

## WPŁYW PREPARATU LACTOSIL NA JAKOŚĆ KISZONEK Z WIELOLETNICH TRAW ENERGETYCZNYCH PRZEZNACZONYCH DO PRODUKCJI BIOGAZU

**Marta Kupryś-Caruk, Krystyna Zielińska**

Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. Waława Dąbrowskiego  
Zakład Technologii Fermentacji  
ul. Rakowiecka 36, 02-532 Warszawa  
marta.kuprys@ibprs.pl

### Streszczenie

Oceniono efektywność działania bakteryjnego inokulantu Lactosil, zawierającego szczepy homo- i heterofermentatywnych bakterii fermentacji mlekowej, w procesie kiszenia traw energetycznych: miskanta olbrzymiego (*Miscanthus giganteus*), spartiny preriowej (*Spartina pectinata*), prosa różgowatego (*Panicum virgatum*) i palczatki Gerarda (*Andropogon gerardii*), przeznaczonych do produkcji biogazu.

W wyniku fermentacji mlekowej badanych traw z dodatkiem preparatu otrzymano kiszonki charakteryzujące się istotnie wyższą zawartością kwasu mlekowego i octowego w porównaniu z kiszonkami kontrolnymi. Dodatek preparatu korzystnie wpłynął na cechy organoleptyczne kiszzonek, co świadczyło o ich dobrej jakości, a także spowodował ukierunkowanie procesu fermentacji, czego wyrazem było niższe pH kiszzonek inokulowanych w porównaniu z kiszonkami kontrolnymi.

**Słowa kluczowe:** Lactosil, rośliny energetyczne, biogaz

## THE INFLUENCE OF LACTOSIL PREPARATION ON QUALITY OF SILAGES FROM PERENNIAL ENERGY GRASSES INTENDED FOR BIOGAS PRODUCTION

### Summary

The aim of study was to evaluate efficiency of Lactosil preparation composed of starter cultures of lactic acid bacteria, in the process of ensiling of different energy grasses: *Miscanthus giganteus*, *Spartina pectinata*, *Panicum virgatum* and *Andropogon gerardii*.

As the result of ensiling of investigated grasses with Lactosil addition, the silages

with higher content of lactic and acetic acid compared with control silages were obtained. The addition of Lactosil preparation influenced on organoleptic properties of silages (which is an evidence of good quality of silages) and the fermentation process which indicated by lower pH of inoculated silages.

**Key words:** Lactosil, energy plants, biogas

## WSTĘP

Rozwój technologii produkcji biogazu w Polsce wynika z konieczności sprostania wymogom prawodawstwa UE, nakładającym na kraje członkowskie obowiązek zwiększenia zużycia energii ze źródeł odnawialnych.

W polskich warunkach geograficznych biomasa jest liczącym się źródłem energii odnawialnej [Komorowicz i in. 2009]. Biomasa na cele energetyczne może być wykorzystywana na kilka sposobów: bezpośrednio spalana, przetworzona na paliwo płynne lub poddana fermentacji metanowej, w wyniku której otrzymywany jest biogaz.

Biogaz to mieszanina metanu, dwutlenku węgla i innych gazów w ilościach śladowych [Ledakowicz, Krzystek 2005]. Wykorzystywany jest głównie do produkcji energii elektrycznej i ciepłej. Biogaz zwany rolniczym powstaje w wyniku beztlenowego rozkładu biomasy pochodzącej z produkcji zwierzęcej (np. gnojowica, obornik), odpadów z przemysłu rolno-spożywczego (wytłoki z jabłek, słoma, wysłodki buraczane, wywar z gorzelnicy itp.) oraz celowych upraw roślin energetycznych.

Doświadczenia europejskie wskazują, że najlepszym substratem do produkcji biogazu jest kukurydza [Podkówka 2006]. Jej uprawa jest możliwa praktycznie w całej Polsce. Od wielu lat kukurydza uprawiana jest na cele paszowe i stosowana w żywieniu zwierząt w postaci wysokowartościowej kiszonki. Od kilku lat jest także wykorzystywana do produkcji biogazu. O jej przydatności w technologii biogazowej świadczy między innymi fakt, że kukurydza jest powszechnie dostępna, co jest ważne dla zachowania stałych dostaw surowca do biogazowni. Poza tym bardzo łatwo się zakisza, a także gwarantuje stabilny przebieg fermentacji metanowej. Z 1 tony kiszonki z kukurydzy o zawartości suchej masy 30–40% można wyprodukować 170–220 m<sup>3</sup> biogazu o zawartości metanu od 50% do 55% [Szlachta 2009].

