

# Biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksen, lannoituksen ja puna-apilapitoisuuden vaikutus nurmen satoon ja metaanintuottopotentiaaliin

Piia Kekkonen<sup>1)</sup>, Maarit Hyrkäs<sup>1)</sup>, Perttu Virkajärvi<sup>1)</sup>, Ville Pyykkönen<sup>2)</sup>, Jenni Airaksinen<sup>1)</sup>, Satu Ervasti<sup>3)</sup> ja Sari Luostarinen<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>Luonnonvarakeskus, Vihreä teknologia, Halolantie 31 A, 71750 Maaninka, etunimi.sukunimi@luke.fi

<sup>2)</sup>Luonnonvarakeskus, Uudet liiketoimintamahdollisuudet, Halolantie 31 A, 71750 Maaninka, etunimi.sukunimi@luke.fi

<sup>3)</sup>Luonnonvarakeskus, Uudet liiketoimintamahdollisuudet, Tietotie 2, 31600 Jokioinen, etunimi.sukunimi@luke.fi

<sup>4)</sup>Luonnonvarakeskus, Uudet liiketoimintamahdollisuudet, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki, etunimi.sukunimi@luke.fi

## Tiivistelmä

Ravinteiden hyötykäyttö on yksi taloudellisen ja ympäristöystävällisen maatalouden lähtökohtia. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, kuinka tehokkaasti ravinteita voidaan kierrättää, kun nurmea tuotetaan biokaasun raaka-aineeksi mahdollisimman pienillä ostopanoksilla. Kokeessa ravinnelähteinä käytettiin biokaasureaktorin käsittelyjäännöstä, väkilannoitteita ja biologista typensidontaa. Tarkastelussa ovat vuodet 2013 - 2015 ja koe toteutettiin Luonnonvarakeskus Maaningan toimipisteessä.

Koe toteutettiin osaruutukokeena neljänä kerranteena. Pääruutuna olivat timotei-nurminataseos sekä puna-apilapitoinen timotei-nurminataseos. Osaruutuna oli neljä erilaista lannoitusstrategiaa seuraavasti: 1) ei lannoitusta 2) käsittelyjäännös toiselle sadolle 3) 50 kg N 1. sadolle, käsittelyjäännös ja 50 kg N toiselle sadolle ja 4) 100 kg N 1. sadolle, käsittelyjäännös ja 50 kg N toiselle sadolle. Käsittelyjäännöstä levitettiin noin 30 t ha<sup>-1</sup> ja lisätyppi annettiin Suomensalpietarina. Käsittelyjäännöstä saatiin biokaasulaitoksesta, jonka syötteenä oli käytetty naudnan lietelantaa ja timoteinurminatasäilörehua. Sadot korjattiin kaksi kertaa kesässä ja korjuun yhteydessä määritettiin kuiva-ainesato. Korjuu ajoitettiin apilanurmella ja heinänumrella kasvuolosuhteiden ja kasvilajien kehitystason perusteella. Näytteistä määritettiin D-arvo, typpipitoisuus sekä sulamaton kuitu (iNDF) NIR-menetelmällä ja metaanintuottopotentiaali sekä kuiva-ainetta (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> t<sup>-1</sup> TS) että orgaanista kuiva-ainetta (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> t<sup>-1</sup> VS) kohti. Lisäksi laskettiin nurmen metaanintuottopotentiaali hehtaaria kohden. Kasvuston apilapitoisuus arvioitiin kasvuston kalsiumpitoisuuden avulla vertaamalla sitä puhtaiden apila- ja heinänytteiden kalsiumpitoisuuteen.

Apilanurmi tuotti kokeessa paremman kuiva-ainesadon kuin pelkkä heinänummi. Lannoituksella saatiin nostettua heinänummen satoa, mutta 1. sadon N-lannoituksen nosto 50 kg:sta 100 kg:aan ei enää lisännyt satoa. Lannoittamattomalla heinänumrella kesän kokonaissato oli keskimäärin 5020 kg ka ha<sup>-1</sup>, kun taas korkeimmalla lannoitustasolla satoa saatiin keskimäärin 9720 kg ka ha<sup>-1</sup>. Apilanurmella ilman lannoitusta kokonaiskuiva-ainesato oli keskimäärin 8920 kg ka ha<sup>-1</sup>. Korkeimmalla lannoitustasolla apilanurmen satotaso oli keskimäärin 11580 kg ka ha<sup>-1</sup>, mutta kasvusto oli selvästi heinävaltaista.

