

Aleksandra KRÓL

KISZONKI – CENNY SUBSTRAT DO PRODUKCJI BIOGAZU

Streszczenie

Fermentacja metanowa to jeden z najefektywniejszych sposobów pozyskiwania energii z biomasy. Do tego celu wykorzystywane są różne substraty, głównie w postaci odpadów z przemysłu rolnego, ale także rośliny energetyczne. W pracy dokonano analizy zasadności używania kiszzonek z roślin celowych, jako cennego substratu do produkcji biogazu. Przedstawiono kryteria doboru oraz charakterystykę roślin do produkcji kiszzonek z przeznaczeniem na biogaz.

WSTĘP

Energetyka odnawialna, w tym także technologie energetycznego przetwarzania substratów organicznych niosą ze sobą nadzieję na ograniczenie skali problemów związanych ze wzrostem cen, oraz wyczerpywaniem zasobów paliw kopalnych. Działania te dają wymierne wyniki w postaci ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, ochrony wód i klimatu [2, 29]. Kryzys energetyczny, z którym boryka się teraz cały świat stanowi również istotny problem dla Unii Europejskiej, która zmuszona jest do poszukiwania alternatywnych, tańszych oraz ekologicznych źródeł energii [8, 17, 31]. W ostatnich latach coraz większym zainteresowaniem cieszy się produkcja energii z biomasy. Najbardziej jak dotąd rozpowszechnione jest jej spalanie, lecz szybko rozwija się alternatywny sposób pozyskiwania energii w oparciu o biogaz, uzyskany z odpadów rolniczych. Biogazownie rolnicze oparte na procesie fermentacji metanowej, wdrażane są na szeroką skalę na całym świecie i znalazły zastosowanie, jako instalacje do biologicznej utylizacji odpadów organicznych z wykorzystaniem biomasy pochodzącej z celowych plantacji roślin energetycznych. W Niemczech najczęściej spotykaną technologią jest produkcja biogazu w oparciu o surowce rolnicze. Biogazownie korzystają także z lokalnie dostępnych odpadów z gorzelnii, ubojni, mleczarni, cukrowni oraz zakładów przemysłu spożywczego. Warto zwrócić uwagę, że na szeroką skalę wykorzystuje się kiszonki różnych roślin przeznaczonych na potrzeby energetyczne. Są to głównie kiszonki z kukurydzy, traw, korzeni i liści buraków czy żyta. Poszczególne substraty dostarczane do biogazowni charakteryzują się zróżnicowanym składem i biogazodochodowością, dlatego bardzo ważne jest, aby ich dobór nie był przypadkowy [2, 23]. Szczegółowa analiza właściwości substratów pozwala na maksymalizację wydajności procesu, ale także ma wpływ na jego stabilność. W ostatnim czasie w dynamicznie rozwijających się biogazowniach rolniczych, kiszonki stały się podstawowym substratem do pozyskiwania biogazu w instalacjach bazujących na gnojowicy i substracie stałym.

1. CHARAKTERYSTYKA KISZONEK DO PRODUKCJI BIOGAZU

Podstawowym kryterium doboru roślin do produkcji biogazu jest wydajność suchej masy z jednostki powierzchni, zawartość aktywnie fermentujących składników i łatwość magazynowania po zbiorze świeżej masy. Pod uwagę brana jest także odległość transportu oraz możliwość zachowania niezmienności podstawowych parametrów surowca. W Niemczech i w Danii biogazownie rolnicze wykorzystują, jako substrat głównie rośliny uprawiane celowo oraz gnojowicę. Spośród substratów 45% przypada na energetyczne surowce roślinne – głównie w postaci kiszzonek, 24% na gnojowicę i 15% na roślinne produkty odpadowe. Inne surowce są wykorzystywane, jako dodatki uzupełniające [19]. Podstawowym substratem w instalacjach biogazowych jest gnojowica, która występuje głównie w mieszaninie z kiszzonkami i innym surowcami (w 93% biogazowni). Gnojowica bydłęca jest stosowana w około 75% biogazowni, natomiast świńska jest mniej popularna i znajduje zastosowanie w 39% przypadków [11].

