



Luonnonvara- ja
biotalouden
tutkimus 30/2016

HEVOSEN LANNAN ENERGIÄKÄYTÖN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Kaisa Manninen, Juha Grönroos, Sari Luostarinen,
Markku Saastamoinen

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 30/2016

Hevoslannan energiakäytön ympäristövaikutukset

Kaisa Manninen, Juha Grönroos, Sari Luostarinen, Markku Saastamoinen

Luonnonvarakeskus, Helsinki 2016



ISBN: 978-952-326-245-4 (Painettu)

ISBN: 978-952-326-246-1 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-246-1>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Kaisa Manninen, Juha Grönroos, Sari Luostarinen, Markku Saastamoinen

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2016

Julkaisuvuosi: 2016

Kannen kuva: Anu Hämäläinen

Painopaikka ja julkaisumyynti: [Juvenes Print, http://luke.juvenesprint.fi](http://luke.juvenesprint.fi)

Tiivistelmä

Kaisa Manninen ja Juha Grönroos, Suomen ympäristökeskus SYKE
Sari Luostarinen ja Markku Saastamoinen, Luonnonvarakeskus Luke

Hevosienlanta on hevosen erittämän sonnan ja virtsan sekä kuivikkeen seos. Hevosista muodostuu kuivike- tai kuivikepohjalantaa keskimäärin noin 10 tonnia eläintä kohti vuodessa. Poneilla määrä on noin puolet tästä. Talliin kertynyt lanta varastoidaan lantaloihin. Myös osa tarhoihin ja ratsastuskeskenteille eritetyistä sonnasta kerätään lantaloihin. Loput lannasta jää tarhoihin, laitumelle ja alueille, joilla hevosilla liikutaan.

Hevosienlannan hyödyntäminen on haaste erityisesti suurille taajama- ja ammattitalleille, joilla on paljon hevosia ja jotka sijaitsevat asutuksen keskellä ilman omaa tai muutakaan peltoa, jonne lanta voitaisiin levittää. Hevosienlannan poltto onkin alalla usein nähty ratkaisuna ongelmaan. Toisaalta sen toteuttaminen pienessä mittakaavassa on haastavaa sekä teknisesti että vallitsevan lainsäädännön asettamien vaatimusten vuoksi. Suomessa Fortum Oyj on selvittänyt hevosenlannan energiakäyttöä seoksena puuhakkeen kanssa Järvenpään voimalaitoksessa. Fortum on kehittänyt toiminnasta täyden palvelun HorsePower -toimintakonseptin, jossa Fortum sekä toimittaa asiakastalleille tarvittavan kuivikkeen (sahanpuru) ja ohjeistaa sen käytön että hakee muodostuneet lannat kuljettaakseen ne hyödynnettäväksi Järvenpään voimalaitoksessa.

Tässä raportissa selvitetään hevosenlannan voimalaitoskäytön elinkaariset ympäristövaikutukset Fortumin HorsePower –konseptissa (HoPo). Niitä verrataan asiakastallien aiempaan lannankäsittelyyn, joka oli lannan toimittaminen keskitettyyn kompostointiin ja sieltä edelleen maatalouden ja viherrakentamisen tarpeisiin.

Tulosten mukaan HoPo-järjestelmä osoittautui tarkastelluissa ympäristövaikutusluokissa referenssijärjestelmää paremmaksi vaihtoehdoksi, koska se välttää kompostoinnissa sekä kompostin varastoinnissa ja käytössä muodostuvat kasvihuonekaasujen ja ammoniakkin päästöt eikä käytä ilmastomuutosta kiihdyttävää turvetta kuivikkeena. Lisäksi poltossa muodostuvat päästöt kuittaantuvat pääosin hakkeen korvaamisesta lannalla saatavilla päästöhyvityksillä.

Energiakäytössä menetettävän lannan orgaanisen aineksen mahdollisia maaperävaikutuksia päästövaikutuksineen ei kuitenkaan tarkastelussa arvioitu menetelmän puuttumisen vuoksi. Verrattuna tarkasteltuun kompostointiin muutos ei välttämättä ole merkittävä, sillä pääasiassa viherrakentamiseen päätyvä orgaaninen aines ja ravinteet eivät ole peltomaan kuntoa ylläpitämässä. Tällaisessa tapauksessa lannan energiahyödyntäminen voi olla varteenotettavampi vaihtoehto. On kuitenkin olemassa muita käsittelyvaihtoehtoja, kuten keskitetty biokaasulaitos tai lannan suora peltokäyttö, jotka mahdollistavat orgaanisen aineksen ja ravinteiden tehokkaamman hyödyntämisen. Niiden ympäristövaikutusten arviointi nyt tarkasteltujen vaihtoehtojen rinnalle loisi kattavamman kuvan hevosenlannan voimalaitoskäytön ympäristövaikutuksista.

Tämän hankkeen toteuttivat yhteistyössä Luonnonvarakeskus Luke ja Suomen ympäristökeskus SYKE Fortum Oyj:n tilauksesta.

Asiasanat: energia, hevosenlanta, lannankäsittely, kompostointi, poltto, voimalaitos.

Sisällys

1. Johdanto	5
2. Tausta	6
2.1. Hevosten määrät ja sijainnit Suomessa	6
2.2. Hevosenlannan energiakäytön tilanne Suomessa	8
2.3. Hevosenlannan soveltuvuus polttoon	9
3. Hevosenlannan käsittelyvaihtoehtojen elinkaaristen ympäristövaikutusten arviointi	10
3.1. Arvioinnin kohde ja tavoite	10
3.2. Aineisto ja menetelmät	11
3.2.1. Yleinen menetelmäkuvaus	11
3.2.2. Tavoite ja soveltamisala	12
3.3. Vaikutusarviointimenetelmä	14
3.3.1. Referenssijärjestelmän yksityiskohtainen kuvaus	14
3.3.2. HoPo-järjestelmän yksityiskohtainen kuvaus	17
3.3.3. Kuljetusten päästöjen laskentaperiaatteet	18
3.3.4. Kuivikkeiden ominaisuudet ja hankintaketjujen päästötiedot	20
3.3.5. Hyvitettävät prosessit	22
4. Tulokset	24
4.1. Hevosenlannan ominaisuudet ja päästöt	24
4.1.1. Referenssijärjestelmä	24
4.1.2. HoPo-järjestelmä	26
4.1.3. Vesiin kohdistuvien päästöjen arviointi	28
4.2. Elinkaariset ympäristövaikutukset	29
5. Tulosten tarkastelu	36
6. Johtopäätökset	37

1. Johdanto

Hevosienlanta on hevosen erittämän sonnan ja virtsan sekä kuivikkeen seos. Talleilla muodostuu kuivike- ja kuivikepohjalantaa, jota tässä raportissa kutsutaan yksinkertaisuudessaan hevosenlannaksi tai lannaksi.

Kuivike vaikuttaa merkittävästi hevosenlannan määrään ja ominaisuuksiin. Sitä käytetään talleilla useista syistä. Se toimii hevosen alla niin seistessä kuin makuulla pehmeänä ja lämpimänä alustana, joka takaa osaltaan hevosen hyvinvoinnin ja terveyden. Kuiviketta täytyy myös olla riittävästi ime-mään virtsan ja sonnan kosteus. Samalla se sitoo niistä haihtuvia yhdisteitä ja pitää näin yllä hyvän-laatuista sisäilmaa tallissa ja vähentää tallien lannasta muodostuvia päästöjä. Hevosille käytetään monenlaisia kuivikkeita, kuten sahanpurua, kutterinlastua, puupellettiä, turvetta, olkea ja olkipellettiä. Kaikilla kuivikkeilla on omat hyvät puolensa ja kuivikevalintaan vaikuttaa mm. sen saatavuus, hinta, kuivikkeelta toivotut ominaisuudet sekä lannan aiottu loppukäyttö.

Hevosilla kuivikelantaa muodostuu keskimäärin noin 10 tonnia eläintä kohti vuodessa. Poneilla määrä on noin puolet tästä. Kaupunkitalleilla hevoset voivat viettää tallissa yli 20 tuntia vuorokau-dessa (vuodenajasta riippumatta), mikä vaikuttaa talliin kertyvään lantamäärään. Ulkoilujaksot ovat yleensä 1-4 tunnin mittaisia siten, että hevoset ovat käytössä noin 1-2 tuntia päivässä ja jaloittelutar-hoissa noin 2 tuntia päivässä. Talliin kertynyt lanta varastoidaan lantaloihin. Myös osa tarhoihin ja ratsastuskentille eritetystä sonnasta kerätään lantaloihin. Loput lannasta jää tarhoihin ja alueille, joilla hevosilla liikutaan. Laiduntavien hevosten sonta ja virtsa jäävät laitumille osaksi laidunten sisäis-tä ravinnekiertoa. Yleensä maaseututalleilla hevoset voivat olla paljon tarhoissa ja laitumella, jolloin varastoitavan kuivikelannan määrä jää vähäiseksi.

Hevosienlannan hyödyntäminen on haaste erityisesti suurille taajama- ja ammattitalleille, joilla on paljon hevosia ja jotka sijaitsevat asutuksen keskellä ilman omaa tai muutakaan peltoa, jonne lanta voitaisiin levittää. Hevosienlannan poltto onkin alalla usein nähty ratkaisuna ongelmaan. Toi-saalta sen toteuttaminen pienessä mittakaavassa on haastavaa sekä teknisesti että vallitsevan lain-säädännön asettamien vaatimusten vuoksi. Hevosienlannan energiakäytön edistäminen onkin nostet-tu esille Juha Sipilän hallitusohjelmassa.

Suomessa Fortum Oyj on selvittänyt hevosenlannan energiakäyttöä seoksena puuhakkeen kans-sa Järvenpään voimalaitoksessa. Fortum on kehittänyt toiminnasta täyden palvelun HorsePower –toimintakonseptin, jossa Fortum sekä toimittaa asiakastalleille tarvittavan kuivikkeen (sahapuru) ja ohjeistaa sen käytön että hakee muodostuneet lannat kuljettaakseen ne hyödynnettäväksi Järven-pään voimalaitoksessa.

Tässä raportissa selvitetään hevosenlannan voimalaitoskäytön elinkaariset ympäristövaikutukset Fortumin HorsePower -konseptissa. Niitä verrataan asiakastallien aiempaan lannankäsittelyyn, joka oli lannan toimittaminen keskitettyyn kompostointiin ja sieltä edelleen maatalouden ja viherraken-tamisen tarpeisiin.

Työn tilasi Fortum Oyj Luonnonvarakeskukselta (Luke) ja Suomen ympäristökeskukselta (SYKE). Tuloksia käytetään HorsePower -konseptin kehittämisessä koetoiminnasta vakiintuneeksi toiminnaksi Järvenpään voimalaitoksen yhteydessä ja edelleen muiden mahdollisten voimalaitosten yhteydessä Suomessa ja kansainvälisesti. Luke hallinnoi hanketta, tuotti elinkaariarvioinnissa tarvittuja taustatie-toja ja vastasi hevostihentymien selvittämisestä. Elinkaaristen ympäristövaikutusten arvioinnista vastasi SYKE. Raportoinnista vastasivat Luke ja SYKE yhdessä. Fortum tuotti tarkasteluun lähtötietoja.

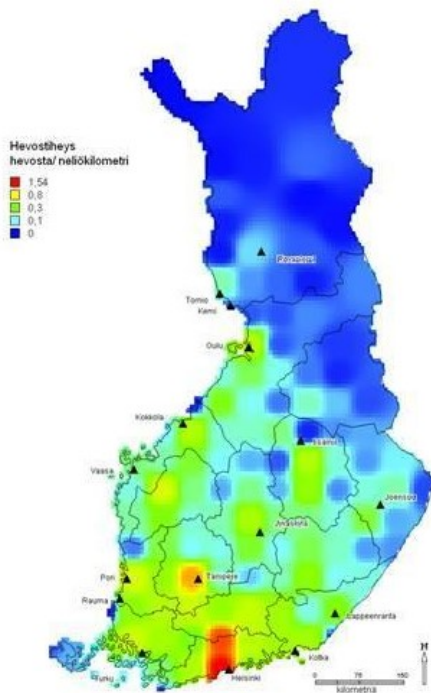
2. Tausta

2.1. Hevosten määrät ja sijainnit Suomessa

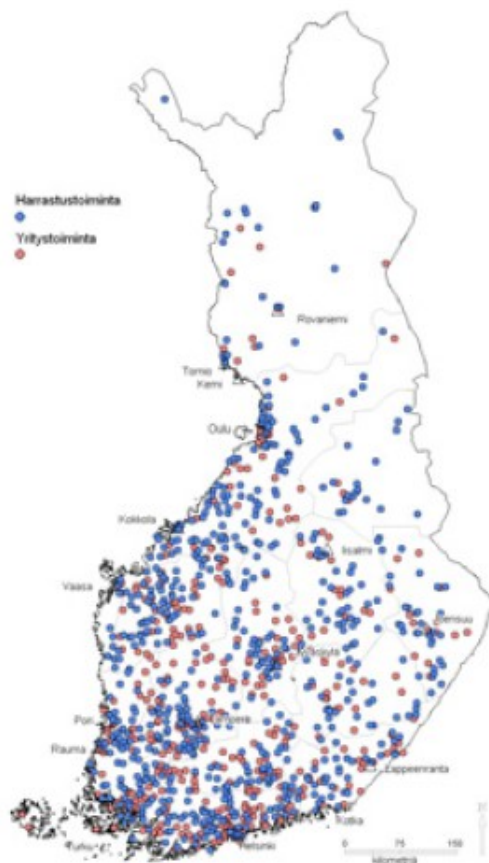
Suomessa on noin 75 000 hevosta, joista osa taajamissa tai muutoin pienellä alueella. Suomen he-
vostiheimmät alueet ovat Pori-Lappeenranta –linjan eteläpuolella (Kuva 1). Selvästi suurimmat he-
vostihentymät ovat pääkaupungin ja Tampereen ympäristössä. Näillä seuduilla ovat myös kooltaan
suurimmat tallit, jotka ovat ratsastuskouluja, hoitohevostalleja ja ravivalmennustalleja. Viimeksi mai-
nitu sijoittuvat yleensä keskusraviratojen tai pienempien raviratojen valmennuskeskuksiin. Myös
keskusten läheisyydessä on usein paljon talleja. Kooltaan suurimmat tallit ovat 30–50 hevospaikan
talleja. Suurimpia useiden kymmenien hevosten talleja löytyy vain pääkaupunkiseudulta (Vihti, Siun-
tio, Kirkkonummi, Espoo, Vantaa, Kerava, Tuusula, Järvenpää, Porvoo), Lahden ympäristöstä (Lahti,
Orimattila, Mäntsälä) sekä Turun ja Tampereen ympäristöstä.

Hevosvalmennus- ja urheilukeskuksissa on usein monia kooltaan suuria talliysiköitä. Mainittujen hevoskeskittymien ulkopuolella ja muualla Suomessa tallit ovat keskimäärin 5-6 hevospaikan kokoisia. Tallien lukumäärää, kokoa ja sijoittumista ei tarkoin tiedetä, koska vain suurilla yli 60 hevospaikan talliysiköillä on lupamenettely.

Kuvassa 2 on kuvattu yhteensä n. 1100 tallin sijainti Suomessa (yli 3 hevosen tallit). Tämä edustaa vajaata 10 % Suomessa olevien tallien määrästä (arvio n. 16 000 tallia). Talleja on eniten maan länsiosassa. Koska puolet maan hevoscannasta on tätä nykyä ratsuhevosia (ml. ponit) ja puolet ravihevusia, voidaan olettaa tallienkin jakauman olevan vastaavan, mikä näkyy myös kuvasta 2. Näillä kahdella hevosten käyttömuodolla on eroja myös hevosten pito- ja hoitokäytännöissä, mikä tarkoittaa myös kuivituksen ja lannankäsittelyn käytäntöjä ja ratkaisuja. Maatiloilla hevoscannasta on noin 40 %, ja niiden lanta hyödynnetään pääasiallisesti peltokäytössä. Pääsääntöisesti tallien kuivikkeiden ja lannankäsittely tehdään käsityönä.



Kuva 1. Hevostiheys Suomessa (Pussinen ym. 2007).



Kuva 2. Hevostallien sijainti Suomessa (Pussinen ym. 2007).

Kuvassa 3 on esitetty hevosten lukumäärä 70 km säteellä kaupunkiseuduista, joilla hevosarrastus ja hevosaloustoiminta ovat vilkasta. Valittu etäisyys perustuu "riittävään tuhatlukuun" (3000 - 4000) hevosia. Pääkaupunkiseutua lukuun ottamatta lyhyillä etäisyyksillä (<50 km) on vain vähän hevosia. Myös joillakin muilla seuduilla (esim. Turku, Tampere) on paljon hevosia ja talleja selvästi valittua ylärajaa (70 km) lähempänä. Noin puolet maan hevosista (35 000) on yli 70 km etäisyydellä valituista keskuksista.

Päällekkäisyyttä ei juuri ole Lahti-pääkaupunkiseutu -akselilla, vaikka 70 km:n säteiset ympyrät näistä kaupungeista leikkaavatkin toisiaan. Hevosia on paljon moottoritieväylän Helsinki-Kerava-Järvenpää-Mäntsälä-Lahti -varrella, mutta pääkaupunkiseudun suurimmat hevosalueet ovat kuitenkin itä- ja länsipuolella Helsinkiä. Joitakin isoja yksittäisiä hevoskeskittymiä, kuten Ypäjä (n. 550 hevosta) tai Porin alue (Satakunta, itäosa), ei ole mukana; Porin alueella on 1500 hevosta, joista osa on Tampereen luvussa.

Tässä ei myöskään voitu ottaa huomioon tallien kokoa, koska sellaista tietoa ei ole saatavilla. Merkittävä osa hevosista on pienissä, vain muutaman hevosien talleissa, joissa ei ole piha-alueita suurille kuivike- ja lantarekoille. Nämä tallit käyttävätkin paljon pakattuja kuivikkeita. Lannan keräily ja lantalogistiikan tehostamiseksi voitaisiin joillakin alueilla kehittää keskitettyjä lantavarastoja esimerkiksi raviratojen yhteyteen ja alueille. Nämä voisivat olla potentiaalisia lannan "keskusvarastoja", koska niiden maa-alueet on varattu hevostoiminnoille ja naapurihaitat jäivät sen vuoksi vähäisiksi.

Etäisyydet laskettiin keskustojen välillä, eli riippuen voimalaitoksen ja tallin todellisesta sijainnista kunnan alueella voivat hevosmäärät ja etäisyydet muuttua joitakin kymmeniäkin kilometrejä. Aivan tarkkaa hevosmäärää ei siten saada, koska tallien todellista sijaintia ei tiedetä.