Stosowanie kukurydzy, rośliny spożywczej i paszowej, do produkcji biogazu budzi jednak wiele kontrowersji i zastrzeżeń ze względu na wzrastającą cenę tego surowca oraz negatywny wpływ uprawy monokulturowej na zasoby wodne, właściwości gleby

i bioróżnorodność fauny i flory [Michalski, Gładysiak 2012]. Z tego względu celowe jest poszukiwanie wydajnych energetycznie roślin, które stanowiąc mogą uzupełnienie lub nawet alternatywę dla kukurydzy wykorzystywanej do produkcji biogazu.

Badania Komorowicza i in. (2009) wykazały, że gatunki roślin, takie jak miskant olbrzymi, słonecznik bulwiasty, rdestowiec sachaliński, są potencjalnym źródłem odnawialnego surowca ligninocelulozowego, który przy wprowadzeniu odpowiednich technologii może być wykorzystywany w energetyce i w przemyśle.

Michalski i Gładysiak (2012) porównali wydajność produkcji biogazu z kukurydzy i topinamburu. Uzysk metanu z topinamburu uprawianego w systemie konwencjonalnym był o 5%, a w systemie ekologicznym o 13% wyższy niż z kukurydzy.

Fugol i Prask (2011) badali uzysk biogazu z kiszonek: z kukurydzy, lucerny i trawy. W ich badaniach wszystkie kiszonki charakteryzowały się wysokim uzyskiem biogazu, a także stabilnym procesem fermentacji. Autorzy wysnuli wniosek, że kiszonki z lucerny i trawy mogą być, podobnie jak kukurydza, wykorzystywane do produkcji biogazu, a argumentem przemawiającym za ich stosowaniem jest także to, że badane rośliny są powszechnie dostępne w gospodarstwach rolnych, charakteryzują się niewygórowanymi wymaganiami glebowymi, a technologia ich uprawy jest dobrze znana.

Przewiduje się, że w najbliższej przyszłości istotnym uzupełnieniem podaży biomasy na rynku energetycznym będą wieloletnie plantacje roślin energetycznych.

Do roślin energetycznych, których plantacje coraz częściej zakładane są w Polsce i które mogą być wykorzystywane do produkcji energii, należą: rośliny jednoroczne (zboża, rzepak, kukurydza, trzcina cukrowa, sorgo); rośliny drzewiaste szybkiej rotacji (wierzba, topola, osika, eukaliptus); wieloletnie, szybko rosnące, corocznie plonujące trawy (mozga trzcinowata, miskant); wieloletnie, szybko rosnące, corocznie plonujące byliny (ślazowiec pensylwański, topinambur) [Kacprzak i in. 2012].

Rośliny energetyczne przeznaczone do produkcji biogazu powinny charakteryzować się taką samą zawartością i strawnością składników jak biomasa przeznaczona na pasze dla przeżuwaczy [Podkówka, Podkówka 2010]. Wynika to z faktu, że proces fermentacji metanowej przypomina proces, jaki zachodzi w przewodzie pokarmowym przeżuwaczy.

Rośliny energetyczne takie jak wieloletnie trawy charakteryzują się wysoką zawartością włókna surowego, co wpływa na ich wartość energetyczną (ma to znaczenie w procesie spalania), ale z drugiej strony włókno w ograniczonym stopniu ulega rozkładowi w czasie fermentacji metanowej. Z tego powodu substraty o wysokiej zawartości celulozy, hemiceluloz, ligniny i innych węglowodanów strukturalnych wchodzących w skład włókna

należy poddać przed fermentacją metanową wstępnej hydrolizie [Podkówka, Podkówka 2010]. Proces hydrolizy związków wielkocząsteczkowych w naturalny sposób zachodzi podczas kiszenia.

