumpukompostorin etuna on kompostoinnin hallittavuus ja prosessin nopeus. Sää- tai ulkolämpötila ei juurikaan vaikuta kompostorin toimintaan. Tällöin kompostointi on yleensä tehokasta ja kompostin lämpötila nousee riittävästi, jotta mikrobit toimivat mahdollisimman tehokkaasti ja patogeenit ja rikkakasvien siemenet tuhoutuvat. (Soininen & kumpp. 2010, 52). Lannan käsittelyaika rumpukompostorissa on noin viikko, jonka aikana lannan tilavuus pienenee noin 30-50 % (Soininen & kumpp. 2010, 53). Kompostorin täyttöasteen tulisi jatkuvasti pysyä noin 50-60 prosentissa, jolloin rumpuun sekä syötetään, että tyhjäätään saman verran lantaa tai kompostia päivittäin. Rumpukompostoinnin aikana kompostoitavan massan lämpötila nousee noin 50-60

asteeseen ja prosessihöyryn lämpötila voi olla jopa 40 astetta, keskimäärin kuitenkin noin 20 astetta. (Huttunen 2013, liite 5.) BioFactan suunnittelemassa ja valmistamassa rumpukompostorissa on kaksi puhallinta, joista toinen on sisääntuloruuvien jälkeen ja toinen rummun takaosassa, lähellä ulostuloa. Kompostorissa on lisäksi sisäinen ilmastointijärjestelmä, jotta massan happipitoisuutta voidaan kontrolloida. Kompessorin huolehtii kompostin ilmastuksesta ja kompostoinnin tehokkuutta mitataan manuaalisesti tehtävin tarkistuksin (Huttunen 2013, liite 5). Rumpukompostoinnin jälkeen hevoselanta vaatii vähintään noin 3-6 kuukauden mittaisen jälkikypsytyksen, minkä jälkeen lanta voidaan käyttää lannoitteeksi viljelyssä tai Eviran laitoshyväksynnän jälkeen myydä maanparannusaineena tai viherrakentamiseen (Soininen & kumpp. 2010, 52).

Rumpukompostointi on tehokas kompostointimenetelmä, jonka avulla kompostointi on hallittua ja lämmön talteenotto on sekä teknisesti, että taloudellisesti mielekäästä vakaan ja nopean prosessin ansiosta. Haittapuolena on melko korkea investointikustannus (yli 100 000 euroa pääomakuluja (Huttunen 2012)) sekä kompostorin vaatimat katetut tilat.

Hevoselantaa voidaan kompostoida myös säkeissä eli tuubeissa. **Tuubikompostoinnissa** hevoselanta pakataan pakkausruuvien avulla suuriin, esimerkiksi polyeteenistä valmistettuihin säkkeihin. Säkin pohjalla voi olla ilmastusta varten salaojaputki, johon pumpataan koneellisesti ilmaa. (Soininen & kumpp. 2010, 52.) Tuubin musta väri kerää myös auringon lämpöä tehokkaasti ja kompostoitavan massan lämpötila nousee 40-60 asteeseen (Säikkö 2012, 17-18). Lannan kompostoitumisaika on noin puoli vuotta (Säikkö 2012, 16), mikä varmasti vaihtelee myös kuivikemateriaalista riippuen. Tuubikompostori ei vaadi erityistä pohjarakennetta tai valumavesien hallintaa, sillä tuubi eristää lannan tehokkaasti ympäristöstä (Soininen & kumpp. 2010, 52). Kompostoitavan massan ilmoitetaan pienenevän noin kolmanneksen ja muuttuvat hygieeniseksi, homogeeniseksi lannoitteeksi ja maanparannusaineeksi (Säikkö 2012, 16).

Tuubikompostoinnin etuna on tehokkuus ja kompostoinnin verrattain hyvä hallinta. Tuubissa hevoselanta on suojassa esimerkiksi rankkasateilta. Lisäksi koneellinen ilmastointi tehostaa kompostoitumista. Miinuspuolena on erillisen pakkauslaitteen tarve,

mikä on pienille hevosstalleille turhan suuri investointi. Tuubikomposteja valmistaa ainakin suomalainen Aimo Kortteen Konepaja Oy, joka on kehittänyt Murska Biopacker -tuubikompostorin (Säikkö 2012, 16).

Tunnelikompostointi on yleinen tapa kompostoida kotitalouksien biojätettä sekä jätevesilietettä. Tunnelikomposteja on käytössä ainakin Ämmäsuon ja Mustankorkean kaatopaikoilla sekä prosessin osana myös Hyvinkään kaatopaikalla. Hevosenlantaa ei tietävästi Suomessa kompostoida tunnelikompostorissa. Kompostointitunnelit ovat usein betonirakenteisia altaita. Tunneleiden pohjalle (Ämmäsuolla 120 m² per tunneli) levitetään noin 20 senttimetrin kerros karkeaa haketta, jonka tarkoituksena on jakaa ilmaa alla olevista ilmastuskanavista. Jäte sekoitetaan tukiaineen kanssa tunneliin. Prosessia hallitaan viipymäaika säättämällä (Ämmäsuolla biojätteen viipymäaika 2 viikkoa, tarve 4 viikkoa) ja ilmastamalla sekä kosteuttamalla kompostimassaa. Ilmastus voidaan hoitaa sekä kääntämällä massaa etukuormaajan avulla tai tunneleiden pohjalle asennettujen ilmastointikanavien kautta. Kanavista voidaan joko puhaltaa tai imeä ilmaa, joista jälkimmäinen on todettu tehottomaksi tavaksi. Imetty suotoilma suodatetaan tyypillisesti ammoniakkipesurin avulla, Ämmäsuolla käytetään lisäksi biosuodatinta. Ilmaa lämmittämällä voidaan säätää prosessin lämpötilaa. Massaa kostutetaan tyypillisesti sadetusjärjestelmän avulla. Tunnelikompostointi vaatii jälkikypsytyksen aumoissa. Suotovedet kerätään tunnelin alla sijaitseviin altaisiin ja mahdollisuuksien mukaan hyödynnetään prosessin kasteluvetenä. (Ekholm & Lehto 2001, Osa B, 17-18.)

Tunnelikompostointi voisi soveltua hevosenlannan kompostointiin hyvin. Jätevesilietettä kompostoitaessa viipymäaika on noin 1 viikko ja biojätteiden kohdalla muutama viikko, eli samaa luokkaa kuin rumpukompostorilla. Tunnelikompostorin suurimpia ongelmia biojätteen kompostoinnissa on massan ilmastaminen ja ilman epätasainen jakautuminen, joka rajoittaa myös turpeen käyttöä tukiaineena sen liiallisen tiivistymisen vuoksi (Ekholm & Lehto 2001, Osa A, 28).

Valitettavasti tunnelikompostoinnin investointi- ja käyttökuluja ei ollut tämän opinnäytetyön tekemisen puitteissa mahdollista selvittää, sillä olisi mielenkiintoista tietää, miksi monikin talliyrittäjä on päättänyt hankkimaan rumpukompostorin, mutta ei

tunnelikompostoria. Rumpukompostointilaitosten laitteiden nopea kuluminen ja epäluotettavuus aiheutti eniten ongelmia Ekholmin ja Lehdon (2001) selvityksessä ja tunnelikompostoinnissa saavutettiin hyvällä sekoittamisella ja ilmastuksen säädön onnistumisella tasalaatuisempi kompostiseos, kuin rumpukompostoinnin avulla (Osa A, 33-34).

Membraanikompostointi on Suomessa melko vähän käytetty menetelmä. Tässä menetelmässä kompostoitava aines aumataan ja massan sisään asennetaan ilmastusputket, joiden avulla aumaan voidaan puhalttaa (lämmitettyä) ilmaa. Auma peitetään erityisellä kalvolla ("membraani"), joka suojaa aumaa liialliselta auringonvalolta ja sen kuivattavalta vaikutukselta sekä myös sateelta, pitää paremmin lämmön auman sisällä sekä estää tehokkaasti VOC- ja hajupäästöt ilmaan. Esimerkiksi aumamuovista membraanit eroavat ainakin kalvon läpäisevyyden vuoksi, jolloin esimerkiksi happi ja hiilidioksidi pääsevät kalvon läpi ilmaan, mutta helposti haihtuvat hiiliketjut eivät. (MOR Inc 2013). Kalvoja on kaupallisessa myynnissä monia erilaisia. Membraanikompostointia käytetään esimerkiksi pilaantuneiden maa-ainesten kompostoinnissa, jolloin saavutetaan säästöä sillä, että aumasta ei tarvitse erikseen imeä ja puhdistaa pois huokoskaasua, vaan kaasut jäävät kompostointiprosessin uudelleenkäsittelyyn.

Membraanikompostoinnin etuna on alhainen kustannustaso ja riippumattomuus kalliista, mahdollisesti rikkoontuvasta teknologiasta. Massan tiivistyminen on membraanikompostoinnissa helposti ongelma, mutta membraanipeitteen käyttö myös hevosenlantakompostissa todennäköisesti nopeuttaisi kompostoitumisprosessia.

Tornikompostoinnissa kompostimassa syötetään tornimaiseen tilaan ylhäältä ja puretaan tornin alaosasta. Ilmastuksen avulla kompostiin puhalletaan ilmaa alhaalta ylöspäin. Tornikompostoinnin ongelma biojätteiden käsittelyssä on biojätteiden liiallinen tiivistyminen, jota estetään tarkalla tukiaineen valinnalla. (Tahvola 2012, 14.)

Konttikompostoinnissa kompostoitava aines käsitellään nimensä mukaisesti kontissa. Se soveltuu Tontti ja Mäkelä-Kurton (1999, 20) mukaan hyvin pienille kompostoitaville erille maaseudulla, jossa hajuhaitat eivät ole kovin suuria.

3.5.4 Kompostilämpö

Hevosenlanta, kuten mikä tahansa muukin orgaaninen aines, tuottaa hajotessaan lämpöenergiaa. Hevosenlannan kompostoituaessaan aikaansaama lämpö on mahdollista ottaa talteen ja käyttää hyväksi tilojen tai veden lämmityksessä. Lämpö on mahdollista ottaa talteen ilman erityistä tekniikkaa: fysiikan lakien mukaisesti lämmön siirtyessä aina lämpimästä kylmään päin, siirretään lämpö lämmönlähteestä nesteeseen, kuten yksinkertaisimmillaan veteen, ja lämmentyneellä vedellä edelleenlämmitetään esimerkiksi tallin varustehuonetta ja sosiaalitylöjä vaikkapa lattialämmityksen avulla. Lämmön talteenotto lannasta voidaan tehdä myös lämpöpumpputekniikan avulla.

Hevosenlannan kompostilämmöstä ei ole tiettävästi tehty tutkimuksia Suomessa, joten kompostilämpöä käsittelevät osuudet tässä opinnäytetyössä perustuvat karjan lietelannan kompostilämmön talteenottoon tehtyihin kokeisiin 1980-luvulla, tässä opinnäytetyössä haastateltujen tallinpitäjien antamiin tietoihin sekä Haapialan tallilla tehtyihin mittauksiin, joissa lantalaan upotettujen, vedellä täytettyjen muoviasutioiden lämpötilaa mitattiin muutaman viikon ajan kevättalvella 2013.

Myöskään lantalan lämpötiloja lämmityskauden aikana ei ole tutkittu. Suomen hevostietokeskuksen tutkijan Sanna Airaksisen mukaan lantalan lämpötila nousee lämmityskaudellakin varsin korkealle, kunhan olosuhteet ovat kunnossa. Talviajan kompostilämmön lukemat riippuvat Airaksisen mukaan mm. ulkolämpötilasta, varastoitavan lannan määrästä, sen koostumuksesta sekä lantalan rakenteista. (Airaksinen 2012.)

3.5.5 Lämmönsaanti teoriassa

Kompostoituaessa vapautuvan lämmön määrä eli polttoarvo (Q) voidaan laskea, jos tiedetään kompostoituvan aineen kemiallinen koostumus. Reaktiolämpö (entalpia) lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$Q = 35,5 m_C + 106 (m_H - m_{O/8}) + 1,67 \text{ MJ/kg},$$

jossa m_C on kompostoitavan aineen sisältämän hiilen massa, m_H vedyn massa ja m_O hapen massa kilogrammoina. (Koivisto & kumpp. 1986, 2.) Kun tunnetaan kompostoitavan aineen kemiallinen hapenkulutus (COD), lasketaan syntyvä lämpö (MJ/kg) likimääräisesti seuraavasti:

$$Q = 14,2 \pm 0,8 \text{ MJ/kg} * \text{COD (Koivisto \& kumpp. 1986, 2)}$$

Tyypillisesti aineet vaativat 0,4 – 4 g happea yhtä orgaanisen aineen grammaa kohti. Keskimääräinen hapenkulutus on 1,4 – 1,5 g, jolloin ilmamäärä on 6,1 – 6,5 g/g(VS). VS tarkoittaa orgaanisen aineen määrää. (Koivisto & kumpp. 1986, 2.)

Taulukko 5. Lannan energiasisältö (Koivisto & kumpp 1986, 2).

Lanta	Keskimääräinen Kuiva-aine TS (%)	Energiasisältö MJ/kg _{ka}		
		Polttoarvo	Polttoarvon keskiarvo	Komposti- lämpö
Sian liotelanta	10		19,3	9 – 12
Kuivattu kananlanta	85	9,2 – 14,7	12,8	2 – 8,6
Broilerin lanta	81	13,6 – 16,2	15,3	4,6 – 9,1
Lehmän lanta	15,5	10,5 – 20,7	15,4	5,1 – 10,4
Lihakarjan lanta	21,1	12,2 – 20,4	16,6	3,4 – 5,7

Hevosienlannan lämpöarvoa on selvitetty useissa polttokokeissa, kuten esimerkiksi VTT:n ja Työtehoseuran polttokokeissa vuonna 2008. Kokeessa poltettiin haketta, turvelantaa ja purulantaa. Koska turvelanta on kompostoitumisen kannalta mielekkäämpi vaihtoehto, käytetään hevosenlannan kompostilämmön laskemisessa turvelannalle saatua tehollista lämpöarvoa kuiva-aineessa **15,57 MJ/kg** (Soininen & kumpp. 2010, 56) eli **4,38 kWh/kg (ka)**.

Orgaaninen aines ei kuitenkaan hajoa kokonaan aktiivisen kompostoinnin aikana, vaan komposti jäähtyy hitaasti ja lopullinen hajoaminen tapahtuu vasta pitkän ajan kuluttua. Kompostoinnin tai mädäntymisen aikana on havaittu kananlannasta hajoavan 68 %, lihasonnien lannasta 28%, sian liotelannasta 45 – 64 % ja orgaanisista aineista yhteensä 0 – 90 %. Lisäksi kompostilämmön määrä vaihtelee myös tyyppiyhdisteiden eriaasteisen

hajoamisen eli nitrifikaation vuoksi. Tuotantoeläinten lannan lämpöarvon korjatut lukemat sekä eläinkohtaisen lannantuotot on esitetty taulukossa 6. (Koivisto & kumpp. 1986, 3-4).

Taulukko 6. Eläinten lietalannan ja kompostilämmön tuotto (Koivisto & kumpp. 1986, 4).

Eläin	Lantaa Kg ka/vrk	Lantaa kg VS/vrk	Kompostilämpö	
			W/eläin	% polttoarvosta
Lehmä	5,3	4,4	280	30
Lihanauta	2,7	2,2	160	30
Lihasika	0,45	0,36	50	50
Emakko	0,5	0,4	56	50
Emakko+porsaant	1,5	1,2	170	50
Kana	0,03	0,021	3,1	70
Broileri	0,018	0,012	1,6	50

Hevonen tuottaa turvelantaa noin 20-25 kg vuorokaudessa (Suomen Hevostietokeskus 2012), minkä kosteuspitoisuus on noin 60-70 % (Soininen & kumpp.2010, 56) ja josta on turvetta jopa 60-80 prosenttia (Airaksinen 2006, 16). Näin ollen hevonen tuottaman turvelannan kuiva-aineen osuus vuorokaudessa on noin 6-10 kg. Hevoselannan nitrifikaatioasteesta tai turpeen kompostoitumisen asteesta ei saatu tähän työhön tietoa, vaan lähteissä puhuttiin yleisesti vain turvelannan kompostoitumisen nopeudesta, ei täydellisyydestä. Kuukaudessa turvelanta kompostoitui kuitenkin siten, että se oli valmista lannoitetta kasvinviljelyyn (Airaksinen 2006, 34). Voisi olettaa turvelannan kompostoitumisasteen ja typpiyhdisteiden hajoamisen olevan sitä luokkaa, että reaktiolämmöstä kompostilämmöksi muuntuu vähintään 50 prosenttia. Purulannassa kompostoitumisen täydellisyys olisi huomattavasti heikompaa puun ligniinin erittäin hitaan hajoamisen vuoksi.

Vuositasolla hevonen tuottaa lantaa noin 9000 kg (Airaksinen 2012), jonka kuiva-aineen osuus on keskimäärin noin 35% (Alho & kumpp. 2010, 48) eli 3150 kg. Kun turvelannan tehollinen lämpöarvo on 15,75 MJ/kg (ka) eli noin 4,4 kWh/kg(ka), vuositason tuotto on 49 612,5 MJ, josta kompostilämmön osuuden arvioidaan olevan 50 % eli 24 806,25 MJ. Kompostilämmön tuotto on siis **6890,6 kWh / hevonen / vuosi**. Kuivikelantakiloa kohti kompostilämmön osuus on **2,2 kWh/kg (ka)**. Tämä on

kompostilämmön osuus, josta käytännössä hyötykäyttöön saatava osuus voisi olla 50 prosentin luokkaa kuten rumpukompostoreissakin, jotta kompostointiprosessi ei häiriintyisi. Lisäksi on oletettavaa, että valtaosa lannan tuottamasta kompostilämmöstä kuluu lannan sisältämän veden (noin 65 %) lämmittämiseen. Tällöin käyttökelpoinen kompostilämmön tuotto olisi **1,1 kwh/kg (ka)**. Taulukossa 7 on tämän perusteella laskettu yhden hevosen kompostilämmön tehoksi 390 W. Jotta arviota voitaisiin pitää täysin luotettavana, tarvittaisiin kuitenkin tutkimustietoa hevosen turvelannan kompostoitumisen asteesta sekä tyyppiyhdisteiden käyttäytymisestä kompostoinnin aikana. Koska tutkimustiedot eri tuotantoeläinten lannan hajoamisasteesta vaihtelevat 28 % ja 68 % välillä ja orgaaninen aine voi hajota jopa 90-prosenttisesti (Koivisto & kumpp. 1986, 3), on hevosenlannan sekä kuivikkeen hajoamisasteella suuri vaikutus lopullisen, talteenotettavan kompostilämmön määrään.

Taulukko 7. Arvio hevosen kompostilämmön tuotosta.

Eläin	Lantaa Kg ka/vrk	Lantaa kg VS/vrk	Kompostilämpö	
			W/eläin	% polttoarvosta
Hevonen	8,5	-	390	25

3.5.6 Lämmönsaanti käytännössä

Kompostin tuottamasta lämpömäärästä ja lämmönsaannista ei ole juurikaan tutkittua tietoa ja vain vähän käytännön kokemuksia.

