

Przegląd stanu wiedzy z zakresu rozwiązywania problemów wtórnej fermentacji kiszonek przeznaczonych do produkcji biogazu

Wpłynęło 20.07.2015 r.
Zrecenzowano 17.08.2015 r.
Zaakceptowano 23.09.2015 r.

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

Aleksandra KRÓL^{1) ABEF}, **Marta OLESZEK**^{1) AEF},
Jerzy TYS^{1) AF}, **Mariusz KULIK**^{2) AF}

¹⁾ Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk w Lublinie, Zakład Fizycznych Właściwości Materiałów Roślinnych

²⁾ Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Agrobiotechnologii, Katedra Łączarstwa i Kształtowania Krajobrazu

Do cytowania For citation: Król A., Oleszek M., Tys J., Kulik M. 2016. Przegląd stanu wiedzy z zakresu rozwiązywania problemów wtórnej fermentacji kiszonek przeznaczonych do produkcji biogazu. Problemy Inżynierii Rolniczej. Z. 1 (91) s. 53–61.

Streszczenie

Celem artykułu jest przegląd najnowszej literatury dotyczącej problemu fermentacji wtórnej zachodzącej w materiale kiszonkarskim, będącym substratem do produkcji biogazu. Zakres pracy obejmuje podstawy konserwacji przez zakiszenie, charakterystykę procesu fermentacji wtórnej i niestabilności tlenowej, przyczyny i sposoby zapobiegania temu procesowi, jak również opis jego wpływu na wydajność produkcji biogazu. Zagadnienie jest istotne z punktu widzenia odbiorców kiszonek, którymi od dawna są hodowcy bydła, a w ostatnich latach także producenci biogazu rolniczego. Pogorszenie jakości surowca, wywołane fermentacją wtórną, powoduje straty jego wartości odżywczej i energetycznej, a w konsekwencji zmniejszenie wydajności produkcji biogazu w procesie fermentacji metanowej. Stosowanie odpowiednio dobranych dodatków kiszonkarskich przyczynia się do poprawy procesu kiszenia, zapobiegając niekorzystnym procesom związanym z psuciem się materiału roślinnego. Biorąc pod uwagę rosnące zapotrzebowanie na wysokiej jakości substraty do produkcji biogazu, jak również konieczność ich odpowiedniej konserwacji i przechowywania, należy przypuszczać, że poruszane w artykule zagadnienie będzie nabierało coraz większego znaczenia.

Słowa kluczowe: kiszonka, fermentacja wtórna, stabilność tlenowa, biogaz, dodatek kiszonkarski

Wstęp

Znaczne zwiększenie zużycia paliw kopalnych, groźba emisji gazów cieplarnianych i zanieczyszczenia środowiska naturalnego wymusiły w ostatnich latach dynamiczny rozwój alternatywnych źródeł energii. Ze względu na znaczny areał ziemi uprawnej zainteresowanie biomasa roślin energetycznych wciąż rośnie. Z produkcją roślinną i zwierzęcą ściśle związany jest rozwój sektora produkcji biogazu, ponieważ biomasa roślin i odchody zwierząt są cennym surowcem wykorzystywanym do wytwarzania biogazu rolniczego, będącego jednym ze źródeł energii odnawialnej.

W Polsce instalacje biogazowe lokalizowane są najczęściej przy dużych gospodarstwach rolnych, które mają odpowiednie zaplecze surowcowe, zapewniające całoroczną podaż wysokowartościowej biomasy roślinnej, jak również odchodów zwierzęcych. Rozwój nowych technologii w przemyśle biopaliwowym oraz na rynku biogazu powodują, że zakres produkcji biomasy roślinnej wciąż się poszerza [MATYKA, KSIĘŻAK 2012]. Najczęściej stosowanym sposobem konserwacji biomasy na potrzeby biogazowni jest zakiszanie. Skuteczność procesu zakiszania jest bardzo ważna, gdyż zapewnia jednorodność i stałość podstawowych parametrów surowca przez cały okres wykorzystania. Mimo znanej technologii produkcji kiszzonek, wciąż aktualny jest problem związany z ich psuciem w wyniku fermentacji wtórnej, a liczne doniesienia literaturowe mówią o jej istotnym wpływie na proces fermentacji metanowej.

