

Acta fytotechnica et zootechnica 3  
Nitra, Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae, 2010, s. 76–78

## ENERGETICKÁ HODNOTA SILÁŽÍ PRE BIOENERGETICKÉ VYUŽITIE SILAGE ENERGY VALUE FOR BIOENERGY UTILIZATION

Miroslav JURÁČEK,<sup>1</sup> Daniel BÍRO,<sup>1</sup> Milan ŠIMKO,<sup>1</sup> Branislav GÁLIK,<sup>1</sup> Michal ROLINEC,<sup>1</sup> Erika GYÖNGYOVÁ<sup>2</sup>

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre<sup>1</sup>  
Schaumann, Slovensko<sup>2</sup>

The objective of this paper was to find out the gross energy value of corn silages used for biogas production determined by two various methods. Corn silage samples were taken away from the agricultural companies situated in the western (Hurbanovo, Malý Cetín, Chynorany) and central part (Sebechleby and Hontianske Nemce) of Slovakia. The gross energy was determined by direct calorimetric method and indirect method by calculation according to Schiemann et al. (1972). The calorimetric gross energy ranged from 18.50 to 19.18 MJ.kg<sup>-1</sup> of dry matter. The highest gross energy value was marked in corn silage with the second lowest dry matter content (285.9 g.kg<sup>-1</sup>). The calculated gross energy (Schiemann et al., 1972) varied from 18.59 to 18.78 MJ.kg<sup>-1</sup> of dry matter. Gross energy values determined calorimetrically were generally higher than values determined by calculation.

**Key words:** gross energy, silage, corn, biogas

V súčasnosti sa vo všetkých členských krajinách Európskej únie stáva kľúčovým problémom diverzifikácia energetických zdrojov. V rámci úsilia o posilnenie energetickej sebestačnosti sa kladie čoraz väčší dôraz na využívanie obnoviteľných zdrojov energie. Do úvahy tak prichádza aj spracúvanie biologických druhotných surovín, z ktorých možno anaeróbnou fermentáciou produkovať bioplyn ako zdroj čistej obnoviteľnej energie. Tvorba bioplynu je viacstupňovým procesom, pri ktorom mikroorganizmy na svoju látkovú výmenu pri anaeróbných podmienkach využívajú chemickú energiu obsiahnutú v živinách (sacharidoch, tukoch a dusíkatých látkach). Najskôr sa pritom štiepia hydrolytickými baktériami makromolekuly s nízkymi molekulovými hmotnosťami (napr. cukry, mastné kyseliny, aminokyseliny). Takýmto spôsobom rozrušené produkty štiepneho procesu sa potom fermentačnými baktériami ďalej kvasia, pričom sa redukujú vznikajúce nízkomolekulové spojenia – ako karboxylová kyselina, plyny alebo alkoholy. Metanogénne baktérie nie sú schopné zhodnotiť všetky produkty látkovej výmeny fermentačných baktérií, takže acetogénne baktérie predstavujú dôležitý spojovací článok medzi fermentáciou a tvorbou metánu. Odbúravajú predovšetkým kyselinu propionovú, kyselinu karboxylovú a alkoholy na kyselinu octovú, oxid uhličitý a vodík, ktoré sa potom spotrebúvajú metanogénnymi baktériami (Gaduš, 2009). Bioplyn tvorí najmä zmes metánu a oxidu uhličitého (Harold House, 2007; Hilborn, 2007). Na výrobu bioplynu je možné využiť rôznu biomasu rastlinného a živočíšneho pôvodu (Chynoweth, 2004; Jendrišáková, 2005; Gaduš a Kročko, 2006; Shaban a Omaira, 2010; Thamsiriroy a Murphy 2010) pričom jedným z rozhodujúcich substrátov je siláž kukurice (Neureiter et al., 2005; Schattauer, 2008). Kukurica má najvyšší produkčný potenciál z poľných plodín pestovaných v strednej Európe (Amon et al., 2007). Pri výrobe kukuričných siláží využívaných na produkciu bioplynu platia tie isté zásady, ako pre siláže určené na krmné účely, ako sú eliminácia strát živín počas fermentačného procesu, zvýšenie aeróbnej stability pri vyberaní siláží a i. (Plöchl et al., 2009; Pieper a Konr, 2010).