Biomasa roślin energetycznych przeznaczonych do produkcji biogazu po zbiorze musi być odpowiednio zakonserwowana. Najpowszechniejszym sposobem konserwacji roślin, wymagającym najmniejszych nakładów finansowych jest kiszenie. Kiszone rośliny uznawane są za lepszy substrat do produkcji biogazu, gdyż w porównaniu ze świeżym substratem charakteryzują się niższą zawartością włókna surowego oraz wyższą zawartością metabolitów powstających w wyniku fermentacji beztlenowej węglowodanów. W procesie kiszenia bakterie fermentacji mlekowej, oprócz kwasu mlekowego, wytwarzają także lotne kwasy tłuszczowe (propionowy, mrówkowy, kapronowy, walerianowy) i alkohole (etanol, metanol, propanol), które są następnie wykorzystywane przez odpowiednie drobnoustroje do syntezy kwasu octowego i ditlenku węgla podczas fazy fermentacji metanowej zwanej octanogenezą (acetogenezą) [Schattauer, Weiland 2005]. Szczególne znaczenie ma kwas octowy, który jest bezpośrednim prekursorem metanu. Z badań wynika, że ok. 70% metanu w czasie fermentacji metanowej powstaje z kwasu octowego, a ok. 30% z wodoru i ditlenku węgla [Jędrzak 2003]. Bakterie metanowe mają ograniczone zdolności wykorzystywania kwasu mlekowego do wytwarzania metanu. Kwas mlekowy obniża pH kiszonki, co negatywnie wpływa na aktywność bakterii metanowych, jednakże jest niezbędny do zachowania trwałości kiszonki poprzez hamowanie rozwoju drobnoustrojów powodujących jej psucie (drożdże, grzyby pleśniowe, bakterie z rodzaju *Clostridium*). Dlatego przy produkcji kiszonek na cele biogazowe należy dążyć do ograniczenia powstawania kwasu mlekowego, a zwiększenia ilości kwasu octowego, propionowego i innych lotnych kwasów tłuszczowych [Podkówka, Podkówka 2010]. Pomocne w tym celu mogą okazać się preparaty mikrobiologiczne (zwane inokulantami), które zawierają w swoim składzie heterofermentatywne szczepy bakterii fermentacji mlekowej. Heterofermentatywne LAB, oprócz kwasu mlekowego, syntetyzują szereg innych metabolitów (kwasów organicznych, alkoholi), które następnie są wykorzystywane przez odpowiednie drobnoustroje w kolejnych etapach fermentacji metanowej, co może przyczynić się do wzrostu uzysku biogazu z kiszonych roślin.

Wpływ stosowania inokulantów do kiszenia na wydajność produkcji biogazu z kiszonek nie jest jeszcze dobrze poznany i jednoznacznie oceniony. W badaniach Pakarinena i in. (2008) dodatek inokulantów zawierających szczepy bakterii *Lactobacillus plantarum* oraz *Pediococcus acidilactici* do kiszonek z różnych traw nie wpłynął znacząco

na wzrost wydajności biogazu z kiszonek kierowanych do produkcji w trakcie ich kilkumiesięcznego przechowywania.

W badaniach Herrmanna i in. (2011) zastosowano do kiszenia kukurydzy, sorga, żyta i pszenżyta dodatek różnych inokulantów chemicznych i biologicznych. Dodatek inokulantów miał pozytywny wpływ na uzysk metanu z tych kiszonek, w porównaniu z kisonkami nieinokulowanymi. Jednakże po uwzględnieniu większego ubytku suchej masy podczas kiszenia z dodatkiem inokulantów uznano, że ostatecznie ich dodatek nie wpłynął znacząco na uzysk metanu.

Niewątpliwie dodatek do kiszenia inokulantów w postaci bakterii fermentacji mlekowej oraz/lub enzymów rozkładających węglowodany wpływa znacząco na poprawę stabilności tlenowej kiszonek, hamuje on wzrost niepożądaną mikroflory, zapobiegając utracie cennych składników i poprzez to pośrednio przyczynia się do zwiększenia wydajności biogazu z kiszonek inokulowanych w porównaniu z kisonkami uzyskanymi bez dodatków [Prochnow i in. 2009].

