

- S.cerevisiae. Proceedings of 16th European Biomass Conference & Exhibition, Valencia, Spain 2-6 June, 2008, p. 1610-1612.
12. Биоэтанол (2006). Available at: <http://www.zavkom.com>, 2010. gada 17. februārī.
13. *Технология спирта* (1981) Легкая и пищевая промышленность, Москва, 416 с.

Kukurūzas izmantošana biogāzes ražošanā

Biogas production from maize

Jānis Bartuševics, Zinta Gaile, Silvija Strikauska

LLU Lauksaimniecības fakultāte

e-pasts: janis.bartusevics@gmail.com; tālr.: +37126588358

Abstract. *The interest concerning using maize (*Zea mays L.*) for energy purposes in Latvia has increased significantly during the recent years. The research has mainly focused on the production of forage maize. The energy crops used for biogas production should provide high organic dry matter yield and high methane output per unit area. Maize is one of the agricultural plants that is a suitable substrate for biogas production. The aim of the paper is to determine the impact of maize hybrid and harvesting time on biogas production. A field trial was carried out at the Research and Study Farm “Vecauce” of the Latvia University of Agriculture (LLU) from 2008 till 2010. Ten (in 2008), eleven (in 2009) and fifteen (in 2010) maize hybrids with different maturity rating according to FAO number (FAO 180 – 340) were harvested at three different times beginning on 5 September at fourteen-day intervals. Two hybrids in 2008, three in 2009 and four in 2010 were used for biogas production. The biogas yield per ha of ensiled maize hybrids increased until the final harvest date.*

Keywords: *maize, chemical composition, biogas.*

Ievads

Kukurūzas audzēšana biogāzes ražošanai Latvijas apstākļos ir jauna nozare. Nepārtrauktu biogāzes ražošanu var nodrošināt kvalitatīvs substrāts, ko var izmantot visu gadu, līdz ar to rodas nepieciešamība gatavot kukurūzas skābbarību. Kukurūzu uzskata par enerģijas bagātu un viegli ieskābējamu substrātu, ar pozitīvu enerģijas bilanci, tāpēc tā ir atzīta par konkurētspējīgu enerģijas augu. Augstu metāna ražas iegūvi no kukurūzas substrāta ietekmē daudzi ķīmiskie rādītāji (proteīna, tauku, lignīna, celulozes saturs u.c.), bet par svarīgāko uzskata organiskās sausas (OS) saturu, jo tikai no organiskās vielas metāna baktēriju iedarbībā iegūst biogāzi. Pēc zinātnieku (Amon et al., 2007) pētījumiem biogāzes iznākumu ievērojami var samazināt augsts lignīna saturs augos. Pieaugot interesei par kukurūzas izmantošanu bioreaktoros, daudzās valstīs šo kultūraugu speciāli selekcionē enerģijas ieguves vajadzībām. Vācijā tiek selekcionē lielāka auguma hibrīdus, kas nodrošina lielāku biomasu un potenciāli augstāku OS saturu novākšanas laikā, kas ļauj iegūt ievērojami lielāku metāna iznākumu no viena hektāra.

Latvijas apstākļos būtu svarīgi izmēģināt un atrast piemērotākos speciāli enerģijas ražošanas vajadzībām selekcionētos hibrīdus, kā arī noteikt optimālo kukurūzas

novākšanas termiņu, lai varētu iegūt maksimālo biogāzes iznākumu. Arī skābēšanas procesā kukurūzas substrātā izmainās ķīmisko rādītāju attiecības, kas ietekmē metāna iznākumu. Pētījuma mērķis bija analizēt kukurūzas hibrīdu un novākšanas laika ietekmi uz biogāzes iznākumu.