### Materiál a metódy

Vzorky kukuričných siláží využívaných na výrobu bioplynu sme odobrali z poľnohospodárskych podnikov z oblasti západného (Stífi Hurbanovo, Agile Malý Cetín, PD Chynorany) a stredného (Agrodružstvo Devičie: silážny sklad Sebechleby a silážny sklad Hontianske Nemce) Slovenska. Kukuričné siláže boli uskladnené v anaeróbných podmienkach v silážnych žľaboch, iba v Sebechleboch a v Hontianskych Nemciach na nespevnenom podklade.

Analýzy kukuričných siláží sme realizovali v laboratóriu Katedry výživy zvierat, Fakulty agrobiológie a potravinových zdrojov, Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre. V priemernej vzorkách sme stanovili obsah sušiny vysúšaním pri teplote 103±2 °C, obsah dusíkatých látok podľa Kjeldahla (prístroj ProNitro, Selecta, Španielsko), obsah hrubej vlákniny podľa Hennenberg-Stohmanna (prístroj FiberTec, Tecator, Švédsko), obsah tuku podľa Soxhleta (prístroj Soxtec, Tecator, Švédsko) a obsah bezdusíkatých látok výťažkových a organickej hmoty bol stanovený nepriamo výpočtom. Na základe stanovených živín sme v analyzovaných vzorkách kukuričných siláží vypočítali hodnotu brutto energie podľa Schiemann et al. (1972),  $BE = 0,0239 \times NL + 0,0397 \times T + 0,02 \times VL + 0,0174 \times BNLV$ . V rovnakých vzorkách sme stanovili hodnotu brutto energie aj priamou kalorimetrickou metódou (izoperibolický princíp) prostredníctvom kalorimetra AC 500 (LECO Corp., U.S.A.). Všetky hodnoty obsahu brutto energie sú uvádzané v MJ.kg<sup>-1</sup> sušiny. Štatistická významnosť rozdielov v zistených výsledkoch medzi jednotlivými variantmi bola vyhodnotená jednofaktorovou analýzou rozptylu (ANOVA) v pomocou programu SAS (SAS Enterprise Guide v. 4.2).

### Výsledky a diskusia

Obsah sušiny kukuričných siláží využívaných na výrobu bioplynu sa pohyboval v rozpätí od 209,8 do 370,7 g.kg<sup>-1</sup>. Amon et

Tabuľka 1 Obsah živín v kukuričných silážach

g.kg <sup>-1</sup> sušiny (1)	n = 3	I. siláž	II. siláž	III. siláž	IV. siláž	V. siláž
Sušina (2)	$\bar{x}$	209,8	285,9	306,5	308,6	370,7
	S.D.	5,940	11,718	5,629	9,164	13,110
Dusíkaté látky (3)	$\bar{x}$	71,4 <sup>a,b,c,d</sup>	92,2 <sup>a,e,f</sup>	82,5 <sup>b,e,g</sup>	79,3 <sup>c,f,h</sup>	100,3 <sup>d,g,h</sup>
	S.D.	0,905	1,824	0,580	1,344	2,701
Tuk (4)	$\bar{x}$	30,1 <sup>a,b,c</sup>	26,0 <sup>a,d,e</sup>	26,3 <sup>b,f,g</sup>	37,5 <sup>c,d,f,h</sup>	29,9 <sup>e,g,h</sup>
	S.D.	0,127	0,693	0,636	0,580	0,255
Vláknina (5)	$\bar{x}$	250,3 <sup>a,b,c,d</sup>	215,4 <sup>a,e,f</sup>	212,0 <sup>b,g,h</sup>	155,8 <sup>c,e,g</sup>	151,8 <sup>d,f,h</sup>
	S.D.	0,707	6,095	5,091	4,186	4,300
Bezdušikáté látky výťažkové (6)	$\bar{x}$	613,1 <sup>a,b</sup>	624,7	636,6	680,4 <sup>a</sup>	673,9 <sup>b</sup>
	S.D.	3,465	15,019	10,805	15,401	7,623
Organická hmota (7)	$\bar{x}$	965,0	958,3	957,4	953,0	956,0
	S.D.	27,294	12,205	1,358	5,388	9,461