Rozwój energetyki odnawialnej, w tym wzrastająca liczba biogazowni rolniczych w naszym kraju, stwarza potrzebę prowadzenia badań nad maksymalizacją produkcji biogazu poprzez poszukiwanie nowych, wydajnych substratów energetycznych oraz ich odpowiednie zakonserwowanie.

Celem pracy była ocena wpływu preparatu bakteryjnego Lactosil na jakość kiszonek z różnych gatunków traw energetycznych, które mogą być zastosowane do produkcji biogazu.

## **MATERIAŁY I METODY BADAŃ**

### **Material badawczy**

W pracy wykorzystano trawy pochodzące z kolekcji roślin energetycznych Wydziału Rolnictwa i Biologii Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, która prowadzona jest w Wydziałowej Stacji Doświadczalnej SGGW w Skierniewicach od 2005 r. Badanymi roślinami były wieloletnie trawy o typie fotosyntezy C<sub>4</sub>: miskant olbrzymi (*Miscanthus giganteus*), spartina preriowa (*Spartina pectinata*), proso różgocate (*Panicum virgatum*) i palczatka Gerarda (*Andropogon gerardii*). Rośliny zebrane zostały w czerwcu 2011 r. i tuż po zbiorze pocięte na kawałki o długości ok. 2 cm. W badaniach zastosowano preparat Lactosil (wyprodukowany w Zakładzie Technologii Fermentacji Instytutu Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. Waclawa Dąbrowskiego w Warszawie), przeznaczony do kiszenia traw, kukurydzy, roślin motylkowych, zawierający

w swoim składzie trzy szczepy homo- i heterofermentatywnych bakterii fermentacji mlekowej: *Lactobacillus plantarum* KKP 593/p, *Lactobacillus plantarum* C KKP 788/p i *Lactobacillus buchneri* KKP 907/p w ilości nie mniej niż  $1 \times 10^9$  jtk/g.

### **Sposób przygotowania doświadczenia**

Materiał roślinny został zakiszony w plastikowych beczkach, w każdej z nich znajdowało po ok. 10 kg. Z każdej badanej rośliny wykonano po trzy kiszonki z dodatkiem preparatu Lactosil oraz trzy kiszonki kontrolne (bez dodatku preparatu). Preparat po rozpuszczeniu w wodzie został rozpylony na kolejno ubijane warstwy roślin w takiej ilości, aby uzyskać koncentrację bakterii rzędu  $10^9$  jtk/g kiszonki. Fermentacja mlekowa prowadzona była w temperaturze pokojowej i trwała 8 tygodni. Po upływie zadanego czasu kiszenia ze środka beczek pobrano ok. 1 kg próby, które po dokładnym wymieszaniu przeznaczono do analiz fizykochemicznych i mikrobiologicznych.

### **Metody analityczne**

Suchą masę kiszonek i świeżych roślin oznaczono po ich wysuszeniu w temp. 105°C do stałej masy. Suchą masę organiczną zarówno kiszonek jak i świeżych roślin oznaczono po spaleniu w temp. 550°C wysuszonych uprzednio próbek. Zawartość kwasów: mlekowego, octowego, masłowego w kiszonkach oznaczono metodą enzymatyczną przy użyciu testów firmy r-Biopharm. Włókno surowe oznaczono według normy PN-ISO 5498:1996. Cukry proste oznaczono metodą NIRS na aparacie NIR Flex N-500, a liczebność grzybów pleśniowych w kiszonkach według normy PN-ISO 7954:1999.

### **Analiza statystyczna**

W celu zbadania wpływu dodatku preparatu Lactosil na zawartość włókna surowego i kwasów organicznych w kiszonkach wykonano czynnikiemową analizę wariancji. W przypadku stwierdzenia istotności efektu wykonano analizy post hoc w celu szczegółowego porównania średnich zawartości włókna surowego, kwasu mlekowego i octowego. Dla wszystkich analiz przyjęto poziom istotności 0,05.

## WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

W roślinach tuż po zbiorze zostały oznaczone parametry mające znaczenie podczas kiszenia oraz w produkcji biogazu. Charakterystykę badanych traw przedstawia tabela 1.