Hingunniemen koulutilan (esitellään jäljempänä) rumpukompostorin poistoilma on valmistajan antamien lukemien sekä lyhyen käyttökokeilun perusteella vähintään 20 astetta. Kompostorilta saadaan lämpöenergiaa vuodessa 40 000 kWh, joka on puolet kompostorin potentiaalisesta tuotosta. Lämpöpumpun lämpökerroin on 4. Vuotuinen käsiteltävä lantamäärä on noin 850 m³. (Huttunen 2012 & 2013). Noin 70 hevosen tilalla yhden hevosen lannan vuosituotoksi saadaan 40 000 kWh:ia käyttäen 571 kWh/hevonen ja kun huomioidaan, että käytetään vain puolet energiasta, on nettotuotto 1142 kWh per hevonen vuodessa lämpöpumpun avulla tuotettuna. Tämä on suurehkossa

ristiriidassa teoreettisen kompostilämmön määrän kanssa. Tämän työn kirjoittaja ajattelee kompostilämmön saannin eroavan esimerkiksi polttamisesta siten, että tietyn lantamassamäärän jälkeen lämmönsaanti ei enää kasva vaan pysyy vakiona uuden lannan lisäyksen vuoksi, prosessin pysyessä jatkuvasti meso- ja termofiilisessa vaiheessa. Kompostilämmön määrään vaikuttaa itse kompostointiprosessi, joka on riippuvainen mm. lannan määrästä. Siksi tietyn massarajan jälkeen, joka voi olla hyvin alhainenkin, lämmönsaantimäärä on vakio ja yksikkökohtainen tuotto laskee. Lisäksi lämmönhukka etenkin lantalavarastoinnissa on hyvin suuri ja valtaosa laskennallisesta energiasta kuluneen itse lantamassan lämmittämiseen.

Tässä opinnäytetyössä esitellään myös ilman erityisempää tekniikkaa tapahtuvan lantalämmön talteenottoa. Taipaleen tallin lantalan pohjalaatan sisällä kiertää painevesiputki, jossa Taipaleen tallin omistajan mukaan vesi lämpenee 4-asteisesta noin 30-asteiseksi. Tilalla on 15 hevosta. Lannan lämpötiloja ei olla mitattu, mutta sen arvellaan olevan noin 40-50 asteista. Lantala tyhjennetään kahdesti vuodessa. (Juntunen 2012.) Hyvin karkeasti voidaan siis laskea, että talvella lantalaan on kertynyt kolmen kuukauden lantamäärä 15 hevoselta eli 45 m³. Tämän lantamäärän ansiosta vesi lämpenee noin 26 astetta (Juntunen 2012).

Taipaleen tallin lantalan alla kiertävä vesiputki on 28 mm halkaisijaltaan ja putkea alunperin tarvittiin 50 metriä, josta voinee arvella olevan lantalan alla noin 40 metriä (Juntunen 2012). Vesitilavuus lantalan alla on siis $V = \pi * (\text{putken säde})^2 * \text{putken pituus}$, eli

$$V = \pi * (0,14 \text{ dm})^2 * 400 \text{ dm} = 24,63 \text{ dm}^3 \text{ eli } 24,63 \text{ litraa.}$$

Veden massa on 1 kg/dm³ eli vesimassa lantalan alla on 24,63 kg. Koska 40 metrin putkipituus on arvio, käytetään likiarvoa 25 kg. Veden ominaislämpökapasiteetti on noin 4,19. (Maol 1999; Wikikirjasto 2013).

Energiantarve 25 vesikilon lämmittämiseen 4-asteisesta 30-asteiseksi lasketaan seuraavasti:

$\Delta E = 4,19 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot 25 \text{ kg} \cdot 26 ^\circ\text{C} = 2723,5 \text{ kJ}$ eli 2,7 MJ. (Wikikirjasto 2013).

1 kWh=3,6 MJ (Säikkö 2012, 9), eli 2,7 MJ = 0,75 kWh.

Lantalan alla olevan vesimäärän lämmittämiseksi vaaditaan siis 0,75 kWh lämpöenergiaa eli lantalassa passiivisesti kompostoituva 15 hevosen 0-6 kuukaudessa tuottama lantamäärä tuottaa vajaan yhden kilowattitunnin lämpöenergiaa 5 senttimetrin paksuisen betonin ja muoviputken (Juntunen 2012) läpi vesimäärän lämmittämiseksi. Veden viipymästä lantalan alla ei valitettavasti ole juurikaan tietoa, omistajan mukaan vettä harvemmin yli sata litraa kerrallaan kulutetaan. (Juntunen 2012). Tyypillisesti hevostallin vettä kuluu hevosten juottoon automaattikupeista, ruokinta-astioiden ja varusteiden pesemiseen joitain litroja kerrallaan ja kulutus on hetkellisesti enemmän hevosia pestessä ja jalkoja kylmätessä. Hevonen juo noin 40 litraa päivässä (Suomen Hevostietokeskus 2013) eli 15 hevosta juo vuorokauden aikana noin 600 litraa. Veden muu käyttö on arviolta joitain satoja litroja päälle päivää kohti. Mikäli veden vuorokausikulutus olisi 800 litraa, viipyy 25 litraa vettä lantalan alla 45 minuuttia, mikäli viipymän oletetaan jakautuvan tasaisesti koko vuorokauden ajalle. Siten hevosenlannan tunnissa tuottama energiamäärä olisi 1 kWh eli lantalan teho lämmönsiirtymisen jälkeen on näin ollen **1 kW**. Vuositasolla 15 hevosen **lantala tuottaa vähintään noin 8840 kWh** lämpöenergiaa, jolloin hevosta kohti tuotto on 576 kWh.

Lämpö siirtyy betonilaatan läpi, jolloin lämmönsaantiin vaikuttaa luonnollisesti myös esimerkiksi betonin lämmönjohtavuus sekä laatan routaeristys. Betonin ominaislämpökapasiteetti on korkea, jolloin voidaan olettaa veden lämpötilan pysyvän suhteellisen vakiona (Kilpeläinen 2013). Koska lantalan lämpötila lienee noin 40-50 astetta, ei vesi voi tietenkään lämmitä lämmönlähdettä enempää. Tässä esimerkissä laskettu lantalan teho perustuu arvioituun veden määrään lantalan alla. Mikäli vesimäärä olisi suurempi ja lantalan lämmön todettaisiin riittävän lämmittämään kyseinen vesimassa, kasvaisi myös tässä esimerkissä laskettu lantalan teho.

Taulukko 8 Vertailua hevosennannalla eri tavoin tuotetun energian määrästä yhtä hevosta kohti. (1: Airaksinen 2012, 2: Säikkö 2012)

Energian tuotanto- muoto	Määrä/hevonen/a	Energiaa/yksikkö	Energiantuotto/hevonen/a (kWh)
Poltto	¹ 9000 kg	² 5,3 kWh/kg	47700
Biokaasutus	525 m ³	² 6,4 kWh/m ³	3360
Kaasutus	-	² 1,6-3,2 kWh/Nm ³	-
Kompostointi	3150 kg (ka)	1,1 kWh/kg (ka)	3465

Taulukossa 8 vertaillaan eri energiantuotantotavoilla tuotettuna yhden hevosen vuodessa tuottaman lannan energian määrää. Taulukosta huomataan, että poltto on energiantuotantotapana ylivertaista. Kompostoinnin arvo on laskettu teoreettiselta pohjalta ja siinä on huomioitu kompostointiprosessin toimivuus siten, että lämpömäärä on puolet tuotetun lämmön määrästä.

3.5.7 Lämmön talteenotto

Lannan kompostilämpö on mahdollista ottaa talteen esimerkiksi yksinkertaisen ”lanta/vesi-lämmönsiirtimeen” avulla. Talteenotetun lämmön arvoa voidaan nostaa lämpöpumpun avulla. Kompostoituminen on biologista toimintaa, jossa lämpöä tarvitaan myös itse prosessissa, jotta hajottamistyön tekevät mikrobit toimsivat ihanneolosuhteissa ja komposti toimisi tehokkaasti. Näin ollen kaikkea kompostin tuottamaa lämpöä ei oteta talteen esimerkiksi kaupallisissa tuotteissa, kuten rumpukompostoreissa, joissa on lämmön talteenotto (Huttunen 2012). Toisaalta Koivisto kumppaneineen (1986, 83) kertoo Berthelsenin kuivakompostikokeiden osoittavan, että kompostorin käyttölämpötilan ollessa yli 55 C, jolloin kompostori toimisi itsestäänsäätyvänä. Tällöin lämmönottoa lisättäessä kompostin lämpötila laskee, jolloin mikrobien aktiivisuus lisääntyy ja lämmöntuotto suurenee. Mikäli kompostia ei kuormiteta liikaa, lämpötilan lasku pysähtyy kun tasapaino lämmönoton ja lämmönkehityksen välillä saavutetaan. Toisaalta jos lämmönotto tapahtuu tämän opinnäytetyön suunnitelman mukaisesti lantalan betonivaluun upotettujen vesiputkien avulla, on vaikea uskoa lämmön talteenoton jäähdyttävän kompostia eli lantala muutenkaan niin paljon, että mikrobitoiminta vähenisi sen johdosta. Esimerkiksi

avolantala koskevat sääolot, kuten tuuli ja ulkoilman lämpötila, vaikuttanevat enemmän lämmöntuottoon.

Lämpö siirretään kompostista lämmönvaihtimella esimerkiksi nesteeseen. Yksinkertaisimmillaan tämä on kompostin reunalla tai betonilaatan sisällä oleva putki, jossa kiertää vesi tai muu, mahdollisesti pakkasenkestävä neste. Koivisto kumppaneineen esittelee jo vuonna 1986 lanta-vesilämmönvaihtimen lietelannan kompostilämmön talteenottamiseksi. Lietelantasäiliön reunalla kiertää 25-40 mm halkaisijaltaan oleva PEL-putki, jota tarvitaan 6-8 metriä lantakuutiota kohti ja vettä kierrätetään nopeudella 0,3-0,4 m/s. Tällöin vesikierron lämpötilaksi saadaan 1-1,5 C säiliön lämpötilaa matalalämpöisempää vettä. Tällainen lämmönvaihdin on helppo ja halpa tehdä ja sen lämmittämä vesi kelpaa matalalämpöisiin lämmönjakojärjestelmiin, kuten lattialämmitykseen, sellaisenaan ilman lämpötilan nostoa esimerkiksi lämpöpumpun avulla. (Koivisto & kumpp 1986, 52.)

Hevoselannan passiivisesti tuottamaa lämpöä voidaan tämän tyyppisen järjestelmän avulla ottaa talteen esimerkiksi lantalan betonilaattaan valetulla putkella. Putki on käytännöllisin laatan sisällä, sillä lantala tyhjennetään yleensä aina koneellisesti ja silloin lannan seassa tai reunoilla kiertävät putket rikkoontuisivat helposti. Mikäli lämmönkeruu tapahtuu betonilaatan sisältä, on hyvä huolehtia, että lantalan eristys maahan päin on riittävä.

Lannan tuottama lämpö on mahdollista ottaa talteen myös poistoilmasta. Tällöin on kyse tyypillisesti suljetusta reaktorikompostorista.

Koivisto kumppaneineen on vuosina 1982-1985 tehnyt lietelannasta 105 vuorokautta kestäneen lämmön talteenottokokeen. Taulukossa 9 esitellään lämmön talteenottokokeen tulokset. Taulukosta huomataan, että esimerkiksi poistoilmasta tapahtunut lämmön talteenotto on ollut huomattavasti suoraan lannasta tapahtunutta lannan lämmönottoa tehottomampaa. Lannasta lämpö otettiin talteen yllä kerrotun PEL-putki -lämmönvaihtimen avulla. Lietelantaa sekoitettiin koneellisesti ilmastuksen takia, mikä kulutti sähköä. Vesikierron lämpötilaksi saatiin noin 40 astetta, mikä todettiin melko matalaksi lämmön hyödyntämismahdollisuuksia ajatellen. (Koivisto & kumpp.

1986, 80-81.) Lämmön hyödyntämiskohteiksi ajateltiin esimerkiksi sikalan lämmitystä, sikojen juomaveden lämmitystä 23-25 -asteiseksi, asuinrakennuksen lämmittämistä ilmalämmityksen avulla sekä viljan kuivausta (Koivisto & kumpp 1986, 88-93). Esimerkiksi ilmalämmitys vaatii korkeamman vesikierron lämpötilan, mitä esimerkiksi lattialämmitys.

Taulukko 9. Lämmöntalteenottokokeen tulokset (Koivisto & kumpp. 1986, 79).

Aika		16.1.-29.3.	3.4.-12.5.	16.1.-12.5.
Koejakso		1	2	1+2
Lämmön talteenotto	kWh	14360	8260	22620
Lämpötehot:				
PEL-putki	kW	6,8	7,3	7,0
poistoilma	kW	2,0	2,0	2,0
YHT.	kW	8,8	9,3	9,0
Sähkön kulutus	kWh	3280	1510	5000
Sähköteho	kW	2,0	1,7	2,0
Lämpökerroin	-	4,3	5,4	4,5
Ulkolämpötila	C	-9,9	1,7	-5,8
Säiliön lämpötila	C	39,2	43,1	40,6
Lähtevän veden lämpötila	C	38,1	41,4	39,3
Palaavan veden lämpötila	C	27,9	30,6	28,8

Lämpöpumpun toimintaperiaate perustuu lämpöpumpussa kiertävän kylmäaineen höyrystymiseen ja lauhtumiseen. Lämmönkeruupiirissä lämmennyt neste (tyypillisesti etanoli (Huttunen 2013)), joka on lämmennyt tässä tapauksessa lantalämmön avulla, kulkeutuu ensin höyrystimeen. Siellä nestemäinen kylmäaine vaatii lämpöä höyrystyäkseen. Lämpö siirtyy esimerkiksi levylämmönsiirrinten avulla. Syntyvän höyryn painetta nostetaan kompressorin avulla, jolloin myös höyryn lämpötila nousee. Lämmin höyry siirtyy lauhtuttimeen. Lauhtuttimessa höyry vapauttaa lämpöä ja nesteytyy. Vapautunut lämpö lämmittää joko ilman tai veden, joka virtaa lauhtuttimen läpi. Nestemäisen kylmäaineen paine lasketaan paisuntaventtiilissä ja kylmäaine palautuu höyrystimeen. Lämpöpumppu kuluttaa sähköä kompressorin sähkömoottorin työskennellessä. Myös liuosta keruujärjestelmässä kierrättävä pumppu kuluttaa sähköä. (LVI-Helin 2013.)

Lämpöpumpun lämpökerroin kuvastaa pumpun tehokkuutta. Lämpökerroin on saadun lämmitystehon suhde prosessissa tarvittavaan sähkötehoon nähden. Esimerkiksi lämpökertoimen ollessa 3, kulutetaan esimerkiksi 1 kWh sähköenergiaa pumpun

toimintaan ja saadaan vastaavasti 3 kWh lämpöenergiaa tuotettua pumpulla. Lämpökerroin riippuu pääasiassa lämpötilaeroista lämmönlähteen ja lämmönkäytön puolella. Paras hyötysuhde saadaan silloin, kun lämmönlähteellä on mahdollisimman korkea lämpötila ja lämmönkäytön kohteessa on mahdollisimman matala lämpötila. Tämän takia lämmönjakotavalla on myös merkitystä, sillä esimerkiksi asuinkiinteistön huoneen lattialämmitys vaatii vain noin 30 asteen lämpötilan lämmitysputkissa kiertävälle vedelle. (LVI-Helin 2013.)

Lämpöpumpun valinta ja pumpun rakenne sekä ominaisuudet riippuvat lämmönjakotavasta sekä lämmönlähteestä. Lämpöpumput jaetaan kahteen eri päätyyppiin, absorptiopumppuihin sekä mekaanisella kompressorin työllä toimiviin kaas- ja nestepumppuihin. Jälkimmäinen ryhmä edustaa kiinteistöjen lämpöenergian tuotantoa ja niistä voidaan edelleen erotella ainakin ilmalämpöpumput, maalämpöpumput, poistoilmalämpöpumput sekä ilma-vesilämpöpumput. (Wikipedia 2013.)

Lämpöpumpun käyttö on lantalämmön talteenotossa perusteltua lähinnä silloin, kuin matalaenergiselle, noin 30-40 -asteiselle vedelle ei ole käyttötarvetta. Esimerkiksi lattialämmitykseen lannan lämmittämä vesi käy useimmiten sellaisenaan.

Tuotantoeläinpuolella lantalämpöä on hyödynnetty nykytekniikalla jonkin aikaa, jolloin yhdistetään usein ympäristöluvassa vaadittu lietalannan jäähdytys lämmön talteenottoon lämpöpumpputekniikan avulla ja saadun energian hyötykäyttö eläinsuojissa. Tätä käsitellään luvussa 4. Samoin esimerkiksi rumpukompostoriin voidaan asentaa lämpöpumppujärjestelmä, kuten Hingunniemen koulutilan kompostoriin on asennettu (Huttunen 2013).

4 Lantalämmön hyötykäyttö kotieläintuotannossa

Tuotantoeläinpuolella lämmön talteenotto esimerkiksi lietelannasta on ollut mahdollista kaupallisin tuottein jo jonkin aikaa. Ainakin LVI-alan yritykset Nibe sekä Pellon Group myyvät lämpöpumpputekniikkaan perustuvaa lantalämpöratkaisua. (Nibe 2012). Tuotantoeläinten lantalämmön talteenotto perustuu tyypillisesti lannan jäähtymykseen, joka on usein eläinsuojan ympäristölupavaatimuksena päästö- ja hajuhaittojen vähentämiseksi. Lannan jäähtyminen vähentää myös ammoniakkin ja hiilidioksidin haihtumista eläinsuojan sisäilmaan ja siten vähentää ilmanvaihdon tarvetta. Lietelannan kuiluihin asennetaan muoviputkia, ns. keräyssilmukoita, joissa kiertää jäätymätöntä nestettä. Lanta jäähtyy ja luovuttaa jäähtyessään lämmön nesteeseen, joka kiertää lämpöpumpulle. Lämpöpumpun muodostama lämpö voidaan siirtää suoraan lämmitysjärjestelmän vesikiertoon ilman erillistä varaajaa. Lämmöllä lämmitetään kotieläinsuojaa ja järjestelmää valvotaan tietokoneohjelman avulla, mikä käynnistää lämpöpumpun, mikäli lämmityksen runkolinjan vesilämpötila laskee liian alhaiseksi. (Kotieläintalouden ympäristönsuojeluohje 2010, 68.)

Koneviesti-lehti esittelee vuonna 2011 sikalan, jonka laajennusosaan on asennettu Pellon Groupin ja Suomen Lämpöpumpputekniikka Oy:n yhteisprojektina kehitetty lämpöpumppujärjestelmä, jonka tavoitteena on energiansäästön lisäksi myös minimoida sikalan hajuhaitat. 1000 sian laajennusosaan on asennettu lietekuilujen alle, 50 metrin matkalle noin 800 metriä lämmönkeruupiiriä. Keruupiirit on asennettu kuilujen pohjavalun alle, joten osan lämmöstä otaksutaan tulevan lietteen lisäksi myös maasta. Lisäksi tilalle asennettiin kaksi maalämpökaivoa. Kerätty lämpö kulkeutuu kahteen 20 kilowatin tehoiseen lämpöpumppuun, joiden tuottama lämpö jaetaan lattialämmityksen kautta sikojen makuuosiin sekä 3000 litran varaajaan, jonka vettä käytetään sikalan pesussa. Järjestelmä on ohjelmoitu jäähdyttämään ensisijaisesti liete. Kun lietteen lämpötila on laskenut tarpeeksi alas, alle kymmenasteiseksi, pumpataan porakaivoista lämpöä. Lietteiden lämpötilan noustessa pumpataan taas lietekuilujen lämpöä pumpuille. Talviaikaan lietekuiluista pumpattu lämpö käytetään tilojen ja veden lämmitykseen, mutta kesällä lämpö ajetaan lämmönvaihtimen kautta takaisin maapiireihin. Toisena

vaihtoehtona olisi ohjata ylijäämälämpö puhaltimeen ja ulkoilmaan. (Turtiainen 2011, 100-101.)