Apilanurmen orgaanisen aineen metaanintuottopotentiaali oli hieman heinänummea matalampi, joskaan ero ei ollut aina tilastollisesti merkitsevä. Lannoituksen vaikutus oli kasvilajin vaikutusta vähäisempi. Koska apilanurmen satotaso oli heinänummea korkeampi, se tuotti kuitenkin enemmän metaania hehtaaria kohden laskettuna. Tutkimuksessa tarkasteltiin lisäksi D-arvon, kasvuston typpipitoisuuden ja iNDF:n yhteyttä metaanintuottopotentiaaliin.

Asiasanat: puna-apila, heinänummet, typpi, käsittelyjäännös, metaanintuottopotentiaali, sato

## Johdanto

Maatalouden ympäristövaikutusten vähentäminen ja ravinteiden tarkoituksenmukainen käyttö vaativat maataloilta ratkaisuja, jotka ovat taloudellisia ja hyödyntävät mahdollisimman tehokkaasti tilan ravinnekierron kokonaisuuden (Luostarinen 2013). Karjatiloilla karjanlanta on merkittävä osa tilan ravinnekiertoa. Lannoitusikäntä ohella karjanlanta voi olla myös biokaasun raaka-aine, johon on kohtalaisen helppo yhdistää lisäsyötteitä, jotka puolestaan nostavat biokaasuntuotantoa merkittävästi. Nurmikasvit soveltuvat tähän hyvin. Ne ovat viljelyvarmoja ja tuottavat kohtalaisen suuria kuiva-ainesatoja. Lisäksi nurmipeitteisyys vähentää eroosiota, mistä on vesiensuojelun kannalta hyötyä erityisesti eroosioherkillä mailla. Nurmien lannoituksessa voidaan käyttää helposti biokaasulaitoksen käsittelyjäännöstä: Tämä tehostaa ravinnekiertoa oleellisesti, etenkin kun liete sijoitetaan nurmeen, jolloin ammoniakki haihtuminen estyy lähes täysin ja typpitappiot minimoituvat (Mattila 2006). Toisaalta on osoitettu, että energiatuotannon kannalta suuri kuiva-ainesatotasoa on määräävä tekijä (Prochnow 2009, Seppälä 2013), ja suuria satoja tavoiteltaessa lisätyn käyttö on välttämätöntä.

Yksi vaihtoehto biokaasunurmen typpilannoitukseen on käyttää nurmipalkokasveja, joiden typensidontakyky on merkittävästi yksivuotisia palkokasveja suurempi. Toisaalta nurmipalkokasvit eivät ole optimaalisia metaanintuotantokyvyltään (Lehtomäki 2006) ja ne myös kärsivät heinänurmia herkemmin ainakin raakalietteen levityksen haitoista. Käsittelyjäännöksen vaikutuksesta ei ole riittävästi tietoa, mutta voidaan olettaa sekä käsittelyjäännöksen että lisätyn käytön vähentävän palkokasvien osuutta nurmessa. Näiden tekijöiden monimutkaisten yhdysvaikutusten vuoksi päätettiin verrata heinänurmien ja heinä-palkokasvinurmien ravinnekiertoa ja biokaasun tuotantopotentiaalia systeemitasolla. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, kuinka tehokkaasti ravinteita voidaan kierrättää, kun nurmea tuotetaan biokaasun raaka-aineeksi mahdollisimman pienillä ostopanoksilla. Tutkimuksessa selvitetään biokaasulaitoksesta saatavan käsittelyjäännöksen, lisätyn ja puna-apilapitoisuuden vaikutusta nurmen satoon ja metaanintuottopotentiaaliin.

## Aineisto ja menetelmät

Biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksen, lannoituksen ja puna-apilapitoisuuden vaikutusta nurmen satoon ja metaanintuottopotentiaaliin tutkittiin Luonnonvarakeskuksen (Luke) Maanigan toimipisteessä Pohjois-Savossa kentäkokeessa vuosina 2013 - 2015. Koe perustettiin vuonna 2012 suojaviljaan (Edvin – ohra) ja toteutettiin osaruutukokeena, jossa oli neljä kerrannetta. Pääruutuna kokeessa käytettiin kahta eri nurmiseosta: timotei-nurminataseosta (Tuure/Ilmari 70:30, 20 kg ha<sup>-1</sup>) sekä puna-apilapitoista timotei-nurminataseosta (Tuure/Ilmari 70:30, 15 kg ha<sup>-1</sup> + Saija 5 kg ha<sup>-1</sup>). Yksinkertaisuuden vuoksi käsittelyistä käytetään jatkossa termejä 'Heinänurmi' ja 'Apilanurmi'. Maalaji lohkokolla oli multava karkea hieta. Nurmivuosia oli kolme.

