

ZBIGNIEW PODKÓWKA, WITOLD PODKÓWKA

Zakład Żywienia Zwierząt i Gospodarki Paszowej  
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy

## **PORÓWNANIE METOD SZACOWANIA WYDAJNOŚCI METANU Z KISZONEK Z CAŁYCH ROŚLIN KUKURYDZY**

COMPARISON OF METHODS FOR ESTIMATING PRODUCTION OF METHANE  
FROM WHOLE PLANT MAIZE SILAGE

**Streszczenie.** Metody laboratoryjne oparte na pomiarze ilości metanu wydzielonego w procesie fermentacji wymagają specjalistycznej aparatury, są długotrwałe i kosztowne, dlatego opracowano szereg metod szacowania wydajności biogazu i metanu ze składu chemicznego substratu. Celem badań było porównanie różnych metod szacowania wydajności metanu z kiszonek z całych roślin kukurydzy. Materiał stanowiły wyniki badań kiszonek z całych roślin kukurydzy zamieszczone w różnych publikacjach, w których podano produkcję metanu (oznaczoną metodą fermentacji „Bacht System”) oraz pełny skład chemiczny. Na podstawie składu chemicznego oszacowano produkcję metanu za pomocą różnych metod. Przedstawione metody pozwalają z dużą dokładnością obliczyć wydajność metanu z kisonki z całych roślin kukurydzy stosowanej jako monosubstrat w biogazowni. Szacowanie produkcji metanu z energii brutto daje zawyżone wyniki. Dla praktyki najbardziej przydatne jest szacowanie wydajności metanu z zawartości suchej masy, ze względu na łatwość jej oznaczania.

**Słowa kluczowe:** szacowanie produkcji metanu, kisonka z całych roślin kukurydzy

### **Wstęp**

W praktyce laboratoryjnej stosowane są różne metody prowadzenia procesu fermentacji przy oznaczaniu wydajności biogazu, co skutkuje dużymi różnicami w uzyskiwanych wynikach (AMON i IN. 2004 a, 2006 b, 2007 a, 2007 b, KAISER 2007). Różna jest długość okresu fermentacji, stosowane inokulaty, stosunek ilościowy substratu do inokulantu oraz pojemność i typ komory fermentacyjnej (SCHLATTMANN i IN. 2004, SPECKMAIER i IN. 2005, MUKENGELE i IN. 2006). W Niemczech do pomiaru procesu

fermentacyjnego wykorzystuje się metodę opisaną w normie DIN 38414/S8 (MUKENGELE i OECHSNER 2007).

Zasadniczą wadą stosowanych metod jest długi okres dokonywania pomiaru, który, w zależności od metody i zastosowanego substratu, trwa od 30 do nawet 90 dni, dlatego opracowano szereg metod szacowania wydajności biogazu i metanu ze składu chemicznego substratu. Przy obecnej technice laboratoryjnej oznaczenie zawartości składników we wsadzie do komory fermentacyjnej jest możliwe w bardzo krótkim czasie. Szczególnie duże możliwości analityczne daje wykorzystanie technologii bliskiej podczerwieni – NIRS (KRÜTZFELDT i IN. 2005). Technologia ta może być również wykorzystana do oznaczania wydajności biogazu i metanu (DARNHOFER i IN. 2009, JACOBI i IN. 2009).

Jedną z pierwszych metod szacowania wydajności biogazu i metanu opracowali KEYMER i SCHILCHER (1999), wykorzystując teoretyczne wyliczenia Baserga. W metodzie tej wykorzystali zawartość składników pokarmowych oznaczanych metodą weendeńską, powszechnie stosowaną w zootechnicznej analizie pasz, oraz ich strawność. AMON i IN. (2003, 2004 a, 2004 b, 2006 a, 2006 b, 2007 a, 2007 b) wykazali, że w wyliczeniu uzysku biogazu, oprócz wybranych podstawowych składników pokarmowych, należy uwzględnić frakcje włókna surowego, np. celulozę czy hemicelulozę. KAISER (2007) zaproponował szacowanie wydajności metanu z zawartości strawnej substancji organicznej, WEIBBACH (2008) – z fermentującej substancji organicznej (FSO), a PODKÓWKA i PODKÓWKA (2012 a, 2012 b) – z zawartości suchej masy lub substancji organicznej.