Hevosjalostusliittojen alueilla ilmoitetut hevosmäärät (Kuva 3) ovat koko alueella olevia hevosia, joiden sijoittumista erikokoisiin talleihin tai jakautumista maatila-/taajamatalleihin ei tiedetä.

HEVOSIA 70 km säteellä:

1. Järvenpää/Helsinki 11400
2. Turku 5500
3. Lahti 4500
4. Tampere 7100
5. Jyväskylä 4000
6. Kuopio 3500
7. Vaasa 1600
8. Oulu 3000



HEVOSIA 16 HEVOSJALOSTUSLIITON ALUEELLA (keskusravirata):

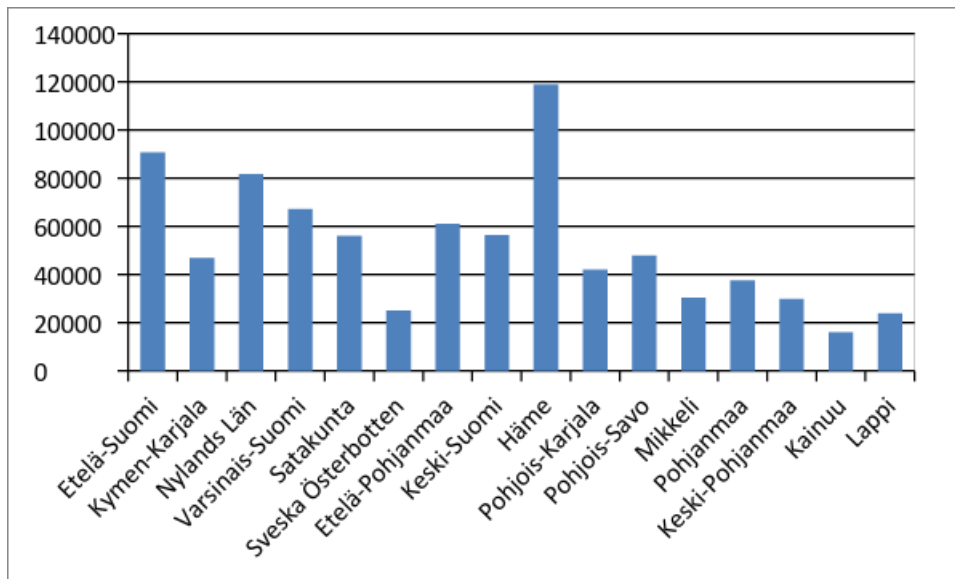
1. Uusimaa (Vermo, Espoo) 7100
2. Kymi-Karjala (Kouvola, Lappeenranta) 4100
3. Etelä-Suomi (Päijät-Häme, osa Uusimaa) (Lahti) 7800
4. Varsinais-Suomi (Turku) 5800
5. Ruotsink. Pohjanmaa (Vaasa) 2100
6. Satakunta (Pori) 4800
7. Etelä-Pohjanmaa (Seinäjoki) 5200
8. Häme (Tampere, Forssa) 10300
9. Keski-Suomi (Jyväskylä) 4900
10. Pohjois-Karjala (Joensuu) 3600
11. Pohjois-Savo (Kuopio) 4100
12. Mikkeli (Mikkeli) 2600
13. Pohjanmaa (Oulu, Ylivieska) 3200
14. Keski-Pohjanmaa (Kaustinen) 2600
15. Kainuu (Kajaani) 1400
16. Lappi (Rovaniemi, Tornio) 2100

Kuva 3. Suurimmat hevoskeskittymät kaupunkiseuduilla, 70 km:n etäisyydellä keskustoista.

2.2. Hevosenlannan energiakäytön tilanne Suomessa

Hevosenlantaa muodostuu Suomessa vuosittain noin miljoona kuutiometriä, josta noin 240 000 m³ jää sontana ja virtsana laitumelle (Grönroos 2015). Lannan muodostuminen seuraa hevosten sijaintia ja jakautuu alueittain noin kuvan 4 mukaisesti.

Maatiloilla pidettävien hevosten kuivikelanta voidaan yleensä hyödyntää tilatoiminnoissa, mutta erityisesti taajamatalleilla (ratsastuskoulut, hoitohevostallit), raviratojen valmennustalleilla ja pienillä harrastetalleilla muodostuvalle lannalle ei välttämättä ole lähialueella pelto- tai muuta suoraa lannoite- tai maanparannuskäyttöä. Talleilla ei useinkaan ole taloudellisia tai teknisiä mahdollisuuksia tai edes kiinnostusta käsitellä tai markkinoida kuivikelantaa itse. Uusia ratkaisuja hevosenlannankäsittelyyn tarvitaan.



Kuva 4. Esimerkki: hevosjalostusliittojen alueella syntyvän puupohjaisen (kutterinlastu) kuivikelannan arviomäärä (tonnia/vuosi). Arviossa käytetty liittojen alueella olevaa hevosmäärää ja MTT:n (Luke) HorseManure -hankkeessa tuotettuja lannan määriä ja ominaisuuksia koskevia tietoja.

Hevoselannan energiakäytön edistäminen on kirjattu Juha Sipilän hallitusohjelmaan. Yksi energiakäytön muoto on lannan käyttö polttoaineena voimalaitoksessa. Lannan energiahyötykäyttö on kuitenkin alempana jätehierarkiassa kuin materiaalihyötykäyttö (esimerkiksi kompostointi). Erityisesti hevostiheillä ja ravinneylijäämän alueilla sekä alueilla, joilla on vähän peltoa, energiahyötykäyttö voisi silti osoittautua taloudellisesti ja ympäristöllisesti perustelluksi ratkaisuksi; tätä asiaa selvitetään jäljempänä tässä raportissa.

Lainsäädännöllisesti hevoselannan poltto määritellään jätteen poltoksi, jolloin toimintaa määrittelee Euroopan Unionin jätteenpolttodirektiivi (WID 2000/76/EU). Direktiivin mukainen poltto vaatii mm. tavanomaista kalliimman savukaasujen puhdistamisen ja päästöseurannan, jotka käytännössä tekevät lannan energiahyötykäytöstä tällä keinoin kannattamatonta muissa kuin nk. rinnakkaispoltoon suunnitelluissa voimalaitoksissa, jotka ovat huomattavasti suurempia (luokkaa 100 MW tai yli) kuin pieniin, muutamien rakennusten kokonaisuuksiin soveltuvat 0,1-2 MW polttoainetehoiset kattilat. Tietoa ja kokemuksia energiahyötykäytöstä suurissa voimalaitoksissa on kuitenkin niukalti. Hevoselannan energiakäytön mahdollistamiseksi polttoprosesseissa on selkeytettävä, millä ehdoilla lanta on toimitettavissa olemassa oleviin voimalaitoksiin, voidaanko pienempää mittakaavaa edes käytännössä harkita ja millaisia vaikutuksia lannan energiakäytöllä on tallien toimintaan ja hevoselannan käsittelyn päästöihin.

2.3. Hevoselannan soveltuvuus polttoon

Hevoselannan energiasisältö ja soveltuvuus polttoon vaihtelee lannan määrän ja ominaisuuksien mukaan. Olennainen tekijä on käytetty kuivike ja sen määrä. Puupohjaisen kuivikkeen, kuten kutterinlastun, sahanpurun ja puupelletin, käyttö tuottaa erilaista lantaa kuin turpeella, oljella tai erilaisilla kuivikeseoksilla kuivitettaessa. Polton kannalta turpeen käyttö voi estää lannan polttamisen voimalaitoksissa, jotka haluavat käyttää vain uusiutuvia polttoaineita, sillä turve luetaan fossiiliseksi polttoaineeksi. Olki ja olkipelletti puolestaan ovat hyvin alkalipitoisia ja mahdollinen haitta voimalaitoksen tekniikalle. Sen (kuten muunkin lannan) sisältämä kloori ja muut alkalit voivat lisätä polttolaitteistojen korroosiota ja kattilassa olevan hiekkapedin agglomeraatiota, mikä taas heikentää palamista. Polttoon menevän oljen tai olkipellettien klooripitoisuutta voidaan alentaa jonkin verran viivyttämäl-

lä korjuuta ja antamalla oljen olla alttiina sateille. Tästä on kuitenkin haittana oljen homehtumisriskin lisääntyminen, jolloin se ei ole enää riittävän laadukasta kuivikekäyttöön.

Poltossa tuotettu energia hyödynnetään lämpönä tai sähkön ja lämmön yhteistuotannossa laitosratkaisusta riippuen. Myös jäljelle jäävälle tuhkalle on olemassa erilaisia jatkokäytön ratkaisuja, joille on lainsäädännössä omat tuhkan laatua koskevat määräyksensä. Poltettaessa hevoselannan tyyppi menetetään typen oksideina savukaasuihin, kun taas fosfori ja muut kivennäiset väkevöityvät polton tuhkaan. Tuhkan hyödyntämismahdollisuudet riippuvat sen ominaisuuksista, joihin vaikuttavat myös mahdolliset polton seosaineet, ts. mikäli lanta poltetaan yhdessä jonkin muun materiaalin kanssa. Mikäli tuhka ei täytä lannoitekäytön vaatimuksia, se on useimmiten säädösten puolesta mahdollista hyödyntää maanrakennuskäytössä. Viimeisenä vaihtoehtona on sen sijoittaminen kaato paikalle.

Hevoselannan polttoa on tutkittu aiemmin eri mittakaavoissa ja erilaisina materiaaliseoksina mm. HYÖTYLANTA-tutkimusohjelman yhteydessä (TTS ja VTT; Puustinen ym. 2009). Joitakin pienimuotoisia polttokokeita ja päästömittauksia on tehty myös yksityisten tahojen ja hevoselinkeinon teettäminä. Lisäksi Fortum teetätti kevään ja syksyn 2015 aikana VTT:llä koelaitosmittaluokan polttokokeita. Fortum selvitti myös hevosen kuivikelannan soveltuvuutta energiakäyttöön Järvenpään yhteistuotantolaitoksella kesäkuussa 2015. Koejakson aikana laitoksella käytettiin hevosenlantaa polttoaineena noin 700 m³, jolloin lannan osuus polttoaineesta oli 5-15 % kokonaistehosta. Fortum aloitti lisäksi syksyllä 2015 selvästi laajemman koejakson, jossa selvitetään hevosenlannan polttoaineominaisuuksien ohella koko logistiikkaketjua kuivikkeen toimituksesta tallille aina lannan syöttöön laitoksen polttoainejärjestelmään. Koejakson pituus on noin kuusi kuukautta ja sen aikana hyödynnetään polttoaineena noin 90 tallilta peräisin oleva noin 1700 hevosen tuottama lanta.

3. Hevoselannan käsittelyvaihtoehtojen elinkaaristen ympäristövaikutusten arviointi

3.1. Arvioinnin kohde ja tavoite

Työn tavoitteena oli arvioida hevosenlannan energiahyödyntämisen (kuivikelannan poltto Fortumin Järvenpään voimalaitoksessa muun polttoaineen seassa) elinkaarisia ympäristövaikutuksia verrattuna lannan keskitettyyn kompostointiin ja hyödyntämiseen viherrakentamisessa (referenssi eli vertailukohta). Arviointi sidottiin näin ollen tapauskohtaiseen tilanteeseen, jossa tarkastellut tallit (62 kpl selvityksen aloitushetkellä) sijaitsevat Uudenmaan alueella (*Helsinki, Sipoo, Kirkkonummi, Tuusula, Kerava, Espoo, Järvenpää, Hyvinkää, Pornainen, Orimattila, Mäntsälä, Kellokoski, Vantaa, Porvoo, Nurmijärvi, Rajamäki*), luovuttivat aiemmin lantansa kompostointiin ja siirtyivät sittemmin Fortumin asiakkaisiksi. Tulokset ovat näin ollen sovellettavissa suoraan vain ko. tallien pohjalta luodulle järjestelmille.

Elinkaaristen ympäristövaikutusten arvioinnilla saadaan laaja kuva ympäristövaikutusten muutoksista, jotka aiheutuvat, kun tarkasteltavassa järjestelmässä siirrytään käyttämään erilaista tekniikkaa. Näin voidaan havaita myös mahdolliset päästöjen ja vaikutusten siirtymiset tarkasteltavan järjestelmän osasta toiseen tai kokonaan toiseen järjestelmään. Nämä muutokset jäisivät huomioimatta ilman laaja-alaista ympäristövaikutusten tarkastelua. Suurimmat muutokset tarkasteltavien hevosenlannan käsittelyketjujen elinkaarissa ympäristövaikutuksissa liittyivät kuivikkeen käyttöön ja lannasta saatavan energian hyödyntämiseen kompostoinnin ja viherrakentamiskäytön sijaan.

3.2. Aineisto ja menetelmät

3.2.1. Yleinen menetelmäkuvaus

Ympäristövaikutuksia tarkasteltiin elinkaariarviointiin (Life cycle assessment, LCA) perustuvalla menetelmällä. Elinkaariarviointi koostuu neljästä vaiheesta seuraavasti (ISO 14040):

1. Tavoitteen ja soveltamisalan määrittelyssä määritellään muun muassa arvioinnin yksityiskohtaisuus (systeemirajaus) ja tarkasteltava ajanjakso. Lisäksi päätetään, mitkä ympäristövaikutusluokat (esimerkiksi ilmastonmuutos ja happamoituminen) tarkasteluun sisällytetään, ja valitaan toiminnallinen yksikkö. Toiminnallinen yksikkö on yksi elinkaariarvioinnin peruselementeistä. Arvioinnin tulokset, kuten päästöt ja ympäristövaikutukset, kohdennetaan toiminnallista yksikköä kohti. Tyypillisesti toiminnallinen yksikkö on tietty massamäärä tuotettua tai prosessoitua tuotetta. Jos erilaisia tuotteita tai tuotantomenetelmiä verrataan toisiinsa, tulee toiminnallisten yksiköiden olla samat. Määrittelyvaihe on elinkaariarvioinnille olennainen, sillä systeemirajaus vaikuttaa lopputulokseen.

2. Inventaariotiedon keräämisessä kootaan tarvittavat tiedot tarkastelun kohteena olevasta systemistä. Tyypillisimpiä tietoja ovat energiankulutus- ja päästötiedot. Tiedon luotettavuuteen tulee kiinnittää huomiota ja käyttää mahdollisimman luotettavia tietolähteitä. Tarkat mittaukset tuotantoprosessista ovat yleensä luotettavia, mutta käytännössä tietoa joudutaan yleensä etsimään useista eri tietolähteistä, kuten raporteista, kirjallisuudesta ja tekemällä asiantuntija-arvioita. Kerättyjä tietoja käytetään vaikutusarvioinnissa.

3. Vaikutusarvioinnissa inventaariotiedot muutetaan ympäristövaikutuksiksi. Sitä varten eri päästöt karakterisoidaan, eli muutetaan yhteismitallisiksi kunkin ympäristövaikutusluokan sisällä. Esimerkiksi ilmastonmuutoksesta tarkasteltaessa kaikki kasvihuonekaasupäästöt muutetaan hiilidioksidiekvivalenteiksi. Lisäksi yhteismitallistetut ympäristövaikutusluokkatulokset voidaan normalisoida. Normalisointi voidaan toteuttaa esimerkiksi suhteuttamalla tuotteen ilmastonmuutosvaikutukset koko Euroopan ilmastonmuutosvaikutukseen. Tällöin voidaan arvioida, kuinka merkittäviä eri ympäristövaikutukset ovat toisiinsa nähden. Normalisoidut ympäristövaikutusluokkien tulokset voidaan lisäksi painottaa, minkä jälkeen erilaisia vaikutuksia voidaan laskea yhteen. Normalisointi ja painotus ovat kuitenkin vapaaehtoisia vaiheita.

4. Tulosten tulkinnessa arvioidaan tuloksiin vaikuttavia tekijöitä sekä tulosten herkkyyttä, täydellisyyttä ja johdonmukaisuutta. Johtopäätökset tehdään tulosten pohjalta. Tulokset esitetään kohderyhmälle ja tarvittaessa laaditaan jatkotoimenpiteet.

Tässä työssä ympäristövaikutusten arviointi toteutettiin käyttäen seurannaisvaikutuksellista elinkaariarviointimenetelmää. Siinä nykytilannetta (*hevosenlannan keskitetty kompostointi ja kompostin hyödyntäminen viherrakentamisessa*) verrattiin vaihtoehtoiseen tapaan käsitellä lantaa (*hevosenlannan energiahyödyntäminen polttoaineena sähkön ja kaukolämmön tuotannossa*). Tarkastelussa otettiin huomioon suorat vaikutukset päästöihin ja energiankulutukseen varsinaisessa lantajärjestelmässä, mutta myös seurannaisvaikutukset muihin tuotejärjestelmiin, kuten kuivikkeiden, energian- ja lannoitteiden tuotantoon sekä niistä aiheutuviin ympäristövaikutuksiin.

Elinkaariarviointimallinnus toteutettiin käyttämällä SimaPro-ohjelmistoa, johon on kytketty laaja Ecoinvent-tietokanta.

3.2.2. Tavoite ja soveltamisala

Arvioinnin tarkoitus

Työn tarkoituksena oli arvioida hevosenlannan energiahyödyntämisen elinkaariset ympäristövaikutukset verrattuna lannan nykyiseen käsittely- ja hyödyntämistapaan, eli lannan kompostointiin ja kompostin hyödyntämiseen viherrakentamisessa.

Toiminnallinen yksikkö

Tutkimuksen toiminnallisena yksikkönä oli 1000 kg tallissa tai jaloittelualueella eritettyä tuoretta hevosenlantaa ilman kuivikkeita.

Järjestelmä ja sen rajaukset

Lannankäsittelyn erilaisten menetelmien elinkaaristen ympäristövaikutusten arvioinnissa muodostettiin käsittelyn nykytilaa kuvaava referenssijärjestelmä, johon tarkasteltavaa vaihtoehtoista lannankäsittelyjärjestelmää ympäristövaikutuksiltaan verrattiin.