Przy doborze roślin na potrzeby energetyczne należy zwracać uwagę na wysoką produktywność biomasy, zwłaszcza w okresie od kwietnia do końca października oraz możliwość szybkiego jej zakonserwowania przez zakiszenie [5,10,16]. Z upraw polowych do produkcji zielonki w warunkach polskich, zaleca się następujące rośliny: kukurydza, zboża w czystym siewie, mieszanki zbożowe, mieszanki zbożowo-strączkowe, słonecznik, słonecznik bulwiasty (topinambur), trawy, lucerna, koniczyna, mieszanki lucerny lub koniczyny z trawami, liście buraków cukrowych i inne [21].

Tab. 1. Właściwości wybranych roślin do produkcji biogazu

Substrat	Zawartość suchej masy		Składniki			Uzysk biogazu		Zawartość CH ₄
	s.m [%]	s.m.o [%]	N	NH ₄	P	[m ³ ·t ⁻¹ ś.m]	[m ³ ·t ⁻¹ s.m.o]	[% obj.]
			[%]					
Kiszonka z kukurydzy	20-35	85-95	1,1-2	0,15-0,3	0,2-0,3	170-200	450-700	50-55
Kiszonka z trawy	25-50	70-95	3,5-6,9	6,9-19,8	0,4-0,8	170-200	550-620	54-55
Kiszonka z żyta	30-35	92-98	4,0	0,57	0,71	170-220	550-680	ok. 55
Gnojowica świńska	ok.7	75-86	6-18	3-17	0,2-1,0	20-35	300-700	60-70
Gnojowica bydłęca	8-11	75-82	2,6-6,9	1-4	0,5-3,3	20-30	200-500	60

Źródło: Institut für Energetik und Umwelt GmbH

Z punktu widzenia stabilności procesu fermentacji ważne jest zapewnienie odpowiedniego wsadu surowcowego do komory fermentacyjnej. Istotne, aby surowiec charakteryzował się stałym i niezmiennym składem fizykochemicznym i był wolny od inhibitorów hamujących proces fermentacji. Można to osiągnąć poprzez zbieranie wyprodukowanej zielonki w optymalnej fazie wegetacji, zakonserwowanie jej przez zakiszenie, odpowiednie składowanie i w tej postaci wykorzystywanie do produkcji biogazu.

Kolejnym istotnym kryterium doboru poza zdolnościami zakiszania jest stabilność tlenowa kiszzonek. Wtórna fermentacja jest bardzo niepożądana i trudna do uniknięcia w procesie kiszzenia. Ograniczenie tego procesu jest konieczne, gdyż ma on wpływ na jakość wyprodukowanej kiszonki. Czynniki mające wpływ na stabilność kiszzonek są związane z rodzajem zakiszzonego surowca i jego składem chemicznym, stosowaniem dodatków kiszonkarskich, a także warunkami kiszzenia, które w dużym stopniu decydują o rozwoju mikroorganizmów właściwych dla tego procesu konserwacji.

Stabilność tlenowa kiszzonek z poszczególnych gatunków roślin jest zróżnicowana. Jest to związane z niejednakową podatnością na proces fermentacji [25]. Kiszonki z całych roślin kukurydzy są bardziej podatne na degradację tlenową niż kiszonki z trawy czy roślin strączkowych. Stabilność tlenowa roślin określana jest w temperaturze 30°C i wynosi 5 dni dla kiszzonek z traw podsuszanych, 4 dni dla zakiszanych liści buraczanych, 3 dni dla kiszzonek z traw świeżych, 1-2 dni dla kiszzonek z kukurydzy i mieszanek zbożowo strączkowych [4]. Degradacja tlenowa z powodu infiltracji powietrza zależy od jego ilości oraz szybkości z jaką

dostaje się do wnętrza masy kiszonki. Na proces ten ma wpływ porowatość kiszonki, która zależy od gęstości, zawartości zakiszonego surowca, fazy wegetacji zakiszanej zielonki, zawartości w niej wody oraz długości siewki [27].