$\bar{x}$  – priemer, S.D. – smerodajná odchýlka, <sup>a, b, ...</sup> rovnaké indexy znamenajú  $P < 0,05$ ; I. siláž – Hontianske Nemce, II. siláž – Malý Cetín, III. – siláž Hurbanovo, IV. – siláž Sebechleby, V. – siláž Chynorany  
 $\bar{x}$  – average, S.D. – standard deviation, <sup>a, b, ...</sup> – identical superscripts mean  $P < 0,05$ , I. silage – Hontianske Nemce, II. silage – Malý Cetín, III. silage – Hurbanovo, IV. silage – Sebechleby, V. silage – Chynorany

Table 1 Nutrient content of corn silages

(1) g.kg<sup>-1</sup> of dry matter, (2) dry matter, (3) crude protein, (4) crude fat, (5) crude fibre, (6) nitrogen free extract, (7) organic matter

Tabuľka 2 Obsah brutto energie v kukuričných silážach

MJ.kg <sup>-1</sup> sušiny (1)	n = 3	I. siláž	II. siláž	III. siláž	IV. siláž	V. siláž
Brutto energia – kalorimetrická hodnota (2)	$\bar{x}$	18,99	19,18 <sup>a</sup>	18,69	18,89	18,50 <sup>a</sup>
	S.D.	0,156	0,184	0,424	0,297	0,099
Brutto energia podľa Schiemann et al., 1972 (3)	$\bar{x}$	18,78	18,77	18,70	18,59	18,78
	S.D.	0,212	0,269	0,085	0,453	0,339

<sup>a</sup> znamená  $P < 0,05$ ; I. siláž – Hontianske Nemce, II. siláž – Malý Cetín, III. siláž – Hurbanovo, IV. siláž – Sebechleby, V. siláž – Chynorany

<sup>a</sup> means  $P < 0,05$ ; I. silage – Hontianske Nemce, II. silage – Malý Cetín, III. silage – Hurbanovo, IV. silage – Sebechleby, V. silage – Chynorany

Table 2 Gross energy value of corn silages

(1) MJ.kg<sup>-1</sup> of dry matter, (2) gross energy – calorimetrical value, (3) gross energy by Schiemann et al. (1972)

al. (2007) pri testovaní produkcie metánu z rôznych hybridov kukurice zberaných v rozdielnych fenologických fázach zistili najvyššiu produkciu metánu pri obsahu sušiny 180 a 194 g.kg<sup>-1</sup> (mliečna zrelosť) v porovnaní s obsahom sušiny 282 a 298 g.kg<sup>-1</sup> (vosková zrelosť) a 430 a 431 g.kg<sup>-1</sup> (plná zrelosť), kde zaznamenali najnižšiu produkciu. Dusíkaté látky, tuk, vláknina, celulóza, hemicelulóza, škrob a cukry výrazne ovplyvňujú tvorbu metánu a sú rozhodujúcim faktorom pre produkciu metánu z energetických plodín (Amon et al., 2004; Karpenstein-Machan, 2005). Kukuričné siláže sa vyznačujú nízkym obsahom dusíkatých látok. Najnižšiu hodnotu (71,4 g.kg<sup>-1</sup> sušiny) mala kukuričná siláž s najnižším obsahom sušiny. Jalč et al (2010) zaznamenali v kukuričných silážach s obsahom sušiny od 271 do 280,2 g.kg<sup>-1</sup> obsah dusíkatých látok 63,2 až 68,9 g.kg<sup>-1</sup> sušiny. Obsah tuku bol v rozpätí od 26,0 do 37,5 g.kg<sup>-1</sup> sušiny. Obsah vlákniny závisí najmä od fenologickej fázy rastu. K zvýšeniu produkcie metánu prispieva aj čiastočný rozklad vlákniny počas fermentačného procesu sprístupnením živín pre metanogénny metabolizmus (Amon et al., 2007). Najvyšší obsah vlákniny (250,3 g.kg<sup>-1</sup> sušiny) sme zistili v kukuričnej siláži s najnižším obsahom sušiny (siláž I.) a najnižší obsah (151,8 g.kg<sup>-1</sup> sušiny) mala siláž s najvyšším obsahom sušiny (siláž V.). Bíro et al. (2007) zaznamenali v kukuričných silážach rôznych hybridov obsah vlákniny od 154,8 do 181,3 g.kg<sup>-1</sup> sušiny pri rozpätí obsahu sušiny 361,1–400,4 g.kg<sup>-1</sup>. Obsah bezdušikátých látok výťažkových bol najnižší v kukuričnej siláži