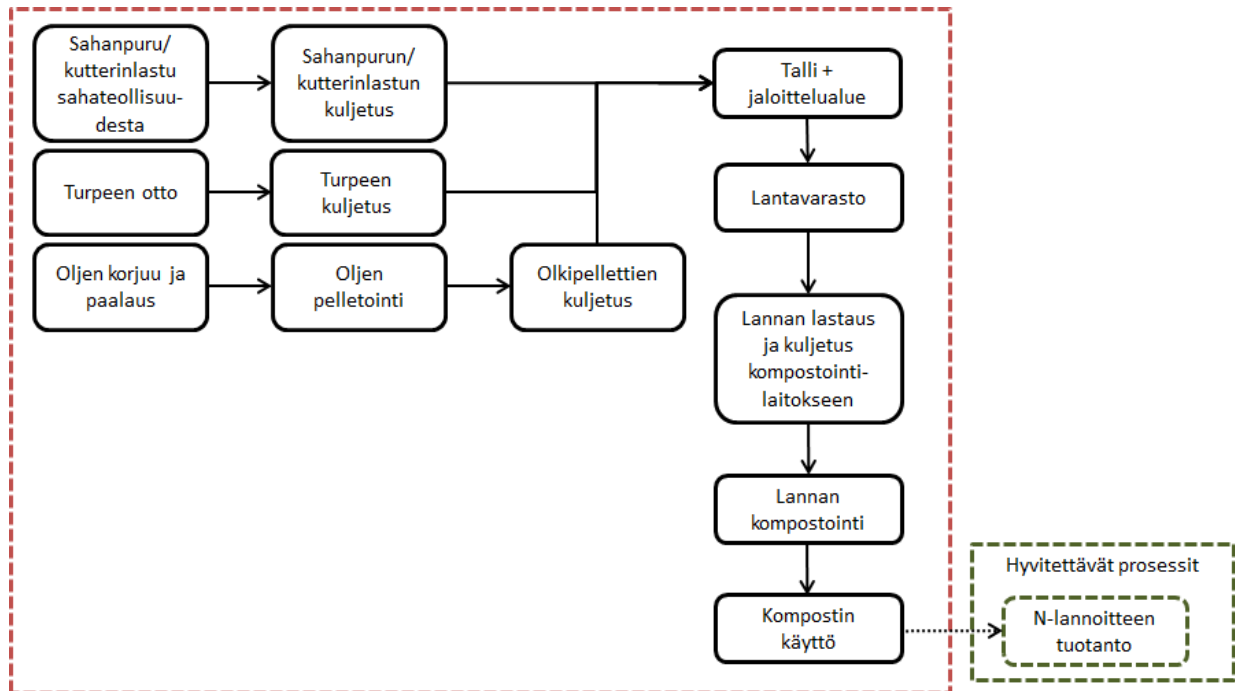
Tässä työssä tutkittu hevosenlannan referenssijärjestelmä käsittää kuusi päävaihetta (Kuva 5):

- 1) kuivikkeet
- 2) ruokinta ja erityy
- 3) eläinsuoja / talli
- 4) lannan varastointi
- 5) lannan kompostointi
- 6) lantakompostin hyödyntäminen viherrakentamisessa

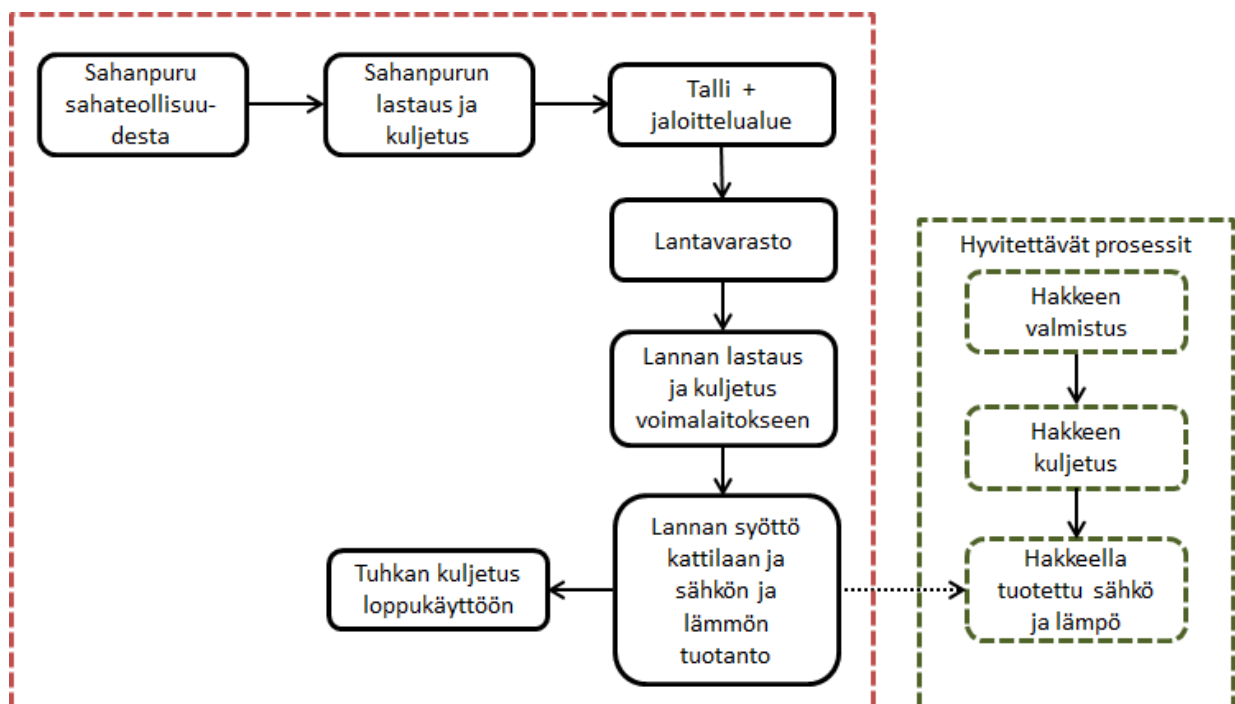
Näiden lisäksi tarvitaan myös tiedot mm. kuljetuksista, energiankulutuksesta ja lantakompostilla korvatuista mineraalilannoitteista. Kaikista järjestelmään sisällytetyistä osaprosesseista kerätään tiedot päästöistä ilmaan ja vesiin.

Vaihtoehtoisena järjestelmänä toimi Fortumin HorsePower -konseptin mukainen hevosenlannan käsittelytapa (HoPo-järjestelmä), jossa kuivikelanta käytetään voimalaitoksessa polttoaineena lannan kompostoinnin ja viherrakentamishyödyntämisen sijasta (Kuva 6). Kuivikelannan hyödyntämisen lisäksi merkittävimmät erot referenssijärjestelmään löytyvät kuivikkeiden käytöstä ja siihen liittyvistä kuivikkeiden hankintaketjuista ja kuljetuksista.

Tarkastellut järjestelmät on kuvattu yksityiskohtaisemmin luvuissa 3.3.1. ja 3.3.2.



Kuva 5. Referenssijärjestelmään sisällytetyt osaprosessit.



Kuva 6. HoPo-järjestelmään sisällytetyt osaprosessit.

3.3. Vaikutusarviointimenetelmä

Inventaarioaineiston perusteella laskettiin ympäristövaikutusindikaattoritulokset seuraaville vaikutusluokille: ilmastomuutos, happamoituminen, alailmakehän otsonin muodostuminen ja hiukkasten muodostuminen. Elinkaariarviointimenetelmän yleisesti hyväksyttyjen vaikutusmallitulkintojen mukaisesti bioperäisten CO₂-päästöjen ei ajatella aiheuttavan ilmastomuutosvaikutusta, koska hiilidioksidi sitoutuu biomassaansa sen kasvaessa. Tämän takia kuivikelannan tai metsähakkeen polttoprosessista vapautuvaa hiilidioksidia ei huomioitu ilmastovaikutusten arvioinnissa.

Päästöjen karakterisoinnissa käytettiin ReCiPe-keskipistemallinnusta (ReCiPe). Vaikutusluokkaindikaattoritulokset normalisoitiin saman menetelmän mukaisilla Eurooppa-tason normalisointitekijöillä, mutta ei painotettu.

3.3.1. Referenssijärjestelmän yksityiskohtainen kuvaus

Tarkasteltavan järjestelmän yksityiskohtaisemmassa määrittelyssä huomioitiin mm. seuraavat asiat:

- Lannankäsittelyn teknologioiden ja käytäntöjen kuvaus, ml. toimet, jotka vaikuttavat päästöihin (ruokinta, eläinsuojan ratkaisut (mm. kuivitus), lannan varastointi ja loppukäyttö).
- Lannan keskimääräiset ominaisuudet valitussa lannankäsittelyketjussa, ml. lannan kuiva-aineen, typen, fosforin ja hiilen pitoisuudet eri vaiheissa lannankäsittelyketjua.

Hevosennannan ominaisuudet laskettiin erikseen

- tuoreena sontana ja virtsana suoraan eläimestä, ennen mitään lisäyksiä ja kaasumaisia hukkia (=lanta eläimestä),
- eläinsuojasta kerättävänä kuivikelantana huomioiden siellä tehdyt lisäykset (kuivike) ja kaasumaiset tappiot (=lanta tallista), sekä
- lantavarastosta loppukäyttöön tai jatkoprosessointiin lähtevänä lantana huomioiden siellä tehdyt lisäykset (esim. sadevesi) ja kaasumaiset tappiot (=lanta varastosta).

Tässä työssä referenssijärjestelmään kuului lannan aumakompostointi ja kompostin käyttö viherrakentamisessa, jolloin myös lannan ominaisuudet kompostoinnin jälkeen laskettiin. Lannan ominaisuuksien laskenta tehtiin massataseena, joka huomioi kaikki lannankäsittelyketjuun tulevat ja sieltä poistuvat tekijät. Laskenta tehtiin referenssi- ja HoPo-järjestelmille samoilla periaatteilla, jolloin lannat saatiin ominaisuuksiltaan mahdollisimman vertailukelpoisiksi. Käytettävissä oli myös HoPo-järjestelmässä muodostuvaa lantaa kuvaavaa analyysiaineistoa (Taulukko 9), jota käytettiin lannan vertailu- ja tarkistusaineistona.

Lannan määrä- ja ominaisuustiedot esitetään tuloksissa (Luku 4).

Ruokinta ja erityis

Hevosia voidaan ruokkia eri tavoin, jolloin myös eläimen sonnan ja virtsan erityyksen määrä ja molempien ominaisuudet vaihtelevat ruokinnan (lähinnä väkirehuosuuden mukaan) mukaan. Hevosten ruokintatietoina käytettiin Luken tuottamia ja ylläpitämiä Suomen virallisia rehutaulukoita ja ruokintasuosituksia (Luke Rehutaulukot 2016a, 2016b). Tässä selvityksessä hyödynnettiin Suomen normilanta -järjestelmän tuottamia tietoja hevosten erityyksestä valitulla ruokinnalla (www.mtt.fi/normilanta). Suomen normilanta on Luonnonvarakeskuksen ja Suomen ympäristökeskuksen keväällä 2016 valmistumassa oleva laskentajärjestelmä, jonka ensimmäisessä vaiheessa lasketaan keskimääräisen hevosten ruokinnan mukainen sonnan ja virtsan erityy ja saadaan elinkaarien ympäristövaikutusten arvioinnin massataselaskennassa tarvittavat lähtötiedot, joita ovat lannan määrä ja ominaisuudet lannankäsittelyn eri vaiheissa.

Hevosryhmittäin laskettiin energian tarve. Saastamoisen (2016) antamilla keskimääräistä ruokintaa kuvaavilla tiedoilla ne muutettiin rehuosuuksiksi (heinä, kaura, valkuaisrehu). Kivennäisen määrä laskettiin niin, että kalsiumin tarve täyttyy, vaikka se johtaa pieneen fosforin ylikuukintaan.

Karkearehun orgaanisen aineen ja raakavalikuaisen märehitijäsulavuudet muutettiin hevossulavuusiksi kotimaisen sulavuusvertailukokeen perusteella (Särkijärvi ym. 2012). Väkirehuissa käytettiin ranskalaisia sulavuustietoja. Orgaanisen aineen sulavuudet muutettiin kuiva-aineen sulavuusiksi yhden ruotsalaisen ja yhden norjalaisen kokeen yhteenvedon perusteella, joissa molemmissa oli tutkittu väkirehu-karkearehusuhteen vaikutusta. Sonnan kuiva-aineksi oletettiin 20 %, jolloin sonnan tuoremäärä on sulamaton kuiva-aine jaettuna 0,2:lla.

Typen, fosforin ja kaliumin pidätyminen kasvuun, sikiöön ja tamman maitoon laskettiin useiden ulkomaisten tutkimusten perusteella, samoin kuin fosforin ja kaliumin erittymisen jakautuminen sontoon ja virtsaan. Typen pääasiallinen poistumisreitti hevosella on virtsa. Fosfori erittyy puolestaan sonnan mukana (Särkijärvi & Saastamoinen 2014; Fowler ym. 2015). Virtsan tyyppi laskettiin erotuksella typen saanti miinus sonnan tyyppi miinus pidättynyt tyyppi. Hevosien oletettiin kasvavan kolmannen ikävuoden loppuun asti.

Virtsan määrä ja sen kuiva-ainepitoisuus (8 %) laskettiin ruotsalaisen tutkimuksen perusteella (Almsgård & Persson 2011). Virtsan orgaanisen aineen pitoisuus arvioitiin.

Toimet eläinsuojassa

Eläinsuojassa eläimen alla olevista kuivikkeista kerätään lanta ja kuivikkeeseen imeytynyt virtsa pois ja viedään lantalaan. Kuivikkeiden määrä ja materiaali/aines vaihtelevat. Tallin tai hevosten pesuvesiä ei tarkastelluissa järjestelmissä johdeta lannan joukkoon, vaan ne käsitellään erikseen. Osa lannasta päätyy jaloittelutarhoihin ja laitumelle, joista jaloittelutarhan sonto kerätään yleensä lantavarastoihin. Erityksen jälkeiset eläinsuojan toimet huomioitiin normilantalaskennassa, jonka avulla saadaan selville lannan ominaisuudet eläinsuojan jälkeen, ennen varastointia.

Talleille keväällä 2014 tehdyn lannankäsittelykyselyn (Grönroos & Luostarinen, käsikirjoitus) perusteella suomalaisista talleista 42 % käyttää turvetta, 36 % puupohjaisia kuivikkeita (sahanpuru, kutterinlastu), 13 % olkea, 3,9 % oljen ja turpeen tai kutterinlastun seoksia, 3,6 % olkipellettiä ja 1,2 % muita kuivikelaatuja (kuten hampua). Niputtamalla oljet, puupohjaiset sekä turve ja muut keskimääräinen suomalainen hevosenlannan kuivike olisi seos, josta 44 % turvetta, 38 % puupohjaisia kuivikkeita ja 18 % olkea.

Tallit kuitenkin valitsevat kuivikkeen omista lähtökohdistaan pääasiassa hinnan, saatavuuden ja lannan jatkokäytön (vastaanottajan löytämisen helppous ja vastaanottamisen hinta) perusteella. Esimerkiksi turve pidättää hyvin nesteitä ja lannasta haihtuvaa ammoniakkaa, ja maatilat ottavat mielellään vastaan turvelantaa pelloille levitettäväksi. Puupohjaisia kuivikkeita kuluu enemmän niiden heikommalla ammoniakilla ja nesteiden pidätyskyvyn vuoksi, eivätkä maanviljelijät suosi niillä kuivitetua lantaa sen hitaamman maatumisen vuoksi. Myös kuivikkeiden saatavuus vaihtelee vuosittain mm. turpeen nosto-olosuhteiden ja puun energiahyötykäytön kysynnän mukaan, joista jälkimmäiseen puolestaan vaikuttavat uusiutuvalle energialle myönnettävät tuet ja kaukolämmön tarve. Kuivikkeiden käytössä on myös lähinnä saatavuudesta ja loppukäytön vaihtoehdoista johtuvia alueellisia eroja. Esimerkiksi Etelä-Suomessa näytetään käytettävän turvetta enemmän kuin muualla Suomessa, missä suositaan puupohjaisia kuivikkeita. Tähän todennäköisin syy lienee etelässä lannan hyödyntäminen viherrakentamisessa ja/tai nopeasti pelloilla sekä kompostointi viherrakentamista/puutarhakäyttöä varten. Eri puolilla Suomea puupohjaiset kuivikkeet ja turve kilpailevat eniten käytetyn kuivikkeen asemasta käyttösuuksien vaihdellessa 40 - 50 %:n välillä.

Lisäksi käytetty kuivikemäärä vaihtelee suuresti tallien välillä. Lannankäsittelykyselyn vastauksissa annetut luvut ovat niin vaihtelevia, ettei niistä voi vetää juuri keskimääräistä kuivikelisäystä edes kuivikelajeittain. Luken ja SYKEN nitraattiasetukseen (1245/2014) uudistamista varten tekemän hevo-

sen lantamäärän laskennan keskimääräiseksi kuivikelisäykseksi valittiin keskiarvo seuraavista: olki 2295 kg/eläin/vuosi, turve 3600 kg/eläin/vuosi ja puupohjaiset kuivikkeet 2050 kg/eläin/vuosi.

Koska tässä työssä referenssijärjestelmänä oli Fortumin asiakkaiksi liittyneiden tallien lanta ja sen käsittely ennen HoPo-järjestelmään siirtymistä, käytettiin Fortumilta saatuja asiakastallien aiempia kuivikkeiden käyttötietoja kuvaamaan referenssijärjestelmän kuivikkeiden käyttöä.

Perus- eli referenssitilanteessa talleilla käytettiin useita eri kuiviketyyppejä, joiden käyttömäärät vaihtelivat talleittain. Elinkaariarviointilaskentaa varten laskettiin keskimääräiset vuosittaiset kuivikkeiden käyttömäärät per hevonen seuraavalla tavalla:

Fortumilta saadun tiedon mukaan (Fortum 2016/1) tallit käyttivät erilaisia kuivikkeita perustilanteessa seuraavasti (osuus tallien hevosista): turve 50 %, olkipelletti 30 %, sahanpuru 10 %, kutterinlastu 10 %.