Lietekuilujen piireistä on valmistajan mukaan mahdollista saada noin 10 kilowatin teho ja loppuenergia tulee lämpökaivoista. Kyseisessä järjestelmässä ei saada suoraan selville, kuinka paljon lämpöä tulee kustakin lämmönlähteestä, mutta jatkossa valmistajan mukaan myös energiamäärien jäljitys on mahdollista. Artikkelin mukaan varalämmönlähteenä olevasta öljykattilasta ei ole tarvinnut ottaa lisälämpöä, vaan järjestelmästä on saatu riittävästi lämpöä kovanakin pakkastalvena. Järjestelmän kokonaisinvestointi oli noin 50 000 euroa. Omistaja arvelee järjestelmän perustamiskustannusten olleen jonkin verran uusimistarpeessa ollutta öljykattilaa kalliimmat, mutta käyttökuluiltaan järjestelmä on edullisempi kuin öljylämmitys. (Turtiainen 2011, 100-101.)

5 Lannan hyötykäyttö energianlähteenä ulkomailla

Kuten hevosenlannan polttoa käsittelevässä luvussa todettiin, on hevosenlannan poltto useissa muissa EU-maissa mahdollistettu ilman jatkuvatoimisia päästömittauksia, jotka tekevät kiinteistökokoluokan ja muut pienpolttolaitokset taloudellisesti kannattamattomiksi. Suurimman eron asiassa tekee se, että muissa EU-maissa hevosenlanta tulkitaan kasviperäiseksi biomassaksi eikä eläinperäiseksi sivutuotteeksi, kuten Suomessa. Ainakin Ruotsissa, Saksassa, Tanskassa, Itävallassa ja Hollannissa hyötykäytetään hevosenlanta energianlähteenä polttamalla se joko sellaisenaan, hakkeeseen tai muuhun tukiaineeseen sekoitettuna tai briketiksi tai pelletiksi puristettuna. Hevosenlannan poltolla on näissä maissa pitkät perinteet ja teknologia on ollut käytössä jo vuosia. Itävallassa polttolaitosten päästöt mitataan kerran vuodessa ja päästörajat ovat alittuneet mittauksissa selvästi. (Soininen & kumpp. 2010, 57.) Myöskään Ruotsissa ei vaadita jatkuvatoimisia mittauksia (Vainio 2012). Hevosenlannan käyttö biokaasun raaka-aineena on myös kasvamaan päin.

Hevosennannan käsittelyyn soveltuvia laitoksia valmistaa usea eri yritys ympäri maailman. Näitä ovat esimerkiksi suomalainen Arterm, ruotsalainen Swebo Bioenergy ja Flinga AB, saksalainen Ökotherm, yhdysvaltalainen First American Scientific Corporation ja itävaltalainen Polytechnik. Näistä pääosa valmistaa polttolaitoksia. Flinga AB valmistaa myös biokaasulaitoksia. First American Scientific Corporation valmistaa laitteistoa, joka kuivaa ja pulveroi hevosennannan ja joka voidaan liittää lannanpolttoon soveltuvaan polttolaitteistoon. Laite toimii itse aikaansaamallaan lämpöenergialla eikä tarvitse ulkopuolista lämpöä kuivaukseen. (Soininen & kumpp. 2010, 59.)

5.1 Ruotsi

Ruotsissa lannanpoltto on mahdollista myös pienlaitoksissa, sillä hevosennannan katsotaan olevan kasviperäistä biomassaa. Ruotsalainen yritys Swebo Bioenergy valmistaa lannanpolttoon soveltuvia polttolaitteistoja, joita viime heinäkuuhun mennessä oltiin myyty 22 kappaletta. Hevosia Ruotsissa on noin 350 000 kappaletta. (Vainio 2012, 11)..

Lantaa on mahdollista polttaa joko sellaisenaan, hakkeeseen tai muuhun tukipolttoaineeseen sekoitettuna tai puristettuna briketiksi tai pelletiksi. Ruotsalaisessa Haggebylunds Gårdin hevosetilalla 60 hevosen tuottama kutterinpurulanta sekoitetaan puupellettiin ja poltetaan kaksivaiheisesti Swebon laitteistolla, lämmittäen noin 2500 neliometriä. Ensimmäisessä vaiheessa hevosennanta-pellettiseos kaasutetaan ja tämän jälkeen kaasu poltetaan. Palamista ja sen lämpötilaa valvotaan tietokoneen avulla ja toimitusjohtaja Mikael Janssonin mukaan tämä aikaansaa sen, että päästöt ovat aina samat. Mikäli polttoaineen laatu muuttuu, vaikuttaa se laitoksen tehoihin, ei päästöihin. Janssoin mukaan polttoaineen eri aineiden suhteilla ei ole juurikaan väliä päästöjen kannalta. Koska lannan lämpöarvo ei Janssonin mukaan ole kovinkaan hyvä, on polton tehot heikkommat, jos seoksessa on lantaa enemmän. Janssonin mielestä lantaa ei tulisi myöskään varastoida muutamaa viikkoa kauempaa, sillä lämpöarvo heikkenee heti, kun lanta alkaa kompostoitua. Lämpöarvosta häviää jopa kymmenen prosenttia kuukauden aikana. Janssonin mukaan Swebon polttolaitteisto maksaa noin 15-20 prosenttia

enemmän kuin tavanomainen polttolaitteisto, mutta maksaa itsensä takaisin alle seitsemässä vuodessa. (Vainio 2012, 9-10.)

Swebon laitteistossa voi kosteus olla jopa 61 % ja siinä voidaan polttaa hevosenlannan lisäksi jopa märkää haketta ja teurasjätettä. Swebon laitteistot ovat kokonaisuuksia, joihin kuuluu täysin automatisoitu polttolaitteisto, tuhkanpoistojärjestelmä sekä lantavarasto. Swebo käyttää suomalaisen Aritermin Arimax-kattiloita laitteistoissaan. Vuonna 2008 Swebon laitteisto maksoi varastointeen noin 150 000 – 200 000 euroa. (Soininen & kumpp. 2010, 59-60.)

Ruotsalainen Flinga Biogas Ab on selvittänyt, onko hevosenlannan mädätys myös pienessä mittakaavassa ja tilan omaan käyttöön taloudellisesti kannattavaa (Alho & kumpp. 2010, 14). Flingan bioreaktoreita on joitakin jo käytössä. Flingan reaktoreiden prosessi perustuu kuivamädätykseen eli hevosenlanta soveltuu siihen kuiva-ainepitoisuutensa perusteella hyvin. Muita soveliaita raaka-aineita kuivamädätysreaktorille ovat esimerkiksi säilörehu ja energiakasvit. Reaktorin hyötysuhde on ilmeisen hyvä, sillä toimitusjohtaja Fredrik Lundbergin mukaan laitos on maksaa noin 1 200 000 kruunua (vuonna 2010) ja se maksaa itsensä takaisin 5-7 vuodessa. Flingan bioreaktoreiden markkinointi suunnataan Benelux-maihin, joissa on paljon hevosia, vähän maata ja paljon lannoitteiden tarvetta. (Johansen 2010.)

5.2 Saksa

Saksassa hevosenlantaa hyödynnetään niin ikään pääosin polttamalla. Lanta esikäsitellään kuivaamalla, murskaamalla ja seulomalla, jonka jälkeen massa useimmiten puristetaan pelleteiksi tai briketeiksi ja poltetaan hevosenlannan polttoon suunnitelluissa kattiloissa. Saksassa kuivikkeena käytetään pääosin olkea. Hevosenlannasta erotellaan hevosenlantakakkarat pois ennen polttamista. Toisin kuin esimerkiksi Ruotsissa, jossa hevosenlannalla lämmitetään useimmiten hevostilan rakennuksia, käytetään Saksassa hevosenlantapellettejä lämpöenergian lähteenä esimerkiksi vanhainkotien tai rivitaloyhtiöiden lämmityksessä. Hippocon AG:n liiketoiminta-ajatus perustuu hevosenlannan keräilyyn, jalostamiseen pelletiksi ja

edelleen toimittamiseen polttolaitokselle. Yritys myös myy pelletöintilaitoksia. Tämän lisäksi Hippocon myös valmistaa ennen pelletöintiä seulotusta seulaylitteestä, käytännössä hevosenlantakakkaroista, biokaasua ja käyttää biokaasun edelleen sähköntuottamiseen. Biokaasutuksen mädätysjäte pelletöidään ja poltetaan. (Alho & kumpp. 2010, 12-13; Hippocon 2013.)

Toinen samantyyppinen liiketoimintamalli on Plantaquez-nimisellä yrityksellä, joka hoitaa kokonaisvaltaisesti tallien lantahuollon. Yritys myy talleille kuivikkeeksi olkipellettiä, kerää sieltä hevosenlannan, valmistaa lannasta pellettejä ja myy pelletit puutarhalannoitteeksi. Myös Plantaquezilla on suunnitelmassa tuottaa hevosenlannalla biokaasua oman pelletöintilaitoksensa tarpeisiin. Plantaquez pyrkii siihen, että hevosenlantaa ei olisi tarpeellista kuljettaa pitkiä matkoja. Samoilla markkinoilla toimii myös Münchnin lähistöllä sijaitseva kierrätysosuuskunta, joka keräilee kontteihinsa hevostallien hevosenlannan, kuivaa sen ja jalostaa edelleen pelleteiksi. Pelletit osuuskunta polttaa joko omissa polttokattiloissaan, joiden lämpöä se myy lähistön teollisuusyrityksille tai myy pelletit osuuskuntansa jäsenille, jotka voivat joko polttaa pelletit omissa kattiloissaan tai myydä pelletit edelleen. (Alho & kumpp. 2010, 13.)

Saksassa hevosenlannan energiahyötykäytön ympärille on kehittynyt liiketoimintaa, josta tulee mieleen myös Suomessa toimiva lämpöyrittäjäyysmalli ja esimerkiksi Enon energiaosuuskunnan liiketoiminta-ajatus. Mikäli Suomessa sallittaisiin lannanpoltto myös pienlaitoksissa ilman jatkuvatoimisia mittauksia, voisi tämänkaltaisen liiketoiminnan esimerkkien jalkautuvan myös Suomeen ja luovan omalta osaltaan työpaikkoja samalla, kun tallit pääsisivät hevosenlannan aiheuttamista ongelmista eroon.

6 Työn tutkimusstrategia, käytetyt tutkimusmenetelmät ja tiedonhankinta

Tämä opinnäytetyö on työelämän tutkimus- ja kehittämistyö, jonka tiedon keruussa ja analysoinnissa sekä kehitystyön tekemisessä on käytetty monia eri menetelmiä. Työ on pääosin laadullinen eli kvalitatiivinen, osin on käytetty myös määrällisiä eli kvantitatiivisia menetelmiä tiedon saamiseksi. Tutkimusstrategiana eli tutkimustyyppinä voidaan pitää **tapaustutkimusta** (case study), jonka avulla pyrittiin tuottamaan yksityiskohtaista tietoa tarkkaan rajatusta aiheesta (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2007, 130). Tutkimuksessa oli myös **empiirisiä** piirteitä mittauskokeen takia.

6.1 Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksen alussa oli tietysti raamit sille, mitä tietoja kerätään ja miksi. Tarvittava tieto muovaantui kuitenkin tarkemmin vasta työn tekemisen aikana, jolloin tietoa myös saatiin lisää ja osa tiedosta todettiin tarpeettomaksi. Tietoa myös luotiin itse lisää työn tekemisen aikana, minkä perusteella voitiin tehdä johtopäätöksiä ja edistää työtä.

Tutkimusta varten käytiin läpi huomattava määrä kirjallisuutta. Kirjallisuutta läpikäydessä on käytetty pääasiallisena menetelmänä **kuvailevaa kirjallisuuskatsausta** ja siinä erityisesti **integroivaa** metodologiaa. Integroivalla kirjallisuuskatsauksella pyritään luomaan uutta tietoa vanhan tiedon perusteella (Salminen 2011, 8). Kirjallisuutta on kerätty monipuolisesti ilman hyvin tarkkaa rajausta, jotta tietopohja olisi mahdollisimman laaja. Kirjallisuutta hankittiin eri lähteistä, joista suuri osa oli sähköisiä ja osa perinteisiä kirjoja, lehtiä tai muita julkaisuja, jotka saatiin pääasiallisesti eri kirjastojen palveluita käyttämällä. Kirjallisuutta kerättiin noin 1,5 vuoden ajan ja sen käytettävyyttä työn tekemisessä arvioitiin lähteitä kerätessä, ennen tutkimussuunnitelman tekoa sekä työn tekemisen aikana. Kirjallisuutta löytyi teoriaosuuteen jonkin verran ja yhdistelemällä monen eri alan kirjallisuutta voitiin luoda johtopäätöksiä myös työn varsinaisesti aiheesta. Täsmätietoa esimerkiksi hevosenlannan

kompostilämmön tuotosta ei ollut, vaan tämä tieto saatiin monta eri tutkimustapaa yhdistelemällä.

Tietoa kerättiin myös **teemahaastattelujen** avulla. Haastateltaviksi valittiin viisi saman alan yrittäjää, joilla oli yhteisenä piirteenä lantalämmön hyödyntäminen tallitilojen lämmittämisessä. Haastattelut tehtiin puhelimitse. Haastateltavat ihmiset valikoituvat joko ennakkotietojen perusteella tai työn edetessä muilta haastateltavilta saatujen tietojen avulla. Teemahaastattelut tehtiin ennalta valitun teeman perusteella, mutta kysymysten muotoa ja järjestystä ei oltu tarkasti rajattu (Hirsjärvi & kumpp. 2007, 203). Teemahaastattelut olivat hyvin oleellinen osa tiedonhankintaa, sillä tutkimustietoa tai kirjallisuutta lantalämpöjärjestelmistä ei juurikaan ole, muutamia lehtiartikkeleita lukuunottamatta. Osa haastatteluista laajeni helposti **avoimeksi haastatteluksi**, sillä haastateltavat olivat pääosin hyvin ilahtuneita saamastaan huomiosta ja mielellään kertoivat myös muita mielipiteitään ja näkemyksiään hevostalouteen liittyvistä asioista. Teemahaastatteluja käytettiin myös erilaisten asiantuntijoiden lausuntojen saamiseksi. Nämä lyhyet, suppea-aiheiset haastattelut tai täsmäkysymykset tehtiin joko puhelimitse tai sähköpostitse.

Työssä tehtiin myös kokeellista eli **empiiristä tutkimusta** pienen lantalämpöön liittyvän mittauskokeen avulla. Empiirisen osuuden katsottiin tukevan haastateltavilta sekä kirjallisuudesta saatavaa tietoa sekä antavan myös työn tilaajalle juuri heidän tilaansa liittyvää tietoa. Mittauksista saatu tieto oli määrällistä eli kvantitatiivista, mutta sen perusteella tehtiin kvalitatiivisia johtopäätöksiä saatujen tulosten merkityksestä järjestelmän suunnittelemiseksi.

Työ sisälsi jossain määrin myös perusfysiikan sekä päättelykyvyn avulla suoritettua **laskemista**. Laskelmien avulla saatiin määrällisiä lukuarvoja lämmöntuotosta sekä -tehosta. Tämä osa tutkimuksesta perustui sekä haastateltavien tietoihin, kirjallisuudesta saatuun tietoon että työn puitteissa tehtyjen mittausten tulokseen. Laskennallinen osuus tuotti uutta tietoa aiheeseen, joka on arjen kekseliäisyyden ansiosta joillakin käytössä, mutta josta ei ole tutkimustietoa. Tämä oli työn yhtenä lähtökohtana.

7 Esimerkkejä lannan hyötykäytöstä lämpöenergian lähteenä Suomessa

Suomessa on joitain esimerkkejä lannan lämmön talteenotosta. Tässä luvussa esitellään viisi erilaista ratkaisua lannan kompostoituaan tuottaman lämmön talteenotosta. Näistä kaksi on rumpukompostoinnin avulla tuotettua lämpöä, joka otetaan talteen lämpöpumpulla. Kolme esimerkkiä edustaa enemmän tämän työn kohderyhmää eli lannan passiivisesta kompostoitumisesta syntyvän lämmön talteenottoa ja hyötykäyttöä.

Haastateltujen talliyrittäjien lisäksi lantalassa lannan passiivisessa kompostoinnissa syntyvää lämpöä hyötykäyttävät ainakin kirkkonummelaiset Wiknerin ratsutila sekä von Rettigien hevostila. Wiknerien hevostilalla 16 hevosen lantalan pohjaan on asennettu vesikierto, joka siirtää lämmön lattialämmitykseen, jolla lämmitetään tallin varustuhuoneita, sosiaalitiloja sekä hevosten pesupaikkaa. Viiteen pakkasasteeseen saakka tilojen lämmitykseen ei tarvitse käyttää muita lämmönlähteitä ja muutamassa pakkasasteessa kiertoveden lämpötilaksi on mitattu 35 astetta. Kierto suljetaan termostaatilla lantalan ollessa tyhjillään. (Skarra 2013, 51.)

Lisäksi opinnäytetyön tiimoilta haastateltiin myös kestiläläisen 36 ponin tilan isäntää, joka oli yrittänyt ottaa itsetehdyn, pystysuuntaisen metallipintaisen kompostorin pinnasta lämmön talteen säiliön ympärille kierretyn muoviputken ja siinä kiertävän veden avulla. Lämmön avulla oli tarkoitus lämmittää mm. ratsastushallin katsomoa sekä vierastallia, mutta järjestelmästä ei saatu tarpeeksi lämpöä talteen, että sitä olisi ollut mielekästä hyötykäyttää. (Riikonen 2013.)

7.1 Pinewood Stables, Mäntsälä

Mäntsälässä sijaitseva Pinewood Stables kasvattaa tilallaan ratsuhevosia. Vuonna 2004 rakennettu 15-paikkainen hevostalli lämmittää tallin tiloja lämmöllä, joka syntyy hevosten karsinoiden kuivikepatjan sekä hevosenlannan hajotessaan tuottamasta

lämmöstä. (Ahlqvist 2012.) Hevosten karsinat sijaitsevat 40 senttimetriä alempana kuin käytävä ja muut tilat. Hevosten karsinoita ei putsata läpikotaisin, kuten monissa talleissa, vaan hevosten lannan ja virtsan annetaan imeytyä olkikuivikkeeseen ja kuivikepatjan päälle lisätään aina puhdasta olkea, jotta hevosen karsina on asianmukaisesti kuiva ja puhdas. Karsinoihin muodostuu siis kestokuivikepatja, jossa lanta ja virtsa kompostoituvat yhdessä kuivikeoljen kanssa tuottaen lämpöä. (Maaseudun tulevaisuus 2011, 8-9.)