**Tabela 1.** Charakterystyka traw energetycznych zebranych w czerwcu 2011 r.  
*Characteristic of energy grasses harvested in June 2011*

Roślina	Sucha masa [%]	Sucha masa organiczna [% s.m.]	Włókno surowe [% s.m.]	Cukry proste [% s.m.]
miskant	24,1	91,9	46,5	3,47
spartina	34,9	94,9	44,2	1,94
proso	27,8	92,8	40,6	3,87
palczatka	24,0	93,0	43,0	5,12

Miskant, proso i palczatka charakteryzowały się dość niską zawartością suchej masy w momencie zbioru (poniżej 30%). W technologii kiszonkarskiej przyjmuje się, że optymalna zawartość suchej masy traw przeznaczonych do zakiszenia powinna wynosić od 35% do 45%. Zawartość suchej masy poniżej 35% może skutkować wyciekaniem soku kiszonkowego [Brzóska, Śliwiński 2011]. Badane trawy charakteryzowały się również wysoką zawartością włókna surowego – powyżej 40% w suchej masie. Zawartość włókna surowego w typowych trawach przeznaczonych na pasze waha się między 15% a 30% s.m. [Brzóska, Śliwiński 2011].

W badanych trawach przeznaczonych do zakiszenia charakterystyczna była również bardzo niska zawartość cukrów prostych, wynosząca od 1,94% do 5,12% s.m. Na podstawie przedstawionych wyników analiz można więc stwierdzić, że w momencie zbioru badane rośliny należały do trudno kiszających się. W tabeli 2 przedstawiono charakterystykę fizykochemiczną i mikrobiologiczną otrzymanych kiszzonek.

**Tabela 2.** Charakterystyka fizykochemiczna i mikrobiologiczna kiszonek z traw energetycznych  
*Physico-chemical and microbiological properties of silages from energy grasses*

Kiszonka	pH	Sucha masa [%]	Sucha masa organiczna [% s.m.]	Włókno surowe [% s.m.]	Liczebność grzybów pleśniowych [ $\log_{10}$ jtk g <sup>-1</sup> św.m.]	Cukry proste [% s.m.]
miskant K	5,0±0,1	22,7±0,7	91,7±0,2	38,6 a	b.w.	n.s.
miskant L	4,6±0,1	22,6±0,5	91,5±0,3	37,8 a	b.w.	n.s.
spartina K	5,4±0,2	30,0±1,0	93,6±0,6	42,5 a	1,0	n.s.
spartina L	4,2±0,1	28,6±0,9	93,5±0,3	42,3 a	b.w.	n.s.
proso K	5,5±0,2	26,4±0,8	92,6±0,1	38,0 a	2,0	1,11±0,02
proso L	5,2±0,3	26,2±1,0	92,4±0,4	38,2 a	b.w.	0,54±0,03
palczatka K	4,8±0,2	23,3±0,7	91,0±0,7	41,6 a	b.w.	1,18±0,05
palczatka L	4,9±0,1	22,9±1,1	91,2±0,5	41,0 a	b.w.	0,03±0,01

a – grupy jednorodne dla danego gatunku rośliny wyznaczone testem Tukeya przy poziomie istotności 0,05

K – kiszonka kontrolna

L – kiszonka z dodatkiem preparatu Lactosil

b.w. – brak wzrostu

n.s. – nie stwierdzono (poniżej granicy oznaczalności metody)

W wyniku fermentacji mlekowej nastąpił ubytek suchej masy w roślinach o 0,7-6,3%, przy czym ubytek suchej masy w kiszonkach inokulowanych (1,1-6,3%) był nieznacznie większy niż w kiszonkach kontrolnych (0,7-4,9%). Podobna sytuacja wystąpiła w przypadku suchej masy organicznej, której ubytek również był nieznacznie większy w kiszonkach z dodatkiem Lactosilu niż w kiszonkach kontrolnych (wyjątek stanowiła kontrolna kiszonka z palczatki, w której zawartość suchej masy organicznej była nieznacznie większa niż w kiszonce inokulowanej).