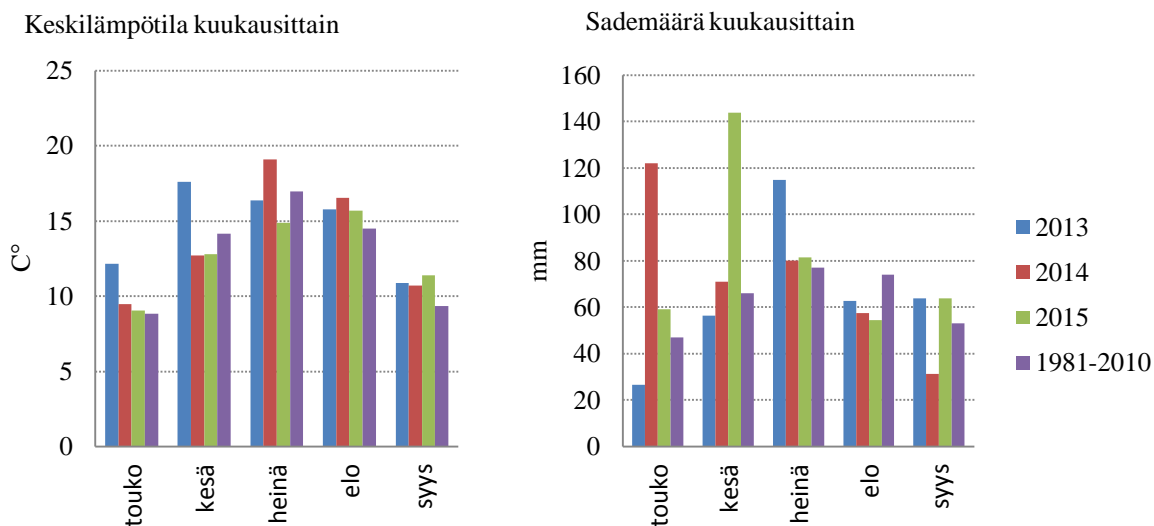
Nurmivuosien lannoitus suoritettiin kokeessa neljällä eri lannoitusstrategialla 1) ei lannoitusta 2) käsittelyjäännös toiselle sadolle 3) 50 kg N 1. sadolle ja käsittelyjäännös + 50 kg N toiselle sadolle ja 4) 100 kg N 1. sadolle ja käsittelyjäännös + 50 kg N toiselle sadolle. Väkilannoitetyppi annettiin Suomensalpietarina (27-0-1). Kokeessa käytettiin Luke Maanigan biokaasulaitoksen tuottamaa käsittelyjäännöstä. Naudanlietteen lisäksi biokaasulaitoksen syötteenä oli käytetty timotei-nurminataseoa. Lietteestä otettiin levityshetkellä kaksi edustavaa, rinnakkaista näytettä, joista analysoitiin Viljavuuspalvelu Oy:ssä kuiva-aine, kokonaistyyppi, liukoinen tyyppi, fosfori ja kalium.

Käsittelyjäännös sijoitettiin 5 – 7 cm syvyyteen omavalmisteisella 1 m<sup>3</sup>:n vetoisella takanostolaitesovitteisella kontilla, jossa on kaksoiskiekkovantaat. Toteutuneet levitysmäärät selvitettiin mittaamalla vetojen pituudet sekä punnitsemalla lietelevityslaitteisto ennen ja jälkeen levityksen. Käsittelyjäännöstä levitettiin keskimäärin heinänurmella 31 t ha<sup>-1</sup> ja apilanurmella 32 t ha<sup>-1</sup>. Erilaisesta kasvurytmistä johtuen timotei-nurminaruutujen ja puna-apilapitoisten ruutujen viljelytoimenpiteet tehtiin eri aikoihin. Esimerkiksi korjuu ajoitettiin apilanurmella ja heinänurmella kasvuolosuhteiden ja kasvilajien kehitysasteen perusteella (taulukko 1).

Sadot korjattiin kaksi kertaa kesässä ja korjuun yhteydessä määritettiin kuiva-ainesato (Kasato, kg ka ha<sup>-1</sup>). Sadosta otettiin analyysinäyte, joka kuivattiin ja analysoitiin Valion Seinäjoen aluelaboratoriossa. Näytteistä analysoitiin NIR – menetelmällä D-arvo, tyyppi ja sulamaton neutraalidetergenttikuitu (iNDF). Lisäksi määritettiin Ca-pitoisuus ICP-menetelmällä SeiLab Oyllä.

