

## Hevoselanta tuottaa biokaasua

Elina Tampio<sup>1)</sup>, Elina Virkkunen<sup>2)</sup>, Pekka Heikkinen<sup>2)</sup>, Mikko Hietaranta<sup>3)</sup>, Markku Saastamoinen<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>MTT Bioenergia ja ympäristö, Animale, 31600 Jokioinen, elina.tampio@mtt.fi

<sup>2)</sup>MTT Sotkamo, Kipinäntie 16, 88600 Sotkamo, elina.virkkunen@mtt.fi

<sup>3)</sup>Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos, Survontie 9, 40500 Jyväskylä, mikko.t.hietaranta@student.jyu.fi

<sup>4)</sup>Markku Saastamoinen, MTT Hevostalous, Opistontie 10 a 1, 32100 Ypäjä, markku.saastamoinen@mtt.fi

### Tiivistelmä

Hevoselantakuivikelannan käsittelymenetelmiä ovat lähinnä erilaiset kompostointiratkaisut. Hevoselantaa ei Suomessa polteta energiaksi, koska polttamista rajoittavat päästöihin liittyvät määräykset. Energiantuotannossa lannan kuivamädätys on potentiaalinen vaihtoehto, ja sitä tehdäänkin käytännössä jonkin verran Euroopassa. Lannan biokaasuttamisella saadaan lannan ravinteet talteen ja voidaan sulkea erityisesti typen ja fosforin ravinnekierto. Suljetun ravinnekierron ansiosta ympäristöön päätyvä typpikuormitus ja kasvihuonekaasupäästöt vähenevät huomattavasti. Lannan sisältämästä typestä osa muuttuu biokaasutuksessa helppoliukoiseen ammonium-muotoon, jonka kasvit käyttävät nopeasti, jolloin valumariski pienenee. Prosessin tuottama biokaasuenergia voidaan käyttää esimerkiksi tallin ja käyttöveden lämmitykseen.

Hevoselantakuivikelantaa tutkittiin biokaasuprosessin syötteenä MTT Sotkamossa osana MTT:n ja TTS:n HorseManure -hanketta. Syötteenä valittiin puupohjaisella kuivikkeella kuivitettu lanta, sillä sen loppusijoittamisessa on eniten ongelmia. Koe tehtiin nestetilavuudeltaan 3 m<sup>3</sup> pilot-mittakaavan puoli-jatkuvatoimisella ja täyssekoitteisella reaktorilla, joka on suunniteltu kiinteän syötteen biokaasutukseen. Reaktorin kuormitus oli 2 kg sulavaa orgaanista ainetta reaktorikuutiota kohti (2 kgVS/m<sup>3</sup>d). Kokeen alussa käytetty ympäristö oli mädätetty lehmänlannasta ja säilörehusta. Hevoselantakuivikelannan kuiva-ainepitoisuus oli keskimäärin 35,5 %. Tutkimuksessa hevoselantakuivikelanta tuotti 70,5 m<sup>3</sup> metaania tonnia sulavaa orgaanista ainetta kohti (m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/tVS) ja 19,6 m<sup>3</sup> metaania tuoretta lantatonnia kohti (m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/tFM). Kaasun metaanipitoisuus oli keskimäärin 53,8 % ja käsittelyjäännöksen pH 7,5. Kokeessa saavutettu metaanintuotto oli varsin alhainen, mikä johtui metaania tuottamattoman kuivikkeen suuresta määrästä suhteessa lantaan sekä alhaisesta kuormituksesta. Metaanintuotto oli tässä kokeessa samalla tasolla kuin kirjallisuudesta löydettyissä puokuivitteisen hevoselantakuivikelannan metaanipotentialikokeissa. Reaktorikokeen aikana testattiin myös prosessin kykyä inaktivoita hukkakauran (*Avena fatua*) siemeniä syöttämällä siemenet prosessin 29 vuorokaudeksi, minkä jälkeen siemeniä idätettiin. Tutkimuksessa saavutettu itämisprosentti oli 0 %.