Celem pracy jest przegląd najnowszej literatury dotyczącej wpływu fermentacji wtórnej zachodzącej w materiale kiszonkarskim na proces produkcji biogazu. Zakres pracy obejmuje podstawy konserwacji przez zakiszanie, charakterystykę zjawiska fermentacji wtórnej i niestabilności tlenowej, charakterystykę przyczyn i sposobów zapobiegania temu procesowi oraz opis jego wpływu na wydajność produkcji biogazu.

Podstawy konserwacji przez zakiszanie

Potrzeba całorocznego wykorzystywania materiału roślinnego pozyskiwanego sezonowo wymusza konieczność konserwacji, której głównym celem jest zabezpieczenie przed zepsuciem i jednocześnie zapewnienie wysokiej jakości materiału [DZWONKOWSKI i in. 2012; 2013]. Niezmiennie parametry i wysoka jakość surowca są niezwykle ważnym elementem, nie tylko w skarmianiu bydłem, ale także stosowaniu tego surowca jako substratu w procesie fermentacji metanowej, wykorzystywanym w biogazowniach rolniczych [BRZÓSKA, ŚLIWIŃSKI 2011].

Aby substraty dobrze się przechowywały i utrzymywały swoje parametry w niezmięnionej formie, stosuje się konserwację przez zakiszanie. Polega ona na zakwaszeniu masy roślinnej kwasem mlekowym, który jest wytwarzany przez bakterie znajdujące się w zakiszonym surowcu. W warunkach odpowiedniego stężenia kwasu mlekowego i niskiego pH kiszonka nie psuje się i bez dostępu powietrza można ją długo przechowywać. Jednocześnie dąży się do inaktywacji bakterii, grzybów i enzymów roślinnych, biorących udział w rozkładzie białek lub wytwarzaniu niepożądanych substancji [JEROCH, LIPIEC (red.) 2012]. Przebieg konserwacji decyduje o jakości produktu końcowego, a stosowanie wysokiej jakości (stabilnych tlenowo) kiszzonek ma ogromny wpływ na prawidłową kinetykę procesu fermentacji metanowej oraz uzysk biogazu.

Magazynowanie surowca odbywa się w silosach przejazdowych lub przyzmach kiszonkarskich, a materiał ugniatany jest przez liczne przejazdy ciężkim sprzętem rolniczym. Zagęszczona biomasa zostaje bardzo szczelnie okryta folią w celu zabezpieczenia przed dostępem tlenu i wilgoci do przyzmy. Taka metoda konserwacji nie jest pozbawiona wad. Silosy przejazdowe ze względu na swoją dużą objętość są opróżniane przez długi czas, a powierzchnia wybierania kiszonki jest duża, co powoduje zmiany w składzie fizykochemicznym materiału i obniża jego jakość. Kolejnym problemem jest zbyt długi czas napełniania silosu, który w przypadku dużych gospodarstw może trwać nawet 7 dni, co najczęściej skutkuje rozpoczęciem procesu wtórnej fermentacji jeszcze przed odpowiednim zagęszczeniem i okryciem.

Fermentacja wtórna i stabilność tlenowa kiszonek

Fermentacja wtórna to proces samozagrzewania się kiszonki, spowodowane rozkładem zawartych w niej resztek cukrów i kwasów organicznych przez mikroorganizmy tlenowe, głównie drożdże i pleśnie. Dopływ tlenu powoduje, że znajdujące się w kiszonce drożdże intensywnie się namnażają, wykorzystując resztki cukru, co wyzwala energię i powoduje wzrost temperatury biomasy. Proces ten sprzyja rozwojowi pleśni, które – wykorzystując kwas mlekowy jako źródło węgla – przyczyniają się do zmiany kwasowości kiszonki oraz rozpadu białka. Fermentacja wtórna uważana jest za proces szkodliwy i wywierający niekorzystny wpływ na stan higieniczny kiszonek, a tym samym na ich przydatność do produkcji biogazu [MIKOŁAJCZAK, PODKÓWKA 1986; PURWIN i in. 2006].