Karsinoiden alle on rakennusvaiheessa valettu vesiputket noin kymmenen sentin syvyyteen. Putkissa kiertää vesi, jota 30-60 W tehoinen kiertovesipumppu kierrättää sosiaalituloihin ja edelleen takaisin talliin. Erillistä lämmönvaihdinta tai vastaavaa järjestelmää ei siis ole, vaan sama vesi kiertää niin lämpöä tuottavissa kuin lämmitettävissäkin tiloissa. Kuivikepatjan lämmittämä vesi kiertää laboratorihuoneeseen, tallin pukeutumis- ja kylpyhuoneeseen, satulahuoneeseen sekä loimien kuivatushuoneeseen (pinta-ala yhteensä noin 44 m² ja rakennustilavuus noin 110 m³). Tallin kaikkien karsinoiden ollessa täynnä, riittää hevosten kuivikepatjojen tuottama lämpö lämmittämään kyseiset tilat myös pakkaskaudella. (Ahlqvist 2012.)

Kuivikepatjat tyhjennetään koneellisesti kolmen kuukauden välein. Tällöin karsinoiden lattian pinta on käytävän tasolla eli patjan korkeus on 40 cm. Patjasta on omistajan mukaan mitattu 60-70 asteen lämpötiloja tyhjennysvaiheessa. Omistajan kokemuksen mukaan patja ei ensimmäisenä kuukautena tyhjennyksen jälkeen juurikaan tuota lämpöä, vaan kompostoituminen käynnistyy lämmöntuoton kannalta kunnolla toisella kuukaudella. Patjan pintalämpötila on noin 10 astetta, eli se ei muodostu hevosellekaan liian lämpimäksi. Viimeinen tyhjennys ajoitetaan loppukevääälle, jolloin kesäkaudella hevosten ollessa paljon laitumella, ei patjaa ja siten lämpöäkään muodostu kovinkaan paljoa, koska sille ei ole käyttöäkään. (Ahlqvist 2012.) Karsinoissa jo osittain maatunut lanta siirretään lantalaan jälkikompostoitumaan ja käytetään sen jälkeen lannoitteena joko omilla pelloilla tai naapuritilan mansikkaviljelmillä. (Maaseudun tulevaisuus 2011, 9.)

Kiertävän veden lämpötilaa seurataan lämpömittareilla. Lämmitettäviin tiloihin lähtevä vesi on noin 25-asteista tallin kaikkien hevospaikkojen ollessa käytössä, paluuvesi on

noin 15-asteista. Vesiputkien kokonaispituudesta tai niiden määrästä kunkin karsinan alla ei ole tietoa. Omistaja on epäillyt ongelmaksi tallin vajaatäytön, jolloin on riskinä, että vesi putkissa jäätyy ja rikkoo putket. Tähän on kaavailtu avuksi kiertoveden vaihtamista veden ja glykolin sekoitukseksi tai pelkäksi glykoliksi. Joulukuussa 2012, tallissa asuessa vain 3 hevosta, oli kiertävän veden lämpötila kuitenkin +5 -asteista, vaikka ulkona oli ollut jo jonkin aikaa yli kymmenen pakkasastetta, joten toimenpiteisiin ei olla katsottu tarpeelliseksi ryhtyä. (Ahlqvist 2012.)

Tallin omistaja on ollut erittäin tyytyväinen järjestelmään. Investoinnissa ei maksa käytännössä juuri muu kuin vesiputket, rauditusverkko ja kiertovesipumppu, eli se on hyvin halpa asentaa tallin rakentamisvaiheessa. Patja on hevosille mukava alusta ja systeemin käyttö säästää aikaa hevosten päivittäishoidossa, kun lantaa ei tarvitse erikseen luoda karsinoista. Talli on suunniteltu siten, että karsinat voidaan tyhjentää koneellisesti Bobcatilla, kun kuivikepatjat poistetaan. Lisäksi omistaja kehuu lämmitysratkaisun paloturvallisuutta. Toistaiseksi ratkaisu on myös ollut täysin huoltovapaa. (Ahlqvist 2012.)

Parannusehdotuksena omistaja mainitsee käyttämiensä 30 millimetrin vesiputkien vaihtamisen lattialämmityskaapeleiksi, jolloin ne voitaisiin asentaa lähemmäs pintaa ja siten lämmönsaanti olisi todennäköisesti tehokkaampaa. Lisäksi veden sijaan putkissa tulisi kiertää vesi-glykoliseosta, jotta vesi ei jäätyisi putkissa erityistilanteissakaan, kuten tallin ollessa tyhjillään. (Ahlqvist 2012.)

7.2 Taipaleen Talli, Kiiminki

Pohjois-Pohjanmaalla sijaitsevalla Taipaleen tallilla asuu 15 hevosta. Talli on rakennettu vuonna 2009 ja katettu lantala on saatu valmiiksi vuonna 2010. Lantalan alle on vedetty suoraan verkostosta, vesimittarin jälkeen, halkaisijaltaan 28-millimetristä PEL-vesiputkea keräämään lannan kompostoitua vapauttamaa lämpöenergiaa. Vesimittarilta tuleva verkstovesiputki kierrää siis lantalan alla ja kulkee edelleen lämminvesivaraajalle. Näin ollen verkstovesi siis esilämmitetään ennen sen siirtymistä sähkökäyttöiselle lämminvesivaraajalle. (Juntunen 2012.)

Lantala on pohjamitoiltaan 6x9 metriä ja vesijohtoa on asennettu lantalan pohjavaluun niin paljon, kuin on saatu mahtumaan. Omistajan arvion mukaan vesiputken kokonaismetrimäärä vesimittarilta lämminvesivaraajalle on 50 metriä, josta suurin osa lienee sijoitettu lantalan alle. (Juntunen 2012.)

Tallin omistaja on mitannut veden lämpenevän keskimäärin 30-asteiseksi lantalan alla. Asennusvaiheessa ensimmäinen mitattu veden lämpötila oli 55 astetta, mutta lukemat ovat vakiintuneet noin kolmeenkymmeneen asteeseen. (Oulun ProAgria 2012.) Vesiputkisto on sidottu valun yhteydessä rauditusverkkoon ja se sijaitse noin viiden sentin syvyydessä, pohjavalun kokonaissyvyyden ollessa kymmenen senttimetriä. Koska tallissa käytetään lämmintä vettä kerralla yleensä korkeintaan noin sata litraa, arvelee omistaja veden ehtivän hyvin lämpenemään lantalan alla, ennen kuin vettä otetaan jälleen lisää. Lantala tyhjennetään keskimäärin kahdesti vuodessa, syksyllä ja keväällä. Tyhjennyksen yhteydessä on todettu pohjabetonin olevan hyvin lämmin ja hevosenlannan kuivaa ja hyvin kompostoitunutta, eikä lämmönkeruun olla huomattu siis vaikuttaneen lannan kompostoitumiseen mitenkään negatiivisesti. Lannan lämpötiloja ei olla mitattu, mutta sen arvellaan olevan 40-50 -asteista ja kesäkaudella jopa 70-asteista. Lanta jälkikompostoidaan ja toimitetaan maanparannusaineeksi vihrerakentamiseen. Tallilla on käytössä purukuivitus. (Juntunen 2012.)

Taipaaleen tallilla ollaan oltu erittäin tyytyväisiä järjestelmään. Verkstoveden esilämmitys lantalan lämmön avulla säästää lämminvesivaraajan sähkönkulutuksessa, jos lantalan lämpö nostaa veden lämpötilan neliasteisesta noin 30-asteiseksi, ja lämminvesivaraaja lämmittää veden edelleen 55-60 -asteiseksi. Minkäänlaisia huoltotöitä ei järjestelmälle olla tehty. Poikkeustilanteessa, kuten putkirikon takia tai tallin ja lantalan ollessa tyhjänä talvikaudella, voidaan lantalan vesipiiri ohittaa ja vetää vesiputki suoraan vesimittarilta lämminvesivaraajalle. Omistaja kehuu erityisesti investoinnin edullisuutta rakennusvaiheessa, kustannusten ollessa käytännössä putken hinnan verran eli noin euron per metri. (Juntunen 2012.)

Parannusehdotukseksi järjestelmään omistaja muuttaisi PEL-putken hieman suuremmaksi, halkaisijaltaan 32-millimetriseksi. Näin ollen vesitilavuus lantalan alla

olisi suurempi ja siten isompi määrä vettä saataisiin lämmitettyä kerralla. PEL-putki on ainut verkostopainetta kestävä putki ja se on kestänyt hyvin myös lantalan koneellisen tyhjennyksen. Myös putken määrää hän pyrkisi kasvattamaan. (Juntunen 2012.)

Taipaleen tallilla aiotaan kesällä 2013 valaa lantalaan toinen pohjabetoni edellisen päälle, johon asennetaan, todennäköisesti myös PEL-putkesta, oma vesipiirinsä, jossa oleva vesi kiertää edelleen talliin karsinoiden kattoihin asennettaviin vesiputkiin. Näin saataisiin lantalan lämmittämä vesi myös lämmittämään tallia. (Juntunen 2012.)

7.3 Mäkelän tila, Orimattila

Mäkelän tila on Orimattilassa sijaitseva maatila, jolla on maidontuotannon lisäksi hevostaloustoimintaa. Tilalla on yhteensä 28 hevosta, jotka asuvat joko tallissa tai pihatossa. Mäkelän tilalle investointiin vuonna 2011 uusi hevostalli ja rakennusvaiheessa suunniteltiin tallin lämmityksen hoituvan osittain lantalasta sekä pihaton lattiasta tapahtuvan lämmön talteenoton avulla. Tallilla on katettu lantala, jonka pohjavaluun asennettiin noin viiden sentin syvyydelle normaalia lattialämmityspotkea. Myös pihaton pohjavaluun asennettiin putkistot, sillä pihaton kestopatja on aina tyhjennysvaiheessa vaikuttanut hyvin lämpimältä ja osittain maatuneelta. Ajatuksena oli, että lantalasta lämmönsaanti olisi tehokkaampaa kuin pihatosta, mutta koska pihaton pinta-ala on melko suuri, saataisiin järjestelmälle lisätehoa myös käyttämällä hyödyksi pihaton kestopatjan muodostamaa lämpöä. (Kyrö 2012.)

Lantalan ja pihaton alla kiertävän vesi/glykoliseoksen on tarkoitus lämmittää vesikiertoista radiaattoria. Radiaattorilla oltaisiin lämmitetty tallin ilmaa etenkin pakkaskauden aikaan talli-ilman jäähtyessä hevosten ulkoillessa ja jolloin moni talli joutuu turvautumaan erilaisiin sähkökäyttöisiin tilapäislämmittämiin, ettei tallin lämpötila tipu pakkasen puolelle. Myös optio lämmittää käyttövettä on olemassa. Valitettavasti lämmitysjärjestelmää ei olla saatu käyttöön, sillä järjestelmän testausvaiheessa putkiin syötettiin pelkkää vettä, joka pääsi jäätymään ja halkaisi sekä putket että betonin lantalan alta. Järjestelmä on tarkoitus korjata mahdollisesti kesän 2013 aikana. (Kyrö 2012.)

Tilan pitäjä on siis sitä mieltä, että järjestelmä vaatii ehdottomasti pakkasenkestävän nesteen käytön lämmönkeruuputkissa. Mäkelän tilalla on tarkoitus käyttää vesiglykoliseosta. Tilalla ollaan sitä mieltä, että järjestelmä on talleille kannattava ja investointina hyvin kohtuullinen, maksaen käytännössä vain kiertovesipumpun ja putkien verran. Putket on järkevää valaa alusbetoniin, sillä lantala tyhjenetään koneellisesti ja mikäli putket olisivat lannan sekaan aseteltuina, olisi koneellinen tyhjennys hyvin aikaavievää. Saanto olisi luonnollisesti paljon parempi, mikäli keruuputket olisivat sijoitettu lannan kanssa kosketuksiin. (Kyrö 2012.)

7.4 Tampereen ratsastuskeskus, Tampere

HorseForte Oy hoitaa Tampereella sijaitsevaa Tampereen ratsastuskeskuksen toimintaa. Ratsastuskeskuksessa on noin 50 hevosta ja tila käsittelee hevosten tuottaman lannan rumpukompostorilla, jossa on lämmöntalteenotto. (Hippos 2012, 30.) Kompostori on asennettu tilan rakentamisvaiheessa 1990-luvun lopulla. Kompostorin teho- tai muita tietoja ei ollut haastatteluhetkellä saatavissa, tilavuudeltaan kompostori on 64 m³. Kompostorin läpi kulkee viikoittain noin 20-25 kuutiometriä hevosen turvelantaa, joka kompostorin käsittelyn jälkeen siirtyy multa-alan urakoitsijalle jälkikompostoitavaksi ja myytäväksi viherrakentamiseen maanparannusaineena. (Huttunen, T. 2012.)

Rumpukompostori hyödyntää maalämpötekniikkaa. Lannan kompostoitua synnyttämä lämpö ohjataan lämpöpumppuun, josta lämpö siirretään veteen. Kompostorilta lämmönvesivaraajalle lähtevä vesi on noin 50-asteista, paluuvesi on 3-4 astetta viileämpää. (Huttunen, T. 2012.)

Kompostorin tuottamalla lämmöllä lämmitetään 80-neliöinen omakotitalo sekä hevostallissa sijaitsevat 2 satulahuonetta, keittiö, toimisto, vessat, sosiaali-tiloja (nämä yhteensä noin 50 m²) sekä maneesin kahvila (noin 25 m²). Lisäksi kompostorin tuottamalla lämmöllä lämmitetään hevostallin käyttövesi. Lämmönjakojärjestelmänä kaikissa tiloissa on vesikiertoiset lämpöpatterit. (Huttunen, T. 2012). Pellettienergia.fi -sivuston laskurin mukaan arvioituna kiinteistöjen ja lämpimän veden vaatima

lantalämmöstä lähtöisin oleva energia voisi olla noin 15 MWh/vuosi, kun lasketaan 60 % energiasta olevan peräisin kompostorilta. (Pellettienergia.fi 2013).

Tilan nykyiset toimijat työskentelevät tilalla kolmatta talveansa ja ovat olleet tyytyväisiä rumpukompostorin toimintaan. Kompostorin tuottaman lämmön lisäksi kompostorin käyttö helpottaa tallintekoa, kun erillistä lantalaa ei tarvita. Tallissa hevosten karsinoista siivottu lanta kipataan suoraan kompostoriin, josta kuljetin purkaa kompostoituneen hevosenlannan siirtolavalle, jolla kompostilanta kuljetetaan multaurakoitsijalle. Kompostorin käyttö on ollut toimijan mukaan ongelmaton, kunhan on ensin tutustunut laitteeseen ja sen toimintaan. (Huttunen, T. 2012.)

7.5 Hingunniemen koulutila, Kiuruvesi

Hingunniemen koulutila on Ylä-Savon Ammattiopiston opetustila, joka sijaitsee Ylä-Savossa, noin kuusi kilometriä Kiuruveden keskustasta. Hingunniemessä tarjotaan hevoslouden ammatillisten perustutkinnon koulutusta sekä erilaisia aikuiskoulutuksen tutkintotavoitteisia koulutuksia. Koulutilalla on 3 eri tallirakennusta, pihatto, hevostlinikka sekä esimerkiksi maneesi sekä asuntolat ja opetustilat opiskelijoita varten. Yhteensä tilalla on noin 70 hevosta, joista osa on oppilaitoksen hevosia, osa oppilaiden omia hevosia ja osa esimerkiksi opetukseen tai valmennukseen tuotuja ravihevosia. Koulutilan hevosten arvioidaan tuottavan vuodessa lantaa noin 850 m³. (Ylä-Savon ammattiopisto 2012.)

Hingunniemen koulutilalla on meneillään ”Kestävä talliympäristö” -niminen projekti, joka on alkanut 1.4.2011 ja päättyy 30.6.2013. Kestävä talliympäristö-hankkeen pitkän aikavälin tavoitteena on kasvattaa energiaomavaraisuutta ja kehittää energiatehokkuutta hevosalleilla. Konkreettisena tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa nk. nollapäästötalli tilan ravitallista. Hankkeen lyhytaikaisiksi tavoitteiksi on määritelty ”hevostallin vesien puhdistusjärjestelmien selvittäminen; hevostallin vesien kierrätysjärjestelmien selvittäminen; lannan lämmön talteenoton hyödyntämisen selvittäminen sekä lämpöenergia talteenottaminen ja uudelleenkäyttö talliympäristössä; lannan lämmönoton sekä vedenkierrätysjärjestelmän selvittäminen; hevostallien sisäilman

hallinnan selvittäminen sekä hevostallin energiatehokkaiden valaistusratkaisujen selvittäminen.” (Ylä-Savon ammattiopisto 2012.)

Projektissa vuonna 2012 rakennettu ”nollapäästötalli” on remontoitu vanhasta, 24-paikkaisesta ravitallista. Alunperin ravitalli on rakennettu lihakarjalle ja se on vuonna 1994 muutettu melko pintapuolisella remontilla hevosille sopivaksi talliksi. Talli alkoi kaivata nyt peruskorjausta sekä kuntonsa, että vuoden 2014 alussa voimaantulevan uuden EU:n lainsäädännön takia, mikä määrittelee mm. karsinoille minimikoot ja tallille vähimmäiskorkeuden. Vanhasta tallista jäivät pystyyn käytännössä vain ulkoseinät, muu on keväällä 2012 aloitetussa täyssaneerauksessa uusittu. (Huttunen.2012.)