Energiasato (ME-sato, GJ ha<sup>-1</sup>), laskettiin kaavalla (D-arvo×0,016×Kasato×1000<sup>-1</sup>). Metaanintuottopotentiali määritettiin vain todennäköisesti käytäntöön parhaiten soveltuvista koejäsenistä. Sen määrittämistä varten otettiin näytteet molemmista sadoista lannoitusstrategioilta 2 ja 4 kerranteilta 1 ja 2. Näytteet pakastettiin tuoreena eikä varastoinnissa käytetty säilöntäaineita. Näytteiden metaanintuottopotentiali määritettiin Luken laboratoriossa Jokioisilla panoskokeilla 35 °C:ssa (500 ml panoskoepullot, ks. Luostarinen 2013). Näytteiden määritykset tehtiin seitsemänä eri eränä, joita jokaista varten toimitettiin erillinen erä mikrobiympästä Maaningan biokaasulaitoksesta. Laskennassa käytettiin metaanintuottopotentialina 30 vrk:n kohdalla saatuja tuloksia ensimmäistä erää lukuun ottamatta. Siinä metaanintuotto käynnistyi hitaammin, joten laskennassa käytettiin 40 vrk:n tuloksia. Metaanintuotto laskettiin sekä kuiva-ainetta (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> t<sup>-1</sup> TS) että orgaanista kuiva-ainetta (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> t<sup>-1</sup> VS) kohti. Metaanisaanto hehtaaria kohden laskettiin kaavalla Kasato× Metaanintuottopotentiali (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> t<sup>-1</sup> TS). Kasvuston apilapitoisuus arvioitiin kasvuston kalsiumpitoisuuden avulla vertaamalla sitä samalta kokeelta niittohetkellä otettujen puhtaiden apila- ja heinänäytteiden kalsiumpitoisuuteen. Säähavainnot saatiin Luke Maaningan toimipaikalla sijaitsevalta Ilmatieteenlaitoksen sääasemalta.

Kokeen tilastolliset analyysit tehtiin SAS Enterprise Guide 5.1. ohjelman MIXED-proseduurilla. Niitot käsiteltiin erikseen. Tilastomallissa nurmiseos, lannoitusstrategia, vuosi sekä kaikki näiden yhdysvaikutukset olivat kiinteitä tekijöitä, ja kerranne, kerranne×nurmiseos sekä kerranne×vuosi –yhdysvaikutukset satunnaistekijöitä. Parivertailut lannoitusstrategioiden välillä tehtiin Tukeyn testillä. Korrelaatiot laskettiin Pearsonin korrelaatiokertoimella käyttäen SAS:in CORR-proseduuria.



Kuva 1. Keskilämpötila ja sademäärä kuukausittain touko-syyskuussa vuosilta 2013-2015 ja keskilämpötilat sekä sademäärä 30 – vuotijaksolla.

Säähavainnot on esitetty kuvassa 1. Vuosi 2013 oli 30-vuotijaksoa lämpimämpi ja sadetta kertyi toukokuussa keskimääräistä vähemmän kuin yleensä. Heinäkuussa satoi yli 100 millimetriä, muuten sademäärä kuukausittain oli lähellä keskimääräistä. Vuoden 2014 kesä oli myös lämmin ja sadetta kertyi toukokuussa yli 120 mm, joka on huomattavasti 30-vuotijakson keskiarvoa enemmän. Vuonna 2015 touko-heinäkuu oli kolea, mutta elo – syyskuussa kuukauden keskilämpötila oli 30-vuotista keskiarvoa korkeampi. 2015 kesäkuu oli sateinen, kasvustot kehittyivät hitaammin ja niitot ajoittuivat myöhemmälle ajankohdalle (taulukko 1).

Taulukko 1. Niittoaikataulu vuosittain.

Vuosi	Niitto 1		Niitto 2	
	Heinänurmi	Apilanurmi	Heinänurmi	Apilanurmi
2013	13.6.	24.6.	26.7.	5.8.
2014	19.6.	25.6.	30.7.	6.8.
2015	22.6.	1.7.	5.8.	13.8.