Fortumin teettämän kuiviketutkimuksen (Airaksinen & Heiskanen 2015) mukaan ko. kuivikkeita käytettiin vuosittain hevosta kohti per hevonen seuraavia määriä, kun tallilla käytettiin vain yhtä kuiviketyyppeä:

- Turve: 12 m³/hevonen/vuosi
- Olkipelletti: 1400 kg/hevonen/vuosi (tilavuuspaino 640 kg/m³) = n. 2,2 m³/hevonen/vuosi
- Sahanpuru: 21 m³/hevonen/vuosi
- Kutterinlastu: 19 m³/hevonen/vuosi

Edellisten tietojen pohjalta saatiin keskimääräiseksi kuivikkeiden käyttömääräksi referenssijärjestelmässä yhteensä 2375 kg/hevonen/vuosi = n 375 kg/t lantaa/vuosi, mikä koostui eri kuivikkeista seuraavalla tavalla:

- Turve: 6 m³/hevonen/vuosi = 1200 kg/hevonen/vuosi = 188 kg/t lantaa/vuosi
- Olkipelletti: 0,66 m³/hevonen/vuosi = 422 kg/hevonen/vuosi = 66 kg/t lantaa/vuosi
- Sahanpuru: 2,1 m³/hevonen/vuosi = 600 kg/hevonen/vuosi = 95 kg/t lantaa/vuosi
- Kutterinlastu: 1,9 m³/hevonen/vuosi = 154 kg/hevonen/vuosi = 24 kg/t lantaa/vuosi

Referenssijärjestelmän tallin keskimääräiseksi lämpötilaksi valittiin +10 °C, mikä kuvaa tallin lämpötilaa muina vuodenaikoina kuin aivan lämpimämpänä kesäkautena. Tallien lämpötilasuosituksena on 8-12 °C ja mittausten mukaan 9-10 °C on tavanomainen tallien talvilämpötila (Saastamoinen ym. 2015).

Referenssijärjestelmän tallissa hevoset pidetään yksittäiskarsinoissa, joissa on kiinteä lattia, kuten lannankäsittelykyselyn mukaan on yleisintä suomalaisilla talleilla. Saman aineiston mukaan lanta kerätään pääasiassa päivittäin (75 % vastanneista) ja käsin (81 % vastanneista), jolloin se viipyy eläinsuojassa keskimäärin yhden päivän ennen siirtoa eläinsuojasta varastoon.

Lannan varastointi

Fortumin asiakastalleilta kerätyn tiedon (Fortum 2016/3) mukaan kuivikelannan keskimääräinen varastointiaika referenssijärjestelmässä oli 1,25 kk. Käytössä oli sekä avonaisia että katettuja varastoja (lantaloita).

Lannan kompostointi

Referenssitilanteessa tallit ovat toimittaneet lantansa kompostoitavaksi HSY:n kompostointialueelle Sipoon Metsäpirttiin, Pälkäneelle Humuspehtoorille tai Espoon kaupungin kompostointialueelle. HSY:n kompostointialueella Sipoon Metsäpirtillä kompostoidaan hevosen kuivikelantaa (8500 t/v) yhdessä tukiaineen (turve) ja mädätetyn yhdyskuntien puhdistamolietteen kuivajakeen kanssa puutarhamullaksi. Seossuhteet ovat aumakompostoinnissa lanta:liete:turve 1:1:2. Mullin valmistuksessa valmiiseen kompostiin lisätään savespitoista hiekkaa (0,6 t/m³) ja turvetta (60 l/m³), minkä jälkeen se seulotaan.

Pälkäneellä toimiva Humuspehtoori aumakompostoi hevosen kuivikelantaa (1250 t/v) sellaiseen Hevosvoima -nimiseksi maanparannusaineeksi. Osa Humuspehtoorin käsittelemästä hevosen kuivikelannasta (1250 t/v) aumakompostoidaan kuivatun yhdyskuntien puhdistamolietteen ja paperitehtaan puukuidun kanssa.

Hevosennannan kompostoinnista ei ole päästöinventaariotietoja Ecoinvent-tietokannassa, minkä takia lannan kompostoinnin päästötietoja koottiin kirjallisuudesta. Kompostoinnin päästötietojen lähteeksi valittiin Hennesyn & Erikssonin (2015) tutkimus, johon on koottu päästöjä useasta eri kirjallisuuslähteestä. Laskennassa käytetyt päästökertoimet on esitetty taulukossa 1. Kompostointiprosessissa käytettäviä tukiaineita ja niiden ympäristövaikutuksia ei sisällytetty laskentaan.

Taulukko 1. Referenssijärjestelmän kompostoinnin päästöjen laskennassa käytetyt päästökertoimet ja tuloksena saadut päästöt (perustuen Hennesy & Eriksson 2015). Päästölaskennassa käytetyt lannan ominaisuustiedot on esitetty taulukossa 6 sarakkeessa ”Kuivikelanta varastosta”.

Yhdiste	Päästökerroin	Kompostoinnin päästö (kg/t lantaa eläimestä)
N ₂ O	0,25 % kokonaistypestä	0,014
NH ₃	10 % kokonaistypestä	0,440
CH ₄	2 % kokonaishiilestä	3,075
N ₂	0,30 % kokonaistypestä	0,011
N ₂ O (epäsuora)	1,0 % NH ₃ -N:stä	0,006

Kompostoidun lannan hyödyntäminen

Metsäpirtin tuottamaa puutarhamultaa myydään puutarhakäyttöön ja viherrakentamiseen, ja se toimitetaan asiakkaille irtotavarana¹.

Humuspehtoorin Hevosvoima-maanparannusaine on luomukelpoinen ja soveltuu maanparannukseen ja lannoittamiseen. Tuote myydään irtotavarana maatalouskäyttöön. Humuspehtoorin yhdyskuntajätevesilietettä sisältävä komposti myydään mullantuottajalle irtotavarana. Siitä valmistettava multa hyödynnetään lopulta viherrakentamisessa.

Kompostin käytöstä peräisin olevat kaasumaiset typpipäästöt (NH₃ ja N₂O) laskettiin samoilla periaatteilla kuin laskettaessa vastaavia päästöjä pellolle levitetylle kuivalannalle käyttäen taulukossa 6 olevia kuivikelannan ominaisuustietoja ja huomioiden kompostointiprosessin vaikutukset ominaisuuksiin (Grönroos ym. 2009). Vesiin kohdistuvia päästöjä ei tässä yhteydessä arvioitu.

3.3.2. HoPo-järjestelmän yksityiskohtainen kuvaus

Ruokinta ja erityis olivat HoPo-järjestelmässä samat kuin referenssijärjestelmässä. Myös lantamäärien ja lannan ominaisuuksien laskentaperiaatteet ovat vastaavat kuin referenssijärjestelmässä. Eroja on kuivituksessa, kuivikkeissa, lannan varastoinnissa ja lannan hyödyntämisessä, jotka on kuvattu seuraavissa kappaleissa.

Toimet eläinsuojassa

HoPo-järjestelmässä tallit käyttivät kuivikkeena sahanpurua keskimäärin noin 22,5 m³/hevonen/vuosi = 3,6 m³/t lantaa/vuosi = 1020 kg/t lantaa/vuosi (Fortum 2016/2). Muilta osin toimet eläinsuojassa olivat samat kuin referenssissä.

¹ <https://www.hsy.fi/metsapirtinmulta/fi/tuotteet/Sivut/Puutarhamulta.aspx>

Lannan varastointi

Lanta varastoitiin keskimäärin vain muutamia päiviä tallin lantavarastossa (Fortum 2016/3), minkä jälkeen se kuljetettiin voimalaitokselle poltettavaksi.

Lannan voimalaitoskäyttö

HoPo-järjestelmän voimalaitoksen kokonaispäästötiedot perustuivat Fortumin mittaustuloksiin Järvenpään voimalaitoksella (Fortum 2016/4). Laskennassa käytettiin päästömittaustietoja ajalta lokakuu 2015, jolloin laitoksessa poltettiin kuivikelantaa. Päästöt allokoitiin energiaperusteisesti kuivikelannalle ja muulle polttoaineelle, jonka jälkeen kuivikelannan päästöt laskettiin tonnia eritetyä lantaa kohti kuivikelannan ja eritetyn lannan suhdeluvulla 12,9 t kuivikelantaa/6,3 t eritettyä lantaa (Taulukko 2).

Taulukko 2. HoPo-järjestelmän voimalaitoksen hevosen kuivikelannalle allokoitunut kuukausittaiset kokonaispäästöt, sekä niiden pohjalta lasketut kuivikelannan polton päästöt poltettua kuivikelantatonnia ja eritettyä lantatonnia kohti laskettuna.

	Pöly	SO₂	NO_x
Kuivikelannalle allokoitut päästöt kg/kk			
lokakuu 2015	0,063	1,931	193,327
marraskuu 2015	0,116	3,181	362,253
joulukuu 2015	0,145	3,770	431,980
Päästöt kg/t kuivikelantaa			
lokakuu 2015	0,0002	0,0054	0,5375
marraskuu 2015	0,0001	0,0038	0,4331
joulukuu 2015	0,0001	0,0031	0,3603
keskiarvo	0,0001	0,0041	0,4437
Päästöt kg/t lantaa eläimestä			
keskiarvo	0,0003	0,0084	0,9084

3.3.3. Kuljetusten päästöjen laskentaperiaatteet

Kuivikkeiden kuljetukset

Referenssijärjestelmä

Kotimaisten kuivikkeiden (turve, sahanpuru ja kutterinlastu) keskimääräinen kuljetusetäisyys on Aikaraksisen ja Heiskasen (2015) mukaan noin 50 kilometriä. Tätä tuki myös Fortumilta saatu tieto asiakastalliensa aikaisemmin käyttämien kuivikkeiden kuljetusmatkoista (Fortum 2016/1). Paluukuljetukset oletettiin tyhjiksi.

Olkipelletit tuotiin Baltiasta, ja niiden maantiekuljetusmatkaksi oletettiin 200 km. Lisäksi oletettiin, että Suomen puolella ajoa oli 50 km. Paluukuljetukset laskettiin tyhjällä kuormalla. Laivakuljetus Suomenlahden yli laskettiin VTT:n LIPASTO-laskentajärjestelmän autonkuljetusaluksen yksikköpäästökertoimilla ja käyttäen merimatkan pituutena 90 km. Paluukuljetus oletettiin tyhjäksi ja paluumatkan päästöiksi arvioitiin puolet menomatkan päästöistä.

Maantiekuljetusten päästölaskennassa käytettiin LIPASTO-laskentajärjestelmän yksikköpäästökertoimia ja polttoaineen kulutustietoja puoliperävaunulliselle rekalle (LIPASTO -laskentajärjestelmä, VTT). Polttoaineena käytettävän dieselin valmistusprosessina käytettiin Ecoinvent-tietokannan pro-

sessia nimeltä "Diesel {Europe without Switzerland}| market for", joka kuvaa dieselin tuotantoa ja jakelua loppukäyttäjälle.

HoPo-järjestelmä

Koejakson aikana poltettu kuivikelanta oli peräisin 88 eri tallilta noin 50 km:n säteellä (enintään noin 70 km ajomatka) Järvenpään voimalaitokselta. Lannan kuivikkeena talleilla on käytetty sahateollisuuden sivutuotteena syntynyttä sahanpurua. Purun kuljetusten päästölaskenta perustui kuukaudessa kuljetettaviin määriin ja polttoaineen kulutustietoihin (Fortum 2016/5). Kuljetusten päästölaskennassa käytettiin LIPASTO-laskentajärjestelmän yksikköpäästökertoimia ja polttoaineen kulutustietoja maansiirtoautolle ilman perävaunua (kokonaismassa 32 t, kantavuus 19 t) (LIPASTO -laskentajärjestelmä, VTT). Polttoaineena käytettävän dieselin valmistusprosessina käytettiin Ecoinvent-tietokannan prosessia "Diesel {Europe without Switzerland}| market for", joka kuvaa dieselin tuotantoa ja jakelua loppukäyttäjälle. Lisäksi oletettiin, että ajosta puolet oli maantieajoa ja puolet kaupunkiajoa. Keskimääräisen kuormakoon oletettiin olevan puolet täydestä kuormasta.

LIPASTO-laskentajärjestelmässä on saatavilla yksikköpäästökertoimet sekä yksikössä g/tkm että g/l. Vertailun vuoksi purun kuljetusten kokonaispäästöt laskettiin kummankin yksikköpäästökertoimien kautta. Tätä varten laskettiin Fortumin lähtötietoihin perustuen yhdellä kuljetusreitillä keskimäärin kuljetetun kuorman määrä tonneissa sekä yhden kuljetusreitin keskimääräinen pituus kilometreissä. Näin saatiin laskettua kuukaudessa kuljetettu määrä tonnikipometreissä. Tämän avulla laskettiin tonnikipometriperusteisista yksikköpäästöistä kuljetusten kokonaispäästöt.

Kokonaispolttoaineen määrä laskettiin ajoajan sekä Fortumilta saadun oletetun polttoaineen kulutuksen perusteella. Polttoaineen määrän ja ajettujen kokonaiskilometrien perusteella laskettiin puolestaan kilometrikohtainen polttoaineen kulutus. Edellä mainittujen tietojen avulla laskettiin kulutusperusteisista yksikköpäästökertoimista kuljetusten kokonaispäästöt.

Kokonaispäästöt laskettiin tämän jälkeen tonnia eritettävä lantaa kohti oletuksella, että purua käytettiin 1,02 t/t eritettävä lantaa. Kummallakin tavalla eritettävä lantatonnia kohti lasketut päästöt olivat lähellä toisiaan, joten lopullisessa laskennassa käytettiin näiden keskiarvoa. Purun kuljetusten päästöt on esitetty taulukossa 8.

Lannan kuljetukset

Referenssijärjestelmä

Referenssijärjestelmässä lannat kuljetettiin tyypillisesti pienillä (max noin 15 - 20 m³) lavoilla pääasiassa kompostoitavaksi Sipoon Metsäpirttiin, Pälkäneen Humuspehtoorille tai Espoon kaupungin kompostointialueelle sekä muutamalta tallilta lähipeletoon. Lannan kuljetusten päästölaskennassa käytettiin LIPASTO-tietokannan tietoja maansiirtoautolle ilman perävaunua (kokonaismassa 32 t, kantavuus 19 t). Polttoaineen valmistusprosessina käytettiin Ecoinvent-tietokannan prosessia "Diesel {Europe without Switzerland}| market for", joka kuvaa dieselin tuotantoa ja jakelua loppukäyttäjälle. Lannan keskimääräisen kuljetusmatkan oletettiin olevan 50 km. Koska lannan keruun kuljetusreiteistä ei ollut tarkempaa tietoa, tehtiin laskenta oletuksella meno keräilyreitillä ensimmäiselle tallille tyhjänä ja paluu keräilyreitillä viimeiseltä tallilta täydellä kuormalla.

HoPo-järjestelmä

Lannan kuljetusten päästölaskenta perustui kuukaudessa kuljetettaviin lantamääriin ja polttoaineen kulutustietoihin (Fortum 2016/7). Kuljetusten päästölaskennassa käytettiin LIPASTO-laskentajärjestelmän yksikköpäästökertoimia ja polttoaineen kulutustietoja maansiirtoautolle ilman perävaunua (kokonaismassa 32 t, kantavuus 19 t) (LIPASTO -laskentajärjestelmä, VTT). Polttoaineen valmistusprosessina käytettiin Ecoinvent-tietokannan prosessia "Diesel {Europe without Switzerland}| market for", joka kuvaa dieselin tuotantoa ja jakelua loppukäyttäjälle. Lisäksi oletettiin, että

ajosta puolet oli maantieajoa ja puolet kaupunkiajtoa Keskimääräisen kuormakoon oletettiin olevan puolet täydestä kuormasta.

LIPASTO-laskentajärjestelmässä on saatavilla yksikköpäästökertoimet sekä yksikössä g/tkm että g/l. Vertailun vuoksi lannan kuljetusten kokonaispäästöt laskettiin kummankin yksikköpäästökertoimien kautta. Tätä varten laskettiin Fortumin lähtötietoihin perustuen yhdellä kuljetusreitillä keskimäärin kuljetetun kuorman määrä tonneissa sekä yhden kuljetusreitin keskimääräinen pituus kilometreissä. Näin saatiin laskettua kuukaudessa kuljetettu määrä tonnikipometreissä. Tämän avulla laskettiin tonnikipometriperusteisista yksikköpäästöistä kuljetusten kokonaispäästöt.

Kokonaispolttoaineen määrä laskettiin ajoajan sekä Fortumilta saadun oletetun polttoaineen kulutuksen perusteella. Polttoaineen määrän ja ajettujen kokonaiskilometrien perusteella laskettiin puolestaan kilometrikohtainen polttoaineen kulutus. Edellä mainittujen tietojen avulla laskettiin kulutusperusteisista yksikköpäästökertoimista kuljetusten kokonaispäästöt.

Kokonaispäästöt laskettiin tämän jälkeen tonnia eritettävä lantaa kohti oletuksella, että purua käytettiin 1,02 t/t lantaa. Kuivikelannan kuljetusten tonnikohtaiset päästöt kerrottiin kuivikelannan ja eritetyn lannan suhdeluvulla 12,9 t kuivikelantaa/6,3 t eritettävä lantaa. Kummallakin tavalla eritettävä lantatonnia lasketut päästöt olivat lähellä toisiaan, joten lopullisessa laskennassa käytettiin näiden keskiarvoa. Kuivikelannan kuljetusten päästöt on esitetty taulukossa 10.

Tuhkan kuljetus loppukäyttöön

Tuhkan kuljetusten päästölaskennassa käytettiin LIPASTO-laskentajärjestelmän yksikköpäästökertoimia ja polttoaineen kustustietoja täysperävaunulliselle rekalle (LIPASTO -laskentajärjestelmä, VTT). Polttoaineena käytettävän dieselin valmistusprosessina käytettiin Ecoinvent-tietokannan prosessia nimeltä "Diesel {Europe without Switzerland} market for", joka kuvaa dieselin tuotantoa ja jakelua loppukäyttäjälle.

3.3.4. Kuivikkeiden ominaisuudet ja hankintaketjujen päästötiedot

Kuivikkeiden ominaisuudet vaikuttavat lannan massataselaskentaan ja kuivikelannan ominaisuuksiin, jotka on esitetty taulukossa 6. Kuivikkeiden ominaisuustiedot ovat peräisin Kapuisen 1992 ja 1996 julkaisuista lukuun ottamatta sahanpurun ja kutterinlastun kosteus- ja tilavuuspainotietoja, jotka ovat peräisin Alakankaan (2000) julkaisusta ja Fortumilta (Fortum 2016/6). Kuivikkeiden ominaisuustiedot on koottu taulukkoon 3.