Opinnäytetyön kannalta oleellisin muutos on lannan käsittely rumpukompostorin avulla ja lämmöntalteenottoyksikön lisääminen kompostoriin. Rumpukompostori on asennettu lokakuussa 2012, otettu käyttöön tammikuun 2013 alussa ja lämmön talteenotto on käynnistetty muutamaa viikkoa myöhemmin (Huttunen 2013). Kompostori on mitoitettu koko koulutilan hevosmäärälle ollen 75 m³ tilavuudeltaan. Kompostori on korpilahtelaisen Bio-Factan valmistama. Valmistajan mukaan kompostori kuluttaa vuodessa noin 20 000 kWh energiaa ja energiantuotto tilan lantamäärällä tulee olemaan noin 40 000 kWh vuodessa, kun hyödynnetään noin puolet lannan lämpöpotentiaalista. Tällä lämmönottomäärällä itse kompostointiprosessi ei häiriinny lämmön liiallisen poistumisen takia. Kompostorin teho on 14-15.8 kW/h ja lämpökerroin 4-4,5. Lämmöntalteenottojärjestelmä on maalämpötekniikkaa keruujärjestelmineen ja lämpöpumppuineen. Laitokseen kuuluvat myös erilaiset mittarit, joilla voidaan seurata mm. lämmön talteenottomääriä. Valmistajan mukaan lantaa kompostoidaan rumpukompostorissa noin viikon ajan, kun kuivikkeena käytetään turvetta ja olkipellettiä. Viikon jälkeen lanta siirretään nelilokeroiseen jälkikypsytysovarastoon, jossa lanta jälkikompostoituu noin 3- 6 kuukautta. Tällä hetkellä ja lähitulevaisuudessa lanta toimitetaan tilan omille sekä sopimuskumppaneiden pelloille, mutta kompostoituneen hevosenlannan tuotteistaminen ja myynti edelleen ei ole poissuljettua tulevaisuudessa. (Huttunen 2012)

Lannasta saatavalla lämmöllä on tarkoitus lämmittää tallin pesuvesiä sekä esimerkiksi valjashuonetta lattialämmityksen kautta. Alueella on oma lämpökeskus ja esimerkiksi

sosiaalitulojen lämmitys tulee aluelämpökeskuksesta. (Huttunen 2012)

Koska kompostori on ollut toiminnassa vain hyvin vähän aikaa, ei ole vielä tiedossa käyttökokemuksia tai lukemia energiankulutuksesta ja -tuotosta. Muutaman viikon käyntiajan perusteella, helmikuussa 2013 voitiin kuitenkin todeta, että kompostorin tuottama lämpö on riittänyt kaiken sen lämmitykseen, mihin sitä on tarvittukin eikä aluelämpökeskuksen tuottamaa lämpöä ole tarvinnut ottaa käyttöön. (Huttunen 2013). Koulutilaa kiinnostaa erityisesti todellinen tehomäärä sekä hinnan kuoletusaika. Ennen kompostorin käyttöönottoa on arveltu laitteiston maksavan itsensä takaisin noin kymmenessä vuodessa. (Huttunen 2012)

Projektin muihin osa-alueisiin kuuluu monenlaisia käytännön energiatehokkaiden ratkaisujen tuomista talliympäristöön. Projektin tulokset tulevat olemaan julkisia ja tietoa tullaan jakamaan 3D-muotoisena sovelluksena Internetissä. Projektista tullaan laatimaan myös loppuraportti. (Huttunen 2012)

8 Haapialan tila

Haapialan hevostila on Etelä-Savossa, Savonlinnan kaupungissa sijaitseva hevostila, jossa on tilat 23:lle hevoselle. Tilaa on asutettu 1800-luvun lopulta lähtien. Nautakarjaa tilalla pidettiin sodan jälkeisistä ajoista aina 1980-luvun loppuun asti, vuodesta 1989 tilalla on harjoitettu hevostaloutta ja maanviljelyä. Tilalla on välittömässä läheisyydessään 15 hehtaaria peltoa ja 78 hehtaaria metsää sekä lisäksi noin 20 kilometrin päässä 9 hehtaaria peltoa ja 52 hehtaaria metsää. Tilalla sijaitsevat pellot ovat pääosin hevosten tarha- ja laidunkäytössä, vuosittain muutamalla hehtaarilla viljellään hevosheinää. Hieman kauempana sijaitsevilla pelloilla viljellään hevosheinää. Metsät ovat joko perinnebiotooppilaitumia tai talousmetsiä. Tilalla asuu vakituisesti 4 ihmistä kahdessa eri asuinrakennuksessa. (Kukkonen E. 2013).



Kuva 7. Haapialan talli. (Kuva: Elina Kukkosen arkisto 2013)

Tilalla harjoitetaan omien ravihevosten valmentamista ja pienimuotoista kasvatusta ja lisäksi vuokrataan yksityisille hevosille täyshoitopaikkoja. Täyshoitohesosia on keväällä 2013 noin 15, joiden omistajina ja hoitajina on yhteensä noin 20 ihmistä. (Kukkonen E. 2013.)

Tila rajautuu osittain Pihlajaveteen kuuluvaan Pullinlahteen. Tilan rakennuskantaan kuuluu kaksi asuinrakennusta, kaksi hevostallia (isossa tallissa hevospaikkoja 19, pikkutallissa 4), valjas- ja turvekatos, lämpökeskus, hakevarasto, konepaja- ja sauna, liiteri, konekatos ja kauravarasto. Näistä valjas- ja turvekatos, hakevarasto, liiteri, konekatos sekä kauravarasto ovat lämmittämättömiä tiloja. Tila käyttää omaa kaivovettä ja vesijohdot on vedetty asuinrakennuksille, molempiin talleihin sekä saunalle.

Haapiala käyttää tilojen ja lämpimän veden lämmittämiseen pääasiassa omaa hakelämpökeskustaan. Koska hevosenlanta koetaan miltei ilmaisena, ympäristöystävällisenä energianlähteenä ja sitä muodostuu vuositason melko paljon, kiinnostaa tilaa kuitenkin lämmön talteenotto myös hevosenlannasta.

8.1 Tilan lantahuolto

Tilalla on yhteensä 23 karsinapaikkaa, joissa keväällä 2013 asuu yhteensä 24 hevosta, joista kaksi varsaa yhteiskarsinassa. Karsinoiden kuivikkeena käytetään turvetta. Tilan hevoset tuottavat vuodessa laskennallisesti yhteensä noin 288 kuutiometriä hevosenlannan ja turpeen sekoitusta (VnA 931/200, liite 2). Kesäisin suurin osa hevosista on yötäpäivää laitumella, joten todellinen lantamäärä lantalassa ei ole niin suuri, mitä kirjallisuudessa esitetään. Turpeen käyttöön kuivikkeena on päädytty lannan lannoitekäytön vuoksi. Lanta ajetaan yleensä kahdesti vuodessa, keväisin ja syksyisin, tilan omille pelloille typpilannoitteeksi. (Kukkonen T. 2013.) Lämmityskauden lopuksi, ennen peltolevitystä lannan määrä lantalassa on laskennallisesti noin 144 m³.

Lantala on betonipohjainen, kattamaton allas välittömästi tallin päädyssä. Lantalan koko on noin 12 x 13 metriä ja sitä ympäröi kahdelta sivulta betoniset reunat, joiden korkeus on korkeimmillaan 1,5 metriä ja matalimmillaan 0,5 metriä. Lantalan kiintotilavuus on yhteensä noin 234 m³. Kolmas sivu on tallinpääty ja neljännellä sivulla ei ole reunaa, jotta lantala voidaan helposti tyhjentää etukuormaajalla varustetulla traktorilla. Lantalan pohja on valettu navetakäytön jäljiltä noin vuonna 1989 ja reunat rakennettu vuonna 2002. Samalla myös pohjaa paikkailtiin. Pohjassa on soran jälkeen kymmenen senttimetrin styrox-eristys ja eristeen päällä noin kymmenen senttimetrin betonilaatta. Lantalan päälle aiotaan rakentaa kate lähivuosina, jolloin esimerkiksi sadevesi ei pääse kastelemaan lantala ja suotovesiä eri synny niin paljon kuin nykyisin. Lantalan suotovedet pumpataan nykyisin lantalanpohjalta traktorin lietevaunuun ja levitetään pellolle lannanlevityksen kanssa samaan aikaan. Lantalan kateremontin yhteydessä olisi mahdollista myös uudistaa lantalan pohjavalua, mikäli sinne haluttaisiin asentaa esimerkiksi lämmön talteenottoa varten tekniikkaa tai putkia. (Kukkonen T. 2013.)



Kuva 8. Lantalan remontti ja reunojen rakennus vuonna 2002. (Kuva: Elina Kukkosen arkisto 2013)

8.2 Lämpökeskus

Tilalla on oma lämpökeskus, joka on uusittu täysin vuonna 2011. Lämpökeskuksen polttoaineena käytetään rankapuuhaketta, joka saadaan oman tilan metsistä. Lämpökeskus lämmittää tilan päärakennuksen (noin 375 r-m³) sekä sivurakennuksen (noin 250 r-m³), joissa on normaali huonelämpötila sekä lisäksi peruslämmitettävät (lämpötila noin 15 C) konepajan, saunan (yhteensä noin 160 r-m³) sekä hevostallin varuste- ja pukuhuoneet (yhteensä noin 60 r-m³). Tallissa lämmönjakotapana on lattialämmitys, muissa rakennuksissa on vesikiertoiset patterit, saunasiivessä osittain myös lattialämmitys. Lisäksi lämpökeskus lämmittää päärakennuksen sekä hevostallin lämpimän veden. Sivurakennuksen vesi lämpenee omalla sähkökäyttöisellä lämminvesivaraajalla. (Kukkonen E. 2013.)

Lämpökeskuksen lämmönlähteenä on Alataalkkarin valmistama Veto 60-merkkinen kattila. Maksimiteho kattilalla on pellettiä tai turvetta käytettäessä 60 kW, mutta hakkeella kattilan maksimitehoksi on annettu 47 kW. Kattilan suuren vesitilavuuden vuoksi varsinaista lämminvesivaraajaa ei ole. Lämpökeskusta ohjataan logiikkatoimisen ohjauskeskuksen kautta. Haketta säilytetään lämpökeskuksen viereisessä hakekatoksessa ennen siirtoa lämpökeskuksen 11 kuutiometrin vetoiseen säiliöön, josta ruuvikuljetin siirtää hakkeen kattilaan. Haketta kuluu vuositason noin 190 i-m³. Haketettavat rungot kaataa tilan vanhempi isäntä ja haketin on yhteiskäytössä muutamien muiden omistajien kanssa. (Kukkonen T. 2013.)



Kuva 10. Haketusta Haapialan tilalla. (Kuva: Elina Kukkonen arkisto 2013)

Taulukossa 10 on arvioitu tilan rakennuskannan energiankulutus pellettienergia.fi:n laskurin sekä tilalta saatujen taustatietojen perusteella. Valtaosa lämpötehosta oletetaan kuluvan viime vuosisadan alusta peräisin olevan päärakennuksen lämmittämiseen, mitä ei ole juurikaan remontoitu tai tiivistetty vuosikymmeniin. Sivurakennus on melko ajantasaisesti eristetty, muut lämmitettävät tilat vaativat suhteessa melko paljon

lämpöenergiaa joko rakenteellisten seikkojen ja tiiveydenpuutteen (traktoritali, saunatilat) tai esimerkiksi jatkuvan ovien aukomisen (tallin pukuhuone, varustehuone) takia.

Taulukko 10. Haapialan tilan rakennusten lämmönkulutus

Kohde	R-m ³	Lämmitystehon tarve W/r-m ³	Ominaiskulutus kWh/m ³	Energiankulutus Mwh/v
Päärakennus	375	30	70	26
Keltainen mökki	250	22	55	13,8
Pukuhuone	28	35	55	1,5
Varustehuone	29	35	55	1,5
Konepaja	90	35	55	5,0
Sauna	73	30	55	4,0
Vuosienergian kulutus yhteensä				51,8

Haapialassa käytettävän hakkeen lämpöarvoa laskee hakkeen kosteus, vaikka se kuivataan osittain koneellisesti alkukesästä. Kostean, yli 40-prosenttisen hakkeen lämpöarvo on reilusti alle kuivemman hakkeen lämpöarvon eli vain noin 650-700 kWh/i-m³ (Härkönen 2011). Kattilan hyötysuhde on valmistajan mukaan noin 90 % ja kattilan ja polttimen yhteisen hyötysuhteen voidaan arvella olevan noin 80 %. Tällöin kattilasta uloslähtevä energiamäärä on vuodessa noin 105 Mwh.

Putkistojen lämpöhävikki on noin 20 W/m (Uponor 2013, 15), eli lämpöhävikin osuus noin 180 metrin matkalla lämpökeskukselta sivuasuinrakennukselle on noin 31 500 kWh vuodessa. Lämpökeskukselta päärakennukselle ja talli- ja muihin tiloihin on vedetty yhteensä noin 50 metriä putkea, jonka lämpöhäviö on noin 8760 kWh vuodessa.

Lisäksi energiaa kuluu tallitilojen käyttöveden lämmitykseen arviolta noin 10-13 kWh vuodessa.

8.3 Eri lämmitysjärjestelmien soveltuvuuden arviointi

Lannan lämmön hyödyntämistä suunnitellessa tulee tekniikan ja soveltuvuuden lisäksi miettiä vastauksia kysymyksiin mitä lämmitetään, miten lämmitetään ja miksi lämmitetään.

Tilan nykyratkaisut ja tulevaisuudet visiot asettavat lantalämmön hyötykäytölle joitain rajoja. Koska tilan lantahuolto on nykyisillään tilalle sopiva ja kustannustehokas järjestelmä, ei esimerkiksi kuivikemateriaalia haluta vaihtaa. Koska tilalle on hiljattain uusittu lämpökeskus, myöskään ehdotonta tarvetta lämmönlähteelle ei ole ja esimerkiksi kallista ostoenergiaa ei ole tarvetta korvata, koska lämpökeskus käyttää oman metsän haketta. Sen sijaan taustalla vaikuttaa halu saada lisäenergiaa hevosenlannasta ilman suuria lisäkustannuksia tai investointeja. Koska polttoaineena käytettävän hakkeen puuaines kaadetaan ja haketetaan tilan vanhemman isännän työnä, on lantalämmön hyötykäyttö tulevaisuutta ajatellen ennakoiva ratkaisu, jos jossain vaiheessa vanhempi isäntä ei enää ole metsätyökunnossa ja tilan työmäärää halutaan vähentää.

Koska järjestelmään ei ole tarvetta tai halukkuutta investoida huomattavia summia rahaa, tämä sulkee jo esimerkiksi biokaasu- ja reaktorikompostorit, kuten rumpukompostorin, pois mahdollisista ratkaisuista. Polttolaitos on nykyisen lainsäädännön valossa niin ikään tämän kokoluokan hevostiloille kannattamaton järjestelmä suurten investointikustannusten vuoksi. Käytännössä jäljelle jää lannan passiivisessa kompostoinnissa varastoinnin aikana, eli Haapialan tallin tapauksessa lantalassa, muodostaman lämpöenergian talteenotto. Aiemmin laskettiin 15 hevosen tuottaman lantalan tehoksi lämmönsiirron jälkeen 1 kW. Näin ollen Haapialan lantalan tehona voidaan pitää hevosmäärän perusteella **1,5 kW**. Laskennallinen energian vuosituotto on siten **13 140 kWh**.

Oleellinen viitekehyksen rajaaja on se, mitä lannasta saatavalla lämmöllä halutaan lämmittää ja onko lannasta saatava lämpö mahdollista integroida nykyisen lämpökeskuksen vesikiertoon vai vaatiiko lantalasta saatava lämpö oman kiertonsa ja lämmityskohteensa. Tilan lämpökeskuksen kattilavalmistajan, Ala-Talkkarin edustajan (Karhu 2013) mukaan kattilaan on mahdollista liittää myös ulkoinen lämmönlähde joko käyttövesikierukan tai lämmitysyhteen kautta. Lämmönlähde olisi järkevää liittää kattilaan suljetusta piiristä lämmönvaihtimen kautta. Koska lantalan tuottama lämpö on kattilan tuottamaan lämpöön (80-85 C) verrattuna niin alhaista, herää kuitenkin kysymys, että onko haalean veden tuomisessa kattilaan juurikaan järkeä ja käykö fysiikan lakien mukaisesti niin, että kattilan tuottama lämmin vesi alkaakin lämmittää

lantalan alla kiertävää vettä.

Lantalasta saatavalla lämmöllä on mahdollista lämmittää myös käyttövettä. Koska tilalla on käytössä tehokas ja turvallinen lämmitysjärjestelmä lämpimän veden tuottamiseen, eli päärakennukselle ja tallille lämpökeskus ja sivurakennukselle sähkökäyttöinen lämminvesivaraaja, ei lantalämmöllä katsota olevan tarpeellista lämmittää käyttövettä. Lisäksi esimerkiksi legionella -bakteerin lisääntymisen riski on olemassa haaleassa, alle 50-asteisessa käyttövedessä (Ekholm 2005), juurikin jollaiseksi lantalämmön avulla veden saa lämmitettyä. Koska tallilla käy myös paljon tilan ulkopuolisia asiakkaita, ei tämänkaltaista tautiriskiä haluta ottaa, edes yhdistettynä lämpölaitoksen kattilan avulla tehtävään veden lisälämmitykseen 80-85 -asteiseksi.

Koska tallin sosiaali- ja varustetiloissa on vesikiertoinen lattialämmitys, soveltuu lantalämmöstä saatava haalea, noin 30-asteinen vesi erinomaisesti lattialämmityksessä käytettäväksi jo sellaisenaan ja ilman lisälämmitystä, sillä lattialämmityksen veden optimaalinen lämpötila huonelämpötilan saavuttamiseksi on noin 27 - 45 C (Uponor 2013). Näin tuntuisikin järkevimmältä vaihtoehdolta lämmittää lantalasta saatavalla lämmöllä suljetussa piirissä lämmitettävää kohdetta sellaisenaan ja ottaa tarvittaessa lisälämpö lämpökeskuksen kattilasta, jos lantalan tuottama lämpö ei riitä. Imagollisesti lantalan lämmön hyötykäyttö suoraan esimerkiksi tallin varuste- ja sosiaalitilojen lämmityksessä olisi sopivaa.

Taulukko 11. Hevosenlannan hyötykäyttömahdollisuudet energiantuotannossa Haapialan tilalla.

Energian tuotantomuoto	Käyttökelpoisuus Haapialan tilalla	Perustelu
Poltto	Ei	Taloudellisesti kannattamaton, lantaa ei haluta hävittää
Biokaasutus	Ei	Tarpeeton, liian suuri investointi
Kaasutus	Ei	Tarpeeton, liian suuri investointi, hevosenlanta tuntematon polttoaineena
Koneellinen kompostointi & LTO	Ei	Liian suuri investointi, tarpeettoman tehokas käsittelymuoto
LTO lantalasta	Kyllä	Sopivan suuruinen investointi kokeilumielessäkin, mahdollinen asentaa myös jälkikäteen
LTO lämpöpumpun avulla	Mahdollisesti	Mikäli lantalämmöstä todetaan saatavan tarpeeksi energiaa että kannattavampaa tuottaa lämpöä tällä hakkeen sijaan . Vaatii lisätutkimuksia.

Tilalla on myös laajentumissuunnitelmia ja esimerkiksi asiakaskyselyn mukaan tallilla olisi tarvetta rakentaa pihatto. Tässä työssä käsitellään myös pihatton kestopatjan aikaansaaman lämmön talteenottoa ja hyötykäyttöä, mikä olisi hyvin mielekästä ja taloudellisesti järkevää.

8.4 Lantalämmön hyödyntäminen nykyisissä tiloissa

Haapialan tilalla on joitain lämmitettäviä kohteita, joiden soveltuvuutta lantalämmön hyödyntämisen kohteeksi arvioidaan tässä luvussa. Koska lantalämmöstä saatava vesi on matalaenergistä ja lämpöpumppua ei haluta käyttää lisäenergian tuottamiseksi, on nykyisissä tiloissa joitain haasteita lantalämmön taloudelliseksi ja järkeväksi hyödyntämiseksi. Veden matala lämpötila soveltuu ensisijaisesti lattialämmityksessä käytettäväksi, sillä vesikiertoisten pattereiden veden lämpötilan tulee olla huomattavasti korkeampi, jopa 70-asteista (Reilax Oy 2013).

Aiemmin jo todettiin, että lantalämmöllä ei haluta esilämmittää käyttövetä legionella-bakteerin riskin vuoksi. Lantalämmön hyödyntäminen nykyisissä tiloissa on myös selvästi haastavampaa, kun uudisrakennuksessa lantalämmön hyödyntämistä varta vasten suunniteltujen rakenteiden avulla.

8.4.1 Tallit

Ison tallin sosiaali- ja varustetiloja (pinta-ala yhteensä noin 25 m^2 / 60 r-m^3) lämmitetään lämpökeskuksesta tulevalle lämmöllä lattialämmityksen avulla. Tämä lämmönjakotapa on erittäin sovelias lantalämmöstä saatavan energian hyötykäyttöön, sillä lattialämmityksen vesikierron lämpötilan optimaalinen lämpötila on 27-45 astetta (Uponor 2013) ja lantalämmöstä otaksutaan saavan noin 30-asteista vettä ympäri vuoden.