Pilot-reaktori soveltui melko hyvin purukuivitteisen lannan käsittelyyn, vaikka ajoittain kuiva-ainepitoisuus nousi korkealle, ja sekä syöttö- että sekoitusruuvit olivat koetuksella. Pystymällistä reaktoria käyttökelpoisempi tekninen ratkaisu varsinkin kokoluokan kasvaessa on vaakamallinen tulppavirtausreaktori, jolloin kuormitusta voitaisiin nostaa, ja metaanintuottoa lisätä.

HorseManure -hanketta rahoittaa ympäristöministeriö ravinteiden kierrätyksestä edistävistä ja saaristomeren tilan parantamista koskevasta RAKI-ohjelmasta.

Asiasanat: hevoselanta, biokaasutus, kuivamädätys, hukkakaura

## Johdanto

Hevosen kuivikelantaa syntyy vuosittain noin 12 m<sup>3</sup> hevosta kohden (VNa 931/2000), mikä Suomen mittakaavassa tarkoittaa lähes 890 000 m<sup>3</sup> kuivikelantaa vuodessa (hevosia 74 100 kpl, Suomen Hippos ry 2012). Hevosen kuivikelannan käsittelymenetelmiä ovat lähinnä erilaiset kompostointiratkaisut. Suomessa hevosenlantaa ei polteta energiaksi koska polttamista rajoittavat päästöihin liittyvät määräykset (JL 646/2011, VNa 151/2013), ja etenkin purukuivitetun hevosenlannan käsittely on tänä päivänä ongelma, koska sopivaa käsittelymenetelmää tällä hetkellä ole. Energiantuotannossa lannan kuivämädätys on potentiaalinen vaihtoehto, jota tekniikkana käytetään laitosmittakaavassa kasviperäisille materiaaleille jonkin verran Euroopassa, etenkin Saksassa. Biokaasuprosessissa lannan ravinteet saadaan talteen, jolloin erityisesti typen ja fosforin ravinnekierto sulkeutuu. Suljetun ravinnekierron ansiosta ympäristöön päätyvä typpikuormitus ja lannoitteiden valmistuksen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt vähenevät huomattavasti. Lannan sisältämästä tuestä osa muuttuu biokaasutuksessa helpoliukoiseen ammonium-muotoon, jonka kasvit käyttävät nopeasti, jolloin valumariski pienenee. Prosessin tuottama biokaasuenergia voidaan käyttää esimerkiksi tallin ja käyttöveden lämmitykseen.

Hevosenlannan käytöstä biokaasun tuotannossa on kirjallisuudessa vielä niukasti tietoa, mikä johtuu hevosenlannan suhteellisen vähäisestä määrästä verrattuna muodostuvaan naudan- ja sianlantaan. Hevosenlannan metaanintuottopotentiaali on panosprosessissa vaihdellut kuivikemateriaalin määrän ja laadun perusteella välillä 40–170 m<sup>3</sup>/tVS (Kusch ym. 2008, Wartell ym. 2012). Puupohjaisen kuivikkeen käyttö laskee metaanisaantoa, koska puu tuottaa biokaasuprosessissa hyvin vähän metaania (Wartell ym. 2008, 2012), kun taas esimerkiksi olki yksinään tuottaa metaania noin 150 m<sup>3</sup>/tVS (Cui ym. 2011).

Rikkakasveja, kuten hukkakauraa, voi päätyä biokaasulaitoksille, laitoksen käsittelyjäännöksiin ja lopulta ympäristöön eläinten lannan mukana. Suomessa lannoitevalmisteasetuksen mukaisesti orgaanisissa lannoitevalmisteissa hukkakauraa (*Avena fatua*) ei saa esiintyä (MMM 24/11). Hukkakauran ja muiden rikkakasvien inaktivoitumiseen biokaasuprosessissa vaikuttaa siementen pinnan vedenläpäisykyky, vesipitoisuus sekä käsittelyn lämpötila. Biokaasuprosessin lämpötilan on havaittu vaikuttavan merkittävästi siementen inaktivoitumiseen, jolloin termofiilinen prosessi on mesofiilistä tehokkaampi. Tutkimuksissa on kuitenkin havaittu, että myös biokaasuprosessin muut tekijät, kuten mikrobitoiminta, vaikuttavat itävyyteen, jolloin esimerkiksi mesofiilinen 30 asteen biokaasuprosessi on lämpöhaudetta tehokkaampi siementen inaktivoinnissa jo 3 päivän viipymäajalla (Westerman & Gerowitt 2013).