Materiāli un metodes

Izmēģinājums tika iekārtots LLU MPS „Vecauce” izmēģinājumu laukā laika posmā no 2008. līdz 2010. gadam: 2008. gadā mālsmilts kultūraugsnē ar pH KCl - 6.7, P saturu – 112 mg kg⁻¹; K saturu – 99 mg kg⁻¹, organiskās vielas saturu – 19 g kg⁻¹; 2009. gadā mālsmilts kultūraugsnē pH KCl – 6.4, P saturu – 129 mg kg⁻¹; K saturu – 143 mg kg⁻¹, organiskās vielas saturu – 21 g kg⁻¹; 2010. gadā velēnu podzolaugsnē ar pH KCl – 7.2, P saturu – 232 mg kg⁻¹; K saturu – 190 mg kg⁻¹, organiskās vielas saturu – 26 g kg⁻¹. Varianti sakārtoti četros atkārtojumos, katra lauciņa lielums 16.8 m². Izsējas norma bija 83300 sēklu uz hektāru. Izmantoja 10 dažāda agrinuma (atbilstoši FAO skaitlim) kukurūzas hibrīdus – 2008. gadā, 11 hibrīdus – 2009. gadā un 15 hibrīdus – 2010. gadā : *Tango* (FAO 210), *Target* (FAO 180), *Estelle* (FAO 200), *Salgado* (FAO 200), *Silas* (FAO 210), *Turini* (FAO 220), *Marco* (FAO 220), *Progress* (FAO 220), *Ceklad* (FAO 235), *Bombastic* (FAO 240), *Celio* (FAO 250), *Cemet* (FAO 260), *Celido* (FAO 270), *Ronaldinio* (FAO 240), *Fernandez* (FAO 260), *KX A8151* (FAO 250), *Paroli* (FAO 260), *Cefran* (FAO 340). Septiņi hibrīdi (rakstīti kursīvā) tika izmantoti visos izmēģinājuma gados. Lietoja tradicionālo augsnes apstrādi, kas ietver rudens arumu, bet pavasarī pirms sējas augsni šļūca, safrēzēja ar vertikālo frēzi “Amazonē”. Kukurūzu iesēja 6. maijā. Lietoja mēslojumu: 34 kg ha⁻¹ – P, 75 kg ha⁻¹ – K, 148 kg ha⁻¹ – N (18+70+60). Nezāles ierobežoja, lietojot herbicīdus Arrats d.g. (dikamba – 500 g L⁻¹; tritosulfurons – 250 g kg⁻¹) 200 g ha⁻¹ + Titus 25 d.g. (rimsulfurons – 250 g kg⁻¹) 50 g ha⁻¹ + virsmaktīvā viela. Hibrīdi tika vākti trīs dažādos novākšanas laikos, sākot ar 5. septembri un ik pēc 14 dienām. Paraugus ieskābēja laboratorijas apstākļos. Gan svaigiem, gan ieskābētiem paraugiem novērtēja sausnas saturu (paraugi tika žāvēti līdz konstantam svaram 105°C, OS saturu (aprēķināts, izmantojot sausnas un pelnu saturu) un daudzveidīgus kvalitātes rādītājus katrā novākšanas reizē katram hibrīdam. Kukurūza pēc novākšanas tika sasmalcināta 0.5 – 1.0 cm smalkā frakcijā. Sasmalcinātā kukurūza tika ieskābēta plastmasas maisos, izmantojot 1 – 3 kg masas. Skābētā kukurūza tika analizēta pēc 90 dienām. Sasmalcinātie un ieskābētie kukurūzas paraugi tika nosūtīti uz laboratoriju Vācijā, kur noteica biogāzes iznākumu, izmantojot VDI 4630 direktīvu. Nokrišņu summa 2008. gadā bija 230 mm, 2009. gadā – 327 mm, 2010. gadā – 453 mm. 2008. gada jūnijā un septembrī laiks bija vēss, sezonā kopumā sauss. Sezonas sākums (maijs, jūnijs) 2009. gadā bija pārāk auksts, kukurūzas attīstībai nepiemērots, bet septembrī vidējā diennakts temperatūra bija augstāka, salīdzinot ar ilggadējiem rādītājiem. 2010. gada sezona bija silta, piemērota kukurūzas augšanai un attīstībai. Dati matemātiski apstrādāti, izmantojot dispersijas analīzi.

Rezultāti un diskusija

Zinātnieki cenšas izstrādāt ideālas kukurūzas modeli ar nepieciešamo ķīmisko sastāvu, sabalansējot kvalitātes rādītājus un meklējot, kurš no tiem ir nozīmīgākais, augstas biogāzes ražas ieguvei no 1 ha. Literatūrā ir atrodami dažādu autoru viedokļi par augsta

koproteīna, koptauku un cietes satura pozitīvo, bet lignīna un kokšķiedras negatīvo ietekmi uz specifisko metāna iznākumu (NL kg^{-1} OS). Svarīgs ir zems pelnu saturs kopējā sausnā, jo tas ietekmē organiskās sausas (OS) iznākumu.

Mūsu pētījumā koproteīna un pelnu saturs samazinājās līdz ar kukurūzas nogatavošanos 2008. un 2009. gada izmēģinājumos, analizējot gan svaigus, gan skābētus paraugus. 2008. gadā ar katru novākšanas reizi samazinājās kokšķiedras, celulozes, NDF un ADF saturs sausnā.