Käsittelyjäännöksen ravinnemäärät esitetään taulukossa 2. Analyysitulosten perusteella laskettiin käsittelyjäännöksestä saatu kokonaismäärä ravinteita heinänuurmelle ja apilanuurmelle (taulukko 3). Kokeessa käsittelyjäännöstä sekä Salpietaria saaneet lannoitusstrategiat 3 ja 4 saivat liukoista tyypeä toiselle niitolle heinänuurmelle 113 kg ha<sup>-1</sup> ja apilanuurmelle 119 kg ha<sup>-1</sup>.

Taulukko 2. Käsittelyjäännöksen ravinnepitoisuudet keskiarvona vuosilta 2013-2015. Keskiarvo ± keskihajonta, n=6.

Kok. N	kg t <sup>-1</sup>	3,0 ± 0,22
Liuk. N	kg t <sup>-1</sup>	2,1 ± 0,23
Liuk. N:Kok. N		0,72 ± 0,119
Ka	%	5,2 ± 0,84
P	kg t <sup>-1</sup>	0,51 ± 0,067
K	kg t <sup>-1</sup>	3,7 ± 0,58

Taulukko 3. Käsittelyjäännöksen (Kj) levitysmäärät heinänuurmella ja apilanuurmella sekä sen sisältämät ravinnemäärät. Keskiarvo ± keskihajonta, n=6.

		Heinänuurmi	Apilanuurmi
Kj	t ha <sup>-1</sup>	31 ± 1,3	32 ± 1,2
Kok. N	kg ha <sup>-1</sup>	94 ± 6,1	89 ± 2,2
Liuk. N	kg ha <sup>-1</sup>	63 ± 7,1	69 ± 9,4
P	kg ha <sup>-1</sup>	16 ± 0,4	15 ± 3,3
K	kg ha <sup>-1</sup>	109 ± 22,9	121 ± 10,2

Heinänuurmi ja apilanuurmi niitettiin eri aikoihin, mikä vaikutti kuiva-ainesatoon sekä nurmen rehuarvoon. Satotaso erosi vuosien välillä merkitsevästi. Apilanuurmen vuosittainen kokonaissato oli kaikilla käsittelyillä paras vuonna 2013 ja heinänuurmen vuosittainen kokonaissato oli paras kaikilla käsittelyillä vuonna 2014. Apilanuurmi tuotti kokeessa paremman kuiva-ainesadon kuin pelkkä heinänuurmi (taulukko 4). Lannoituksella saatiin nostettua sekä heinänuurmen että apilanuurmen satoa, mutta 1. sadon N-lannoituksen nosto 50 kg:sta 100 kg:aan ei enää lisännyt satoa tilastollisesti merkitsevästi. Lannoittamattomalla heinänuurmella kesän kokonaissato oli keskimäärin 5020 kg ka ha<sup>-1</sup>, kun taas korkeimmalla lannoitustasolla satoa saatiin keskimäärin 9720 kg ka ha<sup>-1</sup>. Apilanuurmella ilman lannoitusta kokonaiskuiva-ainesato oli keskimäärin 8920 kg ka ha<sup>-1</sup>. Korkeimmalla lannoitustasolla apilanuurmen satotaso oli keskimäärin 11580 kg ka ha<sup>-1</sup>, mutta kasvusto oli selvästi heinävaltaista. ME-sato (GJ ha<sup>-1</sup>), kuten kuiva-ainesatokin, oli heikoin lannoittamattomilla koejäsenillä ja kasvoi lannoituksen myötä.

Nurmisadon sulavuuteen vaikuttavat mm. kasvuaika, lajikeominaisuudet sekä lannoitus. Heinänuurmella lannoitus alensi ensimmäisen niiton D-arvoa, mutta apilanuurmen D-arvo pysyi kutakuinkin samana. Toisessa sadossa D-arvo aleni sekä heinänuurmessa että apilanuurmessa, mutta heinänuurmessa enemmän. Yleensä typpilannoituksen ei katsota alentavan D-arvoa itsessään, vaan heinänuurmen osalta se vaikuttaa kasvuasteeseen: kun kaikki heinäkoekäsenet niitettiin samana päivänä, oli lannoittamaton kasvusto vielä kasvuasteeltaan nuorta, mikä näkyy myös alhaisena satona. Apilanuurmessa taas apilapitoisuus laski, kun kasvustolle annettiin tyypeä käsittelyjäännöksessä toiselle sadolle ja vielä enemmän, jos kasvusto sai tämän lisäksi keväällä lannoitettyä. Koska korjuu tapahtui apilan kehitysvaiheen mukaan, oli seoksen heinäkomponentin sulavuus jo alentunut (vrt. Kuoppala 2010), mikä alensi koko kasvuston D-arvoa.