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää purukuivitteisen hevosenlannan soveltuvuutta kuivämädätykseen pilot-mittakaavan kuivämädätyslaitteistolla. Tutkimuksessa myös tarkasteltiin hukkakauran selviytymistä mesofiilisessa biokaasuprosessissa 29 päivän viipymäajalla.

## Aineisto ja menetelmät

### *Materiaalit*

Kokeessa ymppinä käytettiin biokaasureaktorin lehmänlannan ja vuohenhernesäilörehun käsittelyjäännöstä (1000 kg). Ennen kokeen alkua ympin määrää kasvatettiin myös purukuivitetulla hevosenlannalla jotta reaktorin mikrobisto tottuisi käsittelemään uutta materiaalia, jonka syöttö aloitettiin 250 kg annoksella 2 kuukautta ennen varsinaisen kokeen alkua. Yhteensä reaktoriin syötettiin hevosenlantaa 763 kg ennen varsinaisen kokeen aloittamista.

Syötteenä käytettiin purukuivitettu hevosenlantaa Vuokatin ratsastuskoulusta. Purulanta noudettiin traktorin kauhalla Sotkamoon MTT:n toimipisteeseen, jossa se myös säilytettiin ennen syöttämistä. Ensimmäinen syöte säilytettiin kauhassa konehallissa, ja seuraavat syötteet ulkona muovipeitteen alla, jolloin sade saattoi ajoittain kastella lantaa hieman. Kun uudesta syötteestä määritettiin reaktoriin syötettävän lannan määrä, se punnittiin saaveissa vihannesvaa'alla (Mettler PM 6000) 10 gramman tarkkuudella.

### ***Biokaasureaktorin toiminta***

Biokaasukoe tehtiin 4 m<sup>3</sup> pilot-mittakaavan puolijatkuvatoimisella ja täyssekoitteisella reaktorilla MTT Sotkamon ”Äpyli”, joka on suunniteltu kiinteän syötteen biokaasutukseen. Laitteiston materiaalin käsittelykapasiteetti on 3 m<sup>3</sup>. Prosessin lämpötila kokeessa oli mesofiilinen 38 ± 2 °C. Laitteistoon kuului syöttösuppilo, josta hevosen purulanta kuljetettiin reaktoriin vaakatasossa olevalla ruuvilla. Reaktorin sisältöä sekoitettiin pystyasentoisella ruuvilla automaattisesti kuuden tunnin välein ja lämmitettiin reaktorin ulkovaipassa olevan vesikierron avulla. Lämpötilaa tarkkailtiin reaktorista, reaktorihuoneesta, kiertovedestä sekä ulkoilmasta. Ennen syöttöä reaktorista poistettiin edellistä syöttöä vastaava massa käsittelyjäännöstä ruuvikuljettimella, ja massa punnittiin vihannesvaa’alla. Poiston jälkeen ajettiin ruuviin noussut massa takaisin reaktoriin. Poiston ajan reaktorin sekoitus oli suunnattu alaspäin, ja syötettäessä käännettiin sekoittamaan ylöspäin syötön helpottamiseksi. Kokeen aikana reaktorin sekoittimen nopeus oli 20 rpm ja päivinä 72–139 10 rpm.

Kokeen aikana hevosen purulantaa syötettiin siten, että syöttömäärä oli 2 kiloa orgaanista kuiva-ainetta (VS) yhtä reaktorikuutiometriä kohden, eli reaktorin kuormitus oli 2 kgVS/m<sup>3</sup>d, kun reaktoria syötettiin viitenä päivänä viikossa. Viipymäaika reaktorissa oli keskimäärin noin 130 päivää. Koska syötettävä materiaali oli hyvin kuivaa, eikä reaktorin sekoitin jaksanut liikuttaa massaa reaktorissa, lisättiin koepäivänä 67 reaktoriin 30 l vettä. Koepäivinä 71–81 alkaen vettä lisättiin päivittäin 20 l syötettävän lannan mukana. Reaktoria syötettiin päivinä 1-114, minkä jälkeen metaanintuottoa reaktorissa seurattiin vielä päivään 139 saakka.