Celem badań było porównanie różnych metod szacowania wydajności metanu z kiszzonek z całych roślin kukurydzy.

## Material i metody

Materiał stanowiły wyniki badań kiszzonek z całych roślin kukurydzy zamieszczone w różnych publikacjach (AMON i IN. 2003, 2004 a, 2004 b, 2006 a, 2006 b, 2007 a, 2007 b, KAISER 2007). Wybierano wyniki, w których podano uzysk metanu (oznaczony metodą fermentacji „Bacht System”) oraz zawartość następujących składników: suchej masy, substancji organicznej, białka ogólnego, włókna surowego, związków bezazotowych wyciągowych, celulozy i hemicelulozy. Na podstawie zawartości wyżej wymienionych składników, w zależności od formuły szacowania, wyliczano ilość uzyskiwanego CH<sub>4</sub>. W każdej formule szacowania wykorzystano te same próby (n = 36).

Do określenia wydajności metanu z kiszzonek z całych roślin kukurydzy wykorzystano metody przedstawione w tabeli 1.

Ilość metanu podano w litrach na 1 kg suchej substancji organicznej (L<sub>N</sub>CH<sub>4</sub> na 1 kg SSO). Objętość metanu podawano dla warunków znormalizowanych (N): temperatura – 0°C, ciśnienie – 1013,25 mbar i wilgotność – 0%.

Wyniki analizowano za pomocą jednoczynnikowej analizy wariancji. Obliczono współczynniki korelacji pomiędzy metodą laboratoryjną a metodami szacunkowymi, których istotność oceniono za pomocą testu t Studenta (SAS/STAT... 1995).

Tabela 1. Metody wykorzystane do szacowania wydajności metanu z kiszonek z całych roślin kukurydzy

Table 1. Methods used to estimate the yield of methane from whole plant maize silage

Metoda Method	Składniki, z których szacowano produkcję metanu The components of the estimated methane production	Autor Author
L – laboratoryjna („Bacht System”) L – laboratory (“Bacht System”)		AMON i IN. / et AL. (2007 a, 2007 b)
F – 1	Energia brutto Gross energy	KIRCHGEBNER i IN. / et AL. (2008)
F – 2	Białko surowe, tłuszcz surowy, włókno surowe, związki bezasotowe wyciągowe Crude protein, crude fat, crude fiber, N-free extractions	AMON i IN. / et AL. (2006 b, 2007 a)
F – 3	Białko surowe, tłuszcz surowy, celuloza, hemiceluloza Crude protein, crude fat, cellulose, hemicellulose	AMON i IN. / et AL. (2007 b)
F – 4	Sucha masa Dry matter	PODKÓWKA i/and PODKÓWKA (2012 a)
F – 5	Substancja organiczna Organic matter	PODKÓWKA i/and PODKÓWKA (2012 b)
F – 6	Białko strawne, tłuszcz strawny, włókno strawne, strawne związki bezasotowe wyciągowe Digestible protein, digestible fat, digestible fiber, digest- ible N-free extractions	KEYMER i/and SCHILCHER (1999)
F – 7	Fermentująca substancja organiczna Fermentable organic matter	WEIBBACH (2008)

## Wyniki i dyskusja

Zawartość składników pokarmowych i energii brutto w kiszonkach z całych roślin kukurydzy wykorzystanych do szacowania wydajności metanu przedstawiono w tabeli 2. Wyznacznikiem optymalnego terminu zbioru kukurydzy na kiszonkę jest zawartość suchej masy w całej roślinie. W kukurydzy przeznaczony na biogaz powinna ona wynosić od 28 do 35% (HERRMANN i RATH 2012). W analizowanych kiszonkach nie we wszystkich próbach zawartość suchej masy mieściła się w podanym przedziale. Nie zaleca się zakiszać na biogaz kukurydzy o zawartości suchej masy poniżej 25%, bowiem zachodzi wówczas niebezpieczeństwo wyciekania soku podczas procesu zakiszenia oraz zbiera się z powierzchni uprawy małą ilość biomasy (AMON i IN. 2006 a). W sześciu analizowanych kiszonkach zawartość suchej masy wynosiła poniżej 25%. Zawartość pozostałych składników i energii brutto w analizowanych kiszonkach była zbliżona do wartości podawanych w literaturze (KOLVER i IN. 2001, PODKÓWKA i PODKÓWKA 2004).