Kuva 11. Ison tallin käytävä. Takana näkyy lantalaan johtava ovi. (Kuva: Elina Kukkonen arkisto 2013)

Tallin hevosten asumistilaa ei lämmitetä. Lisälämpöä tallien puolella tarvitaan talven kovina pakkaspäivinä (-20 C tai alle tai pidempään jatkuneet pakkaset), jolloin tallien lämpötila jäähtyy päiväsaikaan hevosten ollessa päivittäin noin 8 tuntia ulkona. Ison tallin lisälämmitys pakkaspäivinä on hoidettu voimavirtakäyttöisellä, 8,1 kilowatin tehoisella suurteholämmittimellä. Esimerkiksi kuluvana talvena 2012-2013 lisälämmitystä ollaan tarvittu vain muutamina päivinä ja muinakaan talvina käyttö ei ole ollut kovin laajamittaista. Pieneen talliin on asennettu sähkökäyttöinen lattialämmitys, joka ei kuitenkaan ole normaalisti käytössä. Näin ollen lantalämmön hyödyntämistä tallin puolelle asennettavalla lämmönjakojärjestelmällä (vesikiertopatteri) ei katsota olevan tarvetta.

8.4.2 Konehuoltotilat

Lämpökeskus jakaa lämpöä myös traktorihalliksi kutsuttuun tilaan (pinta-alaltaan 36 m^2 / 90 r-m^3) sekä saman rakennuksen päädyssä sijaitsevaan sauna- ja kammaritilaan (pinta-alaltaan yhteensä 30 m^2 / 73 r-m^3). Kyseisissä tiloissa pidetään yllä noin 15 asteen peruslämpöä ja lämmönjako tapahtuu pääasiallisesti vesikiertoisten pattereiden avulla. Vesikiertoiset patterit vaativat lattialämmitystä selkeästi lämpimämmän veden lämpötilan, kovilla pakkasilla jopa 70-asteisen veden (Reilax 2013), ei lantalämmön tuottaman lämmön voida sellaisenaan olettaa riittävän edes peruslämmön pitämiseen konehuoltotilassa. Konehuoltotilojen lämmittäminen lantalämmön avulla vaatisi rinnalle vähintään varalämmönlähteen, todennäköisesti jatkuvaan käyttöön, joten lantalämmön hyödyntäminen konehuolto- ja saunatiloissa ei ole mielekästä lämmönjakotavan vuoksi.



Kuva 12: Iso talli, oikealla konehuoltotilat ja sauna. (Kuva: Elina Kukkosen arkisto 2013)

8.4.3 Asuinrakennukset

Haapialassa on kaksi asuinrakennusta vakituksessa käytössä. Pienempi, 100-neliöinen omakotitalo sijaitsee noin 180 metrin päässä tallin pihapiiristä. Talo on hiljattain laajennettu nykyisiin mittoihinsa ja sinne on vedetty lämpökeskukselta vesikiertoputket, joiden tuoman lämmön avulla lämmitetään talon vesikiertoisia pattereita. Hevosennallan lämmittämällä, noin 30-asteisella vedellä ei ole järkevää lämmittää kohdetta, joka sijaitsee niin kaukana ja jonka lämmönjakotapa vaatii huomattavasti lämpimämpää vettä, mitä lantalämpö voi tuottaa. Sivurakennuksen soveltuvuutta lantalämmön hyötykäytön kohteeksi puoltaisi se, että talon käyttövesi lämpeää omalla, sähkökäyttöisellä lämminvesivaraajalla. Tällöin esimerkiksi kesäajan lämpimän veden saanti olisi turvattu, vaikka lantala olisi melko tyhjillään. Koska lantalämmön tuottama lämpö hupenisi jo matkalla rakennukselle, ei sen käyttö kuitenkaan ole luonnollisestikaan mielekäästä.

Tilan päärakennus sijaitsee tallin pihapiirissä. Päärakennus on noin 150-neliöinen, yksikerroksinen talo, jonka vesikiertoisia pattereita lämmittää lämpökeskus. Myöskään päärakennusta ei katsota olevan mielekäästä lämmittää lantalämmöllä lämmönjakotavan vuoksi. Lisäksi energian saantivarmuudesta ei ole täyttä takuuta, sillä asuinrakennuksen suhteen sisälämpötilan tulisi pysyä melko vakiona ja yli kahdessakymmenessä asteessa asumisviihtyvyyden vuoksi. Lisäksi päärakennuksen eristys ja tiiveys on erittäin heikkoa, minkä vuoksi sen lämmöntarve on suhteellisen korkea.

8.5 Lantalämmön hyödyntäminen uudisrakennuksessa

Savonlinnan seudulla tallipaikkojen kysyntä on vakaata ja tilalla on ajoittain laajennussuunnitelmia. Seuraavassa käsitellään lyhyesti lantalämmön hyödyntämismahdollisuuksia uudisrakennuksissa, joita ovat talli, pihatto sekä maneesi.

8.5.1 Talli

Haapialan tilalla on kaksi tallirakennusta, joista alkuperäinen talli on rakennettu vuonna 1989 ja uudempi, pieni tallirakennus valmistui vuonna 2010. Laajentumispaineita asiakaspaikkojen lisäämiseksi tilalla jossain määrin on, mutta yhtenä ongelmana on pihan ja toimintojen logistisuus. Pihapiirissä ei juurikaan ole sopivaa tilaa rakentaa uutta tallia, jonka tulisi kuitenkin olla lähellä esimerkiksi lantala, ettei karsinnoista siivottua lantaa tarvitse työntää kottikärryissä suuria matkoja tai pitkin pihamaata, jolloin siihen menee turhaan aikaa, voimaa ja se lisää esimerkiksi pihan roskaantumista.

Nykyisissä tallirakennuksissa molempien tallien hevosten varusteet sijaitsevat isossa tallissa. Koska tallin varustetilaa ei alunperin ole suunniteltu näin suurelle hevosmäärälle, alkaa sen käyttökapasiteetti olla äärirajoillaan ja tilat käydä ahtaaksi. Uudessa tallirakennuksessa tulisi siis olla uusi varustehuone, jota tyypillisesti lämmitetään, ettei nahkatavarat homehdu ja märkien tarvikkeiden kuivatus onnistuisi. Mikäli uudelle tallirakennukselle löytyisi sopiva paikka, se sijaitisi lähellä lantala ja näin ajatellen lantalasta olisi mahdollista ja loogista vetää lantalan alla kiertävä vesikiertoputkisto lämmittämään uuden tallirakennuksen varustetilaa lattialämmityksen avulla.

8.5.2 Pihatto

Pihatto, eli hevosten pitoon soveltuva ratkaisu, jossa hevoset pääsevät vapaasti kulkemaan sääsuojana kulkevan kylmän hallin sekä ulkotarhan välillä, on Haapialan tilan potentiaalisesti todennäköisin laajentumisvaihtoehto. 4-6 hevosen pihatolle olisi asiakaskyselyn mukaan tarvetta. Pihatossa pidetään alustana kestopatjaa, eli ratkaisua, jossa alusena käytetään tyypillisesti turvetta ja/tai olkea ja alustasta siivotaan vain lantakikkareet pois ja lisätään kuivaa kuiviketta päälle, jotta hevosilla on aina puhdas ja kuiva makuusija. Patjassa kuivike, lanta ja virtsa hajoavat ja patja lämpenee kompostoitumisen ansiosta.

Pihattoa itsessään ei lämmitetä, mutta hevosilla tulee aina olla juotavaa tarjolla ja

talvipakkasilla veden pysyminen sulana pihatto-olosuhteissa vaatii useimmiten lämmitettävän vesiastian. Hevosten ämpärijuottaminen pihatto-olosuhteissa altistaa hevosen nestehukalle ja lisää ähkyn vaaraa (Suomen Hevostietokeskus 2013).

Niinpä pihaton pohjavaluun asennettavien lämmöntalteenottoputkien avulla vaikuttaisi olevan tarkoituksenmukaista lämmitellä hevosten **vesiastiaa**. Pihattoon tarkoitetut automaattiset, lämmitettävät vesiastiat ovat tyypillisesti 80-180 Watin tehoisia (Pelma Oy 2013). 80 Watin juomakupin lämmitys 6 kuukauden aikana kuluttaa energiaa yhteensä noin 350 kWh vuodessa, mihin lantalämmön tuotto riittäisi hyvin. Jos pihaton pohjavaluun asennettaisiin lattialämmityspotket ja putket kierrettäisiin kulkemaan pihaton vesikupin kautta vettä lämmitämään, saataisiin pihaton kestopatjan tuottama lämpö hyödynnettyä suoraan paikallisesti ja palovarmalla tavalla. Vesikiertoa pyörittämään riittäisi pienitehoinen, esimerkiksi 30 Watin kiertovesipumppu. Putkistoon olisi todennäköisesti tarpeen lisätä pakkasenkestävää nestettä.

8.5.3 Maneesi

Haapialan talli on profiloitunut harrasteratsujen täysihoitopaikaksi eikä maneesille, eli ratsastushallille, ole toistaiseksi ollut juuri tarvetta tai kysyntää. Lähistöllä on kaksi täysihoitopaikkoja tarjoavaa maneesitallia, joiden asiakaspaikat eivät useinkaan ole täynnä, osasyynä todennäköisesti maneesitallien korkeampi hintataso. Lisäksi Etelä-Savon suotuista talvi-ilmasto sallii melko täysipainoisen harrastamisen ja hevosen treenauksen myös hyvin hoidetulla ulkokentällä myös talvikaudella.

Mikäli maneesi rakennettaisiin ja siellä haluttaisiin hyötykäyttää lantalämpöä, tulisi maneesi rakentaa melko hyvin eristetyksi, tiivisrakenteiseksi ja lähelle lämmönlähdettä eli lantala. Tähän ei tilan nykyisen tilaratkaisut anna kovin hyvin myöden. Lämmitetty maneesi ei ole hevospiireissä arjen luksusta vaan erityistapaus, jollaisia on Suomessa muutamia (mm. Ypäjän hevosopistolla, Ruskeasuon maneesi Helsingissä sekä Talli Wistillä Lohjalla). Maneesin lämmitäminen hevosenlannan kompostoituaan tuottamalla lämmöllä olisi erittäin taloudellinen tapa lämmitellä valtavaa hallia, mutta Haapialan tapauksessa turhan abstrakti visio.

9 Lantalan lämpötilamittaukset Haapialan tilalla

Opinnäytetyön suunnitelman kohteena olevalla Haapialan tilalla tehtiin helmimaaliskuussa 2013 kenttäkokeita, joiden tarkoituksena oli selvittää suuntaa-antavasti, paljonko lantalasta vesikiertoon siirtyvä lämpö voisi olla. Aiheesta ei löytynyt kirjallisuus- tai tutkimustietoa ja työssä haastateltujen muutamien talliyrittäjien kertomien veden lämpötilalukemien tueksi haluttiin vielä omakohtaista kokemusta ja mielellään lämmityskauden aikana.

Kenttäkokeissa haudattiin lantalaan syksyn 2012 ja talven aikana kertyneen lannan (laskennallisesti noin 115 m³) sekaan tilavuudeltaan eri kokoisia, vedellä täytettyjä muoviastioita hieman eri syvyyksiin ja osiin lantalaan ja mitattiin niiden veden lämpötilaa. Kokeen kokonaiskesto oli 16 vuorokautta ja lämpötilat vaihtelivat testausaikana noin 20 pakkasasteen ja muutaman plussasteen välillä.. Hevosenlannan lämpötilaa ei mitattu kokeen aikana.

Litran, 1,5 desilitran sekä puolen desilitran vetoiset, vedellä täytetyt astiat haudattiin lantalaan noin puolen metrin syvyyteen siten, että joka puolella astioita oli hevosenlantaa. Näiden astioiden lämpötila mitattiin kuutena peräkkäisenä päivänä ja tämän jälkeen 14 päivän kuluttua ensimmäisestä mittauksesta. Mittausten rytmityksellä pyrittiin selvittämään veden lämpenemisen nopeus sekä lannan ilmastamisen vaikutus veden lämpötilaan. Lantaa ei varsinaisesti pyritty kääntämään tai ilmastamaan, mutta käytännön toteutuksen vuoksi astioiden päällä oleva lanta kaivettiin ennen mittausta pois ja mittauksen jälkeen käännettiin takaisin lannan päälle, jolloin lanta väkisinkin ilmastui. Toisaalta myös kovien pakkasten aikaan voidaan otaksua myös lämmön karkaavan, kun lantaa käännettiin. Ensimmäisen viikon jälkeen purkkien päälle myös tuotiin muutamia kottikärryllisiä karsinoista siivottua hevosenlantaa, koska normaalistikin siivottu lanta pyritään levittämään tasaisesti koko lantalan alueelle.

Yksittäinen 5,5 litran vetoinen, vedellä täytetty astia haudattiin lantalan reunalle siten, että se lepäsi lantalan betonipohjan päällä. Astian päällä oli noin puoli metriä verran lantalaan kertynyttä hevosenlantaa ja sivuilla myös noin puoli metriä lantaa reunaan

päin. Veden lämpötila mitattiin testausaikana 14 vuorokauden jälkeen. Vesiastian ympärillä olevaa lantaa ei möyhitty eikä astiaa nostettu lannan seasta pois kokeen aikana. Kahden viikon mittausajanjakson jälkeen astia siirrettiin kahdeksi vuorokauksi keskemälle lantalaa, jossa se haudattiin jälleen betonipohjaan saakka. Tarkoitus oli simuloida lannan antaman lämmön vaikutusta valussa kiertävään veteen siltä osin, kun se oli kokeen tiimoilta mahdollista.

Pienempien astioiden lämpötila kohosi alle vuorokaudessa ensin yli 40 asteeseen ja sen jälkeen vakiintui koko mittausajaksi 36-39 asteeseen. Alkuajan korkeamman lämpötilan arveltiin johtuvan mittauskautta edeltäneestä lauhasta ajanjaksosta. Astioiden veden lämpötilan huomattiin siis korreloivan ulkolämpötilaan. Sivummalla olleen astian lämpötila oli kahden viikon jälkeen vain 14 astetta. Kun astia siirrettiin keskemälle lantamassaa, sen lämpötila kohosi kahdessa vuorokaudessa 38 asteeseen. Ympäröivän lannan määrä vaikuttaa siis lannan lämpötilaan. Haapialan tallin lantalan lämpötilat vahvistivat työssä haastateltujen tallinpitäjien kertomia lantalan lämmittämän veden lämpötiloja. Mitatut vesi- ja ulkoilmanlämpötilat on esitetty tämän työn liitteessä numero 1.

10 Lanta lämmönlähteenä vesikiertoisessa lämmitysjärjestelmässä Haapialan tilalla

Haapialan tallin kohdalla lannan tuottaman lämmön hyötykäyttöä käsitellään nimenomaan lannan lantalassa tapahtuvan passiivisen kompostoitumisen tuottaman lämmön näkökulmasta. Lantaa kerätään ja varastoidaan lantalassa noin puoli vuotta ennen sen käyttöä peltolannoitteena oman tilan pelloilla. Tällöin lanta on hyvin kompostoitunutta ja lannoitteeksi sopivaa. Valittu menetelmä tukee ensisijaisesti lannan hyötykäyttöä peltolannoitteena ja sen toissijaisena tarkoituksena on tuottaa paikallista, uusiutuvaa energiaa tallitilojen lämmitykseen.

10.1 Idea

Haapialan tilan lantalämmön hyödyntämiseksi lantalan betonilaatan päälle asennetaan rauditusverkkoon sidottua, nesteellä täytettävää lattialämmitysputkea. Putkiston päälle valetaan uusi betonilaatta, jota lantalassa varastoitava hevosenlanta kompostoituaan lämmitteää ja lämpö siirtyy lantalan nestekierrosta lämmitettävien tilojen lattialämmityksen nestekierto on joko suoraan tai levylämmönsiirtimen avulla. Pienitehoinen kiertovesipumppu kierrättää lantalan nestekiertoa. Pukuhuoneen olemassaolevan jakotukin kautta säädetään pukuhuoneeseen sekä varustahuoneeseen menevien lämmityspiirien virtaamia. Huoneiden lämpötilaa seurataan lämpömittareilla ja mikäli lantalan lämpö ei riitä, otetaan käyttöön varalämmönlähteen tuottama lämpö. Lantalan arvioitu lämmöntuotto on vähintään 13 140 kWh vuodessa ja tilojen vaatima lämpömäärä yhteensä noin 3000 kWh vuodessa. Tilojen huippulämmöntarpeen perusteella vaaditaan kuitenkin noin 2 kW:n tehoista lämmönlähdettä, (Haapialan lantalan teho on laskennallisesti 1,5 kW) jolloin tarpeen vaatiessa käytetään varalämmönlähdettä. Koska lämmitettävät tilat eivät ole lämpötilan tarkkuuden suhteen kovinkaan vaateliaita, on varalämmönlähteen käyttö hyvin harkinnanvaraista huippulämmöntarpeen aikana.



Kuva 13. Tallin pukuhuone. (Kuva: Elina Kukkoson arkisto 2013)



Kuva 14. Tallin varustehuone. (Kuva: Elina Kukkosen arkisto 2013)

10.2 Tekniikka

Soveltuvaa tekniikkaa valittaessa täytyi ensisijaisesti pohtia, käytetäänkö lannasta saatua lämpöä energiantuotantoon ilman lämpötilan nostoa lämpöpumpun avulla vai käytetäänkö hyväksi lämpöpumpputekniikkaa. Maalämpötekniikan hyödyntäminen todettiin kuitenkin liian arvokkaaksi investoinniksi. Lantalan tuottaman lämmön hyödyntämisestä ilman lämpöpumppua on saatu hyviä esimerkkejä esimerkiksi Pinewoodin ja Taipaleen talleilta. Tässä luvussa esitellään lämmitysjärjestelmän tekniikka pääpiirteissään eikä luvun ole tarkoitus olla tarkka asennusohje. Varsinainen suunnittelutyö tulisi tehdä LVI-suunnittelijan toimesta, mutta seuraava selvitys on yksi esimerkki, miten työ voitaisiin toteuttaa.

Lantala tullaan tyhjentämään ja remontti ajoittamaan samanaikaisesti lantalan katteen rakentamisen kanssa. Työ on helpointa tehdä kesäaikaan, jolloin suurin osa hevosista on yötpäivää laitumella ja karsinoista ei juurikaan tarvitse siivota lantaa.

Lantalan nykyisen betonilaatan päälle asennetaan rauditusverkko ja siihen sidotaan sidontalangalla kiinni muovista lattialämmitysputkea, joka on tarkoitettu vesikiertoiseen lattialämmitykseen asennettavaksi. Sopiva malli on esimerkiksi 20 mm halkaisijaltaan oleva Uponor pePex -putki, jota asennetaan 300 millimetrin välein. Tällöin saadaan miminoitua kustannuksia, sillä putken valmistajan mukaan mitä suurempaa putki on, sitä pienemmät ovat kustannukset metrimäärien vähetessä. (Uponor 2010, 5.) Putkea mahtuu lantalan pohjapinta-alalle yhteensä noin 520 metriä.