### ***Hukkakauran itävyyskoe***

Hukkakauran itävyyskokeessa kauran siemenet kerättiin loimaalaiselta tilalta 2.8.2013, ja niitä säilytettiin kokeeseen saakka jääkaapissa. Siemenet syötettiin biokaasuprosessiin reaktorin seinässä olevasta näytteenottoaukosta, johon työnnettiin hukkakauran siemeniä sisältävä reiällinen metalliputki. Siemenet olivat reaktorissa 29 vrk (koepäivät 102–130). Reaktoriin syötettiin 3 x 50 kpl pussia ehjiä hukkakauran siemeniä ja 3 x 50 kpl pussia rikottuja siemeniä.

Hukkakauran itävyys testattiin sekä reaktorissa olleista siemenistä että kontrollisiemenistä, joita ei pidetty reaktorissa. Kontrollisiemeninä käytettiin kokonaisia hukkakauran siemeniä irrallaan (100 kpl) ja pusseissa (5 x 50 kpl) sekä rikottuja siemeniä (50 kpl). Siemenet idätettiin kostutetulla idätyspaperilla (Munktell Filter 1750, 220 x 400), joka peitettiin toisella paperilla. Paperit siemenineen käärittiin rullalle ja laitettiin muovipussiin. Kontrollisiemeniä idätettiin 12 vuorokautta ja reaktorissa käsitellyjä siemeniä 20 vrk.

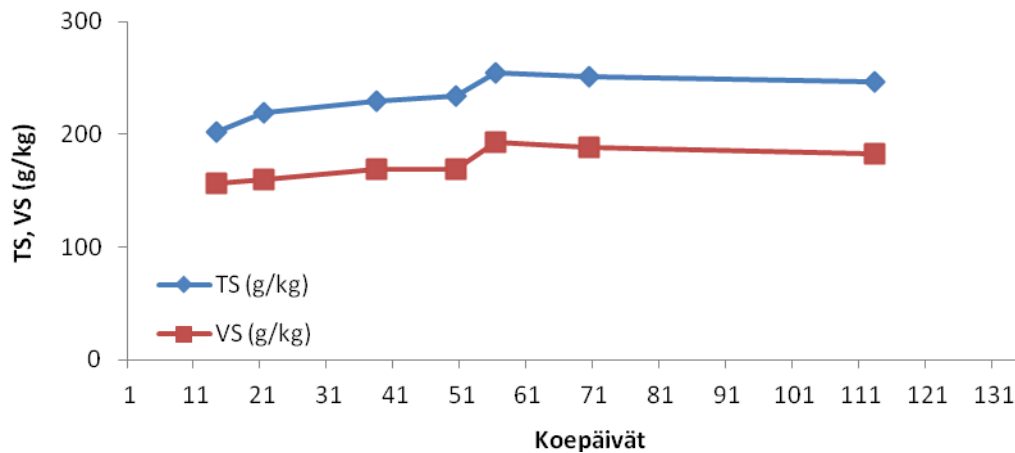
### ***Analyysit***

Kuiva-ainepitoisuus (TS) sekä hehkutushäviö (VS) määritettiin Sotkamon MTT:llä standardin SFS 3008 mukaisesti (Suomen standardoimisliitto 1990). Kaasuntuottoa seurattiin kaasuntilavuusmittarilla (BK-G4) ja metaanipitoisuusmittarilla (Simrad GD10P-IR). Prosessin pH-tasapainoa seurattiin jatkuvatoimisesti puolen tunnin välein automatisoidulla Endress+Hauser Liquiline CM442 järjestelmällä ja Endress+Hauser Orbisint CPS11D-7AA21 -elektrodilla.