Turve

Kuivikkeena käytettävän turpeen elinkaarien ympäristövaikutusten suuruuteen vaikuttavat monet aika- ja paikkasidonnaiset tekijät, mikä tekee vaikutusten arvioinnista hankalaa. Polttoturpeelle tehtyjen useiden elinkaaritarkastelujen (mm. Seppälä ym. 2010; Kirkinen ym. 2007) mukaan arviointiin vaikuttavat eniten turvetuotannossa käytetyn alueen ominaisuudet ja ominaispäästöt (ml. oletukset turpeenottoalueen päästöistä ennen turpeenoton aloittamista, eli ns. referenssitilanteen päästöt), oletukset varsinaisen turvetuotantoalueen ulkopuolisten alueiden huomioimisesta laskennassa, ja oletukset itse turpeen hyödyntämisestä vapautuvista päästöistä. Kuljetusten ja konetyön merkitys on osoittautunut vähäiseksi. Myös muiden kasvihuonekaasujen kuin hiilidioksidin merkitys on osoittautunut laskelmissa pieneksi (ks. esim. Seppälä 2010). Aikaperspektiivi on otettava huomioon myös, sillä maankäyttömuutokset vaikuttavat maaperän ja kasvillisuuden kasvihuonekaasutaseisiin pitkällä aikavälillä.

Tässä yhteydessä kuiviketurpeen ilmastovaikutusta tarkasteltiin vain hiilidioksidipäästöjen pohjalta, koska kuten edellä todetaan, muiden päästöjen merkitys on tyypillisesti pieni ja niiden arviointiin sisältyy monia epävarmuuksia. Lisäoletuksena oli, että konetyön ja myös itse turvetuotantoajan aikaiset maaperäpäästöt jätetään huomioimatta niiden vähäisen merkityksen takia, ja koska niihin

sisältyy merkittävää vaihtelua riippuen tuotantoaluetyypistä. Näin ollen tarkastelu kattaa vain turpeen hajoamisesta aiheutuvan hiilidioksidipäästön. Sitä lähestyttiin kahdella tavalla. Ensimmäisessä tavassa arvio perustettiin turvepellolta vapautuvan hiilidioksidin määrään. Oletuksena oli, että turve nostetaan metsäojitetulta suoalueelta, joka lähtötilanteessa on hiilidioksidin nettolähde (141 g CO₂/m²/v; Seppälä ym. 2010). Tämä päästö tapahtuu joka tapauksessa, ja se otetaan huomioon arvioidessa turpeen nostosta ja hyödyntämisestä aiheutuvaa nettovaikutusta hiilidioksidipäästöihin. Kuivikekäyttöön otettu turve päättyy lopulta viherrakentamiskäyttöön, missä se hajoaa. Hajoamisnopeuden ja siitä aiheutuvan hiilidioksidipäästön oletetaan olevan sama kuin turpeen hajoaminen ja siitä aiheutuva päästö turvepellolla (n. 1500 g CO₂/m²/v; Seppälä ym. 2010). Tonnin turvetta tuottamiseen tarvitaan suopinta-alaa vajaat kolme neliometriä, jolloin nettomääräinen hiilidioksidipäästö turvetonnia kohti olisi sadan vuoden aikaperspektiivillä noin 400 kg CO₂.

Oletettavasti turvepellon orgaanisen aineksen hajoaminen on kuitenkin hitaampaa kuin jos turvetta levitetään pellolle maanparannusaineeksi. Toisessa tavassa lähtökohdaksi otettiin turpeen hajoamisnopeus maatalousmaassa Karhun ym. (2012) tutkimuksen mukaan. Siinä turpeesta oli sadan vuoden jälkeen hajonnut 86 %. Kun turpeen kuiva-aineesta on noin 55 % hiiltä ja kun jyrshinturpeen kosteusprosentti on noin 48 %, on turvetonnissa hiiltä noin 290 kiloa, joka kokonaan hiilidioksidina vapautuessaan tuottaa runsaan tuhannen kilon hiilidioksidipäästön. Koska sadassa vuodessa turpeesta hajoaa noin 86 % (ja jäljelle jäänyt aines häviää todennäköisesti hyvin hitaasti), on muodostuva hiilidioksidipäästö noin 900 kg turvetonnia kohti. Tästä tulee vähentää turpeen nostoalueen referenssitilanteen mukainen CO₂-päästö (vrt. edellä laskentatapa 1), joka turvetonnia kohti on sadassa vuodessa noin 40 kiloa, jolloin nettopäästö on siten 860 kg CO₂/tonni. Turpeen hajoamisen hevosennan käsittelyn referenssijärjestelmässä katsottiin vastaavan tätä tapaa.

Olkipelletti

Olkipelletin valmistusprosessi muodostettiin käyttämällä olkipaalin tuotantoprosessia "Baling {RoW}| processing", johon lisättiin pelletöintiprosessiin liittyvän silppuamisen ja pellettien puristamisen energiankulutukseksi 70 kWh/t (Ståhlberg ym. 1985). Olkipaalin tuotantoprosessi sisältää myös paa-
lin muovituksen, jonka oletettiin ottavan huomioon pellettien muovisäkkien valmistuksen.

Sahanpuru ja kutterinlastu

Sahanpurun ja kutterinlastun valmistukselle käytettiin samoja päästöinventaariotietoja, koska kutterinlastun valmistuksesta ei tietoja ollut saatavilla. Sahanpurun hankintaketjun prosessivaihtoehtoina olivat Ecoinvent-tietokannan prosessi "Sawdust, Scandinavian softwood (plant-debarked), u=70%, at plant/NORDEL", joka kuvaa pohjoismaalaista sahanpurun tuotantoa. Tässä prosessissa kokonaispäästöjen allokointi oli tehty markkinahintojen perusteella sahatun puutavaran, puuhakkeen ja sahanpurun välillä. Oletettavasti sahanpurulle allokoidaan näin ollen pienimmät päästöt. Hankintaketjun prosessiksi valittiin Bqain (2014) diplomityössä tehty taustalaskenta, joka olettaa sahanpurun olevan sahateollisuuden sivuvirta ja käyttää entisen Metsäntutkimuslaitoksen (nykyisin Luke) suosittelemaa allokoointia, jossa 10 % raaka-aineen (runkopuun) hankinnan päästöistä kohdistetaan sahanpurulle. Allokointi perustuu oletukseen, että yhden runkopuun käsittelyssä oletetaan muodostuvan 10 % sahanpurua koko puun massasta. Laskenta perustuu Ecoinventin prosesseihin metsätoimien ja kuljetusten päästöistä. Muut tiedot, kuten energiankulutukset ja kuljetusmatkat, perustuvat kirjallisuuteen.

Kuivikkeiden hankintaketjun kasvihuonekaasupäästöt on koottu taulukkoon 4.

Taulukko 3. Laskennassa käytetyt kuivikemateriaalien ominaisuustiedot (% , pitoisuus käyttökosteudessa).

	Tilavuus- paino (kg/m³)	Kuiva- aine (%)	Ntot (%)	Nliuk (%)	Ptot (%)	Pliuk (%)	Ktot (%)
Kuiviketurve	200	43 %	0,34 %	0,03 %	0,01 %	0,01 %	0,01 %
Sahanpuru	285	50 %	0,16 %	0,02 %	0,02 %	0,01 %	0,05 %
Olki, paalattu	90	95 %	0,45 %	0,10 %	0,05 %	0,03 %	1,40 %
Olki, irtonainen	40	95 %	0,45 %	0,10 %	0,05 %	0,03 %	1,40 %
Olki, pelletöity	640	95 %	0,45 %	0,10 %	0,05 %	0,03 %	1,40 %
Olki, silputtu	75	95 %	0,45 %	0,10 %	0,05 %	0,03 %	1,40 %
Kutterinlastu	81	80 %	0,25 %	0,03 %	0,03 %	0,01 %	0,08 %

Taulukko 4. Kuivikkeisen hankintaketjun kasvihuonekaasupäästötiedot (kg/tuoretonni).

kg/t	Olkipelletti	Turve	Sahanpuru/ kutterinlastu
CO₂ (fossiilinen)	87,2	860,0	44,6
N₂O	0,003	-	0,001
CH₄	0,294	-	0,087

Käytetyt prosessitiedot voivat vaikuttaa tuloksiin merkittävästi. Prosessitietoina pyritään käyttämään aina ensisijaisesti primaaridataa, jota voidaan saada esimerkiksi suoraan yritykseltä. Jos primaaridataa ei ole saatavilla, joudutaan turvautumaan sekundaariseen dataan, joka usein perustuu aiempiin tutkimuksiin tai erilaisiin tietopankkeihin. Tässä työssä useiden prosessitietojen osalta jouduttiin turvautumaan sekundaariseen dataan, joka ei välttämättä edusta parhaalla mahdollisella tavalla hevosenlannan käsittelyketjun oikeita prosesseja. Tällaisia prosesseja ovat esimerkiksi turpeen ja sahanpurun hankintaketjujen päästötiedot.

3.3.5. Hyvitettävät prosessit

Referenssijärjestelmä

Käytettäessä hevosenlantakompostia maanparanteena tai kasvualustana, jotakin muuta materiaalia todennäköisesti korvataan, mistä saadaan päästöhyötyjä. Koska käytettävissä ei ollut tarkkaa tietoa siitä, missä kompostia käytetään ja mitä materiaalia se referenssijärjestelmässä korvasi, ja koska kompostin käyttötarkoitus saattoi vaihdella, oletettiin yksinkertaisuuden takia, että lannoitekorvauslaskennassa huomioidaan vain lannan liukoinen tyyppi. Liukoinen tyyppi korvaa pelloille lannoitteena lisättävää mineraalityppeä, jonka ilmastovaikutus on suuri valmistusprosessin energiantensivisyyden vuoksi. Vastaavasti fosforilla on yleensä pienet ”hyvitysarvot” tyypeen verrattuna. Lisäksi on epäselvää, miten paljon kompostifosfori käytännössä korvasi mineraalifosforia.

Kun otettiin huomioon kompostoinnin aikaiset typpipäästöt ilmaan ja oletettiin, että ne vähensivät suoraan kompostin $\text{NH}_4\text{-N}$ -pitoisuutta, saatiin korvattavaksi mineraalityypimääräksi 1,50 kg N per tonni lantaa eläimestä. Lannoitevalmisteen päästöinventaarion lähteenä käytettiin Ecoinvent-tietokannan prosessia "Nitrogen fertiliser, as N {RER} | calcium ammonium nitrate production".

Hopo-järjestelmä

Kun kuivikelantaa käytettiin voimalaitoksessa polttoaineena, sen oletettiin korvaavan polttoprosessissa metsähaketta. Voimalaitoksella käytettävien polttoainemäärien ja tuotettujen energiamäärien perusteella laskettiin kuivikelannalla ja hakkeella tuotettu energia (Fortum 2016/8). Kuivikelannalla tuotettu energia oli loka-marraskuussa 2015 keskimäärin 1,2 MWh/t. Hakkeella tuotettiin energiaa vastaavan ajanjaksona noin 3,1 MWh/t. Toiminnallista yksikköä eli eritettyä lantatonnia kohti (lanta eläimestä ilman kuivikkeita) laskettu korvattavan hakkeen määrä oli 0,78 tonnia.

Voimalaitoksen kokonaispäästöt allokoitiin energiaperusteisesti metsähakkeelle, jolloin selviää, kuinka paljon kuivikelannan poltolla voidaan välttää metsähakkeen poltosta syntyviä päästöjä. Vastaavasti laskenta kuitenkin huomioi kuivikelannan poltosta syntyvät päästöt. Päästötietoina metsähakkeen poltolle käytettiin kokonaispäästöjä loka-marraskuulta 2015. Metsähakkeelle allokoitujen päästötiedot on esitetty taulukossa 5. Metsähakkeen ja kuivikelannan lisäksi polttoaineena käytetään mm. teollisuuden puutähteitä ja kierrätyspuuta, joiden osuus tuotetusta energiasta on noin 37 %.

Taulukko 5. HoPo-järjestelmän voimalaitoksen metsähakkeelle allokoitujen kuukausittaiset kokonaispäästöt, sekä niiden pohjalta lasketut päästöt hakettonnia kohti.

	Pöly	SO ₂	NO _x
Metsähakkeelle allokoitujen päästöt kg/kk			
lokakuu 2015	3,03	92,43	9 253
marraskuu 2015	2,74	75,00	8 541
joulukuu 2015	4,19	108,60	12 445
Päästöt kg/t haketta			
lokakuu 2015	0,0004	0,0120	1,2012
marraskuu 2015	0,0004	0,0101	1,1480
joulukuu 2015	0,0004	0,0103	1,1848
keskiarvo	0,0004	0,0108	1,1780

Voimalaitoksen poltosta syntyvien päästöjen lisäksi laskettiin hakkeen tuotantoketjun päästöt, jotka voidaan välttää. Fortumilla käytettyjen polttoaineiden määrien pohjalta tehtiin oletus, että hakkeesta puolet oletettiin olevat metsähaketta ja puolet kierrätyspuusta tehtyä haketta. Molemmille tuotantoprosesseille käytettiin Ecoinvent-tietokannan tietoja. Metsähakkeen tuotannolle käytettiin prosessia "Wood chips, wet, measured as dry mass {CH} | softwood forestry, mixed species, sustainable forest management" ja kierrätyspuusta tehdylle hakkeelle prosessia "Wood chips, wet, measured as dry mass {CH} | wood chips production, softwood, at sawmill", joka sisältää puuhakkeen tuotannon teollisuuden puusivuvirroista. Puuhakkeen kuljetusmatkaksi oletettiin Fortumin tietojen perusteella

40 km, minkä päästöjen laskennassa käytettiin LIPASTO-tietokannan päästöjä täysperävaunulliselle rekalle. Paluumatka laskettiin tyhjällä kuormalla.

HoPo-järjestelmässä tuhka menee ensisijaisesti hyötykäyttöön (lannoite, maanrakennus, maanrakennus kaatopaikkarakentamisessa) ja vasta jos näitä ei ole mahdollista käyttää, läjitykseen kaatopaikalle. Tuhkan hyötykäytöstä mahdollisesti saatavia ravinnekorvaavuushyötyjä (fosfori, kalium) ei arvioitu, koska hyötykäyttötavasta ja -asteesta ei ollut tarkkaa tietoa. Toisaalta tarkasteltavat järjestelmät olivat näin ollen vertailukelpoisia keskenään, koska myöskään referenssijärjestelmässä ei fosforin ja kaliumin korvaavuushyötyjä arvioitu.

4. Tulokset

4.1. Hevosenlannan ominaisuudet ja päästöt

4.1.1. Referenssijärjestelmä

Hevonen erittää vuoden aikana yhteensä noin 9,8 tonnia virtsaa ja sontaa, joista osa päätyy laitumelle ja jää sinne, osa kerätään eläinsuojasta lantavarastoon (lantalaan) ja osa päätyy jaloittelualueille, josta se yleensä kerätään pois ja viedään lantavarastoon. Valtakunnallisen arvion mukaan (Grönroos & Luostarinen, käsikirjoitus) laidunlannan osuus on noin 36 % ja jaloittelualueille päätyvän lannan osuus noin 38 % eritetystä hevosenlannasta. Suoraan eläinsuojaan päätyvän lannan osuus on siten noin 27 %. Eritetyn lannan (virtsa + sonta) ominaisuudet on esitetty taulukossa 6.

Kuivikkeiden lisäämisen ja tallissa tapahtuvien päästöjen huomioimisen jälkeen saadaan eläinsuojasta varastoon (lantalaan) menevän kuivikelannan määrä ja ominaisuudet (Taulukko 6). Varastoinnin aikana lantalaan tuodaan myös jaloittelualueilta kerättyä lantaa, jonka katsotaan lannan ominaisuuksien laskennassa vastaavan eritetyn lannan ominaisuuksia.

Tämän varastoon päätyvän lannan määrä per hevonen vuodessa (lanta suoraan eläinsuojasta kuivikkeineen + jaloittelualueilta kerätty lanta) oli referenssijärjestelmässä 9,0 tonnia (Taulukko 6). Lyhyen varastointiajan takia (referenssissä keskimäärin 1,25 kk) lantamäärä per hevonen oli suunnilleen sama myös varastoinnin päättyessä, vaikka varastoinnin aikana tapahtui massamuutoksia kaa-sumaisten tappioiden ja sadeveden takia.

Lannankäsittelyn ja muiden lannankäsittelyyn liittyvien prosessien aikana tapahtuvat päästöt on esitetty taulukossa 7 (per tonni lantaa eläimestä).

Taulukko 6. Lannan ominaisuudet lannankäsittelyn eri vaiheissa referenssijärjestelmässä.

Parametri	Sonta+virtsaeläimestä	Kuivikelanta tallista (ilman jaloittelualueilta kerättyä lantaa)	Kuivikelanta varastosta
Massa, ilman laidunlantaa (t/eläinpaikka/vuosi)	6,3	5,0	9,0
Kokonaistyyppi (kg/t)	5,47	3,92	3,62
Kokonaisfosfori (kg/t)	1,02	0,63	0,76
Kokonaiskalium (kg/t)	5,49	4,17	4,54
Kuiva-aine (kg/t)	165,5	355,2	262,6
Orgaaninen aine (kg/t)	129,5	309,5	222,8
Hiili (kg/t)	72,65	155,9	115,3
Ammoniumtyppi (kg/t)	3,63	1,68	1,88

Taulukko 7. Päästöt lannan käsittelystä (per tonni tallissa ja jaloittelualueella eritettävä tuoretta lantaa) referenssijärjestelmässä.

Yhdiste	Talli+jaloittelualue	Lanta-varasto	Lannan kuljetus kompostointiin	Lannan kompostointi	Kompostin käyttö	Typpilannoituksen välttämiseksi saatu hyvitys
	(per tonni lantaa eläimestä)					
NH ₃ (kg)	0,935	0,352	0,00008	0,440	0,910	-0,013
N ₂ O (kg)	0,050	0,014	0,00029	0,014	0,051	-0,028
NO (kg)		0,024				
NO _x (kg)			0,034			-0,024
N ₂ (kg)		0,331		0,011		
SO _x (kg)			0,020			-0,029
Hiukkaset (kg)			0,002			-0,006
CO ₂ (kg) fossiilinen			9,264			-5,499
CH ₄ (kg)		0,114		3,075		
Epäsuora N ₂ O-N (haihdunta) (kg)	0,012	0,005		0,006	0,012	

Taulukko 8. Päästöt kuivikkeiden tuotannosta ja kuljetuksista (per tonni tallissa ja jaloittelualueella eritettyä tuoretta lantaa) referenssijärjestelmässä.