Kasvuston apilapitoisuus arvioitiin kasvuston kalsiumpitoisuuden avulla vertaamalla sitä puhtaiden apila- ja heinänäytteiden kalsiumpitoisuuteen. Kuten odotettiin, apilaprosentti laski lannoituksen myötä. Esimerkiksi toisen sadon lannoittamattomalla ruudulla apilapitoisuus oli 71 % ja laski 20 prosenttiin korkeimmalla lannoituksella (taulukko 4). Sadon typpipitoisuus kasvoi heinänuurmella lannoituksen myötä merkitsevästi ja apilapitoisuus nurmi oli heinänuurmea typpipitoisempaa.

Nurmisadon sulamattoman kuidun (iNDF) pitoisuus oli ensimmäisessä niitossa selvästi korkeampi kuin toisessa niitossa ja apilanuurmen iNDF-pitoisuus oli molemmissa sadoissa merkittävästi korkeampi kuin heinänuurmen (Taulukko 4). Apilanuurmella lannoitus ei vaikuttanut iNDF-pitoisuuteen, sen sijaan heinänuurmella ensimmäisen sadon iNDF-pitoisuus nousi lisätyypeä annettaessa.

Taulukko 4. Heinänurmen ja apilanurmen kuiva-ainesato, ME-sato, D-arvo, typpipitoisuus, sulamaton kuitu (iNDF), metaanintuottopotentiaali, metaanisaanto ja apilaprocentti ensimmäisestä ja toisesta sadosta vuosilta 2013-2015.

1.sato		Kasato	ME-sato	D-arvo	N	iNDF	Metaanintuotto- potentiaali	Metaani- saanto	Apilan osuus
Kasvi	Lannoitus	kg ka ha <sup>-1</sup>	GJ ha <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup> ka	g kg <sup>-1</sup> ka	g kg <sup>-1</sup> ka	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> t <sup>-1</sup> VS	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> ha <sup>-1</sup>	%
Heinäurmi	0 N + 0 N	3690	40,4	687	13,1	70,0	-	-	-
Heinäurmi	0 N + KJ	3680	40,3	687	13,1	68,7	306	1040	-
Heinäurmi	50 N + (KJ + 50)	5460	58,3	669	15,8	85,2	-	-	-
Heinäurmi	100 N + (KJ + 50)	5690	60,1	661	18,6	93,3	304	1630	-
Apilanurmi	0 N + 0 N	5950	61,1	646	18,0	113,3	-	-	49
Apilanurmi	0 N + KJ	6110	62,8	644	17,9	114,9	292	1610	45
Apilanurmi	50 N + (KJ + 50)	7140	73,2	641	16,8	115,3	-	-	21
Apilanurmi	100 N + (KJ + 50)	7040	72,6	645	19,1	113,3	291	1900	24
Keskivirhe		137	1,25	3,4	0,50	2,57	4,5	39,1	5,1
Tilastollinen merkitsevyys									
Kasvilaji		***	***	**	*	***		o	-
Lannoitus		***	***	***	***	***		***	***
Vuosi		*	o	**	*	***			***
Kasvilaji × lannoitus		***	***	***	***	***		**	-
Vuosi × kasvilaji		***	***	***	o	***	*	**	-
Vuosi × lannoitus									
Vuosi × kasvilaji × lannoitus		o		**		**			-

2.sato		Kasato	ME-sato	D-arvo	N	iNDF	Metaanintuotto- potentiaali	Metaani- saanto	Apilan osuus
Kasvi	Lannoitus	kg ka ha <sup>-1</sup>	GJ ha <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup> ka	g kg <sup>-1</sup> ka	g kg <sup>-1</sup> ka	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> t <sup>-1</sup> VS	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> ha <sup>-1</sup>	%
Heinäurmi	0 N + 0 N	1340	15,3	717	20,2	38,7	-	-	-
Heinäurmi	0 N + KJ	2500	28,1	702	20,0	42,3	307	690	-
Heinäurmi	50 N + (KJ + 50)	3800	42,1	693	22,5	48,1	-	-	-
Heinäurmi	100 N + (KJ + 50)	4030	44,4	688	23,3	52,4	302	1090	-
Apilanurmi	0 N + 0 N	2970	31,3	660	26,5	85,2	-	-	71
Apilanurmi	0 N + KJ	3530	37,0	658	24,4	79,6	291	880	45
Apilanurmi	50 N + (KJ + 50)	4350	45,4	653	23,2	83,1	-	-	20
Apilanurmi	100 N + (KJ + 50)	4540	46,9	648	24,1	87,8	285	1170	20
Keskivirhe		89	0,91	4,2	0,37	2,50	5,1	37,7	3,5
Tilastollinen merkitsevyys									
Kasvilaji		**	**	***	**	***			-
Lannoitus		***	***	***	***	***		***	***
Vuosi		***	***	***	**	**			***
Kasvilaji × lannoitus		***	***	**	***	**			-
Vuosi × kasvilaji		***	***	***	***	**		***	-
Vuosi × lannoitus		***	***	**	***	**	o	*	-
Vuosi × kasvilaji × lannoitus		*	**	**	**	*		o	-