W procesie zakiszania zielonek, bakterie kwasu mlekowego w warunkach beztlenowych, przy odpowiedniej zawartości cukru, wytwarzają głównie kwas mlekowy, który jest czynnikiem konserwującym. Oprócz kwasu mlekowego, powstaje również kwas octowy i inne lotne kwasy tłuszczowe oraz alkohole i kwas masłowy. Produkty fermentacji mlekowej występujące w kiszonce, są wykorzystywane przez bakterie metanowe, jako składniki do produkcji biometanu. Szczególnie dobrze wykorzystywany jest kwas octowy i inne niskocząsteczkowe lotne kwasy tłuszczowe oraz alkohole. Należy ukierunkować przemiany biochemiczne w procesie zakiszania do ograniczenia powstawania kwasu mlekowego i zwiększenia ilości kwasu octowego, propionowego i innych lotnych niskocząsteczkowych kwasów tłuszczowych [30]. Należy podkreślić, że technologia produkcji kiszonek jest dokładnie opracowana, w zależności od zakiszane surowca [28, 1]. Technologia produkcji kiszonek z przeznaczeniem na biogaz jest analogiczna, jak technologia produkcji pasz dla bydła. Konieczny jest wyższy stopień rozdrobnienia, co sprzyja maksymalizacji efektów fermentacji metanowej. Substrat dobrze rozdrobniony jest bardziej dostępny dla bakterii, bowiem drobniejsze cząstki cechują się większą powierzchnią, a tym samym jest większe pole działania enzymów wytwarzanych przez bakterie. Celowe jest przy zakiszaniu zielonek, dodawanie preparatów stymulujących proces fermentacji mlekowej i poprawiających tlenową stabilność [19]. Zaleca się dodawanie preparatów mikrobiologicznych zawierających szczepy bakterii mlekowych heterofermentacyjnych, które oprócz kwasu mlekowego, wytwarzają kwas octowy. W procesie fermentacji metanowej, kwas octowy występujący w kiszonce jest wykorzystany do produkcji metanu [20]. Kiszonki wprowadzają do substratu wodę w ilości $6,5-7,0 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$. Ma to istotne znaczenie, bowiem w substracie wymagana jest odpowiednia wilgotność na poziomie 10-20% suchej masy. Również stosowanie gnojowicy jest celowe, bowiem ogranicza ona zapotrzebowanie na wodę [21].

2. KRYTERIA DOBORU ROŚLIN NA KISZONKI

Podstawowym kryterium doboru odmian jest wysokie plonowanie, wysoki uzysk suchej masy z jednostki powierzchni przy wysokiej zawartości cukru i skrobi [27]. W ostatnim czasie poszukuje się możliwości wykorzystania kiszonek z innych gatunków roślin oraz np. biomasy wieloletnich gatunków traw. Uwagę zwraca wysoka metanowydajność surowców konserwowanych w postaci kiszonek w stosunku do innych surowców roślinnych.

Kiszonka z kukurydzy jest najpowszechniejszym obecnie surowcem do produkcji biogazu. Podstawowym kryterium doboru poszczególnych odmian jest wysoka zawartość suchej masy kiszonek przy wysokiej zawartości cukru i skrobi [14, 15]. Odmiany „stay green” o przedłużonej zieloności, cechują się lepszymi parametrami. Zielone liście i łodyga zawierają mniej frakcji włókna i cechują się lepszą podatnością na rozkład w procesie metanolizy w komorze fermentacyjnej. Odmiana kukurydzy przeznaczona na kiszonkę z całych roślin, jako substrat do produkcji biogazu, winna cechować się następującymi parametrami: 30-35% s.m. (nie więcej niż 40%), ok. 30% skrobi w suchej masie. Okres ten przypada w stadium tworzenia kolb i wypełniania jej ziarnem i jest najbardziej korzystny dla powstawania biometanu. Wcześniejszy zbiór jest niewskazany, ze względu na niepełne wykształcenie ziarna i wypełnienie go skrobią. Opóźnienie zbioru także nie jest wskazane, bowiem wydajność uzyskanego biogazu jest mniejsza. Wynika to z faktu, w częściach wegetatywnych rośliny wzrasta zawartość związków lignocelulozowych, które są trudno rozkładane w procesie fermentacji metanowej [18].