## **Tulokset ja tulosten tarkastelu**

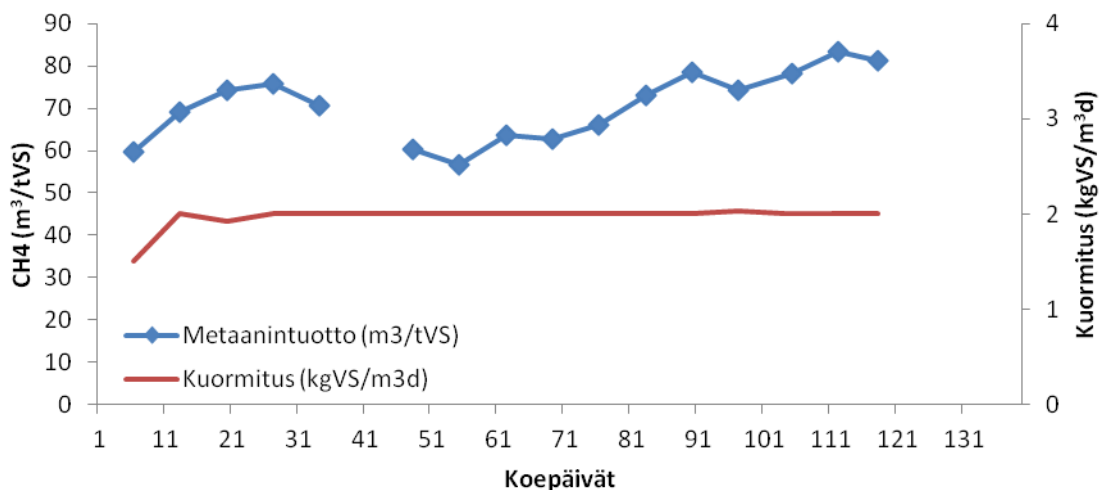
### ***Reaktorikoe***

Kokeessa tutkittu hevosen purulanta oli suhteellisen kuivaa materiaalia, jonka TS oli 355,2 ± 35,7 g/kg ja VS 271,5 ± 35,0 g/kg, jolloin kuiva-aineesta 76 % oli orgaanista kuiva-ainetta. 114 päivää kestäneen puolijatkuvatoimisen reaktorikokeen aikana TS-pitoisuus koepäivänä 14 oli 229,5 g/kg ja VS-pitoisuus 169,1 g/kg, mikä johtui reaktoriympin laimentavasta vaikutuksesta. Käsittelyjäännöksen TS- ja VS-pitoisuudet kuitenkin kokeen edetessä nousivat hieman, noin 10 g/kg syötön vaikutuksesta (kuva 1).



Kuva 1. Hevosen purulannan biokaasuprosessin aikaiset kuiva-aineen (TS) ja orgaanisen kuiva-aineen (VS) muutokset.

Reaktorikokeen aikana käsittelyjäännöksen pH-arvo ( $7,52 \pm 0,04$ ) sekä tuotetun metaanin pitoisuus ( $53,8 \pm 1,0$  %) pysyivät hyvin tasaisena, mikä indikoi prosessin stabiilia tilaa. Kokeen aikana syötteen kuiva-aineesta hajosi 69 % ja orgaanisesta kuiva-aineesta 67 %. Metaanintuotto syötettyä lantatonnia kohden oli keskimäärin  $19,6 \pm 4,2$  m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/tFM ja lannan sisältämää orgaanista ainetta kohden  $70,5 \pm 8,22$  m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/tVS. Kuvissa 2 ja 3 on esitetty päivittäinen sekä viikoittainen metaanintuotto syötetyn lannan orgaanista ainetta kohden.