Przyczyną fermentacji wtórnej jest brak stabilności tlenowej, czyli odporności kiszonki na działanie tlenu atmosferycznego. Definiuje się ją jako liczbę dni, po których temperatura kiszonki, przechowywanej w temperaturze 20°C i narażonej na działanie powietrza, przekroczy o 3°C temperaturę otoczenia [DORSZEWSKI 2005]. Parametr ten jest zróżnicowany w zależności od gatunku rośliny, z której sporządzono kiszonkę. Ma to ścisły związek z podatnością roślin na proces zakiszania.

Obecnie za najbardziej efektywną w produkcji biogazu uważa się uprawę kukurydzy, która się dobrze zakisza ze względu na dużą zawartość cukru. Jednocześnie, w przeciwieństwie do kiszonek z traw wieloletnich czy roślin łąkowych, jest też bardzo podatna na degradację tlenową [BRZÓSKA 2003; KRUCZYŃSKA, KRÓL 1998; MIKOŁAJCZAK, PODKÓWKA 1986]. Według badań MASTA i in. [2014] trawy wieloletnie mogą z powodzeniem konkurować z kukurydzą jako potencjalnym źródłem biomasy do produkcji biogazu.

Kolejnym czynnikiem wpływającym na stabilność tlenową kiszonki jest zawartość suchej masy. Istotne jest, by zbiór roślin przeprowadzać w odpowiednim terminie, dostosowanym do gatunku. Rośliny zbierane w późniejszym okresie zawierają znacznie więcej frakcji włókna, co utrudnia zakiszanie i zwiększa możliwość rozwoju niepożądanych mikroorganizmów. Duża zawartość włókna wiąże się dodatkowo z trudnością w rozkładzie jego frakcji przez bakterie fermentacji metanowej [JANKOWSKA-HUFLEJT, WRÓBEL 2008].

Kiszonki o dużej zawartości suchej masy charakteryzują się większą zawartością kwasów organicznych – octowego i propionowego, a także podwyższonym pH, co sprzyja dużej podatności na fermentację wtórną [MIKOŁAJCZAK, PODKÓWKA 1986;

WRÓBEL 2012a; ZASTAWNY, JAŚNIEWICZ 2000]. Odpowiednio przygotowana i zagęszczona kiszonka zapewnia warunki beztlenowe wewnątrz pryzmy, co hamuje rozwój bakterii i pleśni. Gdy materiał jest źle ubity, zwiększa się penetracja powietrza do wewnątrz, a w warunkach dużej wilgotności proces konserwacji nie będzie przebiegał prawidłowo. Niedostateczne zagęszczenie zielonki (do $200 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) powoduje przedostawanie się powietrza do wnętrza pryzmy, na głębokość od 2,5 do 3,0 m (w zależności od zawartości suchej masy). Z kolei dobre przygotowanie i zagęszczenie zielonki (do $900 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) ogranicza penetrację tlenu do 15–20 cm w głąb [BRZÓSKA 2003; MIKOŁAJCZAK, PODKÓWKA 1986]. Szczelne okrycie silosu gwarantuje ograniczenie powierzchniowych strat suchej masy, a także tlenowej degradacji w początkowym okresie użytkowania kiszonki. Należy także zwracać uwagę na technikę i szybkość wybierania kiszonki z silosów, a także dostosować je do dziennego zapotrzebowania na substrat.

Warunki tlenowe w pryzmie kiszonkarskiej sprzyjają rozwojowi pleśni, które występują zarówno na powierzchni, jak i wewnątrz źle okrytych i uszczelnionych silosów. Ich namnażaniu sprzyja wilgotność, dostęp tlenu, temperatura powyżej 13°C i podwyższone pH (>5). Produkty ich metabolizmu stanowią zagrożenie dla stabilności substratu, wpływając na pogorszenie jakości kiszonki. Również obecność bakterii proteolitycznych, celulolitycznych i amylolitycznych może powodować pogorszenie jakości kiszonki [ILLEK 2006]. Dotychczas wykazano, że na stres tlenowy w kiszonkach wpływ mają także różne gatunki drożdży, które najlepiej rozwijają się w temperaturze $0\text{--}37^\circ\text{C}$ i dobrze tolerują niskie pH kiszonek. Większość drożdży występujących w zakiszanych roślinach należy do rodzajów *Sporobolomyces*, *Cryptococcus*, *Rhodotorula* i *Torulopsis*. W obecności tlenu i sprzyjającej temperaturze szybko namnażają się również *Candida*, *Endomycopsis*, *Hansenula*, *Pichia* – zużywające kwasy oraz *Torulopsis* – zużywające cukry [KIM, ADESOGAN 2006; MIKOŁAJCZAK, PODKÓWKA 1986; SZYSZKOWSKA i in. 2010].