Yhdiste	Olkipelletin tuotanto	Kuivike- turve	Sahanpurun ja kutterin- lastun tuo- tanto	Olki- pelletin rekka- kuljetus	Olki- pelletin laiva- kuljetus	Kuivike- turpeen rekka- kuljetus	Sahan- purun ja kutterin- lastun rekka- kuljetus
	(per tonni lantaa eläimestä)						
NH ₃ (kg)	0,0002		0,0002	0,00001		0,00001	0,00001
N ₂ O (kg)	0,0002		0,0002	0,00005	0,00003	0,00003	0,00002
NO _x (kg)	0,0295		0,016	0,006	0,025	0,004	0,00228
SO _x (kg)	0,0155		0,013	0,004	0,010	0,002	0,001
Hiukkaset (kg)	0,0087		0,004		0,001		
CO ₂ (kg) fossiilinen	5,778	162,009	5,271	1,931	1,197	1,098	0,689
CH ₄ (kg)					0,00009		

4.1.2. HoPo-järjestelmä

HoPo-järjestelmässä syntyvän kuivikelannan laskennalliseksi määräksi saatiin 12,9 tonnia kuivikelantaa varastosta eläintä kohti vuodessa (Taulukko 9). Se on noin kolmanneksen enemmän kuin referenssijärjestelmässä, mikä johtuu kuivikkeiden käyttöeroista järjestelmien välillä. Päästötarkastelussa huomio kiinnittyi kompostoinnin ja kompostin loppusijoittamisen ilmaan kohdistuvien päästöjen välttämiseen (Taulukko 10).

Taulukko 9. Lannan laskennalliset ominaisuudet lannankäsittelyn eri vaiheissa HoPo-järjestelmässä. Viimeisessä sarakkeessa on vertailun vuoksi Fortumilta saadut 18 tallin aineistoon perustuvat HoPo-kuivikelannan keskimääräiset analysoidut ominaisuustiedot (Fortum 2016/2).

Parametri	Sonta+virtsaeläimestä	Kuivikelanta talista (ilman jaloittelualueilta kerättyä lantaa)	Kuivikelanta varastosta	Vertailuaineisto: Purulannan analysoidut ominaisuudet (Fortum 2016/2)
Massa, ilman laidunlantaa (t/eläinpaikka/vuosi)	6,3	9,0	12,9	-
Kokonaistyyppi (kg/t)	5,47	2,47	2,95	2,86
Kokonaisfosfori (kg/t)	1,02	0,41	0,58	-
Kokonaiskalium (kg/t)	5,49	1,96	2,94	4,88
Kuiva-aine (kg/t)	165,5	403,1	328,5	375,0
Orgaaninen aine (kg/t)	129,5	357,1	286,1	-
Hiili (kg/t)	72,65	177,0	144,3	165,2
Ammoniumtyppi (kg/t)	3,63	0,94	1,63	-

Taulukko 10. Päästöt lannan käsittelystä (per tonni tallissa ja jaloittelualueella eritettyä tuoretta lantaa) HoPo-järjestelmässä.

Yhdiste	Talli+jaloittelu-alue	Lanta-varasto	Sahanpuru sahateollisuudesta	Sahanpurun kuljetus talleille	Kuivikelannan kuljetus voimalaitokseen	Kuivikelannan poltto	Tuhkan kuljetus loppukäyttöön
	(per tonni lantaa eläimestä)						
NH ₃ (kg)	0,938	0,113	0,001	0,0001	0,00005		0,000
N ₂ O (kg)	0,050	0,005	0,001	0,0004	0,0003		0,000
NO (kg)		0,008					
NO _x (kg)			0,134	0,048	0,0383	0,908	0,001
N ₂ (kg)		0,107	0,0001				
SO _x (kg)			0,111			0,008	0,0003
Hiukkaset (kg)			0,031	0,0004	0,0003	0,0003	0,000
CO ₂ (kg) fossiilinen			45,397	12,841	10,118		0,163
CH ₄ (kg)		0,034					
Epäsuora N ₂ O-N (haihdunta) (kg)	0,012	0,002					

Taulukko 11. Hyvitettävät päästöt hakkeen polton, tuotannon ja kuljetuksen välttämiseksi (per tonni tallissa ja jaloittelualueella eritettävä tuotetta lantaa) HoPo-järjestelmässä.

Yhdiste	Metsähakkeen poltto	Metsähakkeen tuotanto	Kierrätyspuu-hakkeen tuotanto	Hakkeen kuljetus
	(per tonni lantaa eläimestä)			
NH ₃ (kg)		-0,001	-0,0006	-0,00002
N ₂ O (kg)		-0,001	-0,0006	-0,00007
NO _x (kg)	-0,848	-0,070	-0,052	-0,011
N ₂ (kg)		-0,00001	-0,00001	
SO _x (kg)	-0,008	-0,027	-0,020	-0,006
Hiukkaset (kg)	-0,0003	-0,013	-0,015	-0,001
CO ₂ (kg) fossiilinen		-15,585	-9,947	-3,142

4.1.3. Vesiin kohdistuvien päästöjen arviointi

Vesiin kohdistuvia päästöjä ei määrällisesti arvioitu, koska päästöt ovat hyvin tapauskohtaisia ja niiden arviointi on hankalaa. Voidaan kuitenkin todeta, että talleista ja jaloittelualueilta tulevat mahdolliset ravinnevalumat ovat samansuuruiset molemmissa järjestelmissä. Lähinnä valumia tulee jaloittelualueilta, koska talleissa ja lantavarastoissa pohjien tulee olla tiiviitä. Suomalaisten ja ruotsalaisten tutkimusten (Närvänen ym. 2008; Uusi-Kämpä ym. 2012; Parvage ym. 2013; Parvage ym. 2015) mukaan hevosten jaloittelutarhat voivat olla merkittäviä huuhtoutuvan fosforin lähteitä, koska hevosen lannan fosfori on helposti huuhtoutuvassa muodossa (Keskinen ym. 2014a). Hevosten tarhojen aiheuttama fosforikuorma vastaa pahimmillaan viljeltyjen peltojen fosforipäästöjä. Säännöllistä lannan poistamista tarhoista suositellaan huuhtoutumishaittojen vähentämiseksi.

Hevosenlannan varastointimenetelmät ovat varsin kirjavia. Lannan varastoinnin aikana voi syntyä kuormituseroja, koska myös varastointiajoissa on eroja. Toisaalta nitraattiasetuksen (1250/2014) mukaan varastojen tulee olla tiiviit, eikä päästöjä saisi tapahtua. Myös kuivikkeiden kyvyssä pidättää ravinteita varastoinnin aikana on eroja (Keskinen ym. 2014b).

Hevosenlannan kompostoinnin aikana voi valumia muodostua (kentän hulevedet), mutta se riippuu aumakompostointiin käytetyn kentän hoidosta ja vesien käsittelystä. Referenssijärjestelmässä kompostointikenttien hulevedet kerättiin ja joko käsiteltiin yhdyskuntien jätevedenpuhdistamolla (Metsäpirtin vedet Viikinmäen puhdistamolle Helsinkiin) tai kentän omassa puhdistamossa (Humuspehtoorin puhdistamolla ympäristöluvan mukaiset puhdistusvaatimukset ja seuranta). Sen sijaan kompostituotteiden loppukäytössä todennäköisesti muodostuu päästöjä, joiden suuruus riippuu tuotteen käyttötavasta. Valtakunnallisesti viherrakentamisessa käytettyjen lietepohjaisten, kompostoitujen maanparannusaineiden merkitys ravinnehuuhtoumaan on katsottu mm. Envirogreen -hankkeessa (2007-2010) vähäiseksi ja nurmipeitteillä viheralueille vielä vähäisemmäksi. Tähän verraten viherrakentamiskäytössä ja puutarhoissa käytetty hevosenlantaa sisältävä multa on ravinnehuuhtouman kannalta pieni tekijä (Kangas & Salo 2010). Maatalouskäytössä kompostoidun hevosenlannan aiheuttamaan ravinnehuuhtoumaan voidaan vaikuttaa oikeilla ja oikea-aikaisilla levitystoimilla. Sallituilla levitysmäärillä, kevätlevityksenä sekä nopealla multauksella päästöt voidaan minimoida.

HoPo-järjestelmässä voimalaitoksen savukaasujen lauhduttamisesta syntyy ravinnekuormitusta (Fortum 2016/9). Eritettyä lantatonnia kohti laskettuna kuormitus on hyvin pientä (Taulukko 12).

Tuhkan loppusijoituksesta aiheutuvaa ravinnekuormitusta vesiin ei arvioitu. Lähinnä kyse on fosforin mahdollisesta kuormituksesta, koska typpeä ei tuhassa ole.

Taulukko 12. Vesistökuormitus Huhtimonojaan loka-joulukuussa 2015.

Kuormitus loka-joulu 2015	Kok-N	NH ₄ -N	Kok-P
Päästöt kg/t kuivikelantaa	0,003	0,001	0,000002
Päästöt kg/t eritettyä lantaa	0,006	0,002	0,000004

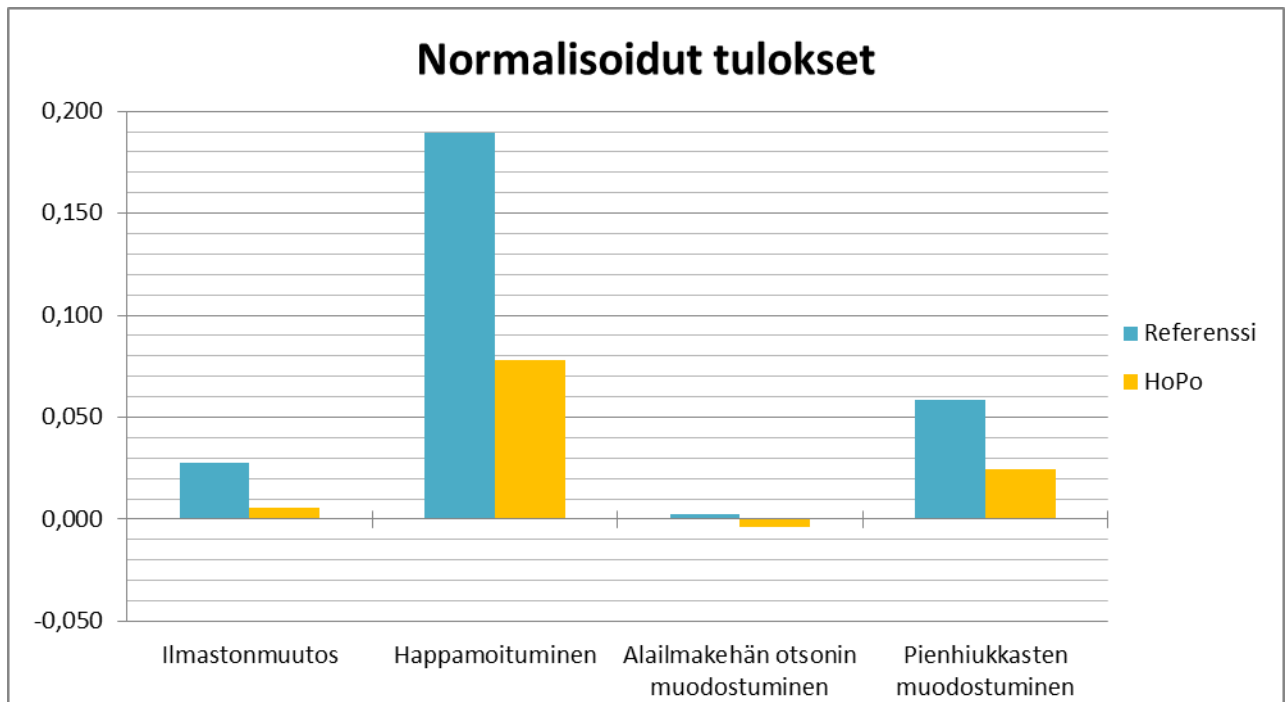
4.2. Elinkaariset ympäristövaikutukset

Tulosten mukaan HoPo-järjestelmä on ympäristövaikutuksiltaan referenssijärjestelmää parempi kaikissa tarkastelluissa vaikutusluokissa (Taulukko 13). Yksityiskohtaisemmat vaikutusluokakohtaiset karakterisoidut ympäristövaikutustulokset esitetään alempana.

Normalisoitujen tulosten (Kuva 7) perusteella saadaan käsitys eri vaikutusluokkien suhteellisesta tärkeydestä hevosenlannan käsittelyketjussa, kun normalisointi tehdään Euroopan kokonaispäästöjen pohjalta. Tarkastelussa nousee esille se, että hevosenlannan käsittelyllä on suurempi merkitys happamoitumisen ja pienhiukkasten muodostumisen kannalta kuin ilmastomuutoksen ja alailmakehän otsonin muodostumisen kannalta. Selitys löytyy lannasta vapautuvasta ammoniakista, joka vaikuttaa happamoitumiseen ja välillisesti myös pienhiukkasten muodostumiseen, ja jonka päästöistä maatalous ja tarkemmin ottaen kotieläintalous muodostaa noin 90 %. Ilmastovaikutuksessa ja alailmakehän otsonin muodostumisessa sen sijaan muiden toimintojen, kuten liikenteen ja energiantuotannon, suhteellinen merkitys on suurin, joten maatalouteen liittyvien toimintojen suhteellinen merkitys jää niissä pieneksi.

Taulukko 13. Tarkasteltujen hevosenlannan käsittelyjärjestelmien elinkaariset karakterisoidut ympäristövaikutustulokset yhteensä (vaikutusluokkaindikaattoritulokset).

Vaikutusluokka	Referenssi	HoPo
Ilmastomuutos (kg CO ₂ -ekv./t lantaa eläimestä)	308,360	58,877
Happamoituminen (kg SO ₂ -ekv./t lantaa eläimestä)	6,516	2,677
Alailmakehän otsonin muodostuminen (kg NMVOC/t lantaa eläimestä)	0,147	-0,220
Pienhiukkasten muodostuminen (kg PM10-ekv./t lantaa eläimestä)	0,874	0,368



Kuva 7. Normalisoidut vaikutusarviointitulokset referenssijärjestelmälle ja HoPo-järjestelmälle.

Ilmastomuutos

Ilmastovaikutukseltaan HoPo-järjestelmä on selvästi referenssijärjestelmää edullisempi (Kuva 8). Erot johtuvat pääasiassa siitä, että HoPo-järjestelmästä puuttuu kasvihuonekaasupäästöjä tuottavia lannankäsittelyvaiheita, kuten kompostointi ja kompostin loppusijoitus. Näissä vaiheissa ilmastovaikutusta aiheuttavat muut kasvihuonekaasut kuin hiilidioksidi, eli metaani ja dityppioksidi, joiden ilmastovaikutus on moninkertainen hiilidioksidiin nähden. Lisäksi referenssijärjestelmää rasittaa kuivikeena käytettävä turve, josta vapautuva hiilidioksidi lasketaan fossiiliseksi ja siten ilmaston lämpenemistä kiihdyttäväksi (ks. mm. IPCC:n päästölaskentaohjeet). Elinkaariarviointimenetelmän yleisesti hyväksyttyjen vaikutusmallitulkintojen mukaisesti bioperäisten CO₂-päästöjen ei ajatella aiheuttavan ilmastomuutosvaikutusta, koska hiilidioksidi sitoutuu biomassaansa sen kasvaessa. Tämän takia kuivikelannan tai metsähakkeen polttoprosessista syntyvää hiilidioksidia ei huomioitu ilmastovaikutusten arvioinnissa.

Kuljetusten hiilidioksidipäästöillä ei ole suurta merkitystä ilmastovaikutuksen muodostumisen kannalta kummassakaan järjestelmässä.

Hyvityksiä referenssijärjestelmä saa mineraalilannoitteiden korvaamisesta. HoPo-järjestelmässä hyvityksiä seuraa hakkeen korvaamisesta lannalla.

Happamoituminen

Happamoittavalta vaikutukseltaan HoPo-järjestelmä on referenssijärjestelmää selvästi parempi (Kuva 9). Happamoittavia päästöjä (NH₃, NO_x ja SO_x) vapautuu lähinnä lannankäsittelystä ja polttoprosesseista. HoPo-järjestelmän suurin yksittäinen päästölähde on talli jaloittelualueineen. Referenssijärjestelmässä ammoniakkipäästöjä syntyy tämän ja varastoinnin lisäksi myös kompostoinnissa ja kompostin loppukäytössä.

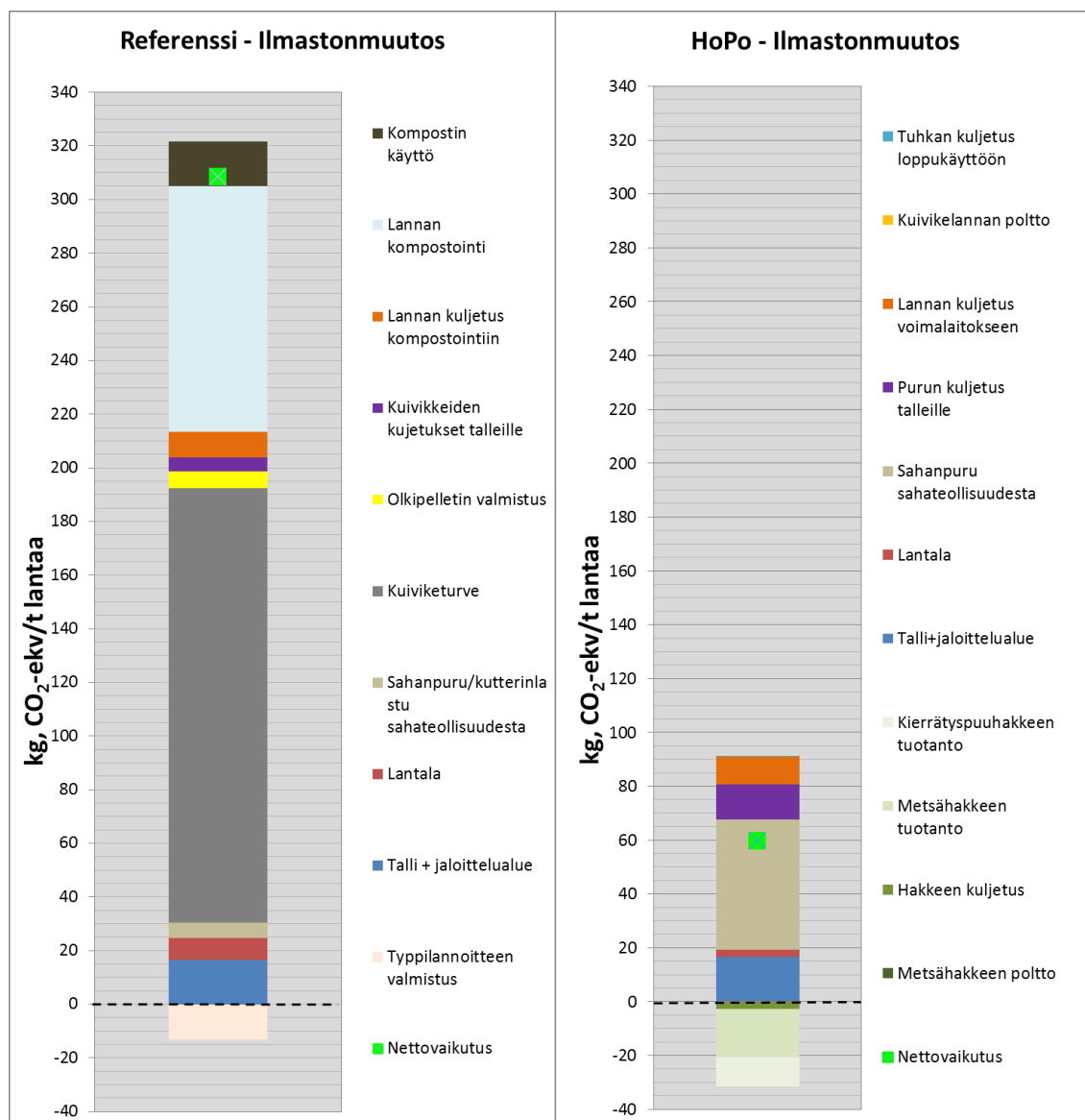
HoPo-järjestelmässä lannan poltosta vapautuvat happamoittavat päästöt kuittaantuvat lannalla korvattavan hakkeen polton välttämisestä saaduilla päästöhyvityksillä.