Tab. 2 Właściwości biogazu z surowców roślinnych

Gatunek	Masa plonu [$t \cdot ha^{-1}$]	Wydajność biogazu [$m^3 \cdot t^{-1}$]	Wydajność biogazu [$m^3 \cdot t^{-1}$]
Zielonka z kukurydzy	50	175	8750
Kiszonka z kukurydzy	45	200	9000
Buraki pastewne	80	80	6400
CCM kukurydza	13	450	5850
GPS pszenica	30	175	5250
Ziemniaki	40	110	4400
Trawa łąkowa	40	95	3800
Ziarno pszenicy	6	600	3600

Wysoki poziom wody (20%) w zielonce ma wpływ na koszty transportu zbieranej masy z pola do silosu. Również wyciekanie soku z kiszonki powoduje większe straty [5, 19, 30]. Straty szacowane są na ok. 12%.

W zależności od plonu kiszonki można uzyskać z jednego hektara powierzchni od 6,1 do 10,4 tys. Nm^3 biogazu, co odpowiada 3,3 do 5,6 tys. Nm^3 metanu.

Optymalny termin zbioru zielonki łąkowej z przeznaczeniem na kiszonkę przypada na fazę wykształcenia wiech przez główne trawy wysokie. W tej fazie vegetacji zielonka zawiera 17-22% suchej masy. Dobre efekty uzyskuje się zakiszając porost łąkowy podsuszony do zawartości suchej masy 30-40%. Wyższa zawartość suchej masy nie jest zalecana, bowiem występują trudności z jej ugnieceniem. Długość siewki powinna wynosić 4-8 mm. Zbiór drugiego pokosu przypada około 20 lipca, zaś trzeciego w połowie września. Trawy w II i III pokosie nie wykształcają wiech, dlatego termin zbioru określa się według dni vegetacji. Z jednego hektara można uzyskać 2,8 do 4,8 tys. Nm^3 biogazu, co odpowiada 1,5 do 2,5 tys. Nm^3 metanu.

Sorgo jest gatunkiem, który dobrze znosi suszę. Powinno być zbierane w fazie dojrzałości mleczno-woskowej ziarna. Plon zielonej masy oceniany jest na 60-80 $t \cdot ha^{-1}$, przy zawartości suchej masy około 22%. Istotny wpływ na wydajność biometanu (Nm^3/ha) ma liczba dni vegetacji i ilość uzyskanej suchej masy. Biomasa sorgo zakisza się dobrze i może być zakiszana razem w kukurydzą. Uzysk metanu z 1 ha uprawy może wynosić w zależności od ilości kiszonki od 1,8 do 4,1 tys. Nm^3 .

Bulwy słonecznika bulwiastego zawierają inulinę, która jest zbudowana z fruktoz. Zawartość suchej masy wynosi około 20%. Istotną zaletą jest ich nieprzemarzalność. Zbiór bulw na kiszonkę powinien być przeprowadzony pod koniec sierpnia i na początku września. Dopuszcza się także zbiór bulw w okresie wczesnowiosennym. W tym okresie, bowiem w bulwach jest największa koncentracja substancji zapasowej (wielocukier), co pozwala przypuszczać, że surowiec będzie charakteryzował się wysoką produktywnością biogazu.

Z uprawy słonecznika bulwiastego zyskuje się około 60,0 $t \cdot ha^{-1}$ surowca o zawartości około 30% suchej masy [12, 22]. Biomase należy dokładnie rozdrobnić, co można osiągnąć przez dokładne ugniecenie i prawidłowe zakiszanie. Z bulw topinamburu pozyskanych z 1 ha plantacji, w zależności od ich ilości można otrzymać 1,2 do 2,6 tys. Nm^3 biometanu [12, 22].