Metody ograniczania fermentacji wtórnej kiszonek

Proces wtórnej fermentacji kiszonki można ograniczyć różnymi metodami, zależnymi od technologii produkcji i przechowywania. Istotne jest szybkie napełnienie silosu, odpowiednie zagęszczenie i szczelne okrycie w jak najkrótszym czasie, a także sposób wybierania i przechowywania gotowej kiszonki. Na wystąpienie wtórnej fermentacji, poza przechowywaniem, wpływ ma wiele czynników, takich jak: gatunek roślin, wartość pH, zawartość suchej masy i kwasów organicznych, dostęp tlenu, temperatura otoczenia, obecność bakterii i pleśni, a także stosowanie dodatków kiszonkarskich [CAY i in. 1999; ZASTAWNY, JAŚNIEWICZ 2000].

Ważnym elementem w technologii produkcji kiszonek jest stosowanie dodatków kiszonkarskich. Zasadność ich stosowania wynika z faktu, że ubogi skład i niedostateczna liczebność epifitycznej flory bakteryjnej występującej w zakiszanych roślinach utrudnia wytworzenie kwasu mlekowego [DAVIES 2010; NKOSI, MEESKE 2010; MIQUELETO i in. 2010]. Jednym z pierwszych konserwantów chemicznych stosowanych do ograniczania wtórnej fermentacji kiszonek były preparaty na bazie kwasów organicznych i mineralnych, które w większości zawierały propionian, benzooesan oraz metabisulfit [MIKOŁAJCZAK, PODKÓWKA 1986]. Do zakiszania wcześniej podsuszonej biomasy roślinnej najczęściej stosowane są biologiczne dodatki w postaci innokulatów

bakteryjnych, stymulujące fermentację [DAVIES 2010; DORSZEWSKI 2009; WRÓBEL 2012b]. Zawierają one kwas mlekowy, ograniczają koncentrację lotnych kwasów tłuszczowych, azotu amoniakalnego, a także zwiększają zawartość cukrów prostych i białka ogólnego w kiszonkach [JALČ i in. 2009; LARA i in. 2012; WINTERS i in. 2001]. W skład innokulantów bakteryjnych, poza szczepami bakterii kwasu mlekowego, tj. *Lactobacillus spp.*, *Enterococcus spp.*, *Pediococcus spp.*, *Lactococcus spp.*, *Leuconostoc spp.*, wchodzi szczepy heterofermentatywne, głównie *Lactobacillus buchneri*, *Lactobacillus brevis* oraz odpowiednio dobrane enzymy [LARA i in. 2012; ZIELIŃSKA i in. 2006]. Spośród wymienionych szczepów bakterii najskuteczniejszy jest *Lactobacillus buchneri* [DANNER i in. 2003; WRÓBEL 2008]. Bakterie tego szczepu, dzięki zdolności do beztlenowego rozkładu kwasu mlekowego do kwasu octowego i 1,2-propandiolu, są w stanie ograniczyć rozwój drożdży – mikroorganizmów odpowiedzialnych za proces wtórnej fermentacji [DANNER i in. 2003; OUDE ELFERINK i in. 2001; WEINBERG i in. 1993].

Warto także zwrócić uwagę na nowoczesne metody zakiszania pasz objętościowych w rękawach foliowych. Metoda ta umożliwia wyeliminowanie większości problemów towarzyszących procesowi przygotowywania kiszonek w sposób tradycyjny i utrzymanie wysokiej jakości biomasy przez cały sezon. Partia materiału roślinnego na kiszonkę przygotowywana jest bezpośrednio na polu, opryskiwana preparatem kiszonkarskim i szczelnie zamykana w rękawie foliowym. Dzięki tej technologii wybieranie odbywa się z niewielkiej powierzchni, co ogranicza możliwość wystąpienia fermentacji wtórnej w całej partii materiału roślinnego [WAGNER, WEBER 2008].