Alailmakehän otsonin muodostuminen

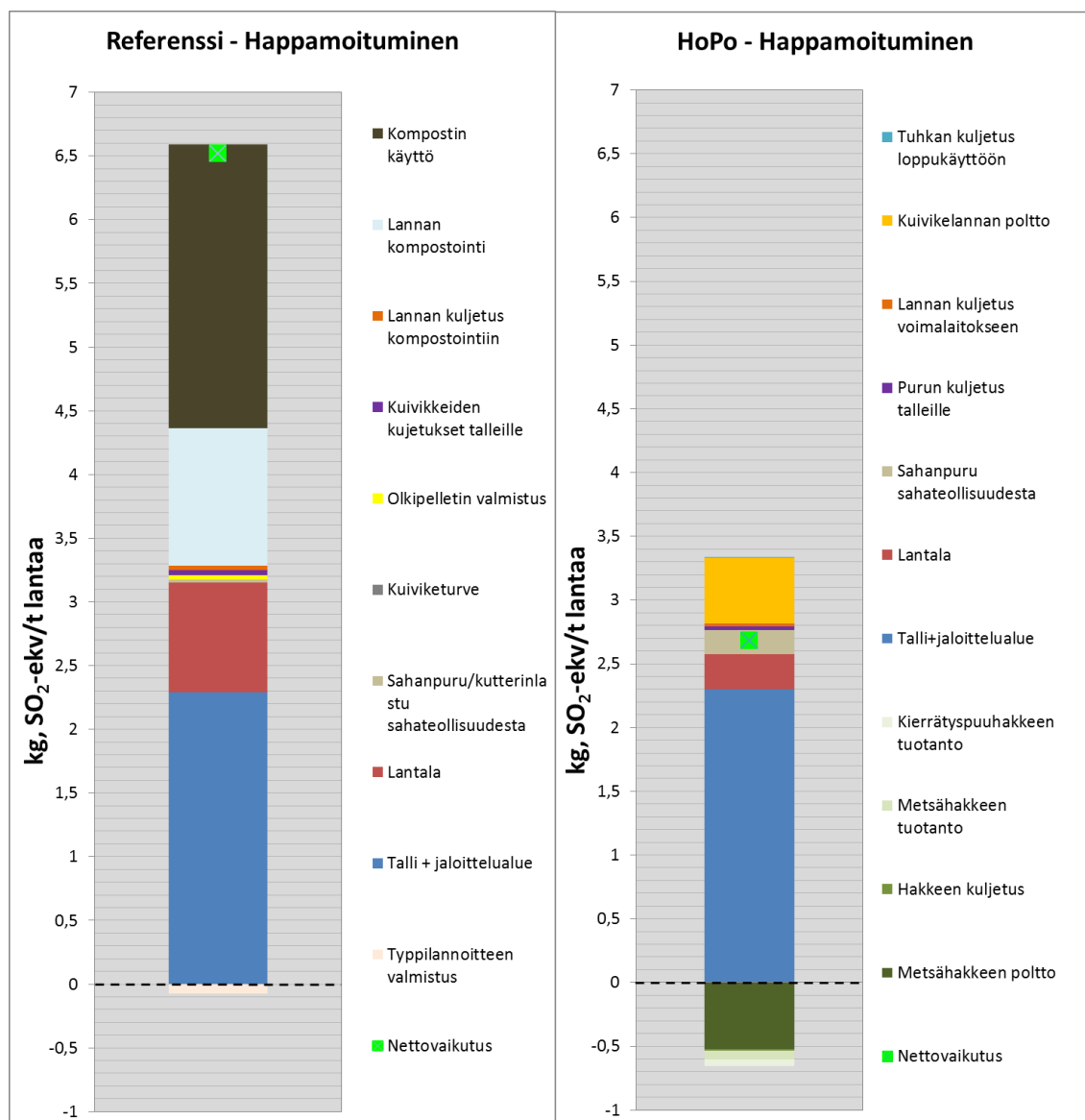
Alailmakehän otsonin muodostumista aiheuttavat orgaaniset yhdisteet (CH_4 ja NMVOC), hiilimonoksidi ja typen oksidit. Alailmakehässä tapahtuvien fotokemiallisten reaktioiden tuottama otsoni aiheuttaa terveys- ja kasvillisuushaittoja. Kokonaisvaikutukseltaan HoPo-järjestelmä osoittautui jonkin verran referenssijärjestelmää pienemmäksi (Kuva 10). Koska alailmakehän otsonin muodostumista aiheuttavia yhdisteitä on monia, vaikuttavat useat osaprosessit vaikutusten muodostumiseen. Tämä koskee myös muiden vaikutusluokkien osalta vaatimattomia kuljetusprosesseja. HoPo-järjestelmässä hakkeen hankintaketjuista saatavat hyvitykset aiheuttavat sen, että järjestelmän kokonaisvaikutus jää nettovaikutukseltaan negatiiviseksi.

Pienhiukkasten muodostuminen

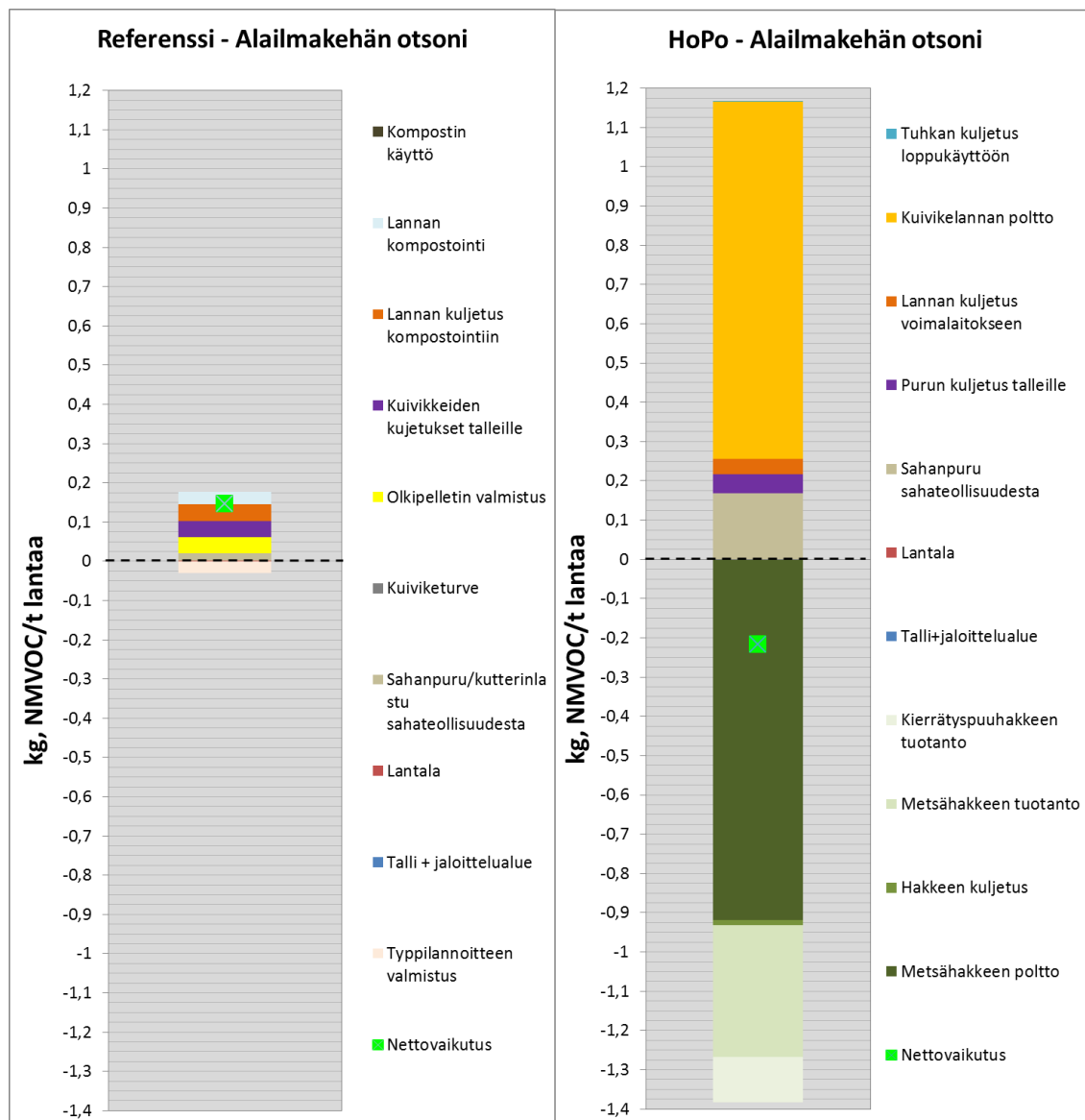
Pienhiukkasten muodostumista tarkastellaan tässä yhteydessä ihmisten terveyteen vaikuttavana tekijänä. Ilmakehän hiukkaspitoisuutta lisäävät suorat hiukkaspäästöt sekä epäsuora sekundaarinen hiukkasten muodostuminen. Ammoniakki aiheuttaa sekundaarista hiukkasten muodostumista, mikä näkyy selkeästi myös kuvasta 11, jossa lannankäsittelyyn liittyvät osaprosessit (talli, kompostointi, kompostin loppukäyttö) ovat merkittäviä hiukkaspäästölähteitä. Koska HoPo-järjestelmässä näitä vaiheita on karsittu ja korvattu lannan poltolla, sen hiukkasvaikutus on selvästi referenssijärjestelmää pienempi. Lannankäsittelyn lisäksi toinen merkittävä päästölähde eli voimalaitos on käytännössä vaikutukseltaan neutraali, koska lanta korvaa polttoaineena haketta, joiden molempien poltosta aiheutuu hiukkaspäästöjä.



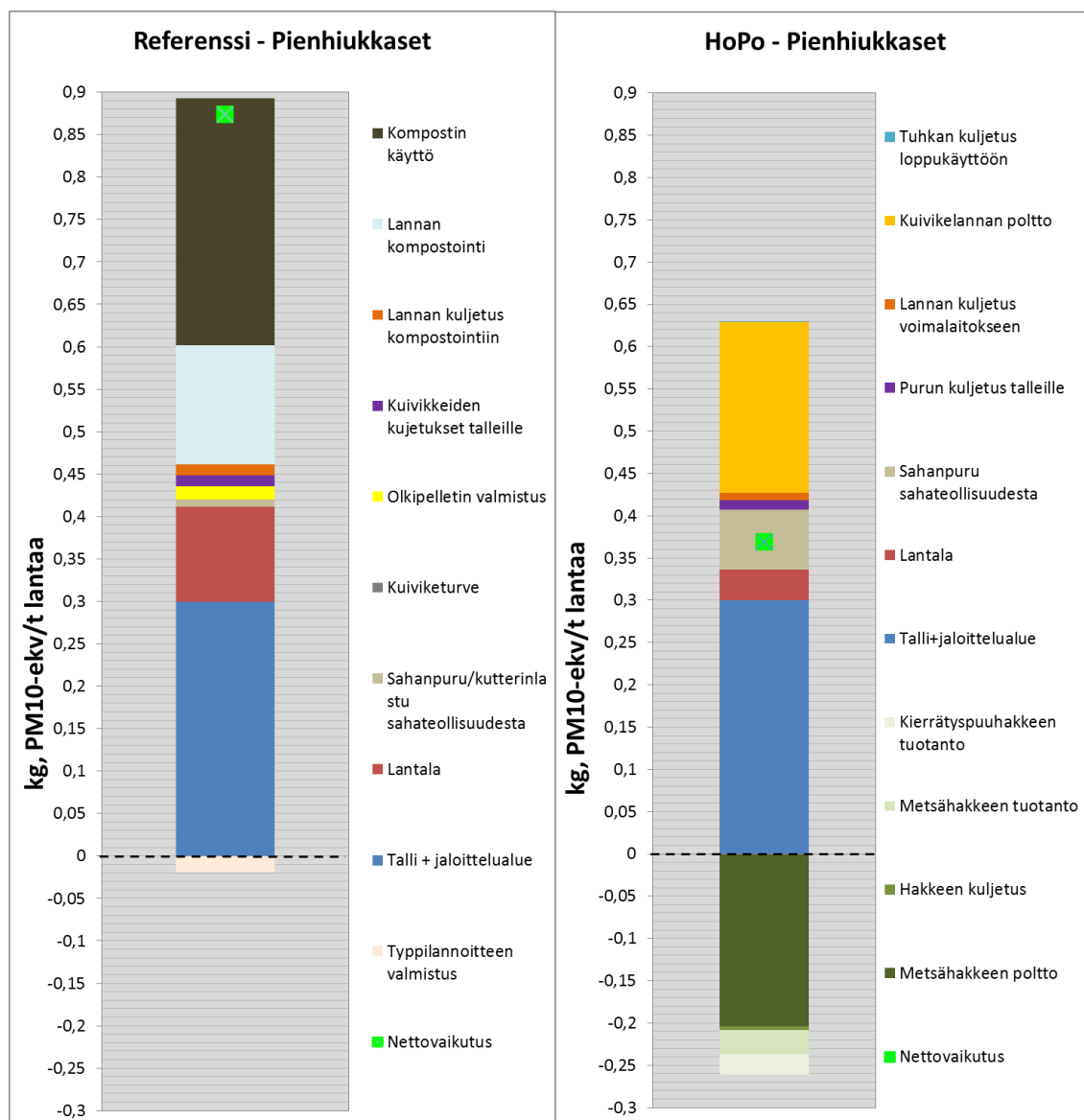
Kuva 8. Hevosenlannan käsittelyn elinkaariset ilmastovaikutukset referenssijärjestelmässä (vasemmanpuoleinen kuva) ja HoPo-järjestelmässä (oikeanpuoleinen kuva) osaprosesseittain.



Kuva 9. Hevosenlannan käsittelyn elinkaariset happamoittavat vaikutukset referenssijärjestelmässä (vasemmanpuoleinen kuva) ja HoPo-järjestelmässä (oikeanpuoleinen kuva) osaprosesseittain.



Kuva 10. Hevosenlannan käsittelyn elinkaariset vaikutukset alailmakehän otsonin muodostumiseen referenssi-järjestelmässä (vasemmanpuoleinen kuva) ja HoPo-järjestelmässä (oikeanpuoleinen kuva) osaprosesseittain.



Kuva 11. Hevosenlannan käsittelyn elinkaariset vaikutukset pienhiukkasten muodostumiseen referenssijärjestelmässä (vasemmanpuoleinen kuva) ja HoPo-järjestelmässä (oikeanpuoleinen kuva) osaprosesseittain.

5. Tulosten tarkastelu

Tässä raportissa esitettyjä tuloksia voidaan soveltaa vain luvussa 2 esitetyille järjestelmille.

HoPo-järjestelmän ympäristövaikutukset osoittautuivat referenssiä pienemmiksi kaikissa tarkastelluissa vaikutusluokissa. Erot järjestelmien välillä osoittautuvat varsin selkeiksi, joten laskennassa käytettyihin lähtöaineistoihin sisältyvien epävarmuuksien ja vaihtelujen täsmentyminen ei todennäköisesti muuttaisi lopputulosta johtopäätöksineen. Varsinaista herkkyys- tai epävarmuustarkastelua hankkeessa ei tehty, mutta alla on käsitelty tulokseen merkittävimmin vaikuttaneiden tekijöiden epävarmuuksia ja niiden mahdollisia vaikutuksia lopputulokseen.

Lannan ominaisuudet

Lannan ominaisuudet on laskettu samoilla laskentaperiaatteilla molemmille järjestelmille, ja raakalannan (lanta eläimestä) ominaisuudet ovat samat kummassakin järjestelmässä. Näiltä osin järjestelmät ovat siis täysin vertailukelpoiset. Lannan ominaisuuksiin virheitä voivat aiheuttaa epävarmat tiedot kuivikkeiden käyttömääristä ja ominaisuuksista. Nämä on pyritty saamaan mahdollisimman hyvin todellista tilannetta vastaavaksi käyttämällä suoraan toimijoilta saatuja lähtötietoja aina kun mahdollista. Lannan ominaisuuksien laskentaan tuo epävarmuutta myös oletukset laidunnuksesta ja jaloittelusta ja siten lantalaan päätyvän varastoitavan lannan määrästä. Koska lannankäsittely tässä vertailtavissa järjestelmissä oletettiin samanlaisiksi kuivikkeita ja varastointiaikoja lukuun ottamatta, muusta lannankäsittelystä laskentaan mahdollisesti tulevat virheet ovat samat kummassakin järjestelmässä.

Polttoaineena korvattavan hakkeen ja kuivikemateriaalien päästötiedot

Laskennassa hevosenlanta korvaa voimalaitoksessa metsä/kierrätyspuuhaketta. Hakkeen tuotantoketjun päästöt perustuvat sveitsiläiseen tietoon, joten ne saattavat erota jonkin verran suomalaisesta haketuotannosta. Polttoprosessista aiheutuvat suorat päästöt allokoitiin hakkeelle ja hevosenlannalle niiden energiasisällön perusteella. Näin ollen hevosenlannan polton suorat päästöt ovat hieman alhaisemmat kuin hakkeen polton päästöt. Erot ovat kuitenkin niin pieniä, että nettotuloksiin ne eivät juuri vaikuta.