W procesie fermentacji metanowej składniki organiczne substratu zamieniane są na biogaz. Zawartość w substracie białka ogólnego, tłuszczu surowego, włókna surowego,

Tabela 2. Zawartość składników pokarmowych w kiszonkach z całych roślin kukurydzy  
 Table 2. Nutrient content of silage made from whole corn plants

Składnik pokarmowy Nutrient	Średnia Average	Minimum Minimum	Maksimum Maximum	Odchylenie standardo- we Standard deviation	Współ- czynnik zmienności Variation coefficient (%)
Sucha masa (%) Dry matter (%)	32,98	19,82	47,47	6,96	21,1
Popiół surowy (% SM) Crude ash (% DM)	4,38	2,85	6,73	0,83	19,0
Substancja organiczna (% SM) Organic matter (% DM)	95,63	93,27	97,15	0,84	0,9
Białko ogólne (% SM) Crude protein (% DM)	7,93	7,10	8,86	0,56	7,1
Tłuszcz surowy (% SM) Crude fat (% DM)	2,03	0,26	3,20	0,88	43,4
Włókno surowe (% SM) Crude fiber (% DM)	19,65	14,40	30,60	4,08	20,8
Związki bezazotowe wyciągowe (% SM) N-free extractions (% DM)	66,01	56,34	71,47	4,01	6,1
Celuloza (% SM) Cellulose (% DM)	21,06	13,87	33,07	5,08	24,1
Hemiceluloza (% SM) Hemicellulose (% DM)	22,94	16,23	30,50	3,46	15,1
Energia brutto (MJ/kg SM) Gross energy (MJ/kg DM)	18,21	17,68	18,77	0,23	1,3

skrobi czy cukru wpływa na ilość powstającego metanu (AMON i IN. 2007 b, VINDIS i IN. 2010). W analizowanych kiszonkach stwierdzono duże zróżnicowanie zawartości tych składników, co miało przełożenie na ilość powstającego metanu.

W tabeli 3 przedstawiono wydajność metanu oznaczoną w laboratorium według metody „Bacht System” w próbkach wybranych do obliczeń oraz oszacowaną według różnych metod.

SCHITTENHELM (2008) podaje, że z 1 kg suchej substancji organicznej (SSO) kiszonki z całych roślin kukurydzy otrzymuje się od 282 do 419 L<sub>N</sub> metanu. W ośmiu analizowanych próbkach wydajność metanu oznaczona w laboratorium wykroczyła poza podany przedział. Zwraca uwagę duże zróżnicowanie wydajności tego gazu w analizowanym materiale.

Metoda szacowania na podstawie energii brutto (F – 1) daje wyniki uzysku metanu zawyżone o 46%. Wynika to z faktu, że w metodzie tej przyjmuje się, iż cała substancja organiczna kiszonki z kukurydzy jest fermentowana do biogazu, a wiadomo przecież, że

Tabela 3. Porównanie wydajności metanu oznaczonej metodą laboratoryjną w procesie fermentacji i wyliczonej z zawartości składników pokarmowych ( $L_NCH_4$  na 1 kg SSO)

Table 3. Comparison of methane productivity determined using laboratory method in fermentation process and calculated from nutrients content ( $L_NCH_4$  per 1 kg DOS)

Metoda Method	Średnia Average	Minimum Minimum	Maksimum Maximum	Odchylenie standardowe Standard deviation	Współczynnik zmienności Variation coefficient (%)
L	332,9	245,1	431,7	45,3	13,6
F – 1	485,6	460,7	506,1	9,4	1,9
F – 2	318,0	279,2	369,8	24,7	7,8
F – 3	285,9	234,5	331,9	26,1	9,1
F – 4	317,2	298,4	337,9	10,0	3,1
F – 5	320,0	300,3	342,3	10,5	3,3
F – 6	313,5	209,2	332,2	20,6	6,6
F – 7	352,9	306,7	374,0	16,6	4,7

część związków organicznych jest nieprzefermentowana i pozostaje w substancji pofermentacyjnej.

