

ROZDROBNIENIE SUBSTRATÓW WYKORZYSTYWANYCH DO PRODUKCJI BIOGAZU

Patrycja Sałagan, Tomasz K. Dobek
Katedra Budowy i Użytkowania Urządzeń Technicznych,
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Paweł Wieliczko
Centrum Energii Sp. z o.o. sp. komandytowa

Streszczenie. W artykule przedstawiono analizę różnego stopnia rozdrobnienia zielonki oraz uzysku biogazu na podstawie danych literaturowych. Szczególną uwagę zwrócono na wiadomości dotyczące kukurydzy oraz sorga. Zestawiono również informacje na temat innych roślin m.in. słomy i żyta. Wskazano różnice w zalecanych długościach siewki zielonki do sporządzenia kiszonek do produkcji biogazu zarówno w obrębie jednego gatunku, jak również między gatunkami wykorzystywanych roślin. Z analizy wynika, iż kiszonka z sorga może stanowić alternatywę dla kiszonki z kukurydzy. Ponadto zaleca się dokładne rozdrobnienie surowca do sporządzenia kiszonek na cele produkcji biogazu. W przypadku kiszonki z kukurydzy zalecanym przedziałem długości rozdrobnienia na podstawie danych literaturowych jest przedział 10-15 mm (nawet do 20 mm), natomiast sorga 10-30 mm.

Słowa kluczowe: biogaz, substrat, kukurydza, sorgo, długość siewki

Wprowadzenie

Do produkcji biogazu rolniczego wykorzystywane są wszelkie odpady organiczne, zarówno z produkcji rolniczej, jak i z przemysłu rolno-spożywczego. Najpopularniejszymi substratami są kiszonki z kukurydzy oraz gnojowica.

Kukurydza (łac. *Zea mays*) jest trzecim co do ważności zbożem na świecie, zaraz po pszenicy i ryżu [Frageria i in. 2010]. Jest rośliną tropikalną, charakteryzującą się typem fotosyntezy C4, czyli cechuje się małym poborem wody oraz dużymi możliwościami plonowania. Ze względu na ogólną dostępność stanowi doskonały surowiec do produkcji biomasy na cele energetyczne, m.in. biogazu. Kiszonka z kukurydzy jest najpowszechniej stosowanym surowcem gwarantującym stabilny przebieg fermentacji metanowej w biogazowniach oraz wysoką wydajność biogazu [Fugol i in. 2011]. Z 1 tony kiszonki z kukurydzy o zawartości 30–40% suchej masy można uzyskać 170-220 m³ biogazu o zawartości

50-55% metanu [Szlachta 2009; Kozyra 2009]. Do uprawy na kiszonki służące do produkcji biogazu na terenie Polski zalecane są odmiany o liczbie FAO 250 – 280 (liczba FAO określa długość okresu wegetacyjnego potrzebnego do zakumulowania suchej masy), odwrotnie niż ma to miejsce przy uprawie na cele żywieniowe.

Natomiast sorgo (*Sorghum*), podobnie jak kukurydza, uprawiane jest na ziarno i zielonkę. Jest to również roślina charakteryzująca się fotosyntezą typu C4, znakomicie znosząca niedobór wody w glebie. W warunkach polskich plon zielonki może dochodzić nawet do $100 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ [Budzichowska 2010], średnio ok. $60\text{--}80 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, o zawartości ok. 22% s.m. [Węglarzy i in. 2010]. Do produkcji biogazu sorgo wykorzystywane jest najczęściej w postaci kiszonki. Z 1 tony kiszonki z sorga można uzyskać ok. 110 m^3 o zawartości 54% metanu. Ze względu na fakt, iż kukurydza wymaga lepszych stanowisk niż sorgo, może ono stanowić alternatywny wsad do biogazowni rolniczych.

Technologia sporządzania kiszonek do produkcji biogazu jest tożsama z technologią kiszzenia pasz dla bydła [Węglarzy i in. 2010]. Istotną różnicą jest natomiast długość sieczki, na jaką powinien zostać rozdrobniony materiał roślinny. Stopień rozdrobnienia zakiszanej zielonki dla bydła to 15-20, a nawet 30 mm. W przypadku wykorzystania kiszonek do produkcji biogazu wymagane jest dokładne rozdrobnienie surowca. Im krótsza sieczka, tym wyższy uzysk biogazu. Zaleca się, aby długość sieczki wynosiła od 4 do 8 mm [Węglarzy i in. 2010]. W dobrze rozdrobnionym substracie mamy do czynienia z większą powierzchnią dostępnego materiału, a tym samym większe możliwości rozkładu materii organicznej przez enzymy bakterii beztlenowych. W ciągu 26-dniowej fermentacji metanowej kiszonki z kukurydzy z sieczki o długości 4 mm uzyskuje się o 12% więcej biogazu niż z sieczki o długości 20 mm [Węglarzy i in. 2010, Ulotka informacyjna Schaumann Bio-Energy 2006]. Jednak w praktyce osiągnięcie długości sieczki w zalecanym przedziale 4 do 8 mm wiąże się z wysokimi nakładami energetycznymi oraz jest trudne do uzyskania.