Kuiviketurpeen tuotannosta ja varsinkin hajoamisesta aiheutuvilla hiilidioksidipäästöillä on referenssijärjestelmän ilmastovaikutustuloksessa suuri merkitys. Turpeesta vapautuva hiilidioksidi laskeaan kansainvälisessä kasvihuonekaasuinventariolaskennassa (IPCC 2006) fossiiliseksi, eli ilmastomuutosta kiihdyttäväksi. Kuten edellä luvussa 3.3.4 todetaan, turpeen ilmastovaikutuksen arviointiin liittyy monia kriittisiä kohtia. Sen takia tässä yhteydessä tyydyttiin suhteellisen yksinkertaiseen vaikutusten arviointitapaan.

Kuljetukset

Kuivikkeiden ja lannan paluukuljetukset on oletettu tyhjiksi kaikissa tapauksissa. Joissain tilanteissa se ei välttämättä pidä paikkaansa, mutta virhe on pieni, koska kuljetusten vaikutus lopputulokseen ylipäätään on pieni. Ainakin lantakuljetusten kohdalla on epätodennäköistä, että paluumatkalla olisi kuormaa. Lantaa ja puhtaita materiaaleja ei kuljeteta samalla kalustolla. Samoin mahdolliset epätarkkuudet kuljetusetäisyyksissä tai -kalustossa eivät juuri vaikuta lopputulokseen.

Ympäristövaikutusten arviointi

Käytössä ollut ympäristövaikutusten arviointimenetelmä ei kykene huomioimaan orgaanisen aineksen maanparannusvaikutusta (eloperäisen materiaalin lisääminen peltoon). Lantaa tai muuta eloperäistä materiaalia poltettaessa eloperäinen aines menetetään. Myös ravinteet menetetään, jos tuhkassa olevat mineraalit jätetään hyödyntämättä tai niitä ei voida haitta-ainepitoisuuksien takia hyödyntää. Toisaalta tarkastellussa hevosenlannan referenssijärjestelmässäkin ravinteiden ja orgaanisen aineksen hyödyntäminen eivät pääasiallisen viherrakentamiskäytön vuoksi toteudu optimaalis-

ti, vaan saatu hyöty on pahimmassa tapauksessa hyvin vähäinen lannassa olevaan potentiaaliin nähden. Peltomaahan lisättyä ravinteiden ja orgaanisen aineksen hyödyntäminen olisi tehokkainta. Maan rakennetta ja hiilitaseen paranemista hevosenlannan lannoitekäytössä on tutkittu esimerkiksi Ruotsissa (Poeplau ym. 2015). Sen yhdeksi positiiviseksi vaikutukseksi on todettu eräänlainen suljettu kierto hevosenlannan käytön ja hevosten nurmirehun viljelyn välillä.

Hevosenlannan voimalaitoskäytössä muodostuvaa tuhkaa voidaan hyödyntää esimerkiksi metsälannoitteena. Tässä tutkimuksessa siitä saatavia korvaavuushyötyjä ei kuitenkaan ole otettu huomioon, koska HoPo-järjestelmässä tuhkan katsotaan tällä hetkellä menevän esimerkiksi tienrakennuksen pohjamateriaaliksi. Toisaalta tuhkan ravinteista saatavat hyvitykset ovat melko vaatimattomia poltossa kokonaan menetettyyn tyypeen verrattuna.

Laskennassa ei ole huomioitu sitä, mitä millä hevosenlantaan pohjautuva maanparanne/kasvualusta mahdollisesti korvataan, jos siirrytään lannan polton sisältämään järjestelmään, ja mikä tämän ympäristövaikutus olisi. Tarkastelu on tietyltä osin teoreettinen, sillä viherrakentamiskäyttöön menevän lannan määrä on suhteellisen pieni, eikä sitä välttämättä tarvitsisi korvata mitenkään. Jos lantakompostia kuitenkin korvataan viherrakentamisessa esimerkiksi turpeella tai turvepohjaisella seosmateriaalilla sen takia, että lanta poltetaan, kohdistuu polton sisältämään järjestelmään sitä vastaava suurehko ilmastovaikutus. Esitetyn kaltainen korvautuminen ei nykytilanteessa vaikuta todennäköiseltä vaihtoehdolta, tosin tällaisten korvausvaikutusten todentaminen on hyvin hankalaa.

6. Johtopäätökset

Työssä tarkasteltiin Uudellamaalla sijaitsevien taajama- ja ammattitallien hevosenlannan käsittelyvaihtoehtoja. Näillä talleilla on usein paljon hevosia ja ne sijaitsevat asutuksen keskellä ilman omaa tai muutakaan peltoa, jonne lanta voitaisiin levittää. Useat talleista ovat toimittaneet lannan keskitettyyn aumakompostointiin, mistä syystä se valittiin tarkastelun referenssijärjestelmäksi. Vaihtoehtoisena lannankäsittelyn järjestelmänä tarkasteltiin lannan energiahyödyntämistä puun ohella keskitetyssä voimalaitoksessa (ns. HoPo-järjestelmä), joka täyttää hevosenlannan poltolle EU:n jätteenpolttodirektiivissä asetetut vaatimukset.

HoPo-järjestelmä osoittautui tarkastelluissa ympäristövaikutusluokissa ja luvussa 2 esitetyillä systeemirajauksilla referenssijärjestelmää paremmaksi vaihtoehdoksi seuraavista syistä:

- **Ilmastomuutos:** HoPo-järjestelmässä ei ole kasvihuonekaasupäästöjä tuottavaa kompostointia ja kompostin loppusijoitusta. Se ei käytä kuivikkeena turvetta, josta vapautuva hiilidioksidi lasketaan fossiiliseksi ja siten ilmastomuutosta kiihdyttäväksi.
- **Happamoituminen:** Pääosa molempien tarkasteltujen järjestelmien happamoittavista päästöistä (NH_3 , NO_x ja SO_x) muodostuu tallissa jaloittelualueineen, mutta HoPo-järjestelmä välttää lannan varastoinnin, kompostoinnin ja kompostin loppukäytön päästöt. HoPo-järjestelmässä lannan poltosta vapautuvat happamoittavat päästöt kuitaantuvat lannalla korvattavan hakkeen polton välttämiseksi saaduilla päästöhyvityksillä.
- **Alailmakehän otsonin muodostuminen:** Voimalaitoksen polttoaineiden hankintaketjut ja itse polttoprosessi aiheuttavat suurimman osan alailmakehän otsonista. HoPo-järjestelmässä hakkeen hankintaketjuista saatavien hyvitysten vuoksi järjestelmän kokonaisvaikutus jää kuitenkin nettovaikutukseltaan negatiiviseksi.
- **Pienhiukkasten muodostuminen:** Pääosa molempien järjestelmien hiukkaspäästöistä muodostuu epäsuorasti ammoniakkin myötä tallissa jaloittelualueineen, mutta HoPo-järjestelmä välttää lannan varastoinnin, kompostoinnin ja kompostin loppukäytön päästöt. Voimalaitoksen hiukkasvaikutus on käytännössä neutraali, koska lanta korvaa polttoaineena haketta, joiden molempien poltosta aiheutuu hiukkaspäästöjä.

Energiakäytössä menetettävän lannan orgaanisen aineksen mahdollisia maaperävaikutuksia päästövaikutuksineen ei tarkastelussa arvioitu menetelmän puuttumisen vuoksi. Verrattuna tarkasteltuun referenssijärjestelmään muutos ei välttämättä ole merkittävä, sillä pääasiassa viherrakentamiseen päätyvä orgaaninen aines ja ravinteet eivät ole peltomaan kuntoa ylläpitämässä. Tällaisessa tapauksessa lannan energiahyödyntäminen voi olla varteenotettavampi vaihtoehto.

On kuitenkin olemassa muita käsittelyvaihtoehtoja, kuten keskitetty biokaasulaitos tai lannan suora peltokäyttö, jotka mahdollistavat orgaanisen aineksen ja ravinteiden tehokkaamman hyödyntämisen. Jotta voitaisiin sanoa, mikä vaihtoehtoista olisi ympäristövaikutusten osalta suotuisin, vaatisi se laajemman ympäristövaikutusten tarkastelun, jossa myös biokaasulaitos ja peltokäyttö olisivat mukana.

Tallien lannankäsittelyn valintaan vaikuttaa monet tekijät. Hevosennannan energiasisältö ja soveltuvuus erilaisiin käsittelyihin riippuvat lannan määrästä ja laadusta. Olennainen tekijä on käytetty kuivike ja sen määrä. Kuivikkeen valintaan vaikuttavat mm. eläinten hyvinvointi ja terveys, tallin sisäilman laatu sekä kuivikkeen saatavuus ja hinta. Lannankäsittelyssä hevosalan pääasiallinen tavoite on päästä lannasta helposti ja edullisesti eroon. Usein edullisinta on toimittaa lanta vastikkeetta lannoite-/maanparannuskäyttöön tai levittää se omalle pellolle. Erityisesti taajama- ja ammattitalleilla tämä ei välttämättä ole mahdollista, mistä syystä erilaiset palvelukonseptit kiinnostavat.

Hevosennannan hyödyntämisen tulevaisuus Suomessa riippuu paljolti siitä, mihin suuntaan sitä halutaan kehittää. Mikäli tavoite on päästä lannasta eroon mahdollisimman tehokkaasti ja vähin ympäristövaikutuksin, energiakäyttö soveltuvissa suurissa voimalaitoksissa vaikuttaa varteenotettavalta. Mikäli halutaan maksimoida ravinteiden ja orgaanisen aineksen hyödyntäminen, muut prosessointimenetelmät lannoitevalmisteiksi ja/tai suora peltokäyttö puoltavat paikkaansa. Yrityksillä on mahdollisuus olla mukana tuottamassa erilaisille talleille soveltuvia palvelukonsepteja, jotka perustuvat toiminnan helpouteen talleille sekä saatuun liiketaloudelliseen hyötyyn yrityksille.

Viitteet

- Airaksinen & Heiskanen 2015. Selvitys eri kuivikemateriaalien ominaisuuksista hevosen, työntekijän ja tallin näkökulmasta tarkasteltuna. Suomen Hevostietokeskus ry. Toimeksiantaja: Fortum Oyj, HorsePower.
- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT tiedotteita 2045. Espoo. 172 s. + 17 liitettä.
- Almsgård, J. & Persson, L. 2011. Vätskeblanasen hos arbetande hästar på olika dieter. Hippologiskt Examensarbete nr 402. Sveriges landbruksuniversitet.
http://stud.epsilon.slu.se/2988/1/almsgard_j_et al_110704.pdf
- Bqain, D. 2014. Kivihiilen ja puupelletin seospolton elinkaaren aikaiset ympäristö- ja ilmastovaikutukset. Diplomityö Aalto-yliopisto.
- Fortum 2016/1. Sähköposti 31.1.2016/Mika Pohjonen, Fortum.
Tiedosto: Fortum_lähtötiedot_ aiemmat_kuivikkeet_ ja_ lannat_31012016.xlsx.
- Fortum 2016/2. Sähköposti 3.2.2016/Mika Pohjonen, Fortum.
Tiedosto: Liite 1 Yhteenveto kuivikelannan analyysituloksista.xls
- Fortum 2016/3. Sähköposti 27.1.2016/Mika Pohjonen, Fortum. RE: Hevosenlantaselvityslisätietopyyntöjä
- Fortum 2016/4. Sähköposti 27.1.2016/Mika Pohjonen, Fortum.
Tiedosto: Päästöt ja tehot Järvenpää K1.xls
- Fortum 2016/5. Sähköposti 26.1.2016/Mika Pohjonen, Fortum.
Tiedosto: purukuljetukset-yhtenveto.xlsx
- Fortum 2016/6. Suullinen tiedonanto 4.2.2016/Mika Pohjonen, Fortum. Lähde: sähköposti 4.2.2016/Sari Luostarinen, Luke.
- Fortum 2016/7. Sähköposti 27.1.2016/Mika Pohjonen, Fortum
Tiedosto: Lantakuljetukset-yhteenveto.xlsx
- Fortum 2016/8. Sähköposti 3.2.2016/Mika Pohjonen, Fortum
Tiedosto: Polttoaineiden käyttö 2014 ja 2015_Final.xlsx
- Fortum 2016/9. Sähköposti 2.2.2016/Mika Pohjonen, Fortum
Tiedosto: Vesistökuormitus 2014 ja 2015.xlsx
- Fowler, A.L., Hansen, T.L., Strasinger, L.A., Harlow, B.E. & Lawrence, L.M. 2015. Phosphorus digestibility and phytate degradation by yearlings and mature horse. J. Anim. Sci. 93, 5735-5742
- Grönroos, J., Mattila, P., Regina, K., Nousiainen, J., Perälä, P., Saarinen, K., Mikkola-Pusa, J. 2009. Development of the ammonia emission inventory in Finland Revised model for agriculture. The Finnish Environment 8 / 2009.
- Grönroos, J. 2015. Suullinen tiedonanto. Suomen ympäristökeskus.
- Grönroos, J. & Luostarinen, S. Lannankäsittely Suomessa. Käsikirjoitus.
- Hennesy, J. & Eriksson, O. 2015. Energy and nutrients from horse manure: Life-cycle data inventory of horse manure management systems in Gävleborg, Sweden.
<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:876711/FULLTEXT01.pdf>
- IPCC 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds):IGES, Japan.
- ISO 14040. 2006. Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework.
- Kangas, A. & Salo, T. 2010. Viherrakentamisen ympäristövaikutukset-Envirogreen. Suomen ympäristökeskus ja Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. 72 s.
- Kapuinen, P. 1992. Naudanlihan tuotantomenetelmät ja -rakennukset. Vakolan tutkimusselostus 63.
- Kapuinen, P. 1996. Kylmäkasvattamoiden kuivikepohjien toimivat vaihtoehdot. Vakolan tutkimusselostus 74.
- Karhu, K., Gärdenäs, A.I., Heikkinen, J., Vanhala, P., Tuomi, M. & Liski, J. 2012. Impacts of organic amendments on carbon stocks of an agricultural soil — Comparison of model-simulations to measurements. Geoderma 189-190 (2012): 606-616.
- Keskinen, R., Nikama, J., Närvänen, A., Uusi-Kämpä, J., Särkijärvi, S., Myllymäki, M. & Saastamoinen, M., 2014a. Reducing nutrient runoff from horse paddocks by removal of dung. Equi Meeting Infrastructures. Proceedings, Lion, France.
- Keskinen, R., Nikama, J., Närvänen, A., Särkijärvi, S., Myllymäki, M., Saastamoinen, M. & Uusi-Kämpä, J. 2014b. Kuivikemateriaalin vaikutus hevosenlannan ravinteiden sitoutumiseen ja hyödyntämiseen. Poster. Maataloustieteen päivät 2014. (www.smt.fi)

- Kirkinen, J., Minkkinen, K., Penttilä, T., Kojola, S., Sievänen, R., Alm, J., Saarnio, S., Silvan, N., Laine, J. & Savolainen, I. 2007. Greenhouse impact due to different peat utilization chains in Finland – a life-cycle approach. *Boreal Environment Research* 12: 211-223.
- Luke Rehutaulukot 2016a. Hevosten energian ja valkuaisen tarve.
https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/Rehutaulukot/feed_tables_english/nutrient_requirements/horses/energy_protein_requirements_horses
- Luke Rehutaulukot 2016b. Hevosten hivenaineiden tarve.
https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/Rehutaulukot/feed_tables_english/nutrient_requirements/horses/minerals_horses
- Närvänen, A., Jansson, H., Uusi-Kämppe, J., Jansson, H. & Perälä, P. 2008. Phosphorus load from equine critical source areas and its reduction using ferric sulphate. *Bor. Env. Res.*, 13, 265-274.
- Parvage, M.M., Ulen, B. & Kirchmann, H. 2013. A survey of soil phosphorus (P) and nitrogen (N) in Swedish horse paddocks. *Agr.Ecos. Env.*, 178, 1-9.
- Parvage, M.M., Ulen, B., & Kirchmann, H. 2015. Are horse paddocks threatening water quality through excess loading of nutrients? *J. Env. Manag.* 147, 306-313.
- Poeplau, C., Bolinder, M.A., Eriksson, J., Lundblad, M. & Kätterer, T. 2015. Positive trends in organic carbon storage in Swedish agricultural soils due to unexpected socio-economic drivers. *Biogeosciences*, 12, 3241–3251,
- Pussinen, S., Korhonen, J., Pölönen, I. & Varkia, R. 2007. Kasvava hevosala. Laurea amk:n julkaisusarja, B-19. Vantaa. 91 s.
- Puustinen H., Kajolinna T., Pellikka T., Kouki J. & Vuorio K. 2009. Hevosenlannan poltossa ilman vapautuvien päästöjen karakterisointi. Tutkimusraportti VTT-R-01295-09. 18 s.
- ReCiPe. ReCiPe methodology for Life Cycle Impact Assessment (LCIA).
<https://sites.google.com/site/lciarecipe/home>
- Saastamoinen, M. Särkijärvi, S. & Hyypä, S. 2015. Reducing respiratory health risks to horses and workers: A comparison of two stall bedding materials. *Animals*, 5, 965-977.
- Saastamoinen, M. 2016. Suullinen tiedonanto. Luonnonvarakeskus Luke.
- Seppälä, J., Grönroos, J., Koskela, S., Holma, A., Leskinen, P., Liski, J., Tuovinen, J.-P., Laurila, T., Turunen, J., Lind, S., Maljanen, M., Martikainen, P.P.J. & Kilpeläinen, A. 2010. Climate impacts of peat fuel utilization chains – a critical review of the Finnish and Swedish life cycle assessments. *Finnish Environment* 16/2010. The Finnish Environment 16/2010, Environmental Protection. 122 p.
- Ståhlberg, P., Wilén, C. & Horvath, A. 1985. Oljen pelletointi ja pellettien käyttö polttoaineena. Vakolan tutkimusselostus nro. 40.
- Särkijärvi, S., Sormunen-Christian, R., Heikkilä, T., Rinne, M. & Saastamoinen, M. 2012. Effect of grass species and cutting time on *in vivo* digestibility of silage by horses and sheep. *Livest. Sci.*, 144, 230-239.
- Särkijärvi, S. & Saastamoinen, M. 2014. Phosphorus and nitrogen excretion of Finnhorse mares with typical Finnish diets. *Proceedings 7th EWEN*, s. 129.
- Uusi-Kämppe, J., Närvänen, A., Kaseva, J. & Jansson, H. 2012. Phosphorus and faecal bacteria in runoff from horse paddocks and their mitigation by the addition of P-sorbing materials. *Agr. Food Sci.*, 21, 247-259.



Luonnonvarakeskus
Viikinkaari 4
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000