2009. gadā vēlākos novākšanas termiņos tika atzīmēts augtāks koptauku saturs sausnā (1. tab.). Cietes saturs sausnā 2009. un 2010. gadā paaugstinājās līdz ar kukurūzas nogatavošanos. Visaugstākais cietes saturs kukurūzā novērots 2010. gadā, ko ietekmēja labvēlīgie augšanas un nogatavošanās apstākļi.

Metāna veidošanā svarīga nozīme ir arī oglekļa un slāpekļa (C:N) attiecībai. Literatūrā atzīmēts, ka optimāla C:N attiecība biogāzes ieguvei ir 10 – 30. Ja attiecība ir pārāk šaura vai pārāk plaša, tad netiek sasniegts metāna ieguves potenciāls. Mūsu pētījumos C:N attiecība ir robežās no 28 līdz 41, taču reālā biogāzes reaktorā C:N attiecību var uzlabot, pievienojot citus substrāta komponentus, piemēram, šķidrmēslus.

1. tabula

Atsevišķi visu hibrīdu vidējie kvalitātes rādītāji un to izmaiņas atkarībā no novākšanas laika svaigai kukurūzai, g kg^{-1}

Average content of chemical components of all maize hybrids depending on harvesting time (freshmaize), g kg^{-1}

Kvalitātes rādītāji <i>Chemical components</i>	2008			2009			2010		
	Datums <i>Date</i>	5.09.	19.09.	3.10.	4.09.	21.09.	6.10.	3.09.	17.09.
Organiskā sausna, <i>Organic dry matter</i> , g kg^{-1}	199.9	231.3	266.5	176.8	212.6	254.3	244.3	265.4	328.6
Sausnā <i>In dry matter</i> , g kg^{-1}									
Pelni <i>Ash</i>	41.2	38.5	34.8	49.5	42.8	38.4	48.2	49.6	44.8
Koproteīns <i>Crude protein</i>	77.9	73.8	69.1	86.9	76.9	73.9	74.2	71.8	72.8
Kokšķiedra <i>Crude fiber</i>	232.3	208.8	202.7	238.7	219.7	224.5	213.4	185.3	195.4
Koptauki <i>Crude fat</i>	15.9	19.7	22.3	9.6	14.4	18.4	25.8	29.2	27.7
Ciete <i>Starch</i>	Nav noteikta <i>Not measured</i>			7.4	87.4	159.8	221.0	294.5	308.4
C:N attiecība <i>C:N ration</i>	35	35	38	31	35	35	37	40	41

Vislielākais biogāzes iznākums 2008. gadā iegūts no hibrīda ‘Celido’ (2. tab.), kas tika novākts 19. septembrī, bet augstākais biogāzes iznākums 7647.64 Nm³ ha⁻¹ iegūta, novācot hibrīdu ‘Celido’ vēlākajā novākšanas termiņā, kas saistīts ar lielāku OS ražu un saturu vēlākos novākšanas termiņos. Biogāzes ražu būtiski (p=0.06) neietekmē hibrīda izvēle un novākšanas laiks (p=0.27).

2. tabula

Organiskās sausas un biogāzes iznākums, izmantojot skābētu kukurūzu, 2008. gadā
Organic dry matter and biogas yield of ensiled maize hybrids in 2008

Hibrīds <i>Hybrid</i>	Novākšanas laiks <i>Harvesting date</i>	Zaļā masa, <i>Fresh matter,</i> t ha ⁻¹	Organiskā sausna <i>Organic dry matter,</i> g kg ⁻¹	Organiskā sausna <i>Organic dry matter,</i> t ha ⁻¹	Biogāzes iznākums NL (kg OS) ⁻¹ <i>Biogas yield</i> NL (kg ODM) ⁻¹	Biogāzes raža <i>Biogas yield,</i> Nm ³ ha ⁻¹
Tango FAO 210	05.09.2008	54.71	189.8	10.38	539	5596
	19.09.2008	51.29	223.6	11.46	587	6731
	03.10.2008	43.43	270.1	11.73	663	7777
Celido FAO 270	05.09.2008	61.36	168.9	10.36	570	5907
	19.09.2008	58.86	178.9	10.53	753	7929
	03.10.2008	59.24	217.4	12.88	563	7250