Cel i zakres pracy

Celem artykułu była analiza danych literaturowych dotyczących stopnia rozdrobnienia wybranych roślin wykorzystywanych do sporządzenia kiszonek do produkcji biogazu. Podczas analizy zwrócono szczególną uwagę na rozbieżności wynikające ze zróżnicowania stopnia rozdrobnienia w obrębie jednego gatunku roślin, jak i między gatunkami.

Metodyka badań

Praca została wykonana w oparciu o aktualny stan wiedzy oraz dostępne polskie i zagraniczne dane literaturowe na temat rozdrobnienia substratów roślinnych wykorzystywanych do sporządzenia kiszonek do produkcji biogazu. Zadaniem zestawienia było wykazanie różnic w długości sieczki i uzysku biogazu w odniesieniu do wybranych roślin.

Analiza wyników badań

Analiza danych literaturowych oparta jest o źródła polsko i anglojęzyczne. W tabeli 1 zestawiono dane dotyczące stopnia rozdrobnienia wybranych roślin, ze szczególnym uwzględnieniem kukurydzy oraz sorga. Z tych danych wynika, że różnice w długości siewki występują zarówno w obrębie tego samego gatunku, jak również między gatunkami roślin.

W przypadku kukurydzy najmniejsza długość siewki, na jaką zostały rozdrobnione rośliny do sporządzenia kiszonek w badaniach różnych autorów, wynosiła 0,5-3 mm [Amon i in. 2006]. Natomiast największy przedział wynosił 20-40 mm [Bauer i in. 2010].

W przypadku sorgo przedziały długości siewki są już mniej zróżnicowane pod względem rozdrobnienia materiału, niż w przypadku kukurydzy. Najmniejszy przedział wynosił 1-3 mm [Leonhartsberger i in. 2009], a największy 20-40 mm [Bauer i in. 2010].

Największe zróżnicowania w kwestii rozdrobnienia zielonki na kiszonki stanowi podgrupa „inne rośliny”, w której zostały zestawione informacje dotyczące pozostałych wybranych roślin. W przypadku kiszonki ze słonecznika informacje literaturowe zawierają przedziały długości siewki 1-3 mm oraz 20-40 mm. Długość siewki jęczmienia obejmuje następujące przedziały: 10-15 mm, 20-40 mm oraz 8-11 mm, natomiast żyta: 1-3 mm, 10-15 mm, 20-40 mm oraz 8-11 mm. Z kolei w przypadku słomy występują największe rozbieżności. Długość siewki słomy zawiera się w przedziałach 0,5-1 mm, do 40 mm oraz 50-100 mm.

Jak wynika z powyższych informacji nie ma ujednoliconych danych dotyczących zalecanych przedziałów długości siewki substratów roślinnych do sporządzenia kiszonek do produkcji biogazu.

Tabela 1. Zróżnicowanie rozdrobnienia różnych substratów wykorzystywanych do sporządzenia kiszonek do produkcji biogazu

Table 1. Variation of fragmentation of different substrates used for preparation of biogas production