\*\*\* (P<0,001), \*\* (P<0,01), \* (P<0,05) ja o (P<0,10)

Metaanintuottopotentiaali vaihteli välillä 285 – 307 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> t<sup>-1</sup> VS (taulukko 4). Tämä osuu hyvin nurmikasveilta mitattujen arvojen keskivaiheille (198 – 375 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> t<sup>-1</sup> VS ; Prochnow ym. 2009). Apilanurmen metaanintuottopotentiaali oli vain 5 - 6 % alhaisempi kuin vastaavasti lannoitetun heinänurmen kummassakin niitossa. Lannoituksen vaikutus oli tätäkin pienempi. Erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä, mutta testi ei ollut kovin voimakas, koska käytettävissä oli vain kaksi kerrannetta. Paras hehtaarikohtainen metaanisaanto määritetyistä koejäsenistä saatiin ensimmäisen sadon apilanurmelta, joka oli saanut tyypeä ensimmäiselle sadolle 100 kg ha<sup>-1</sup> ja toiselle sadolle käsittelyjäännöstä ja tyypeä. Käsittelystä saadun sadon kuiva-ainesato oli 7040 kg ha<sup>-1</sup> ja metaanisaanto 1900 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>. Toisin kuin Lehtomäen (2006) tutkimuksessa, toisen sadon apilanurmen metaanintuottopotentiaali oli samaa tasoa ensimmäisen sadon kanssa. Lehtomäki esittää tulokset panoskokeiden 30 vrk ja 50 vrk kestoajkojen jälkeen. Apilanurmi-koejäseniltä saadut tulokset vastaavat Lehtomäen timotei-puna-apilaseoksen 1. sadon 30 ja 50 vrk:n keskiarvoa (296 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>).

Vuoden kokonaismetaanisaanto vaihteli 1740 - 3070 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>, mikä on samaa tasoa kuin Seppälän (2013) tutkimuksessa, jossa metaanisaanto nurmikasveilla vaihteli välillä 1200 – 3600 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>. Vuotuinen metaanisaanto nousi 57 % kun heinänurmele annettiin 150 kg mineraali-N ha<sup>-1</sup>. Vastaavasti, jos lannoitusta ei lisätty mutta kasvilajiksi otettiin apila, nousi metaanisaanto 43 % jolloin apilan antama hyöty vastasi noin 113 kg/ha mineraali-N-lannoitusta. Sen sijaan apilanurmella lisätyn vaikutus hehtaarikohtaiseen metaanisaantoon oli paljon pienempi, 24 %. Typpilannoitus ja kasvuston apilapitoisuus lisäävät biokaasukäytössä myös syntyvän käsittelyjäännöksen typpisisältöä, ja siten lannoitusarvoa, mutta tätä vaikutusta kokeessa ei tutkittu.

Kasvien metaanintuottopotentiaali laskee kasvuasteen kehityksen myötä. Tämä johtuu pääasiassa biokaasuprosessissa heikosti hajoavien hemiselluloosan ja ligniinin määrän lisääntymisestä (Prochnow ym. 2009). Sulamaton kuitu (iNDF) kuvaa tässä tutkimuksessa tätä vaikutusta. Hyvä sulavuus (D-arvo) korreloi positiivisesti metaanintuottopotentiaalilla (taulukko 5), mutta metaanisaanto hehtaarilta oli korkeammilla satotasoilla parempi alhaisemmasta D-arvosta huolimatta. Sulamattoman kuidun määrä korreloi odotetusti negatiivisesti metaanintuottopotentiaalilla. Kuitenkin hehtaarikohtainen metaanisaanto oli korkean kuiva-ainesadon johdosta parempi korkeammilla iNDF-pitoisuuksilla, sillä metaanisaannon suuruus riippui lähes yksinomaan kuiva-ainesadosta (taulukko 5). D-arvo ja iNDF korreloivat yhtä vahvasti metaanintuottopotentiaalilla, sillä niillä oli vahva keskinäinen korrelaatio (-0,97 ensimmäisessä sadossa ja -0,94 toisessa sadossa). Sadon typpipitoisuus ei korreloinut tilastollisesti merkitsevästi metaanintuottopotentiaalilla. Apilapitoisuus korreloi negatiivisesti metaanintuottopotentiaalilla, tosin vain ensimmäisessä sadossa.