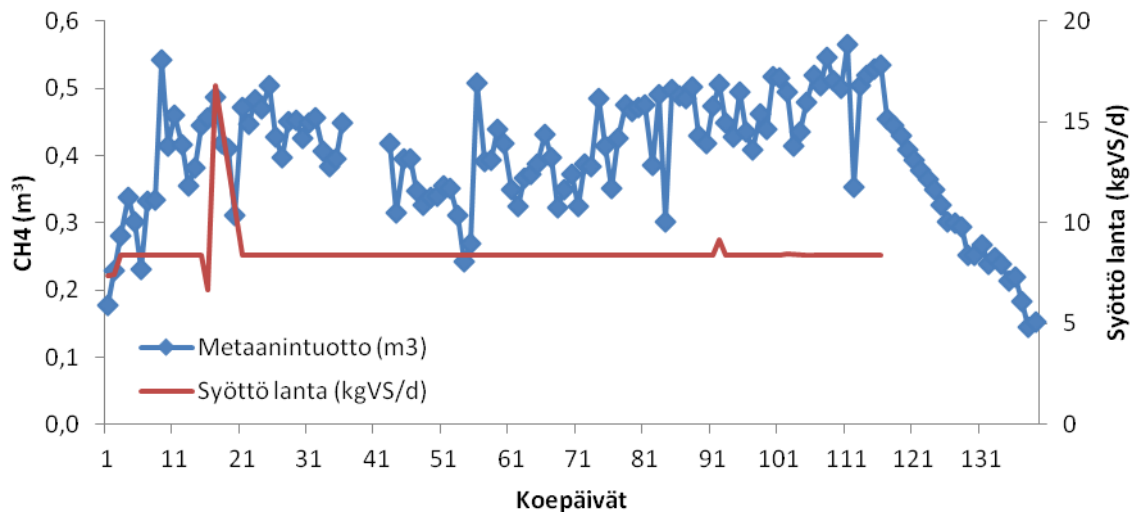


Kuva 2. Metaanintuoton viikkokeskiarvo hevosenlannan orgaanista kuiva-ainetta (VS) kohden sekä kuormitus.

Reaktorikokeen keskimääräinen metaanintuotto ( $70,5 \pm 8,22$  m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/tVS) oli suhteellisen alhainen verrattuna esimerkiksi olkikuivikkeelliseen hevosenlantaan, jonka metaanintuotoksi on raportoitu 170 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/tVS (Kusch 2008). Alhainen metaanintuotto heijastui myös suhteellisen alhaisena VS:n hajoamisena prosessissa (67 %). Puuhaketta kuivikkeena sisältävän hevosenlannan metaanintuotoksi on pilot- ja laboratoriomittakaavan panoskokeissa raportoitu kuitenkin myös alempia tuottoja ( $29\text{--}48$  m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/tVS ja  $40\text{--}100$  m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/tVS, Wartell ym. 2012).

Kokeen aikana reaktoriin syötetyn hevosenlannan kuormitus pidettiin matalana, 2 kgVS/m<sup>3</sup>d, mikä johti alhaiseen metaanintuottoon. Toisena syynä oli lannan kuivikkeena käytetty puupuru, joka hapettomissa olosuhteissa ei muodosta juurikaan metaania (Wartell ym. 2008, 2012). Korkeammalla kuormituksella tuotto olisi kasvanut, koska orgaanista ainesta olisi syötetty mikrobeille enemmän, mutta syötteen TS-pitoisuuden vuoksi korkea kuormitus olisi todennäköisesti aiheuttanut ongelmia prosessin toiminnassa. Jo kuormituksella 2 kgVS/m<sup>3</sup>d reaktorin syöttö- ja sekoitusruuvit olivat

vaikeuksissa, ja syötettä jouduttiin koepäivinä 71–81 laimentamaan vedellä, jotta reaktorin sisältöä pystyttiin sekoittamaan. Jatkuvatoiminen pilot-reaktori kuitenkin soveltui melko hyvin purukuivitteisen hevosenlannan käsittelyyn.



Kuva 3. Metaanintuotto kuutiometreinä päivässä sekä reaktoriin syötetty lannan orgaaninen kuiva-ainemäärä päivässä.

### Hukkakauran idätyskoe

Hukkakauran siemenillä tehdyissä idätyskokeissa kontrollisiementen itävyys oli 39 %. Osa kontrollisiemenistä idätettiin pusseissa, jolloin itävyys oli 17,6 %. Rikotuissa kontrollisiemenissä itävyys oli 0,06 %. Biokaasureaktorin mesofiilisessa lämpötilassa ja hapettomissa olosuhteissa 29 vuorokautta olleista siemenistä selviytyi 0 %. Tulos tukee aiempia tutkimuksia, joissa on havaittu, että myös mesofiilisissa olosuhteissa saavutetaan rikkakasvien 100 %:nen inaktivoituminen (Westerman & Gerowitt 2013).