Wpływ fermentacji wtórnej na uzysk biogazu

Fermentacja wtórna jest uważana za istotny czynnik obniżający jakość i ilość wytwarzanego biogazu. HERRMANN i in. [2015] donoszą, że potencjał metanotwórczy zmniejsza się nawet o 17% w czasie pierwszych siedmiu dni po otwarciu kiszonki bez dodatku kiszonkarskiego. Dodatek chemiczny zawierający benzoesany, propioniany oraz heterofermentacyjne bakterie kwasu mlekowego okazał się skuteczny w zwiększaniu stabilności tlenowej i uzysku metanu z kiszonki poddanej ekspozycji na działanie powietrza o 29% w stosunku do kiszonki bez dodatku. Wzrost produkcji metanu z kiszonki z kukurydzy na skutek zwiększenia stabilności tlenowej spowodowanej dodatkami kiszonkarskimi stwierdzili także PLÖCHL i in. [2009].

NUSSBAUM [2012] zaobserwował negatywny wpływ fermentacji wtórnej na wydajność produkcji biogazu na przykładzie kiszonki z życicy wielokwiatowej (*Lolium multiflorum* Lam.). HERRMANN i in. [2011] jako przyczynę zmniejszenia uzysku biogazu z powodu fermentacji wtórnej podają utratę kwasów organicznych, alkoholi i węglowodanów, które łatwo rozkładają się w warunkach tlenowych, a jednocześnie stanowią cenne substraty w procesie fermentacji metanowej. Do odmiennych wniosków doszli natomiast McENIRY i in. [2014], którzy uzyskali więcej biogazu z gorszej jakości kiszonki, uzasadniając ten fakt wysokim teoretycznym uzyskiem biogazu z kwasu masłowego i alkoholu, których duże stężenie odnotowano w badanym materiale. Z literatury wiadomo jednak, że nagromadzenie kwasu masłowego prowadzi do inhibicji procesu fermentacji metanowej, dlatego też nie powinien on być obecny w stężeniu większym niż $6,5 \text{ g dm}^{-3}$ [KWIETNIEWSKA, TYS 2014].

Podsumowanie

Zapewnienie wysokiej jakości kiszonek jako substratów do produkcji biogazu wymaga odpowiedniej technologii produkcji oraz znajomości czynników, które mają istotny wpływ na ryzyko występowania fermentacji wtórnej. Badania naukowe wykazały, że dzięki postępowaniu zgodnemu z zasadami dotyczącymi przygotowania kiszonek i stosowaniu dodatków kiszonkarskich można znacznie ograniczyć ryzyko występowania tego procesu. Najważniejsze warunki, chroniące przed wystąpieniem fermentacji wtórnej, to: zachowanie odpowiedniej zawartości suchej masy (20–40%), odpowiednie rozdrobnienie, szybkie napełnianie i wybieranie silosu, właściwe ubicie przemy. W warunkach praktyki rolniczej niezbędne jest więc stosowanie takich technologii, które w stopniu dostatecznym będą zabezpieczać przed pogorszeniem się jakości produkowanych kiszonek oraz przed stratami składników odżywczych. Właściwa technologia produkcji jest gwarancją odpowiedniej zawartości składników pokarmowych i umożliwia uzyskanie surowca najwyższej jakości i wartości użytkowej na cele energetyczne.

Fermentacja wtórna kiszonek ma istotny wpływ na ilość i jakość biogazu produkowanego z kiszonek ze względu na inhibujące działanie pleśni, kwasu masłowego i amoniaku w stosunku do mikroorganizmów fermentacji metanowej.

Zwiększenie stabilności tlenowej kiszonek, dzięki zastosowaniu opisanych metod, może skutecznie poprawić wydajność produkcji biogazu w biogazowniach rolniczych.

Bibliografia

BRZÓSKA F. 2003. Technologie produkcji kiszonek, ich wartość pokarmowa i przydatność w żywieniu krów mlecznych [Silage making techniques, silage nutritive value and suitability for feeding cows]. *Zeszyty Naukowe. Przegląd Hodowlany*. Nr 67 s. 187–203.