s najnižším obsahom sušiny a najvyšší obsah sme zaznamenali v kukuričnej siláži s obsahom sušiny 308,6 g.kg<sup>-1</sup>. Obsah organickej hmoty sa pohyboval v rozpätí od 953,0 do 965,0 g.kg<sup>-1</sup> sušiny, pričom najvyšší obsah organickej hmoty mala kukuričná siláž s najnižším obsahom sušiny. Brutto energia predstavuje celkovú hodnotu energie získanú pri spálení vzorky (de Ondarza, 2000). Hodnota brutto energie sa v kukuričných silážach určených na výrobu bioplynu zistená priamou kalorimetrickou metódou pohybovala v rozpätí od 18,50 (siláž V.) do 19,18 (siláž II.) MJ.kg<sup>-1</sup> sušiny. Najvyššiu hodnotu brutto energie mala kukuričná siláž s obsahom sušiny 285,9 g.kg<sup>-1</sup> a najnižšiu energetickú hodnotu mala siláž s najvyšším obsahom sušiny (370,7 g.kg<sup>-1</sup>). Optimálny čas zberu kukurice využíanej na výrobu bioplynu je podľa Zemana a Doležala (2007) pri obsahu sušiny 280–320 g.kg<sup>-1</sup>. Jung et al. (1999) uvádzajú hodnotu brutto energie stanovenú kalorimetricky v kukuričných silážach 18,39 a 18,83 MJ.kg<sup>-1</sup> sušiny. Výpočtom zistené hodnoty brutto energie podľa Schiemann et al. (1972) boli v rozpätí od 18,59 (siláž IV.) do 18,78 (siláž I a V.) MJ.kg<sup>-1</sup> sušiny. Tine et al. (2001) zaznamenali hodnoty brutto energie v kukuričných silážach stanovené výpočtom 18,84 a 19,09 MJ.kg<sup>-1</sup> sušiny pri obsahu sušiny 395 a 381 g.kg<sup>-1</sup>. Petrikovič et al. (2000) uvádzajú priemernú vypočítanú hodnotu brutto energie v kukuričných silážach 17,41 MJ.kg<sup>-1</sup> sušiny. V priemere boli hodnoty brutto energie kukuričných siláží zistené priamou metódou vyššie ako hodnoty brutto energie zistené výpočtom.

### Záver

Hodnoty brutto energie kukuričných siláží využívaných na výrobu bioplynu stanovené priamou a nepriamou metódou boli rozdielne. Najvyššiu hodnotu brutto energie (19,18 MJ.kg<sup>-1</sup> sušiny) stanovenú priamou kalorimetrickou metódou mala kukuričná siláž s druhým najnižším obsahom sušiny (285,9 g.kg<sup>-1</sup>) a najnižšiu hodnotu (18,50 MJ.kg<sup>-1</sup> sušiny) sme zistili v siláži s najvyšším obsahom sušiny (370,7 g.kg<sup>-1</sup>). Hodnoty brutto energie zistené výpočtom sa v jednom kilogramu sušiny pohybovali v rozpätí od 18,59 do 18,78 MJ.