Ślázowiec pensylwański również należy do grupy roślin wieloletnich, charakteryzujących się wysoką produktywnością biomasy. Ocenia się, że trwałość plantacji tego gatunku może wynosić ok. 15-20 lat, zaś plonowanie kształtuje się na poziomie ok. 12 $t \cdot ha^{-1}$ suchej masy. Gatunek może być użytkowany wielokrotnie. Najlepszymi parametrami charakteryzuje się biomasa z pierwszego pokosu. Optymalny termin zbioru przypada w okresie do zawiązywania pąków kwiatowych (co przypada najczęściej w 2-3 dekadzie maja). Opóźnianie zbioru jest niepożądane, gdyż powoduje wzrost zawartości włókna w łodygach, co jest niekorzystne z punktu widzenia przydatności do fermentacji [30].

PODSUMOWANIE

Rozwój systemów produkcji czystej energii z biomasy wiąże się nie tylko z wprowadzaniem nowych technologii, ale także z poszukiwaniem coraz to nowych efektywniejszych sposobów maksymalizacji wydajności procesu. Zwrócenie uwagi na potencjał roślin celowych jako cennego substratu do produkcji wysokojakościowego biogazu, pozwoli na poszerzenie listy surowców organicznych mających zastosowanie w biogazowi. Kiszonki z roślin są stosunkowo łatwo podstępnym produktem, a przy odpowiednim składowaniu stanowią cenne zaplecze surowcowe, z którego można korzystać przez cały rok. Przy doborze roślin na cele energetyczne należy zapoznać się z ich wymaganiami, a także przeanalizować cechy, jakimi powinna charakteryzować się kiszonka dobrej jakości. Technologia produkcji kiszonek nie jest skomplikowana, wymaga jedynie stosowania się do zasad, które zmieniają się w zależności od zakiszowanego gatunku. W biogazowniach rolniczych użycie kiszonek z roślin celowych pozwala na osiągnięcie stabilnej jakości kofermentu o niezmiennych parametrach i gwarantuje wzrost efektywności procesu. Kiszonki są bardzo wydajnym substratem, a stosowane wraz z gnojowicą stanowią podstawę surowcową wykorzystywaną w europejskich technologiach biogazowych.

MAIZE SILAGES – A VALUABLE SUBSTRATES IN BIOGAS PRODUCTION

Abstract

Methane fermentation is one of most effective ways of energy acquiring from biomass. Various substrates, mainly wastes from agricultural industry but also energy plants are used for this purpose. In the paper validity of using silages from energy plants as valuable substrate for biogas production was analyzed. Selection criteria of plants for biogas production as well as characteristic of their silages were described.

BIBLIOGRAFIA

1. Brzóska F.: *Technologie produkcji kiszonek, ich wartość pokarmowa i przydatność w żywieniu krów mlecznych*. Zeszyty Naukowe, Przegląd Hodowlany, 2003, nr 67.
2. Buraczewski G., Bartoszek B.: *Biogaz, wytwarzanie i wykorzystanie*. PWN, Warszawa, 1990.
3. Buraczewski G.: *Fermentacja Metanowa*, PWN, Warszawa, 1989.
4. Doroszewski P.: *Wpływ różnych dodatków do zakiszania na liczebność drożdży i pleśni oraz niestabilność tlenowa kiszonek z kukurydzy*. Medycyna Weterynaryjna, 2005, nr 61(8).
5. Jamroz D., Podkówka W., Chachułowa J., (red.): *Paszoznawstwo, Żywnienie zwierząt i paszoznawstwo*, tom III, PWN, Warszawa, 2004.
6. Janosz-Rajczyk Z., Dąbrowska L., Rosińska A., Płoszaj J., Zakrzewska E.: *Zmiany ilościowo-jakościowe PCB, WWA i metali ciężkich w kondycjonowanych osadach ściekowych stabilizowanych biochemicznie*. Wyd. PCz, Częstochowa, 2006.
7. Janowska B.: *Specjacja wybranych metali ciężkich w odpadach komunalnych i kompostach*. Rozprawa doktorska, UAM, Poznań, 2004.
8. Jędrzak A.: *Biologiczne przetwarzanie odpadów*. PWN, Warszawa, 2007.
9. Jędrzejczak A.: *Biologiczne przetwarzanie odpadów*. Przegląd Komunalny - dodatek 2001, nr 6(117),
10. Kaiser F., Diepolder M., Eder J., Hartmann S., Prestele H., Gerlach R., Ziehfrend G., Gronauer A.: *Biogasertrage verschiedener nachwachsender Rohstoffe*, Landtechnik, 2004, nr 4.