### Johtopäätökset

Kokeessa hevosen purukuivitetulla lannalla saavutettua metaanintuottoa ( $70,5 \pm 8,22 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{tVS}$ ) voidaan pitää varsin hyvänä, sillä kuivikkeen määrä lannassa oli suuri, eikä puupohjainen kuivike tuota metaania. Myös kuormitus pidettiin kokeessa alhaisena, mikä laski metaanintuottoa. Lannan osuuden kasvattaminen kuivitetussa lannassa parantaisi metaanisaantoa, ja samalla kuivikkeen poiston minimointi sekä määrän vähentäminen laskisi kustannuksia.

Purukuivitetun hevosenlannan osalta ongelmallista on korkea kuiva-ainepitoisuus, mikä asettaa vaatimuksia biokaasureaktorin rakenteelle. Tässä kokeessa käytetty puolijatkuvatoiminen kuivamädätysreaktori osoittautui toimivaksi reaktoriratkaisuksi alhaisella kuormituksella, joskin sekoitinlaitteiden toiminnassa oli ajoittain ongelmia korkean kuiva-ainepitoisuuden vuoksi. Pystymällistä reaktoria käyttökelpoisempi tekninen ratkaisu varsinkin reaktorin kokoluokan kasvaessa olisi todennäköisesti vaakamallinen tulppavirtausreaktori, jotka voitaisiin ajaa myös korkeammalla kuormituksella.

Kokeessa todettiin hukkakauran inaktivoituvan mesofiilisessa lämpötilassa 29 vuorokauden aikana 100 %:sti, mikä helpottaa biokaasulaitosten käsittelyjäännösten käyttökelpoisuutta, koska erillistä rikkakasvien inaktivoitumisprosessia ei tarvita ja jäännöstä voidaan käyttää orgaanisena lannoitteena.

## Kirjallisuus

- Cui, Z., Shi, J., Li, Y. 2011.** Solid-state anaerobic digestion of spent wheat straw from horse stall. *Bioresource Technology* 102, 9432–9437.
- JL 646/2011.** Jätelaki. Annettu Helsingissä 17. päivänä kesäkuuta 2011.
- Kusch, S. Oechsner, H., Jungbluth, T. 2008.** Biogas production with horse dung in solid-phase digestion systems. *Bioresource Technology* 99, 1280–1292.
- MMMa 24/11.** Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista 24/11. Annettu 1.9.2011.
- Suomen Hippos ry 2012.** Suomen Hippos -konsernin vuosikertomus 2012. [http://www.hippos.fi/files/6954/hippos\\_vuosikertomus\\_2012\\_lowres.pdf](http://www.hippos.fi/files/6954/hippos_vuosikertomus_2012_lowres.pdf)
- Suomen standardoimisliitto 1990.** SFS 3008, Veden, lietteen ja sedimentin kuiva-aineen ja hehkutusjäännöksen määrätyt. Suomen standardoimisliitto SFS ry, Helsinki.
- Wartell, B., Krumins, V., George, R., Alt, J., Schwab, B., Kang, K., Fennel, D.E. 2008.** Anaerobic digestion of equine stall waste. An ASABE Meeting Presentation. Paper number 084253. Conference proceedings paper presented at the 2008 ASABE Annual International Meeting. June 29 – July 2, 2008. Providence, RI.
- Wartell, B.A., Krumins, V., Alt, J., Kang, K., Schwab, B.J., Fennel, D.E. 2012.** Methane production from horse manure and stall waste with softwood bedding. *Bioresource Technology* 112, 42–50.
- Westerman, P.R., Gerowitt, B. 2013.** Weed seed survival during anaerobic digestion in biogas plants. *Botanical Review* 79, 281–316.
- VNa 151/2003.** Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta. Annettu Helsingissä 14. päivänä helmikuuta 2013.
- VNa 931/2000.** Valtioneuvoston asetus maataloudesta peräisin olevien nitraattien vesiin pääsyn rajoittamisesta. Annettu Helsingissä 9. päivänä marraskuuta 2000.