Lantalaan valetaan asennettujen putkien päälle uusi, noin 50 millimetrin vahvuinen betonilaatta. Putket valetaan betoniin siksi, että lantalan tyhjennyksen koneellisesti tulee käydä ilman erityisempiä toimia ja siksi esimerkiksi lämmitysputkien asentaminen suoraan lannan sekaan ei ole hyvä vaihtoehto. Betoni on kestävyytensä lisäksi hyvä ratkaisu, sillä betoni sekä siirtää, että jakaa hyvin lämpöä. Betonin minimipaksuus lattialämmitysputkien päälle on 30 mm ja maksimipaksuus 90 mm. (Uponor 2010, 5.) Betonilaatan paksuus valetaan rakennesuunnitelmien mukaisesti. Vettä kierrättämään asennetaan esimerkiksi säädettävä, noin 30 watin tehoinen kiertovesipumppu.

Sosiaalitilojen ja varustehuoneen lattialämmityksen olemassaoleva jakotukki sijaitsee pukeutumistilassa, johon on lantalan reunalta matkaa noin 15 metriä. Lantalasta lattialämmitysputket meno- ja paluuedelle joudutaan joko asentamaan pintavetona jakotukille tai jyrsimään putkille lattiabetoniin ura tallin puolelle. Pintavedetty putki lämpöeristetään esimerkiksi styroksilla tai villalla.

Lämpöä jaetaan sosiaalitiloissa sekä varustehuoneessa olemassaolevalla lattialämmityksellä. Lantalämmön lämmittämän veden lämmön siirtäminen lattialämmityksen veteen käsitellään tässä opinnäytetyössä kolmea eri vaihtoehtoa. Yksinkertaisimpana ja halvimpana vaihtoehtona lattialämmityksen kierto liitetään lantalan alla kiertävään veteen ja sama vesi siis kiertää sekä lantalan alla, että lattialämmityksessä. Näin olen lämpöä ei tarvitse tekniikan avulla siirtää eikä

esimerkiksi lämpöhävikkiä juurikaan tapahdu. Toisena ratkaisuna on siirtää lämpö lantalan alla kiertävästä vedestä yksinkertaisena lämmönvaihtimen kautta lattialämmityksen veteen. Kolmantena vaihtoehtona on käyttää lämmön siirtämisessä lämpöpumppua, jolloin saatava lämpöhyöty kasvaa. Lämpöpumppujen lämpökerroin on esimerkiksi maalämpöä käytettäessä noin 2,5 (Wikipedia 2013), mutta lantalan lämmittämän veden lämpötilan ollessa arviolta noin 30-asteista voi lämpökerroin olla suurempikin, kuten 4-4,5.

Vesikierron suorassa yhdistämisessä toisiinsa ei tule juurikaan kustannuksia muutamia liittimiä enempää. Yksinkertaiset, soveltuvat levylämmönsiirtimekset osineen maksavat noin alle 300 euroa (Energiakauppa 2013). Lämmön vedestä veteen siirtävä lämpöpumppu edustaa esimerkiksi maalämpötekniikkaa, jossa pelkän lämpöpumpun hinnaksi arvioidaan vähintään 5000-7500 euroa (GeoDrill Oy 2013). Näin ollen tässä vaiheessa, kun tarkoitus on kokeilla lantalämmön toimivuutta tehokkuutta, päätetään käyttää levylämmönsiirrintä lämmön siirtämiseksi lantalan vesikierrosta lattialämmityksen vesikiertoon. Lämpöpumpputekniikkaa käyttävä järjestelmä on tulevaisuutta ajatellen tilan mielestä kiinnostava vaihtoehto, mutta tässä vaiheessa kustannuksiltaan liian suuri ja uusitun lämpökeskuksen vuoksi myös tarpeeton.

Tilojen huonelämpötilaa tullaan tarkkailemaan huonekohtaisilla lämpömittareilla. Koska tilat eivät ole asumiskäytössä, eivät huonelämpötilat ole kovinkaan tarkkaan määriteltäviä. Varustetiloissa säilytetään pääasiassa nahkaisia satuloita ja suitsia ja sosiaalityloissa tallin asiakkaiden ratsastusvarusteita. Myös kesäisin tilat vaativat lämmitystä, sillä tiloissa varastoitavien, hevosten liikituksen aikana kastuneet varusteet, kuten satulahuovat, tulee saada kuiviksi. Mikäli tuntuu, että lantalasta saatava lämpömäärä ei ole riittävä, voidaan ottaa käyttöön varalämmönlähde (joko lämpökeskus tai haluttaessa voidaan asentaa sähkövastus).

Tämänkaltaisen järjestelmän ei vaadi erillistä varaajaa vaan perustuu lantalan jatkuvasti tuottamaan lämpöenergiaan, joka hyödynnetään suoraan kohteessa. Lantalan lämpötila talvellaakin reilusti plussan puolella, jopa yli 40 asteessa kenttätien mukaan, joten on epätodennäköistä, että putkistossa kiertävä vesi jäätyisi. Mikäli halutaan varmistaa, ettei lantalan alla kiertävä vesi jäädy, olisi siihen lisättävä pakkasenkestävää nestettä, kuten

glykolia tai bioetanolia, jonka jäätymispiste on -17 C (Wikipedia 2013). Glykolin käytölle ei ole esteitä, vaikka lantalan alla kiertävä neste haluttaisiin siirtää sellaisenaan suoraan lämmitettävän tilan alle (Turunen 2013).

10.3 Kustannusarvio ja taloudellinen kannattavuus

Taulukossa 12 on arvioitu järjestelmän perustamiskustannus ostettavien materiaalien ja palveluiden suhteen. Kustannuslaskelmaan on hyvä varata 20 prosenttia ylimääräistä liikkumavaraa odottamattomien kustannusten varalta.

Taulukko 12. Arvio lämmitysjärjestelmän kustannuksista. (1: Uponor 2013, 2: Biltema 2013, 3: Jodat Ympäristöenergia Oy 2013, 4: Turunen S. 2013, 5: Rudus 2013, 6: Byggmax 2013.)

Materiaali	Määrä	Hinta à (sis. ALV)	Hinta yhteensä (sis. ALV)
Lattialämmitysputki	550 m	¹ 2,6 €/m	1 430 €
Kiertovesipumppu	1 kpl	² 45 €	45 €
Levylämmönsiirrin	1 kpl	³ 280 €/kpl	280 €
Liittimiä yms. (arvio)	-	-	⁴ 200 €
Betonivalu	7,8 m ³	⁵ 130 €/m ³	1 014 €
Rauditusverkko	13 kpl	⁶ 35 €/kpl	455 €
		YHTEENSÄ	3 424 €

Työ tullaan tekemään itse, jolloin työn hinnaksi on vuoden 2012 tilinpäätöksen perusteella laskettu 4 €/tunti (Kukkonen E. 2013) ja työhön on arvioitu kuluva 4 tuntia verkon ja lämmitysputkien asennukseen, 16 tuntia valuun ja 10 tuntia putkien läpivientiin ja muuhun työhön, yhteensä 30 tuntia. Tällöin työn hinnaksi tulee tilan oman väen voimin tehtynä 120 €, ja ostopalveluna sama työ maksaisi noin 1200 € (40 €/tunti, sis. ALV (Turunen 2013)). Työn osuus kokomiskustannuksessa ei ole merkittävä, vaikka työhön kuluisi arvioitua enemmän aikaa. Ostomateriaalien ja -palveluiden, 20 prosentin marginaalin sekä työn osuuden kokonaiskustannukseksi tulee noin **4230 €**(sis. ALV).

Annuiteettimenetelmällä voidaan laskea investoinnin taloudellinen kannattavuus. Menetelmä soveltuu sellaisille investoinneille, joiden tuotto on melko vakio (Tyni 2007, 20), kuten lantalämpöjärjestelmän tuotto on. Saadun annuiteetin eli järjestelmän vuosikustannuksen avulla saadaan laskettua tuotetun energian hinta, jota voidaan verrata hakelämmön sekä ostosähkön hintaan.

Annuiteetin laskemiseen tarvitaan lähtötiedoiksi alkukustannus, investoinnin pitoaika sekä laskentakorkokanta. Saadusta annuiteetista vähennetään jäännösarvon, eli järjestelmän pitoajan jälkeen investoinnin arvon annuiteetti. (Tyni 2007, 18-19.) Investoinnin pitoajaksi tässä laskelmassa käytetään 10 vuotta, minkä pitäisi täytyä helposti lantalämpöjärjestelmän käyttöikä. Laskentakorkokantana käytetään 10 %:ia. Investoinnin annuiteettitekijä on siten 0,162. Investoinnin annuiteetin suuruus on 685 € ja jäännösarvon (500 €) arvo 31,20 €, yhteensä annuiteetti eli vuosikustannus on 716 €. Järjestelmän vuosikustannuksiin tulee lisätä 30 Watin kiertovesipumpun kuluttama energia, mikä on vuositasolla 263 kWh. Sähkön sähköverollinen, siirtomaksun sisältämä hinta on noin 15 senttiä/kWh (Suur-Savon sähkö 2013), jolloin pumpun vuosikustannus on noin 40 €. Vuosikustannukset järjestelmälle ovat yhteensä siis **756 €**. Tällä voidaan tuottaa 13 140 kWh lämpöenergiaa, jolloin tuotetulle energialle saadaan hinnaksi **5,7 senttiä/kWh** (sis ALV).

Tuotetun energian hintaa voidaan verrata esimerkiksi hakelämmön sekä ostosähkön hintaan. Ostosähkön todettiin jo aiemmin maksavan noin 15 senttiä/kWh (Suur-Savon Sähkö Oy 2013), jolloin lantalämmön tuottama energia on selvästi sähköä edullisempaa. Hakelämmön hinta on noin 1,5-2,5 senttiä/kWh (Metsäkeskus 2008, 6), joten hakelämmön hintaan nähden lantalämpö on hieman kalliimpaa lämpöenergiaa. Kuten jo aiemmin todettiin, ei järjestelmällä ole tarkoitus korvata hyvin edullista hakelämpöä eikä se taloudellisesti ajateltuna ole järkevää.

10.4 Hyödyt, haitat ja mahdollisuudet

Suunnitellun kaltainen lämmitysjärjestelmä jo olemassa oleviin rakenteisiin on haastavaa, mutta Haapialan tilalle sille löytyi kuitenkin realistinen käyttökohde ja tarve.

Lantalasta saatava lämpöteho on yllättävän suuri ja veden lämpötila on jo sellaisenaan riittävä lattialämmityksen vesikiertoon.

Lantala oli yllättävän sovelias lämmön talteenottoa ajatellen ja lantalan alla oleva kunnollinen lämmöneristys edesauttaa lämmön talteenottoa. Järjestelmän rakentaminen ei tule ylettömän kalliiksi pienyrittäjiäkään ajatellen ja se on mahdollista asentaa myös jälkikäteen. Nykytilannetta parantaa vielä lantalan päälle suunniteltu kate, jolloin sääolot eivät vaikuta lantalaan eikä esimerkiksi tuuli pääse viilentämään lantalan pintaa.

Järjestelmän etuna on tekniikan vähyydestä johtuva vähäinen haavoittuvaisuus. Mikäli nestekierto lantalan alta liitetään kiertämään myös lämmitettävien tilojen alla sellaisenaan, on ainut tekninen laite kiertovesipumppu. Putkien sijainti valun sisällä vaikeuttaa toisaalta mahdollisten rikkojen korjaamista tai muiden huoltotöiden tekemistä. Hyötynä on edullisen energian saaminen maatilán käyttöön, mikä vähentää entisestään tilan riippuvuutta ulkoisista toimittajista ja tekijöistä ja kasvattaa tilan energiaomavaraisuutta. Lantalämpöä syntyy joka tapauksessa lannan kompostoitua passiivisesti varastoinnin aikana, joten sen hyötykäyttö on lähinnä olemassaolevien resurssien käyttöönottoa.

Lantalämmön hyötykäytön negatiivisena puolena on prosessin ja lämmönoton hallitsemattomuus. Lämmön talteenoton määrää voidaan kontrolloida hyvin huonosti, veden virtausnopeuden säätäminen on lähestulkoon ainoa tapa talteenoton hallinnoimiseksi. Riski siitä, että lämpöä lähtee prosessista liikaa ajatellen kompostoitumisen optimaalista toimintaa, on kuitenkin melko pieni suuren lantamassan, pienten lämmön hyötykäyttökohteiden ja lämmön talteenottotavan vuoksi.

Käyttökokemuksen laajentuessa ja lämmönsaannin ja -varmuuden tarkentuessa lantalämmöllä on jo teoriatasollakin mahdollista lämmittää suurempiakin tiloja, kuin mitä tässä työssä päädyttiin lämmittämään, mikäli matalaenerginen vesi soveltuu lämmönjakotavaltaan käyttökohteeseen. Lämpöenergiapotentiaalia voidaan halutessa nostaa lämpöpumpun avulla.

11 Johtopäätökset ja tulosten arviointi

Lantalan, eli varastoinnin aikana lannan passiivisessa kompostoinnissa vapautuvaa lämpöä ei Suomessa yleensä oteta talteen. Hyötykäyttäjät ovat yksittäisiä talliyrittäjiä ja esimerkiksi kaupallista, valmista tuotetta tai suunnitelmaa talliyrittäjien käyttöön ei ole tarjolla. Kuitenkin esimerkiksi tuotantoeläinten puolella tätä tilannetta ollaan jo lähestytty ja ainakin kaksi eri yritystä tarjoaa lantalan lämmön hyötykäyttöä varten valmiita maalämpötekniikkaan perustuvia tuotepaketteja. Koska talliyrittäjäys harvoin on kovinkaan tuottoisaa yritystoimintaa, monia talliyrittäjiä varmasti kiinnostaisi edullinen, yksinkertainen tapa hyödyntää lantalan tarjoama energia ilman suuria investointitarpeita. Lantalan pohjalaatan kautta tapahtuva lämmön talteenotto on ratkaisu tähän tarpeeseen. Jätkikäteén tehtynä järjestelmän perustamiskustannus on muutamia tuhansia euroja, lantalan rakentamisen yhteydessä lähinnä vain lattialämmityspotken hinnan ja kiertovesipumpun verran.

Lannan lämmittämä vesi on kokemusten mukaan vähintään 30-asteista betonilaatankin läpi talteenotettuna. 30-asteinen vesi on sellaisenaan riittävän lämmintä lämmönjakotapoihin, joihin soveltuu matalaenerginen vesi, kuten lattialämmitykseen. Talteenottotavasta riippuen veden lämpötila voi olla lämmityskaudella suurempikin; työssä tehdyn kokeen perusteella suoraan lannasta veteen siirtyvä lämpö nosti veden lämpötilan pakkaskaudellakin jopa yli 40 asteeseen. Lämpöpumpun avulla nesteen lämpötilaa ja energiasisältöä on mahdollista nostaa, jolloin lantalämmön hyötykäyttökohteet laajentuvat.

Tässä työssä todettiin lannasta ja lantalasta saatavan lämpöenergian saantimäärän olevan lievästi ristiriidassa teoreettiselta ja käytännön kannalta. Lantalan tuottama kompostilämpö on aihe, joka vaatisi lisää tutkimusta esimerkiksi kompostoitumisen ja typen yhdisteiden hajoamisen täydellisyyden suhteen, jotta varmoja johtopäätöksiä lannan kompostilämmöntuotosta voitaisiin tehdä. Hevosenlannan hyötykäytettävän kompostilämmön tehoksi laskettiin 390 W hevosta kohti, mikä on hieman enemmän kuin mitä esimerkiksi lihanauta tuottaa. Kompostilämmön määrä riippuu koko kompostointiprosessin toimivuudesta eikä kaikkea teoreettista lämpöä voida hyödyntää

ilman, että kompostoitumisprosessi kärsisi. Luonnollisesti lantala eroaa toimintaympäristönä myös esimerkiksi suljetusta, hallitusta reaktorikompostorista.

Lantalan pohjalaatasta talteenotettava lämmön hyötykäyttökohde tulee valita tarkoin, etenkin jos varalämmönlähdettä ei ole käytössä. Varalämmönlähde, kuten sähkövastus, olisi aina hyvä liittää järjestelmään joko ennakoimattomien muutosten vuoksi tai esimerkiksi lantalan tyhjennyksiä ajatellen. Myös esimerkiksi muutos hevospäärästä vaikuttaa saadun lämpöenergian määrään. Mikäli lämmön hyötykäyttökohde ei ole hyvin vaateliias vaaditun lämpötilan suhteen ja saantivarmuuden suhteen siedetään poikkeamien mahdollisuus, voidaan lantalämpöä käyttää ainoanakin lämmönlähteenä. Tällainen kohde on usein esimerkiksi hevostallien sosiaalitilat ja varustehuoneet.

Mielenkiintoinen mahdollisuus on lämmön talteenotto pihatton betonilaatasta ja talteenotetun lämmön hyötykäyttö pihattohevosien juomaveden lämmittämisessä talvikaudella. Tämänkaltaisen energian paikallinen hyötykäyttö, jossa energialle on selkeä tarve, edustaa parhaimmillaan arjen pieniä ekotekoja ja lisää maatalojen energiaomavaraisuusastetta askel kerrallaan. Kompostilämmön tuotossa ja talteenotossa tila voi saavuttaa merkittäviäkin säästöjä energianhankintakustannuksissa sekä kasvattaa energiaomavaraisuuttaan. Kompostointiratkaisut ja lämmön talteenotto yksinkertaisen vesikiertojärjestelmän avulla ovat taloudellisia ja siten realistisia ratkaisuja jo yhden tilan kokoluokassa.

Suurempana kokonaisuutena tilan sekä paljon hevosia sisältävien alueiden hevostallien kuivike- ja lantahuoltoa tulisi miettiä koko kuivikkeen ja kuivikelannan elinkaaren kannalta sekä sitoa tähän yhteyteen mahdollisuuksien mukaan energiantuotto. Kuivikevalinta tulisi tehdä hevosen hyvinvoinnin lisäksi myös lannan jatkokäyttöä ajatellen ja tarpeen mukaan olla valmis vaihtamaan tilan käyttämää kuiviketta, jos hevosenlannan jatkokäyttömahdollisuudet niin edellyttävät.

Käytettäessä turvetta kuivikkeena, on kompostoidun turvelannan hyötykäyttö lannoitteena tarkoituksenmukaisinta. Etenkin käytettäessä puupohjaisia kuivikkeita, tilat voisivat pyrkiä yhteistyöhön niin toisten maatalojen kuin viranomaisienkin kanssa, jotta voitaisiin löytää mahdollisesti yhteinen ratkaisu hevosenlannan hävittämiseksi ja

samalla energiantuottamiseksi. Hevosenlannan kuljettaminen pitkien matkojen päähän olisi täysin korvattavissa paikallisella käsittelyllä, kuten biokaasutuksella tai polttamisella, joilla voitaisiin tuottaa hiilidioksidineutraalia, uusiutuvaa energiaa lähialueen tarpeeseen. Hevosenlannan keskitettyä käsittelyä ja sen merkitystä alueellisessa energiantuotannossa ei ole ilmeisesti juurikaan mietitty, mutta se olisi etenkin hevosrikkailta seuduilla, kaupunkien ja asutuksen läheisyydessä vartenotettava ajatus. Alueellisissa ratkaisuissa kunnan rooli voisi olla aktiivinen, sillä kuntatasolla on tieto alueen kaavoituksesta ja sekä nykyisestä, että suunnitellusta käytöstä. Alueellisissa ratkaisuissa myös tehokkain tapa energian tuottamiseksi, eli hevosenlannan poltto, olisi taloudellisesti mielekästä talliyrittäjille.