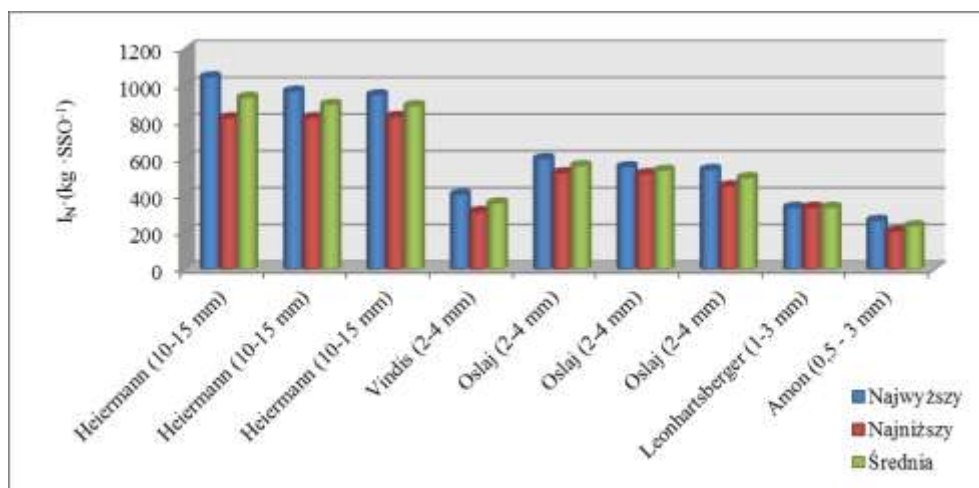
Lp.	Wyszczególnienie	Długość siewki [mm]	Źródło
1.	Kukurydza	0,5–3,0	Amon T. i in. [2006]
2.		1,0–3,0	Leonhartsberger C. i in. [2009]
3.		2,0–4,0	Oslaj M. i in. [2010]; Vindis P. i in. [2009a]; Vindis P. i in. [2009b]
4.		4,0–8,0	Ulotka Shaumann BioEnergy [2006]
5.		8,0	Herrmann C. i in. [2011]
6.		5,0–10,0	Bartuševics J., Gaile Zinta [2010]
7.		5,0–15,0	Špalková V. i in. [2009]
8.		10,0–15,0	Heiermann M. i in. [2009]

9.		10,0–20,0	Pakarinen A. i in. [2011]	
10.		20,0–30,0	Klimuk E. i in. [2010]	
11.		20,0–40,0	Bauer A. i in. [2010]	
12.	Sorgo	1,0–3,0	Leonhartsberger C. i in. [2009]	
13.		4,0	Herrmann C. i in. [2011]	
14.		10,0–20,0	Ulotka Shaumann BioEnergy [2006]	
15.		25,0	Mühlbach P. [1999]	
16.		20,0–40,0	Bauer A. i in. [2010]	
17.		20,0–30,0	Klimuk E. i in. [2010]	
18.		Inne rośliny	burak cukrowy, słonecznik, koniczyna, żyto	1,0–3,0
19.	całe rośliny zbóż		5,0–10,0	Ulotka Shaumann BioEnergy [2006]
20.	jęczmień, żyto, pszenżyto		10,0–15,0	Heiermann M. i in. [2009]
21.	kiszonki z całych roślin (jęczmień, słonecznik)		20,0–40,0	Bauer A. i in. [2010]
22.	konopia siewna, bób		10,0–20,0	Pakarinen A. i in. [2011]
23.	lucerna, konopia siewna, topinambur		20,0–30,0	Heiermann M. i in. [2009]
24.	maniok		15,0	Mühlbach P. 1999]
25.	słoma bez wstępnej obróbki		0,5–1,0	Bauer A. i in. [2010]
26.	słoma pszeniczna		50,0–100,0	Bauer A. i in. [2010]
27.	słoma, rośliny energetyczne		do 40,0	Węglarzy K., Podkówka W. [2010]
28.	trawa słoniowa		3,0–30,0	Mühlbach P. [1999]
29.	trawa, koniczyna		15,0–30,0	Ulotka Shaumann BioEnergy [2006]
30.	trzcina energetyczna		20,0–30,0	Klimuk E. i in. [2010]
31.	żyto		20,0–40,0	Ulotka Shaumann BioEnergy [2006]
32.	żyto, jęczmień, pszenżyto		8,0–11,0	Herrmann C. i in. [2011]

Źródło: opracowanie własne

W przypadku kukurydzy długość siczki według większości źródeł zawiera się w przedziale do 20 mm, sorga 10-30 mm, natomiast w przypadku „innych roślin” do 40 mm. Powszechnie przyjmuje się optymalną długość siczki zielonki przeznaczonej na kiszonki w przedziale 4-8 mm [Węglarzy i in. 2010]. Jednak jak wynika z zestawienia danych w tabeli 1 reżim ten nie jest uwzględniany w większości przyjmowanych założeń badawczych.