3. tabula

Organiskās sausas un biogāzes iznākums, izmantojot skābētu kukurūzu 2009. gadā
Organic dry matter and biogas yield of ensiled maize hybrids in 2009

Hibrīds <i>Hybrid</i>	Novākšanas laiks <i>Harvesting date</i>	Zaļā masa <i>Fresh matter,</i> t ha ⁻¹	Organiskā sausna <i>Organic dry matter,</i> g kg ⁻¹	Organiskā Sausna <i>Organic dry matter,</i> t ha ⁻¹	Biogāzes iznākums NL(kg OS) ⁻¹ <i>Biogas yield</i> NL(kg ODM) ⁻¹	Biogāzes raža <i>Biogas yield,</i> Nm ³ ha ⁻¹
Tango FAO 210	04.09.2009	47.00	191.1	8.98	586	5262
	21.09.2009	44.07	228.4	10.07	589	5931
	06.10.2009	47.24	259.9	12.28	655	8043
Celido FAO 270	04.09.2009	56.71	169.9	9.63	552	5315
	21.09.2009	70.86	204.8	14.51	597	8662
	06.10.2009	60.45	224.8	13.59	639	8684
Ronaldinio FAO 240	04.09.2009	65.36	199.4	13.03	573	7466
	21.09.2009	67.29	238.6	16.05	634	10175
	06.10.2009	62.17	259.4	16.13	639	10307

Zemās jūnija temperatūras ietekmē 2008. un 2009. gadā pirmajā novākšanas reizē OS ražas bija līdzīgas, bet 2009. gadā septembra vidējā temperatūra bija augstāka par ilggadējiem vidējiem rādītājiem, kas atstāja pozitīvu ietekmi uz OS ražu abās nākamajās novākšanas reizēs. 2009. gadā pēdējā novākšanas termiņā (3. tab.) visu analizēto hibrīdu

biogāzes iznākums pārsniedza 8000 Nm³ ha⁻¹. Visaugstākais biogāzes iznākums (10307 Nm³ ha⁻¹) tika iegūta no hibrīda 'Fernandez' pēdējā novākšanas reizē.

Pēdējos divos gados izmēģinājumā tika iekļauti hibrīdi, kas ir speciāli selekcionēti biogāzes ražošanas vajadzībām, kas radīja pozitīvu efektu uz biogāzes iznākumu. Svaigas kukurūzas OS saturu 2010. gadā būtiski ietekmēja hibrīda nobriešana jeb ražas novākšanas laiks (p<0.05). Augstākais OS saturs atzīmēts kukurūzai, kas novākta 4. oktobrī. Mūsu pētījumā novākšanas laika izvēle būtiski (p<0.05) ietekmēja OS ražas apjomu.

Vidējā visu hibrīdu (n=15) 2010. gada 4. oktobrī novāktā zaļmasas raža (51.45 t ha⁻¹) un sausnas raža (16.87 t ha⁻¹) vērtējama kā augsta Latvijas apstākļiem iegūta augsta. No pētītajiem 15 hibrīdiem, kurus izmantojām izmēģinājumā, visaugstāko organiskās sausnas ražu ieguvām no hibrīdiem 'Fernandez' – 21.79 t ha⁻¹ un 'Ronaldinio' – 20.05 t ha⁻¹.

2010. gadā visos novākšanas termiņos kukurūzā tika konstatēts augstāks organiskās sausnas saturs, salīdzinot ar 2008. un 2009. gada rezultātiem. Augstākais OS saturs tika konstatēts hibrīdam 'Ronaldinio' (334.3 g kg⁻¹) pēdējā novākšanas termiņā. Zinātnieki (Amon et al., 2007) atzīmē, ka optimālais novākšanas laiks kukurūzai ir tad, kad tās sausnas saturs ir 30 – 35% (300 – 350 g kg⁻¹). Visaugstākās kukurūzas hibrīdu OS ražas labvēlīgo augšanas un nogatavošanās apstākļu ietekmē (tika uzkrāts vairāk siltuma vienību salīdzinot ar 2008. un 2009. gadu) tika iegūtas 2010. gadā pēdējā novākšanas termiņā.