Wszystkie przedstawione metody można wykorzystać do szacowania produkcji metanu z całych roślin kukurydzy (tab. 4). Na uwagę zasługuje metoda F – 4 – z suchej

Tabela 4. Współczynniki korelacji pomiędzy wydajnością metanu oznaczoną laboratoryjnie a oszacowaną za pomocą równań

Table 4. Correlation coefficients between productivity of methane designated laboratory and estimated using equations

Metoda Method	Współczynnik korelacji Correlation coefficient	Istotność współczynnika korelacji Significance of the correlation coefficient
L	–	–
F – 1	–0,348	**
F – 2	–0,333	**
F – 3	–0,296	*
F – 4	–0,649	**
F – 5	–0,649	**
F – 6	–0,602	**
F – 7	–0,355	**

\* $P \geq 0,05$ .

\*\* $P \geq 0,01$ .

masy, ze względu na prostotę oznaczania tego składnika. Zawartość suchej masy można oznaczyć bezpośrednio w gospodarstwie, z zastosowaniem kuchenki mikrofalowej (PODKÓWKA 2006).

AMON i IN. (2007 a) podają, że różnica między wydajnością metanu zmierzoną laboratoryjnie i oszacowaną powinna mieścić się w zakresie od 2 do 5%. W metodach F – 2, F – 4 i F – 5 różnica szacowania nie przekraczała 5%. W pozostałych wykorzystanych w pracy metodach różnica była większa.

Zaprezentowane metody szacowania wydajności metanu z kiszonki z kukurydzy mogą być wykorzystane również dla zielonki z całych roślin kukurydzy. Jak podają HERRMANN i RATH (2012), przy kiszonce uzyskujemy od 2,6 do 5,5% większą wydajność metanu niż przy zielonce. Przedstawione metody nie mają zastosowania w przypadku pozostałych pasz kukurydzianych – kiszzonego ziarna kukurydzy, CCM-u i innych.

Opisane metody szacowania pozwalają obliczyć wydajność metanu z kiszonki z całych roślin kukurydzy wykorzystywanej jako monosubstrat w biogazowni.

## Wnioski

1. Przedstawione metody szacowania pozwalają z dużą dokładnością obliczyć wydajność metanu z kiszonki z całych roślin kukurydzy będącej monosubstratem w biogazowni.

2. Przy obliczaniu uzysku metanu z energii brutto uzyskuje się zawyżone wyniki.

3. Dla praktyki najbardziej przydatne jest szacowanie wydajności metanu z zawartości suchej masy, ze względu na łatwość jej oznaczania.

## Literatura

- AMON T., AMON B., KRYVORUCHKO V., MACHMÜLLER A., HOPFNER-SIXT K., BODRIOZA V., HRBEK R., FRIEDEL J.K., PÖTSCH E., WAGENTRISTL H., SCHREINER M., ZOLLITSCH W., 2007 a. Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations. *Biores. Technol.* 98: 3204-3212.
- AMON T., AMON B., KRYVORUCHKO V., ZOLLITSCH W., MAYER K., GRUBER L., 2007 b. Biogas production from maize and dairy cattle manure – Influence of biomass composition on the methane yield. *Agric. Ecosyst. Environ.* 118: 173-182.
- AMON T., KRYVORUCHKO V., AMON B., BODRIOZA V., ZOLLITSCH W., BOXBERGER J., 2006 a. Biogaserzeugung aus Energiemais. *Landtechnik* 61, 2: 86-87.
- AMON T., KRYVORUCHKO V., AMON B., BUGA S., AMID A., ZOLLITSCH W., MAYER K., PÖTSCH E., 2004 a. Biogaserträge aus landwirtschaftlichen Gärgütern. W: 10. Alpenländisches Expertenforum zum Thema Biogasproduktion – alternative Biomassenutzung und Energiegewinnung in der Landwirtschaft: 18. und 19. März 2004 an der BAL Gumpenstein. BAL, Irnding: 21-26.
- AMON T., KRYVORUCHKO V., AMON B., MOITZI G., BUGA S., LYSON D.F., HACKL E., JERICIC D., ZOLLITSCH W., PÖTSCH E., 2003. Optimierung der Biogaserzeugung aus den Energiepflanzen Mais und Kleegras. Final Report 77. July 2003. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft. Research Project 1249.