Taulukko 5. Pearsonin korrelaatiokertoimet ja niiden merkitsevyydet kuiva-ainesadolle, metaanintuottopotentiaalille ja metaanisaannolle ensimmäisessä ja toisessa sadossa. N= havaintojen lukumäärä.

		1. sato			2. sato		
		Kasato	Metaanintuotto- potentiaali	Metaani- saanto	Kasato	Metaanintuotto- potentiaali	Metaani- saanto
		kg ka ha <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> t <sup>-1</sup> VS	CH <sub>4</sub> ha <sup>-1</sup>	kg ka ha <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> t <sup>-1</sup> VS	CH <sub>4</sub> ha <sup>-1</sup>
N = 24	Kasato		-0,62**	0,99***		-0,43*	0,97***
	D-arvo	-0,76***	0,64***	-0,72***	-0,64***	0,77***	-0,49*
	N	0,62 **	-0,26	0,63***	0,23	-0,32	0,18
	iNDF	0,77***	-0,67***	0,73***	0,62**	-0,69***	0,50*
N = 12	Apila-%	0,10	-0,60*	-0,10	-0,47	0,39	-0,45

\*\*\*( $P < 0,001$ ), \*\*( $P < 0,01$ ), \*( $P < 0,05$ ) ja o( $P < 0,10$ )

## Johtopäätökset

Apilanurmen orgaanisen aineen metaanintuottopotentiaali oli kutakuinkin sama kuin heinänurmen. Koska apilanurmen satotaso oli vastaavan lannoituksen saanutta heinänurmea korkeampi, se tuotti kuitenkin huomattavasti enemmän metaania hehtaaria kohden laskettuna. Heinänurmen metaaninsaanto hyötyi lisätippilannoituksesta noin kaksi kertaa niin paljon kuin apilanurmi, jossa lisätippilannoitus alensi apilapitoisuutta. Hehtaarikohtaiseen metaanisaantoon vaikuttaa enemmän kuiva-ainesadon määrä kuin esimerkiksi sulavuus tai iNDF. iNDF ja D-arvo selittivät nurmen metaanintuotantopotentiaalia yhtä hyvin, joten D-arvo riittää kuvaamaan nurmen metaanintuotantopotentiaalia riittävän tarkasti. Biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksellä lannoitettu apilanurmi on biologisesti toimiva vaihtoehto biokaasuntuotannon ravinnekierroksen kannalta. Hintasuhteet määrittävät sen taloudelliset mahdollisuudet.

## Kirjallisuus

- Kuoppala K.** 2010. Influence of harvesting strategy on nutrient supply and production of dairy cows consuming diets based on grass and red clover silage. Doctoral Dissertation. MTT Science 11. MTT Agrifood Research Finland, Jokioinen, Finland. 99pp.
- Lehtomäki, A.** 2006. Biogas production from energy crops and crop residues. Doctoral Dissertation. Jyväskylä studies in biological and environmental science 163. University of Jyväskylä. Jyväskylä, Finland. 91pp.
- Luostarinen, S. (toim.)** . 2013. Biokaasuteknologiaa maataloilla I. Biokaasulaitoksen hankinta, käyttöönotto ja operointi- käytännön kokemuksia MTT:n maatilakohtaiselta laitokselta. MTT Raportti 113. 96 s.
- Mattila, P.** 2006. Ammonia emissions from pig and cattle slurry in the field and utilization of slurry nitrogen in crop production. Doctoral Dissertation. Agrifood Research Reports 87. MTT Agrifood Research Finland, Jokioinen, Finland. 136pp.
- Prochnow, A., Heiermann, M., Plöchl, M., Linke, B., Idler, C., Amon, T. & Hobbs, P.J.** 2009. Bioenergy from permanent grassland – a review: 1. Biogas. *Bioresource Technology* 100:4931-4944
- Seppälä, M.** 2013. Biogas production from high-yielding energy crops in Boreal conditions. Doctoral Dissertation. Jyväskylä studies in biological and environmental science 266. University of Jyväskylä. Jyväskylä, Finland. 89pp.