Cieľom práce bolo zistiť u kukuričných siláží využívaných na výrobu bioplynu hodnotu brutto energie stanovenú rozdielnymi metódami. Vzorky kukuričných siláží sme odobrali z poľnohospodárskych podnikov z oblasti západného (Štúrovo, Cetín, Chynorany) a stredného (Sebechleby, Hontianske Nemce) Slovenska. Brutto energiu sme zistili priamou kalorimetrickou metódou a nepriamo výpočtom podľa Schiemann et al. (1972). Hodnota brutto energie stanovená priamou kalorimetrickou metódou sa pohybovala v rozpätí od 18,50 do 19,18 MJ.kg<sup>-1</sup> sušiny. Najvyššiu hodnotu brutto energie mala kukuričná siláž s druhým najnižším obsahom sušiny (285,9 g.kg<sup>-1</sup>). Hodnota brutto energie vypočítaná podľa Schiemann et al. (1972) bola v rozpätí od 18,59 do 18,78 MJ.kg<sup>-1</sup> sušiny. Hodnoty brutto energie stanovené priamou kalorimetrickou metódou boli v priemere vyššie než hodnoty zistené výpočtom.

### Súhrn

podárskych podnikov z oblasti západného (Štúrovo, Cetín, Chynorany) a stredného (Sebechleby, Hontianske Nemce) Slovenska. Brutto energiu sme zistili priamou kalorimetrickou metódou a nepriamo výpočtom podľa Schiemann et al. (1972). Hodnota brutto energie stanovená priamou kalorimetrickou metódou sa pohybovala v rozpätí od 18,50 do 19,18 MJ.kg<sup>-1</sup> sušiny. Najvyššiu hodnotu brutto energie mala kukuričná siláž s druhým najnižším obsahom sušiny (285,9 g.kg<sup>-1</sup>). Hodnota brutto energie vypočítaná podľa Schiemann et al. (1972) bola v rozpätí od 18,59 do 18,78 MJ.kg<sup>-1</sup> sušiny. Hodnoty brutto energie stanovené priamou kalorimetrickou metódou boli v priemere vyššie než hodnoty zistené výpočtom.

**Kľúčové slová:** brutto energia, siláž, kukurica, bioplyn

### Podakovanie

Práca vznikla s podporou projektu VEGA 1/0610/08.

### Literatúra

- AMON, T. – KRYVORUCHKO, V. – AMON, B. – BUGA, S. – AMIN, A. – ZOLLITSCH, W. – MAYER, K. – PÖTSCH, E. 2004. Biogaserträge aus landwirtschaftlichen Gärgütern. In: BAL-Bericht über das 10. Alpenländische Expertenforum zum Thema Biogasproduktion – Alternative Biomassenutzung und Energiegewinnung in der Landwirtschaft am 18–19 März 2004. BAL Gumpenstein, BMLFUW. 2004. s. 21–26.
- 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 the methane yield. In: Agriculture, Ecosystems and Environment, vol. 118, 2007, p. 173–182.
- BÍRO, D. – GÁLIK, B. – JURÁČEK, M. – ŠIMKO, M. 2007. Nutritive value and digestibility characteristics of different maize silage hybrids. In: Acta Fytotechnica et Zootechnica, roč. 10, 207, č. 1, s. 17–19.
- DE ONDARZA, M.B. 2000. Energy. In: Milkproduction. 2000, online <http://www.milkproduction.com/Library/Articles/Energy.htm>
- GADUŠ, J. – KROČKO, V. 2006. Evaluation of co-fermentation under agricultural biogas plant conditions. In MOTROL: motoryzacja i energetyka rolnictwa. Lublin: Akademia Rolnicza, 2006, p. 125–132.
- GADUŠ, J. 2009. Poľnohospodárske bioplynové stanice. In: TZB Haustechnik, roč. 17, 2009, č. 4, s. 28–30.
- HAROLD HOUSE, P. 2007. Alternative energy sources – biogas production. London Swine Conference – Today's Challenges... Tomorrow's Opportunities 3–4 April 2007. London, 2007, p. 119–128.