Zarówno w źródłach literatury zagranicznej, jak i polskiej brak jest kompletnych danych na temat wpływu różnego stopnia rozdrobnienia substratów na uzysk biogazu. Wiadomym jest, że materiał roślinny do sporządzenia kiszonek na cele biogazu powinien charakteryzować się jak najwyższym stopniem rozdrobnienia. Jednak przy bardzo rozdrobnionym materiale roślinnym (poniżej teoretycznie przyjętego przedziału 4-8 mm) wydajność biogazu może zostać obniżona (rys. 1). Może być to spowodowane znacznym zmniejszeniem powierzchni, na której mogą rozwijać się kolonie bakterii fermentacyjnych.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 1. Uzysk biogazu w zależności od stopnia rozdrobnienia kiszonki z kukurydzy według różnych autorów; I_N ($\text{kg} \cdot \text{SSO}^{-1}$) – znormalizowana jednostka objętości gazu (1 litr) w warunkach normalnych / kilogram suchej substancji organicznej

Fig. 1. Biogas yield depending on the degree of corn silage fragmentation according to different authors I_N ($\text{kg} \cdot \text{SSO}^{-1}$) – normalised unit of gas volume (1 litre) in regular conditions / one kilo of dry organic substance

Z danych przedstawionych na rysunku 1 wynika, iż w przypadku kiszonki z kukurydzy zbyt rozdrobniony materiał roślinny może przyczynić się do obniżenia wydajności biogazu. Ogólnie przyjmuje się, że substraty roślinne do sporządzenia kiszonek do produkcji biogazu powinny zawierać się w przedziale 4-8 mm [Węglarzy i in. 2010]. Jednak jak można zauważyć na rysunku 1 z kiszonki z kukurydzy o długości siczki zawierającej się w przedziałach 0,5-3 mm [Amon i in. 2009], 1-3 mm [Leonhartsberger i in. 2009] oraz 2-4 mm [Oslaj

M. i in. 2010; Vindis P. i in. 2009a; Vindis P. i in. 2009b] uzyskano mniej biogazu, niż z kiszonki o długości siewki 10-15 mm [Heiermann i in. 2009].

Podsumowanie

Z analizy danych literaturowych wynika, iż istnieją duże rozbieżności w kwestii przyjmowanych przedziałów długości siewki substratów roślinnych wykorzystywanych do sporządzenia kiszzonek do produkcji biogazu. Mimo ogólnie przyjętego zalecanego przedziału długości siewki 4-8 mm, w praktyce spotkać się można z dużą dowolnością parametrów rozdrobnienia zielonki przeznaczonej na kiszonki na cele energetyczne. Zarówno z zagranicznych, jak i krajowych danych literaturowych wynika, że:

- różnice w analizowanych przedziałach długości siewki roślin przeznaczonych na kiszonki do produkcji biogazu mogą wynikać, zdaniem autorów, ze znacznego zmniejszenia powierzchni, na której rozwijają się kolonie bakterii fermentacyjnych,
- najczęstszą długością siewki, na jaką była rozdrabniana kukurydza, jest przedział 10-15 mm (nawet do 20 mm), sorgo 10-20 mm, natomiast „inne rośliny” do 40 mm,
- zbyt rozdrobniona kiszonka z kukurydzy (0,5-4 mm) daje niższy uzysk biogazu, niż kiszonka o długości siewki 10-15 mm,
- zasadne jest prowadzenie badań nad wpływem długości siewki substratów roślinnych wykorzystywanych do sporządzenia kiszzonek do produkcji biogazu, w celu określenia zależności między wielkością rozdrobnienia, a wydajnością produkcji biogazu.

Bibliografia

- Amon T., Amon B., Kryvoruchko V., Zollitsch W., Mauer K., Gruber L.** (2007): Biogas production from maize and dairy cattle manure – Influence of biomass composition on the methane yield. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118, 173-182.
- Bartuševics J., Gaile Z.** (2010): Effect of silaging on chemical composition of maize substrate for biogas production. [dostęp 26.01.2012], Dostępny w Internecie: http://ilga.cs.llu.lv/homepg/energija/wp-content/uploads/2011/06/Effects_of_silaging_Bartusevics.pdf
- Bauer A., Leonhartsberger C., Bösch P., Amon B., Friedl A., Amon T.** (2010): Analysis of methane yields from energy crops and agricultural by-products and estimation of energy potential from sustainable crop rotation system in EU-27. *Clean Techn. Environ. Policy* (2010) 12:153-161.
- Budzichowska J.** (2010): Czy sorgo zastąpi kukurydzę [on-line], Warszawa, Mazowiecki Ośrodek Doradztwa Rolniczego. [dostęp 1.02.2012], Dostęp w Internecie: <http://www.modr.mazowsze.pl>
- Frageria N., Baligar V., Jones C.** (2010): Growth and mineral nutrition of field crop. Third Edition. CRC Press.
- Fugol Małgorzata, Prask Hubert** (2011): Porównanie uzysku biogazu z trzech rodzajów kiszzonek: z kukurydzy, lucerny i trawy. *Inżynieria Rolnicza*, 9(134), 31-39.
- Heiermann M., Plöchl M., Linke B., Schelle H., Herrmann C.** (2009): Biogas crops – Part 1: Specifications and suitability of field crops for anaerobic digestion. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript 1087. Vol. XI.*
- Herrmann C., Heiermann M., Idler C.** (2011): Effects of ensiling, silage additives and storage period on methane formation of biogas crops. *Bioresource Technology* 102 (2011) 5153-5161.