W kiszonkach inokulowanych (z wyjątkiem kiszonki z prosa) ubytek włókna surowego (o 1,9-8,7%) był nieznacznie większy niż w kiszonkach kontrolnych (o 1,7-7,9%), lecz statystycznie nieistotny ( $p \geq 0,05$ ). Największy ubytek włókna surowego (o 8,7%) nastąpił w wyniku kiszenia miskanta z dodatkiem Lactosilu.

Nie zaobserwowano wycieku soku kiszonkowego z żadnej badanej kiszonki.



W kiszonkach inokulowanych z miskanta i spartiny nie stwierdzono cukrów prostych, a ich zawartość w kiszonkach z prosa i palczatki była bardzo niska (odpowiednio 0,03–0,54% s.m.). W kiszonkach kontrolnych z miskanta i spartiny nie stwierdzono zawartości cukrów prostych, natomiast w kiszonkach z prosa i palczatki zawartość cukrów wynosiła ok. 1% s.m. Dla porównania w kiszonkach z runi łąkowej zawartość cukrów prostych wynosi do kilkudziesięciu g/kg s.m. [Wróbel 2012]. Niska zawartość cukrów prostych i wysoka zawartość włókna surowego spowodowały, że uzyskane kiszonki charakteryzowały się dość niską zawartością kwasów organicznych, co przedstawiono w tabeli 3.

**Tabela 3.** Zawartość kwasów organicznych oraz ocena organoleptyczna kiszonek z traw energetycznych  
*Content of organic acids and organoleptic properties of silages from energy grasses*

Kiszonka	Kwasy organiczne [% s.m.]			Ocena organoleptyczna
	mlekowy	octowy	masłowy	
miskant K	5,9 a	13,5 a	0,10±0,01	Struktura roślin dobrze zachowana, barwa zbliżona do trawy przed zakiszeniem, zapach intensywny, nieprzyjemny, wyczuwalny kwas masłowy i octowy
miskant L	4,6 b	20,2 b	n.s.	Struktura roślin dobrze zachowana, barwa zbliżona do trawy przed zakiszeniem, zapach intensywny, przyjemny, typowy dla kiszunki
spartina K	0,5 a	1,0 a	n.s.	Struktura roślin dobrze zachowana, barwa zbliżona do trawy przed zakiszeniem, zapach intensywny, przyjemny, typowy dla kiszunki
spartina L	5,7 b	19,5 b	n.s.	Struktura roślin dobrze zachowana, barwa zbliżona do trawy przed zakiszeniem, zapach intensywny, przyjemny, typowy dla kiszunki
proso K	0,5 a	2,2 a	0,02±0,01	Struktura roślin dobrze zachowana, barwa zbliżona do trawy przed zakiszeniem, zapach intensywny, nieprzyjemny, wyczuwalny kwas octowy
proso L	11,4 b	22,0 b	n.s.	Struktura roślin dobrze zachowana, barwa zbliżona do trawy przed zakiszeniem, zapach intensywny, przyjemny, typowy dla kiszunki
palczatka K	6,0 a	8,0 a	0,01±0,01	Struktura roślin dobrze zachowana, barwa zbliżona do trawy przed zakiszeniem, zapach intensywny, nieprzyjemny
palczatka L	12,7 b	20,3 b	n.s.	Struktura roślin dobrze zachowana, barwa zbliżona do trawy przed zakiszeniem, zapach intensywny, przyjemny, typowy dla kiszunki

a, b – grupy jednorodne dla danego gatunku rośliny wyznaczone testem Tukeya przy poziomie istotności 0,05

n.s. – nie stwierdzono (poniżej granicy oznaczalności metody)

K – kiszonka kontrolna

L – kiszonka z dodatkiem preparatu Lactosil

We wszystkich badanych kiszonkach zawartość kwasu octowego była wyższa niż zawartość kwasu mlekowego, a kwas masłowy stwierdzono tylko w kiszonkach kontrolnych z miskanta, prosa i palczatki. Dodatek preparatu spowodował wzrost zawartości kwasów mlekowego (o 5,2–10,9% s.m.) i octowego (o 6,7–19,8% s.m.) w kiszonkach w porównaniu z kiszonkami kontrolnymi, z wyjątkiem kiszonek z miskanta, w których zawartość kwasu mlekowego była na zbliżonym poziomie ( $p \leq 0,05$ ).