BRZÓSKA F., ŚLIWIŃSKI B. 2011. Jakość pasz objętościowych w żywieniu przeżuwaczy i metody jej oceny. Cz. II. Metody analizy i oceny wartości pokarmowej pasz objętościowych [Quality of roughages in ruminant nutrition and methods for its evaluation part II. Methods for analysis and evaluation of nutritive value of roughages]. *Wiadomości Zootechniczne*. R. 49. Nr 4 s. 57–68.

CAY Y., BENNO Y., OGAWA M., KUMAI S. 1999. Effects of applying lactic acid bacteria isolated from forage crops on fermentation characteristics and aerobic deterioration of silage. *Journal of Dairy Science*. Vol. 82. Iss. 3 s. 520–526.

DANNER H., HOLZER M., MAYRHUBER E., BRAUN R. 2003. Acetic acid increases stability of silage under aerobic conditions. *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 69. Iss. 1 s. 562–567.

DAVIES D.R. 2010. Silage inoculants – where next? W: *Conference Proceedings 14th Symposium Forage Conservation*. Brno, Czech Republic, March 17–19, 2010. Mender University s. 32–39.

DORSZEWSKI P. 2005. Wpływ różnych dodatków do zakiszania na rozwój drożdży i pleśni oraz niestabilność tlenową kiszonki [Effect of different additives to pickling the number of yeasts, moulds and aerobic instability of maize silages]. *Medycyna Weterynaryjna*. Nr 61(8) s. 919–922.

DORSZEWSKI P.A. 2009. Efektywność stosowania dodatków kiszonkarskich w konserwacji zielonek z mieszkankami motylkowato-trawiastymi oraz z całych roślin kukurydzy [Effectiveness of silage additives in the preservation of green forage from leguminous-grass mixture and whole maize plants]. *Rozprawy*. Nr 136. Bydgoszcz. UTP. ISSN 0209-0597 ss. 125.

DZWONKOWSKI W., KRZEMIŃSKI M., ŁOPACIUK W. 2012. Rynek pasz – stan i perspektywy [Feed market – state and perspectives]. Nr 31. Warszawa. IERIGŻ–PIB. ISSN 1428-1228 ss. 37.

DZWONKOWSKI W., KRZEMIŃSKI M., ŁOPACIUK W. 2013. Rynek pasz – stan i perspektywy [Feed market – state and perspectives]. Nr 32. Warszawa. IERIGŻ–PIB. ISSN 1428-1228 ss. 38.

HERRMANN C., HEIERMANN M., IDLER C. 2011. Effects of ensiling, silage additives and storage period on methane formation of biogas crops. *Bioresource Technology*. Vol. 102. Iss. 8 s. 5153–5161.

HERRMANN C., IDLER C., HEIERMANN M. 2015. Improving aerobic stability and biogas production of maize silage using silage additives. *Bioresource Technology*. Vol. 197 s. 393–403.

ILLEK J. 2006. Health risk posed by feeding low quality silage. W: XII International Symposium „Forage Conservation”. Brno, Czech Republic, April 3–5. Veterinární a farmaceutická univerzita, Brno s. 129–130.

JALČ D., LAUKOVÁ A., SIMONOVÁ M., VÁRADYOVÁ Z., HOMOLKA P. 2009. The use of bacterial inoculants for grass silage: their effects on nutrient composition and fermentation parameters in grass silages. *Czech Journal of Animal Science*. Vol. 54. No. 2 s. 84–91.

JANKOWSKA-HUFLEJT H., WRÓBEL B. 2008. Ocena przydatności pasz z użytków zielonych do produkcji zwierzęcej w badanych gospodarstwach ekologicznych [Evaluation of usefulness of forages from grasslands in livestock production in examined organic farms]. *Journal of Research Applications in Agricultural Engineering* Vol. 53. Iss. 3 s. 103–108.

JEROCH H., LIPIEC A. (red.) 2012. Pasze i dodatki paszowe [Feeds and feed additives]. Warszawa. PWRiL. ISBN 978-83-09-01134-7 ss. 364.