- Klimuk E., Pokój T., Budzyński W., Dubis B.** (2010): Theoretical and observed biogas production from plant biomass of different fibre contents. *Bioresource Technology* 101 (2010) 9527-9535.
- Kozyra A.**, 2009 Produkcja biomasy a GMO. Odnawialne źródła energii nowym wyzwaniem dla obszarów wiejskich w Polsce. 22-23 października, Opole. [dostęp 27.02. 2012], Dostępny w Internecie: http://www.farmer.pl/Resources/2/Publikacja_Odnawialne_zrodla_energii.pdf
- Leonhartsberger C., Bauer A., Machmüller A., Kryvoruchko V., Bodiroza V., Milovanovic D., Hrbek R., Amon B., Amon T.** (2009): Sustainable crop rotation and their potential for biogas production. [dostęp 26.01.2012], Dostępny w Internecie: http://www.ramiran.net/doc08/RAMI-RAN_2008/Leonhartsberger.pdf
- Oslaj M., Mursec B., Vindis P.** (2010): Biogas production from maize hybrids. *Biomass and bioenergy* 34 (2010) 1538-1545.
- Pakarinen A., Maijala P., Jaakkola S., Stoddard F., Kymäläinen M., Viikari L.** (2011): Evaluation of preservation methods for improving biogas production and enzymatic conversion yield of annual crops. *Biotechnology for Biofuels* 2011, 4:20.
- Špalková V., Hutňan M., Lazor M., Kolesárová N.** (2009): Selected problems of anaerobic treatment of maize silage. 36th International Conference of SSCHE, 25-26 maj 2009, Slovakia.
- Szlachta J.**, 2009. Ekspertyza pozyskiwania biogazu rolniczego jako odnawialnego źródła energii. *AgEngPol*, Wrocław. [dostęp 27.02.2012] Dostępny w Internecie: <http://www.agengpol.pl/LinkClick.aspx?fileticket=O67VGkyovAE%3D&tabid=144>
- Vindis P., Mursec B., Janzekovic M., Cus F.** (2009a): The impact of mesophilic and thermophilic anaerobic digestion on biogas production. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. Volume 36, Issue 2, 192-198.
- Vindis P., Mursec B., Rozman C., Janzekovic M., Cus F.** (2009b) : Mini digester and biogas production from plant biomass. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. Volume 35, Issue 2, 191-196.
- Węglarzy K. i Podkówka W.** (red.), 2010. *Agrobiogazownia*. Instytut Zootechniki. Grodziec Śląski. Maszynopis.
- Ulotka informacyjna Schaumann BioEnergy – Key criteria for the successful preparation and storage of fermentation substrates. [dostęp 26.01.2012], Dostępny w Internecie: http://www.schaumann-bioenergy.com/PDF/en/lit_biogasfibel_en_200611.pdf

FRAGMENTATION OF SUBSTRATES USED FOR BIOGAS PRODUCTION

Abstract. Analysis of different degree of green forage fragmentation and biogas yield was presented in the article based on literature data. Special attention was paid to information on corn and sorghum. Moreover, information on other plants, inter alia on straw and rye was listed. Differences in recommended lengths of green forage chaff for preparation of silage for biogas production were indicated both within one variety as well as between varieties of the plants used. It results from the analysis that sorghum silage may constitute an alternative for corn silage. Moreover, it is recommended that raw material for preparing silage for biogas production be carefully ground. In case of corn silage it is recommended on the basis of literature data that length of fragmentation should be within 10-15 mm (even up to 20 mm), whereas in case of sorghum silage within 10-30 mm.

Key words: biogas, substrate, corn, sorghum, chaff length

Adres do korespondencji:

Patrycja Sałagan; e-mail: patrycja.salagan@zut.edu.pl
Katedra Budowy i Użytkowania Urządzeń Technicznych
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
ul. Papieża Pawła VI/3
71-459 Szczecin