Podkówka Z., Podkówka W., 2014. Porównanie metod szacowania wydajności metanu z kiszzonek z całych roślin kukurydzy. *Nauka Przyr. Technol.* 8, 4, #45.

- AMON T., KRYVORUCHKO V., AMON B., ZOLLITSCH W., MAYER K., BUGA S., AMID A., 2004 b. Biogaserzeugung aus Mais – Einfluss der Inhaltsstoffe auf das spezifische Methanbildungsvermögen von früh- bis spätreifen Maissorten. W: Hybridmais, Züchtung und Verwertung, 54. Tagung, 25.-27. November 2003. BAL, Gumpenstein. VPS, Österreichs: 59-68.
- AMON T., KRYVORUCHKO V., HOPFNER-SIXT K., AMON B., BODRIOZA V., RAMUSCH M., HRBEK R., FRIEDEL J.K., ZOLLITSCH W., BOXBERGER J., 2006 b. Biogaserzeugung aus Energiepflanzen. Maszynopis. Institut für Landtechnik, Universität für Bodenkultur, Wien.
- DARNHOFER B., EDER J., OECHSNER H., MUKENGELE M., 2009. Entwicklung einer NIRS Kalibration zur Bestimmung der Biogasausbeute von Mais. W: Internationale Wissenschaftstagung, Biogas Science 2009, Erding, 2-4.12.2009. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weihenstephan, Bd 2: 345-354.
- HERRMANN A., RATH J., 2012. Biogas production from maize: current state, challenges, and prospects. 1. Methane yield potential. *Bioenerg. Res.* 5: 1027-1042.
- JACOBI H.F., MOSCHNER CH.R., HARTUNG E., 2009. Überwachung von Leitparametern des Biogasprozesses mittel NIRS. *Landtechnik* 64, 2: 119-122.
- KAISER F.L., 2007. Einfluss der stofflichen Zusammensetzung auf die Verdaulichkeit nachwachsender Rohstoffe beim anaeroben Abbau in Biogasreaktoren. Maszynopis. Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik der Technische Universität München.
- KEYMER U., SCHILCHER A., 1999. Überlegungen zur Errechnung theoretischer Gasausbeuten vergärbare Substrate in Biogasanlagen. *Landtechnik-Bericht* 32.
- KIRCHGEBNER M., ROTH F.X., SCHWARZ F., STANGL G., 2008. Tierernährung, Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt am Main.
- KOLVER E.S., ROCHE J.R., MILLER D., DENSLEY R., 2001. Maize silage for dairy cows. W: Proceedings of the New Zealand Grassland Association, Hamilton, 63. [[http://www.grassland.org.nz/publications/nzgrassland\\_publication\\_287.pdf](http://www.grassland.org.nz/publications/nzgrassland_publication_287.pdf)].
- KRÜTZFELDT B., OECHSNER H., MUKENGELE M., EDER B., EDER J., 2005. Bestimmung der Gasausbeute von Energiemais. *Mais* 4: 124-126.
- MUKENGELE M., BRULÉ M., OECHSNER H., 2006. Einfluss der Substratmischung aus Energiepflanzen auf Abbaukinetik und Methanertrag. *Landtechnik* 61, 1: 26-27.
- MUKENGELE M., OECHSNER H., 2007. Einfluss der Silierung auf den spezifischen Methanertrag bei Mais. *Landtechnik* 62, 1: 20-21.
- PODKÓWKA W., 2006. Oznaczanie suchej masy w kiszzonekach, zielonkach i TMR metodą uproszczoną. *Przegl. Hod.* 7: 22-24.
- PODKÓWKA W., PODKÓWKA Z., 2004. Technologia produkcji kiszzonek z całych roślin kukurydzy i jej wykorzystanie w żywieniu zwierząt. W: Technologia produkcji kukurydzy. Red. A. Dubas. *Wiś Jutra*, Warszawa: 82-91.
- PODKÓWKA Z., PODKÓWKA W., 2012 a. Wpływ zawartości suchej masy w kiszzonekach z kukurydzy na wydajność biogazu, energii elektrycznej i cieplnej. W: Problematyka zrównoważonego rozwoju w systemach małych zlewni rzecznych. Red. M. Lewandowska-Robak. *IMGW*, Warszawa: 125-129.
- PODKÓWKA Z., PODKÓWKA W., 2012 b. Wydajność biogazu i biometanu z kiszzonek kukurydzy w zależności od zawartości suchej masy. Maszynopis. Zakład Żywienia Zwierząt i Gospodarki Paszowej UT-P, Bydgoszcz.
- SAS/STAT v. 9.1 user's guide. 1995. SAS Institute, Cary, NC.
- SCHITTENHELM S., 2008. Chemical composition and methane yield of maize hybrids with contrasting maturity. *Eur. J. Agron.* 29: 72-79.
- SCHLATTMANN M., SPECKMAIER M., GRONAUER A., 2004. Biogas-Gärtests in verschiedenen Fermentertypen. *Landtechnik* 59, 6: 338-339.
- SPECKMAIER M., SCHLATTMANN M., METZNER T., GRONAUER A., 2005. Bestimmung des Biogasertrags aus Co-Substraten im diskontinuierlichen Durchflussverfahren. *Landtechnik* 60, 6: 340-341.