Lähteet

- Ahlqvist, T. 2012. Toimitusjohtaja. Pinewood Stables Oy. Suullinen haastattelu 27.11.2012.
- Ahlqvist, T. 2012. Toimitusjohtaja. Pinewood Stables Oy. Sähköposti 11.12.2012.
- Airaksinen, S. 2006. Bedding and Manure Management in Horse Stables. Its Effect on Stable Air Quality, Paddock Hygiene and the Compostability and Utilisation of Manure. Kuopio. Väitöskirja. Kuopion yliopiston julkaisuja C. Luonnontieteet ja ympäristötieteet 190.
- Airaksinen, S. Lannan tuotto ja ravinteet. Suomen Hevostietokeskus ry.
<http://www.hevostietokeskus.fi/index.php?id=863&kieli=3>. 9.1.2013.
- Airaksinen, S. 2013. Tutkija. Suomen Hevostietokeskus ry. Sähköpostiviesti. 10.1.2013.
- Airaksinen, S. 2012. Tutkija. Suomen Hevostietokeskus ry. Sähköpostiviesti. 16.10.2012.
- Airaksinen, S. Kysymys 584524. Kysy asiantuntijalta. Talliympäristö. Suomen Hevostietokeskus.
http://www.hevostietokeskus.fi/uploads/files/esimerkit_2_1.pdf. 28.2.2013.
- Alho, P., Halonen S., Kuuluvainen, M. & Matilainen H. 2010. Hevosenlannan hyötykäytön kehittäminen. Turku. Turun ammattikorkeakoulun raportteja 106.
- Biltema. 2013. Kiertovesipumppu. Verkkokauppa.
<http://biltema.fi/fi/Rakentaminen/LVI/Lampopatteri-ja-lampo/Pumppu/Kiertovesipumppu-866080/>. 6.3.2013.
- Byggmax Oy. 2013. Raudoitus ja tarvikkeet. Raudoitusverkko. Verkkokauppa.
http://www.byggmax.com/fi-fi/rakennustarvikkeet/valu-ja-talon-perustukset/valu-muuraus-ja-rappaus/raudoitus-ja-tarvikkeet/20907/raudoitusverkko#Product_information. 6.3.2013.
- Ekholm, E. & Lehto, T. 2001. Suomalaisten kompostointilaitoksten toimivuus ja tehostaminen. Arvio Hyvinkään, Oulun ja Ämmässuon kompostointilaitosten toimivuudesta. 21.12.2001. Jaakko Pöyry Infra, Maa ja Vesi. Tilaaajana Jätelaitosyhdistys ry. http://www.jly.fi/komplait_B.pdf
- Ekholm, E. & Lehto, T. 2001. Suomalaisten kompostointilaitoksten toimivuus ja tehostaminen. Väliraportti. Osa A. 4.6.2001. Jaakko Pöyry Infra, Maa ja Vesi. Tilaaajana Jätelaitosyhdistys ry. http://www.jly.fi/komplait_A.pdf.
- Ekholm, V. 2005. Legionella muhii haaleassa käyttövedessä. Artikkel. Mediuutiset 25.5.2005.
<http://www.mediuutiset.fi/uutisarkisto/legionella+muhii+haaleassa+kayttovedess>
a/a1 27489.
- Energiakauppa. 2013. Ympäristöenergia. Lämmönsiirtimet. Verkkokauppa.
http://www.energiakauppa.com/shop/category_levyl%25C3%25A4mm%25C3%25B6nvaihdin%2520%2526%2520kierukka/levyl%C3%A4mm%25C3%B6nvaihdin_-kierukka.html.
sessid=XbGqvrtEZXuZ3dTHvyV8J34ozcllTr1oZ9PCHKIzyjJuok
rN8I3DlPswrbseXqu d&shop_param=cid%3D%26. 25.2.2013.
- Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1069/2009, annettu 21. päiväinä lokakuuta 2009, muiden kuin ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläimistä saatavien sivutuotteiden ja niistä johdettujen tuotteiden terveyssäännöistä sekä asetuksen (EY) N:o 1774/2002 kumoamisesta (sivutuoteasetus). <http://eur->

- lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.douri=OJ:L:2009:300:0001:0033:FI:PDF.
GeoDrill Oy. 2013. Maalämpöpumpun hinta.
<http://www.geodrill.fi/maalampopumpun-hinta>. 25.2.2013.
- Granström, J., Johansson, O-P., Laiho, J. & Skarra, P. Toim.). 2011. Hevosen kengitys. Opetushallitus. Tampere 2011.
- Heinonen, T. 2011. Kirjallinen kysymys 28/2011 vp. Hevosenlannan energiakäytön selvittäminen. Suomen kansallinen kokoomus ry.
http://www.eduskunta.fi/faktatmp/utatmp/akxtmp/kk_28_2011_p.shtml. 2.1.2013.
- Hevosmaailma. 2012. Lanta aina vain lisääntyvä ongelma. 2/2012, 38-41.
- Hippocon AG. 2013. Container.
http://www.hippocon.de/flash_content/flash_content.html. 11.2.2013.
- Hippolis ry. 2011. Suomalaisen hevosalan katsaus 2010.
http://hippolis.fi/UserFiles/hippolis/File/Hevosalankatsaus_uusin_pienempi.pdf
- Hippos. 2012. Ympäristötekoja käytännössä. 2/2012, 30.
- Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2007. Tutki ja kirjoita. 13., osin uudistettu painos. Keuruu 2007.
- Huttunen, R. 2013. Kestävä talliympäristö. Ympäristöystävällisen tallin malliratkaisut. Ylä-Savon koulutuskuntayhtymän rakennusprojekti 2011 – 2012. Savonia-ammattikorkeakoulu. Ylempi ammattikorkeakoulututkinto. Luonnonvara- ja ympäristöala. Maaseudun kehittämisen koulutusohjelma. 22.1.2013. Opinnäytetyö.
- Huttunen, R. 2012. Projektipäällikkö. Ylä-Savon ammattiopisto. Haastattelu 18.10.2012.
- Huttunen, R. 2012. Projektipäällikkö. Ylä-Savon ammattiopisto. Haastattelu 21.2.2013.
- Huttunen, T. 2012. Talliyrittäjä. HorseForte Oy. Haastattelu 18.12.2012.
- Härkönen, M. 2011. Kustaan hakkeen energiasisältö. Centria- tutkimus ja kehitys.
http://www.forestpower.net/data/liitteet/11231=1019_kustaan_hakkeen_energiassalto.pdf. 19.9.2011.
- Ilmastonmuutos ja maaseutu-internetsivusto (Ilmase). 2012. Juvan Bioson Oy.
http://www.ilmase.fi/site/?page_id=1105. 15.11.2012.
- Jodat Ympäristöenergia Oy. 2013. Levylämmönvaihdin & kieruka. Verkkokauppa.
http://www.energiakauppa.com/shop/category_levyl_25C3%25A4mm_25C3%25B6nvaihdin%2520%2526%2520kierukka/levyl_25C3%25A4mm_25C3%25B6nvaihdin_-_kierukka.html?shop_param=cid%3D%26. 6.3.2013.
- Johansen, C. Hästgödsel blir biogas. Kristianstad-verkkolehti. 28.1.2010,
<http://www.kristianstadsbladet.se/kristianstad/article918792/Haumlstgoumlldsel-blir-biogas.html>. 12.2.2013.
- Juntunen, M. 2012. Omistaja. Taipaleen talli. Puhelinhaastattelu 20.12.2012.
- Järnefelt, G. 2007. Puheenvuoro Hevosvaltiopäivillä loppuvuonna 2007, lyhyesti päivitettyinä, taustamateriaaliksi. Piccola Oy.
http://www.hippolis.fi/UserFiles/hippolis/File/04112009/Jarnefelt_Piccola.pdf. 11.1.2013.
- Jätelaki 17.6.2011/646. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110646>.
- Kauppinen, P. 2005. Hevosenlannan hyötykäytön mahdollisuudet. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Luonnonvarainstituutti. Huhtikuu 2005. Opinnäytetyö.
http://theseus17kk.lib.helsinki.fi/bitstream/handle/10024/20538/hevosenlannan_hyotyk_aytto_12.pdf?sequence=3.
- Kiinteistöhuolto Reilax Oy. 2013. Asumisen tietoa. <http://www.reilax.fi/index.php?>

- option=com_content&view=article&id=7&Itemid=11. 24.2.2013..
- Kilpeläinen, J. 2013. Lehtori. Karelia-ammattikorkeakoulu. Sähköposti 18.3.2013.
- Koivisto, K., Aarnio, K. & Karhunen, J. 1986. Lietelannan kompostilämmön talteenotto. Vakolan tutkimuslaskelma nro 41. Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitos. Vihti.
- Konttila, K. & Ramsay, O. 2007. Hevostallien pitäjien ja kasvinviljelijöiden yhteistyön lisääminen lannankäsittelyssä Hausjärven, Hyvinkään, Lopen ja Riihimäen alueella. Ote opinnäytetyöstä: johtopäätökset. Laurea-ammattikorkeakoulu 2007. Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma.
http://www.hevosyrittaja.fi/ep/tiedostot/Lanta_Yhteistyo.pdf. 14.1.2013.
- Komission asetus (EU) N:o 142/2011, annettu 25. päivänä helmikuuta 2011, muiden kuin ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläimistä saatavien sivutuotteiden ja niistä johdettujen tuotteiden terveyssäännöistä ja asetuksen (EY) N:o 1774/2002 kumoamisesta annetun Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EY) N:o 1069/2009 täytäntöönpanosta sekä neuvoston direktiivin 97/78/EY täytäntöönpanosta tiettyjen näytteiden ja tuotteiden osalta, jotka vapautetaan kyseisen direktiivin mukaisista eläinlääkäritarkastuksista rajatarkastusasemilla.
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:054:0001:0254:FI:PDF>. 12.1.2013.
- Kukkonen, E. 2013. Omistaja. Haapialan tila. Suullinen tiedonanto 13.1.2013
- Kukkonen, T. 2013. Omistaja. Haapialan tila. Suullinen tiedonanto 13.1.2013.
- Kyrö, A. Omistaja. Mäkelän tila. Haastattelu 11.12.2012.
- Lassi, U. & Wikman, B. 2011. Biomassan kaasutus sähköksi, lämmöksi ja biopolttoaineiksi. HighBio-projektijulkaisu. Jyväskylän yliopisto 2011.
<https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/27058/978-951-39-4313-4.pdf?Sequence=1>. 2.2.2013.
- Latvala, M. 2009. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT). Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. Suomen ympäristö 24/2009.
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=106756&lan=FI>. 2.2.2013.
- Luostarinen, S., Logrén, J., Grönroos, J., Lehtonen, H., Paavola, T., Rankinen, K., Rintala, J., Salo, T., Ylivainio, K. & Järvenpää, M (toim.).2011. Lannan kestävä hyödyntäminen. HYÖTYLANTA-tutkimusohjelman loppuraportti. MTT:n raportti. 21. Jokioinen.
- LVI-Helin. 2013. Lämpöpumpun toiminta ja lämpöpumpputyypit.
<http://www.lannenilmatekniikka.fi/pdf/Lampopumpputyypit.pdf>. 16.2.2013.
- Maaseudun tulevaisuus. 2011. Hevoskavereiden kompostilattia lämmittää tallia. Liite 3/2011 24.10.2011, 8-9.
- Malmström, S. 2012. Olkipelletin suosio kasvaa hevostalleilla buumin lailla. Hyvä peti-tyytyväinen hevonen. Hevosmaailma. 2/2012, 46-48.
- Metsäkeskus. 2008. Maatilan hakelämmitysopas. Opaskirjanen.
http://www.metsakeskus.fi/fi_FI/c/document_library/get_file?uuid=53350836-1d55-4644-aba9-b2b527a7bd0d&groupId=10156. 7.4.2013.
- Micropore Compost Cover (MOR Inc). 2013. MOR compost cover.
<http://morcompost.com/Assets/PDF/Micropore%20Cover%20Brochure%20small.pdf>. 16.2.2013.
- Motiva. 2013. Biokaasu.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/biokaasu. 7.2.2013.
- Nibe. 2012. Nibe-kiinteistölämpöpumput suuriin asuin- ja teollisuuskiinteistöihin.

- 11.5.2012.
- Oulun ProAgria. 2012. HevosAgro: Hevonen ja ympäristö.
<http://www.youtube.com/watch?v=CvS17WT5dG4>. 19.12.2012
- Pellettienergia 2013. Laskuri. <http://www.pellettienergia.fi/laskuri/index.html>.
 12.2.2013.
- Pellikka, T. Hevosenlannan pienpolttohankkeen tuloksia (2008). VTT.
http://www.hippolis.fi/UserFiles/hippolis/File/04112009/Pellikka_VTT_041109.pdf. 15.1.2013.
- Pelma Oy. 2013. Lämmitettävät juomakupit. Verkkokauppa.
http://www.pelma.fi/tuotteet/ruokinta_vesituotteet/juottoaltaat-ja-kupit/lammitettavat_juomakupit/. 26.2.2013.
- Peltonen, M. 2013. Hevosenlannalle etsitään hyötykäyttöä Orimattilassa. Hämeen Sanomat. 26.2.2013.
- Pusa, E-M & Ekroos, A. 2009. Ilmastonmuutos ja hevosenlanta – uusiutuvan energian hyödyntämistä koskevan lainsäädännön lähempää tarkastelua. Suomen ympäristöoikeustieteen seuran aikakauslehti. Numero 3-4/2009, sivut 10-27.
- Riikonen, L. 2013. Tilallinen. Suullinen haastattelu 18.2.2013.
- Rudus Oy. 2013. Betonihinnasto Etelä-Suomi.
<http://www.rudus.fi/aineistot/hinnastot>. 6.3.2013.
- Salminen, A. 2011. Mikä kirjallisuuskatsaus? Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyyppeihin ja hallintotieteellisiin sovelluksiin. Vaasan yliopiston julkaisuja. Opetusjulkaisuja 62. Julkisojohtaminen 4. Vaasa 2011.
- Skarra, P. 2013. Työ kevenee lantaimurilla. Artikkel. Hippos. Nro 2/2013, 51.
- Soininen, H., Mäkelä, L., Äikäs, V. & Lahtinen, A. 2010. Ympäristöasiat osana hevostallien kannattavuutta. Mikkeli. Mikkelin ammattikorkeakoulun tutkimuksia ja raportteja 57.
- Someron Terästyö. 2013. Referenssit. <http://www.s-net.fi/terastyo/toimitetut.asp?kategoria=Rumpukompostori>. 14.2.2013.
- Suomen Hippos ry. Hevosalan tunnusluvut. Kasvava hevosala. 2012.
http://www.hippos.fi/suomen_hippos_ry/hevosalan_tunnusluvut/kasvava_hevosala. 4.1.2012.
- Suomen Hevostietokeskus. 2013. Hevosen ruokinta.
<http://www.hevostietokeskus.fi/index.php?id=567>. 8.1.2013.
- Suomen Hevostietokeskus. 2013. Talliympäristön hoito. Lantahuolto.
<http://www.hevostietokeskus.fi/index.php?id=899&kieli=3>. 9.1.2013.
- Suur-Savon Sähkö Oy. 2013. Verkkopalvelu- ja sähköenergiatuotteiden hinnat 1.1.2013 alkaen. <http://www.digipaper.fi/suursavonsahko/103937/>. 8.4.2013.
- Säikkö, R-L. 2012. Hevosenlannan nykykäyttö ja hyödyntämismahdollisuudet energiantuotannossa Suomessa. Current Utilization of Horse Manure and Exploitation Possibilities in Energy Production in Finland. Lappeenranta. Kandidaationtyö ja seminaari. Lappeenranta teknillinen yliopisto, Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Lappeenranta.
- Tahvola, S. 2012. Jätevesilietekartoitus Vanajavesikeskuksen alueella.. Hämeen ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö 11.12.2012.
http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/53503/Tahvola_Sampo.pdf?Sequence=1. 19.1.2013.
- Tontti, T. & Mäkelä-Kurtto, R. 1999. Biojätekompostit kasvintuotannossa. Kirjallisuuskatsaus. Jokioinen. Maatalouden tutkimuskeskus.

- Turtiainen, M. 2011. Lämpöä talteen lannasta ja maasta. Koneviesti. Nro 3/2011 24.2.2011. 100-101.
- Turunen, S. 2013. Toimitusjohtaja. Rakennus S.V. Turunen Oy. Suullinen haastattelu 6.3.2013.
- Tyni, T. 2007. Investointien edullisuusvertailu. Erityisasiantuntija (kuntatalous). Kuntaliitto. Diasarja. 25.5.2007.
- Uponor Oy. 2010 Eristetyt putkistojärjestelmät. Suunnittelu ja asennus. 12/2010. 10011.http://www.uponor.fi/~media/Files/Uponor/Finland/Local_Heat_Distribution/Brochures%20-%20Eristetyt%20putkistot/Eristetytputkistotsuunasohje10011122010.pdf. 23.3.2013.
- Uponor. 2010. Lattialämmityksen asennus- ja käyttöohje. . 503 VCA 11/2010. <http://www.uponor.fi/~media/Files/Uponor/Finland/Underfloor%20heating/Installation%20manuals/Lattialmmityksenasjakytttohje5031112010.pdf>. 12.3.2013.
- Uponor Oy. 2013. Uponor-lattialämmitysjärjestelmä. Hinnasto. 1.3.2013. http://www.uponor.fi/~media/Files/Uponor/Finland/General%20information/Pricelist_2013/03_Lattialammitys.pdf. 26.2.2013.
- Vainio, A. 2012. Hevoselanta palaa iloisesti Ruotsissa. Maaseudun tulevaisuus. 18.7.2012, 9-11.
- Valtioneuvoston asetus maataloudesta peräisin olevien nitraattien vesiin pääsyn rajoittamisesta 931/2000. Annettu Helsingissä 9 päivänä marraskuuta 2000.
- Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 6. päivänä marraskuuta 2008. Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia.
- Viitanen, J. 2007. Tuki vauhdittaa lantahuoltoa. Hevoset & Ratsastus. 4/2007, 22-24.
- Wikikirjasto. 2013. Fysiikan oppikirja / Lämpö. http://fi.wikibooks.org/wiki/Fysiikan_oppikirja/L%C3%A4mp%C3%B6#Laskentaesimerkki_energiatarpeesta_veden_l.C3.A4mmitt.C3.A4miseen. 17.2.2013.
- Wikipedia. 2013. Lämpöpumppu. <http://fi.wikipedia.org/wiki/L%C3%A4mp%C3%B6pumppu>. 18.2.2013
- Wikipedia. 2013. Maalämpö. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Maal%C3%A4mp%C3%B6>. 24.12.2013.
- Ylä-Savon ammattiopisto. 2012. Kestävä talliympäristö. 2012. http://www.ysao.fi/Suomeksi/Kehittamispalvelut/Projektien_esittelyt/Kestava_talliymparisto.iw3. 31.10.2012.
- Ympäristöministeriö. 2010. Kotieläintalouden ympäristönsuojeluohje 1/2010. Ympäristöhallinnon ohjeita. Helsinki.
- Ympäristönsuojelulaki 4.2.2000/86.

Haapialan lantalan lämpötilamittausten kaavio