Wszystkie inokulowane kiszonki charakteryzowały się przyjemnym, typowym dla kiszonki zapachem, natomiast kiszonki kontrolne (z wyjątkiem kiszonki ze spartiny) miały nieprzyjemny zapach, wyczuwalny był kwas masłowy i octowy, co świadczyło o niekorzystnych procesach zachodzących w kiszonkach.

Biorąc pod uwagę ocenę jakości kiszonek metodą Fliega-Zimmera, opartą na analizie procentowego udziału kwasów mlekowego, octowego i masłowego w łącznej ich masie, najwyższą punktację otrzymałaby kiszonka kontrolna z miskanta, która według tej metody oceniona byłaby jako zadowalająca. Pozostałe kiszonki ocenione zostałyby jako złe. Metoda oceny jakości kiszonek według Fliega-Zimmera odnosi się do kiszonek przeznaczonych na cele paszowe, w których niepożądana jest zbyt wysoka zawartość kwasu octowego, powodująca zmniejszenie pobrania kiszonki przez zwierzęta [Davies i in. 2000]. Z tego powodu należałoby opracować inną metodę oceny jakości kiszonek przeznaczonych do produkcji biogazu, w której najwyższą punktację otrzymywałyby kiszonki z wysoką procentową zawartością kwasu octowego w łącznej masie wszystkich badanych kwasów organicznych.

Obecność homofermentatywnych szczepów bakterii kwasu mlekowego w preparacie Lactosil spowodowała ukierunkowanie procesu fermentacji mlekowej w zakwaszonym materiale roślinnym, co wyrażało się niższymi wartościami pH (z wyjątkiem kiszonki z palczatki) oraz większą zawartością kwasu mlekowego w kiszonkach inokulowanych w porównaniu z kiszonkami kontrolnymi. Równocześnie kiszonki z dodatkiem inokulantu zawierały więcej kwasu octowego niż kiszonki kontrolne, co można tłumaczyć obecnością *Lactobacillus buchneri*, gatunku bakterii rozkładającego kwas mlekowy do kwasu octowego i 1,2-propanodiolu [Oude Elferink i in. 2001]. Związki te hamują rozwój drożdży i grzybów pleśniowych [Danner i in. 2003]. Prawdopodobnie z tego powodu nie zaobserwowano wzrostu grzybni w żadnej inokulowanej kieszonce.

Lactosil stosowany jest między innymi do kiszenia traw z runi łąkowej i we wcześniejszych badaniach wykazywał działanie poprawiające jakość kiszonek przeznaczonych na pasze [Zielińska i in. 2008]. Szczepy bakterii wchodzące w skład

preparatu zostały wyizolowane z materiału roślinnego i wyselekcjonowane pod kątem cech przydatnych w procesie kiszenia. W przypadku kiszenia roślin przeznaczonych do produkcji biogazu uzasadnione wydaje się więc stosowanie inokulantów zawierających szczepy bakterii kwasu mlekowego, wyizolowane ze środowiska roślin energetycznych. Cechami pożądanymi tych szczepów jest synteza znacznych ilości kwasów organicznych, w tym octowego, alkoholi oraz zdolność do efektywnego rozkładu polisacharydów strukturalnych, co może przyczynić się do wzrostu uzysku biogazu z zakiszonych roślin.

### **WNIOSKI**

Dodanie preparatu bakteryjnego Lactosil, zawierającego homo- i heterofermentatywne szczepy bakterii kwasu mlekowego, do zakiszanych badanych wieloletnich traw energetycznych przyczyniło się do wzrostu zawartości kwasów mlekowego i octowego w kiszonkach. Zastosowanie preparatu Lactosil ukierunkowało również proces fermentacji, powodując większe obniżenie pH w porównaniu z kiszonkami kontrolnymi. Ponadto dodatek preparatu wpłynął pozytywnie na cechy organoleptyczne kiszonek, co świadczyło o ich dobrej jakości.

Biorąc pod uwagę zbadany wpływ preparatu na cechy otrzymanych kiszonek, można stwierdzić, że Lactosil stanowi przydatny inokulant do kiszenia traw energetycznych przeznaczonych do produkcji biogazu.