VINDIS P., MURSEC B., JANZEKOVIC M., STAJNKO D., CUS F., 2010. Anaerobic digestion of maize hybrids for methane production. *J. Achiev. Mater. Manuf. Eng.* 40, 1: 87-94.

WEIBBACH F., 2008. Zur Bewertung des Gasbildungspotenzials von nachwachsenden Rohstoffen. *Landtechnik* 63, 6: 356-358.

## COMPARISON OF METHODS FOR ESTIMATING PRODUCTION OF METHANE FROM WHOLE PLANT MAIZE SILAGE

**Summary.** Laboratory methods to measure the amount of methane gas evolved in the fermentation process require specialized equipment and are long-lasting and expensive. Therefore a number of methods are developed to estimate the efficiency of biogas and methane from the chemical composition of the substrate. The aim of this study was to compare different methods to estimate the efficiency of methane from the silages made from whole plant corn. The study was based on test results of silage from whole plant corn included in various publications, which deal with the production of methane (determined by fermentation “Bacht System”) and complete chemical composition. On the basis of chemical composition methane production was determined due to different methods. Methods allow, with high accuracy, to calculate the yield of methane from silage from whole maize plant used as a mono-substrate for biogas. Estimation of methane production from the gross energy gives inflated results. For practice the most useful is to estimate the yield of methane from the dry weight content, due to the ease of determination.

**Key words:** estimation of methane production, silage from whole plants corn

*Adres do korespondencji – Corresponding address:*

Zbigniew Podkówka, Zakład Żywnienia Zwierząt i Gospodarki Paszowej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy, ul. Mazowiecka 28, 85-084 Bydgoszcz, Poland, e-mail: pasza@utp.edu.pl

*Zaakceptowano do opublikowania – Accepted for publication:*

17.06.2014

*Do cytowania – For citation:*

Podkówka Z., Podkówka W., 2014. Porównanie metod szacowania wydajności metanu z kiszzonek z całych roślin kukurydzy. *Nauka Przyr. Technol.* 8, 4, #45.