- HILBORN, D. 2007. Anaerobic digestion for heat and electricity. In: Ontario greenhouse conference. Ontario: Ontario ministry of agriculture, food and rural affairs, 2007, p. 1–19. online <http://www.canadiangreenhouseconference.com/talks/2007/2007-TK-Hilborn.pdf>
- CHYNOWETH, D.P. 2004. Biomethane from energy crops and organic wastes. In: Anaerobic Digestion 2004. Anaerobic Bioconversion . . . Answer for Sustainability, Proceedings 10th World Congress, Montreal: International Water Association, Canada, 2004, p. 525–530.
- JALČ, D. – LAUKOVÁ, A. – KIŠIDAYOVÁ, S. 2010. Effect of inoculants on fermentation parameters and chemical composition of grass and corn silages. In: Slovak Journal of Animal Science, vol. 43, 2010, p. 141–146.
- JENDRIŠÁKOVÁ, S. 2005. Monitoring of grass silage quality in mountain and submountain regions. In: Tools for Management of Natural Grasslands Toulouse: INRA CAMPUS, France, Toulouse 6–8 Juillet, 2005, p. 84.
- JUNG, H.J.G. – VAREL, V.H. – WEIMER, P.J. – RALPH, J. 1999. Accuracy of Klason lignin and acid detergent lignin methods as assessed by bomb calorimetry. In: Journal of Agricultural and Food Chemistry, vol. 47, 1999, p. 2005–2008.
- KARPENSTEIN-MACHAN, M. 2005. Energiepflanzenbau für Biogasanlagenbetreiber. In: Produktionstechnik im Energiepflanzenbau, Frankfurt: DLG-Verlag, 2005, p. 113–134.
- NEUREITER, M. – DOS SANTOS, T.P. – LOPEZ, C.P. – PICHLER, H. – KIRCHMAYR, R. – BRAUN, R. 2005. Effect of silage preparation on methane yields from whole crop maize silages. In: 4<sup>th</sup> International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste, Copenhagen, Denmark, 2005, p. 109–115.
- PETRIKOVIČ, P. – SOMMER, A. – ČEREŠŇÁKOVÁ, Z. et al. 2000. Výživná hodnota krmív. 1. časť. Nitra : VÚŽV, 2000. ISBN 80-88872-12-X.
- PIEPER, B. – KORN, U. 2010. Influence of lactic and acetic acid in corn silage on biogas production and conclusions for the application of silage additives. In: 14th International symposium Forage conservation. Brno : Mendel University, 2010, p. 117–118.
- PLÖCHL, M. – ZACHARIAS, H. – HERRMANN, C. – HEIERMANN, M. – PROCHNOW, A. 2009. Influence of silage additives on methane yield and economic performance of selected feedstock. In: Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal, vol. 11, 2009, p. 1–16.
- SHABAN, D.A.H. – OMAIMA, M. S. 2010. The utilization of agricultural waste as one of the environmental issues in Egypt. In: Journal of Applied Sciences Research, vol. 6, 2010, p. 1116–1124.
- SCHATTAUER, A. 2008. International development in biogas utilization. In: BITEC Bangkok: Renewable Energy Asia 2008, p. 1–30, online <http://www.thai-exhibition.com/entech/conference/rne/pdf/S3/13.30-14.pdf>
- SCHIEMANN, R. – NEHRING K. – HOFFMANN, L. – JENTSCH, W. – CHUDY, A. 1972. Energetische Futterbeurteilung und Energienormen. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, 1972. Berlin: Germany.
- THAMSIRIROJ, T. – MURPHY, J.D. 2010. Difficulties associated with monodigestion of grass as exemplified by commissioning a pilot-scale digester. In: Energy and Fuels, vol. 24, 2010, p. 4459–4469.
- TINE, M. A. – MCLEOD, K. R. – ERDMAN, A. – BALDWIN, R. L. 2001. Effects of brown midrib corn silage on the energy balance of dairy cattle. In: Journal of Dairy Science, vol. 84, 2001, p. 885–895.
- ZEMAN, L. – DOLEŽAL, P. 2007. Bioenergetické zdroje, výroba bioplynu a konzervace biomasy. In Konzervace krmív & Silage cup. Brno : Bioferm, 2007, s. 23–29.

### Kontaktná adresa:

doc. Ing. Miroslav Juráček, PhD., Katedra výživy zvierat, Fakulta agrobiológie a potravinových zdrojov, Slovenská poľnohospodárska univerzita, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, tel. 037/641 43 32, e-mail: Miroslav.Juracek@uniag.sk