4. tabula

Organiskās sausnas un biogāzes iznākums, izmantojot skābētu kukurūzu 2010. gadā
Organic dry matter and biogas yield of ensiled maize hybrids in 2010

Hibrīds <i>Hybrid</i>	Novākšanas laiks <i>Harvesting time</i>	Zaļā masa <i>Fresh matter, t ha⁻¹</i>	Organiskā sausna <i>Organic dry matter, g kg⁻¹</i>	Organiskā sausna <i>Organic dry matter, t ha⁻¹</i>	Biogāzes iznākums NL (kg OS) ⁻¹ Biogas yield NL(kg ODM) ⁻¹	Biogāzes raža <i>Biogas yield, Nm³ ha⁻¹</i>
Tango FAO 210	3.09.2010	53.71	259.7	13.95	375	5231
	17.09.2010	45.36	271.2	12.30	324	3986
	4.10.2010	39.34	311.2	12.24	356	4358
Celido FAO 270	3.09.2010	62.79	212.6	13.35	429	5728
	17.09.2010	56.50	240.6	13.59	409	5560
	4.10.2010	52.08	313.6	16.33	418	6827
Ronaldinio FAO 240	3.09.2010	67.07	236.7	15.88	358	5684
	17.09.2010	72.79	253.6	18.16	314	5701
	4.10.2010	59.97	334.3	20.05	338	6776
Fernandez FAO 260	3.09.2010	82.93	248.1	20.57	395	8125
	17.09.2010	73.29	249.4	18.59	314	5836
	4.10.2010	67.51	322.8	21.79	392	8542

Zemais biogāzes iznākums ir saistīts ar mazo biogāzes iznākumu no kilograma organiskās sausnas. Pēc literatūras datiem biogāzes iznākumu ietekmē dažādi kvalitātes rādītāji. Viens no svarīgākajiem ir lignīna saturs, kuram pieaugot, biogāzes iznākums var

samazināties. C:N attiecība 2010. gadā bija plašāka, salīdzinot ar iepriekšējo gadu izmēģinājumiem, kas arī varēja ietekmēt biogāzes iznākumu. Mūsu pētījumi par kvalitātes rādītāju ietekmi uz biogāzes iznākumu pašlaik vēl nerada pilnīgu skaidrību, tādēļ tie tiek turpināti. Rezultāti tomēr norāda uz tendenci, ka, kukurūzu novācot vēlākos termiņos, tiek nodrošināta lielāka biogāzes raža no 1 ha, kas tieši ietekmē biogāzes ražošanas ekonomiskos rādītājus.

Secinājumi

Trīs gadu izmēģinājumi rāda, ka organiskās sausas ražu visos gados būtiski ietekmēja kukurūzas novākšanas laiks. Lielākā organiskās sausas raža tika iegūta, kukurūzu novācot pēc iespējas vēlākos novākšanas termiņos.

Biogāzes iznākumu visos izmēģinājuma gados ietekmēja kukurūzas novākšanas laiks.

2009. un 2010. gadā biogāzes iznākumu būtiski ietekmēja arī hibrīda izvēle (pētījumā bija iekļauti speciāli enerģijas ražošanai piemēroti hibrīdi).

Pateicība. Projektu finansējums “Cilvēkresursu piesaiste atjaunojamo enerģijas avotu pētījumiem” Nr. 2009/0225/1DP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/129. un XP-125 „Pētījumi par biogāzes ražošanu un izmantošanu LLU MPS „Vecauce”“, sadaļā „Fermentātorā ievadāmo substrātu un pārraudzētā substrāta sastāva analīze LLU MPS „Vecauce” biogāzes ražotnē“.

Literatūra

Amon T., Amon B., Kryvoruchko V., Zollitsch W., Mayer K., Gruber L. (2007) Biogas Production from Maize and Dairy Cattle Manure – Influence of Biomass Composition on Methane Yield. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118, p.173-182.

Liela rādiusa bezvadu sensoru lietošana precīzajā lauksaimniecībā

Long-range wireless sensor use in precision agriculture

Māris Alberts¹, Pēteris Brūns¹, Uģis Grīnbergs¹, Dzidra Kreišmane², Baiba Tikuma²
LU aģentūra "Latvijas Universitātes Matemātikas un informātikas institūts"¹; LLU LF
Agrobiotehnoloģijas institūts²,

e-pasts: dzidra.kreismane@llu.lv; tālrunis: 63005629

Abstract. *Precision farming methods are the acquisition of large-scale information and its accumulation over a longer period of time, the aggregation and further use of it for dealing with problems, as well as risks. It is possible to systematize this information by using modern information technologies and to create the model of exact treatment in a particular field. Expenses can be significantly reduced by using wireless sensor networks and communication technologies. Measurements in this system are in real time, which means faster response time and the opportunity to provide more professional advice to producers.*

Keywords: *wireless sensor networks, precision agriculture.*