11. Kotowski K.: *Biometan z biogazu*, Czysta Energia, 2007, nr 12.
12. Kowalczyk-Juśko A.: *Słonecznik bulwiasty (topinambur)*, Wokół Energetyki, 2006, nr 4(32).
13. Krzymieniewski M., Zieliński M., Dębowski M.: *Biomasa wodna jako źródło energii odnawialnej*, Czysta Energia, 2007, nr 12.
14. *Kukurydza – nowe możliwości*. Wyd. Agro Serwis, Warszawa, 2007.
15. Lack N.: *Biogas aus Mais*, Mais 2005, nr 1.
16. Lemmer A., Oechsner H.: *Bestimmung des Gasertrages verschiedener Feldruchte. Proejktbericht an Administration des Services Techniques de l`Agriculture*, Grossherzogtum Luxemburg, 2001.
17. Mata-Alvarez J., Mace S., Llabres P.: *Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives*. Bioresource Technology, 2000, No. 74.
18. Minihuber J., Mayr H., Bauer A., Lyson D., Amon T.: *Welche Biomasse ist die Richtige*, Mais, Special, Biogas, 2008.
19. Podkówka W.: *Nowoczesne metody kiszzenia pasz*, Wyd. PWRiL, Warszawa, 1979.
20. Podkówka W.: *Produkcyjność biometanu z kiszonki z całych roślin kukurydzy sporządzonych z dodatkiem preparatów mikrobiologicznych*, Kukurydza, 2008, nr 2(33).
21. Reinhold G., Degner J.: *Welches Ko-Substrat lohnt sich in Biogasanlagen*, Mais, 2005, nr 4.
22. *Rośliny energetyczne*, praca zbiorowa pod red. B. Kościka, Wyd. Akademii Rolniczej, Lublin, 2003.
23. Rusak S., Kowalczyk-Juśko A.: *Biogaz z zastosowaniem biomasy roślinnej – technologia*. Czysta Energia, 2006, nr 10(60).
24. Sossna R.: *Die Konkurrenz ist gross*, Forum. New Power – Magazin für Erneuerbare Rohstoffe und Energie, 2007.
25. Szyszkowska A., Krzywiecki S., Sobczyk I.: *Czynniki wpływające na intensywność procesu wtórnej fermentacji w kiszonkach oraz wpływ skarminia niestabilnych tlenowo kiszonek na ryzyko wystąpienia jednostek chorobowych u krów mlecznych*. Zeszyty Naukowe UP Wrocław 2010, (577).
26. Thaysen J.: *Einsatz von Siliermitteln zu Biogassilagen*, Mais, 2007, Nr. 3.
27. Uriarte M.E., Bolsen K.K., Brent B.E.: *Aerobic Deterioration of Silage*: Arewiew, 2001.
28. Weiland P.: *Stand der Technik bei Biogasanlagen*, Mais, 2006, Nr. (2).
29. Weiland P.: *One – and two-step anaerobic digestion of Solid Agroindustrial Residues*. Water Science and Technology, 1993, No. 27(2).
30. Wolters W.: *Wie ein Stall mit 100 Kühen*, Mais, 2006, Nr. 2.
31. Zarzycki R.: *Gospodarka komunalna w miastach*. PAN, Łódź, 2001.

Recenzent: prof. dr hab. **Izabella Jackowska** – Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Autor: mgr inż. **Aleksandra Król** – Instytut Agrofizyki Polskiej Akademii Nauk w Lublinie