### **PIŚMIENNICTWO**

1. Brzóška F., Šliwiński B. (2011). Jakość pasz objętościowych w żywieniu przeżuwaczy i metody jej oceny. cz. II. Metody analizy i oceny wartości pokarmowej pasz objętościowych. *Wiad. Zootech.* XLIX, 4, 57-68
2. Davies Z.S., Gilbert R.J., Merry R.J., Kell D.B. Theodorou M.K., Griffith G.W. (2000). Efficient improvement of silage additives by using genetic algorithms. *Appl. Environ. Microbiol.*, 66, 4, 1435-1443
3. Danner H., Holzer M., Mayrhuber E., Braun R. (2003). Acetic acid increases stability of silage under aerobic conditions. *Appl. Environ. Microbiol.*, 69, 1, 562-567
4. Fugol M., Prask H. (2011). Porównanie uzysku biogazu z trzech rodzajów kiszonek: z kukurydzy, lucerny i trawy. *Inż. Rol.*, 9(134), 31-39
5. Herrmann Ch., Heiermann M., Idler Ch. (2011). Effect of ensiling, silage additives and storage period on methane formation of biogas crops. *Bioresource Technol.*, 102, 5153-5161

6. Jędrzak A. (2003). *Biologiczne przetwarzanie odpadów*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN
7. Kacprzak A., Michalska K., Romanowska-Duda Z., Grzesik M. (2012). Rośliny energetyczne jako cenny surowiec do produkcji biogazu. *Kosmos. Probl. Nauk Biol.*, 61, 2(295), 281-293
8. Komorowicz M., Wróblewska H., Pawłowski J. (2009). Skład chemiczny i właściwości energetyczne biomasy z wybranych surowców odnawialnych. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 40, 402-410
9. Ledakowicz S., Krzystek L. (2005). Wykorzystanie fermentacji metanowej w utylizacji odpadów przemysłu rolno-spożywczego. *Biotechnologia*, 3(70), 165-183
10. Michalski T., Gładysiak S. (2012). Porównanie wydajności kukurydzy i topinamburu uprawianych na potrzeby biogazowni. *Materiały z konferencji: Kukurydza i sorgo – Produkcja, Wykorzystanie, Rynek. Poznań-Dymaczewo Nowe, 9-11 maja 2012*
11. Oude Elferink S.J.W.H., Krooneman J., Gottschal J.C., Spoelstra S.F., Faber F., Driehuis F. (2001). Anaerobic conversion of lactic acid to acetic acid and 1,2-propanediol by *Lactobacillus buchneri*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 67, 1, 125-132
12. Pakarinen O., Lehtomaki A., Rissanen S., Rintala J. (2008). Storing energy crops for methane production: Effects of solids content and biological additive. *Bioresource Technol.* 99, 7074-7082
13. Podkówka W. (2006). Kukurydza jako substrat do produkcji biogazu. *Kukurydza*, 12, 26-29
14. Podkówka Z., Podkówka W. (2010). *Substraty dla biogazowni rolniczych*. Warszawa: „Agro Serwis”
15. Szlachta J. (2009). Ekspertyza. *Możliwość pozyskiwania biogazu rolniczego jako odnawialnego źródła energii*”, publikacja dostępna w serwisie: [www.agenpol.pl](http://www.agenpol.pl)
16. Prochnow A., Heiermann M., Plochl M., Linke B., Idler C., Amon T., Hobbs P.J. (2009). Bioenergy from permanent grassland – A review: 1. Biogas. *Bioresource Technol.*, 100, 4931-4944
17. Schattauer A., Weiland P. (2005). *Podstawy w zakresie wiedzy o fermentacji beztlenowej*. W: *Biogaz – Produkcja i Wykorzystanie*. Lipsko: Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, 5-20
18. Wróbel B. (2012). Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie (VII-IX), 12, 3(39), 211-215

19. Zielińska K., Potkański A., Zastawny J., Miecznikowski A., Suterska A. (2008). Efekty działania preparatów bakteryjnych i bakteryjno-enzymatycznych w procesie kiszenia pasz. W: Kultury starterowe bakterii fermentacji mlekowej do kiszenia pasz od selekcji szczepów do aplikacji. Warszawa: IBPRS, 57-82