KIM S.C., ADESOGAN T. 2006. Influence of ensiling temperature, simulated rainfall, and delayed sealing on fermentation characteristics and aerobic stability of corn silage. *Journal of Dairy Science*. Vol. 89. Iss. 8 s. 3122–3132.

KRUCZYŃSKA H., KRÓL H. 1998. Wartość pokarmowa kiszonki z kukurydzy [The nutritional value of corn silage]. *Przegląd Hodowlany*. Nr 5 s. 17–19.

KWIETNIEWSKA E., TYS J. 2014. Process characteristics, inhibition factors and methane yields of anaerobic digestion process, with particular focus on microalgal biomass fermentation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 34 s. 491–500.

LARA E.C., BASSO F.C., RABELO C.H.S., SOUZA F.A., GODOY H.P., GONCAVES G.S., REIS R.A. 2012. Fermentation losses and dry matter recovery of corn silage inoculated with *Lactobacillus buchneri* and exogenous enzymes. W: Proceedings of the 16th International Silage Conference. Hämeenlinna, Finland, 2–4 July 2012. Helsinki. MTT Agrifood Research Finland University s. 366–367.

MAST B., LEMMER A., OECHSNER H., REINHARDT-HANISCH A., CLAUPEIN W., GRAEFF-HÖNNINGER S. 2014. Methane yield potential of novel perennial biogas crops influenced by harvest date. *Industrial Crops and Products*. Vol. 58 s. 194–203.

MATYKA M., KSIĘŻAK J. 2012. Plonowanie wybranych gatunków roślin, wykorzystywanych do produkcji biogazu [Yielding of selected plant species used to biogas production]. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 1(75) s. 69–75.

MCENIRY J., ALLEN E., MURPHY J. D., O'KIELY P. 2014. Grass for biogas production: The impact of silage fermentation characteristics on methane yield in two contrasting biomethane potential test systems. *Renewable Energy*. Vol. 63 s. 524–530.

MIKOŁAJCZAK J., PODKÓWKA W. 1986. Czynniki wpływające na wtórną fermentację w kiszonce [Factors affecting refermentation in silage]. Postępy Nauk Rolniczych. Nr 4 s. 95–110.

MIQUELETO A.P., DOLOSIC C.C., POZZI E., FORESTI E., ZAIAT M. 2010. Influence of carbon sources and C/N ratio on EPS production in anaerobic sequencing batch biofilm reactors for wastewater treatment. Bioresource Technology. Vol. 101. Iss. 4 s. 1324–1330.

NKOSI B.D., MEESKE R. 2010. Effects of ensiling totally mixed potato hash rotation with or without a heterofermentative bacterial inoculant on silage fermentation, aerobic stability, growth performance and digestibility in lambs. Animal Feed Science and Technology. Vol. 161 s. 38–48.

NUSSBAUM H. 2012. Effects of silage additives based on homo- or heterofermentative lactic acid bacteria on methane yields in the biogas processing. W: Proceedings of the XVI International Silage Conference, 2–4 July 2012, Hämeenlinna, Finland. MTT Agrifood Research Finland, University of Helsinki s. 452–453.

OUDE ELFERINK S.J.W.H., KROONEMAN J., GOTTSCHAL J.C., SPOELSTRA S.F. FABER F., DRIEHOUIS F. 2001. Anaerobic conversion of lactic acid to acetic acid and 1,2-propanediol by *Lactobacillus buchneri*. Applied and Environmental Microbiology. Vol. 67 s. 125–132.

PLÖCHL M., ZACHARIAS H., HERRMANN C., HEIERMANN M., PROCHNOW A. 2009. Influence of silage additives on methane yield and economic performance of selected feedstock. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript 1123. Vol. 11 s. 1–16.

PURWIN C., ŁANIEWSKA-TROKENHEIM Ł., WARMIŃSKA-RADYKO I., TYWOŃCZUK J. 2006. Jakość kiszzonek – aspekty mikrobiologiczne, zdrowotne i produkcyjne [Silage quality: microbiological, health-promoting and production aspects]. Medycyna Weterynaryjna. Nr 62(8) s. 865–869.

SZYSZKOWSKA A., KRZEWIECKI S., SOBCZYK I. 2010. Czynniki wpływające na intensywność wtórnej fermentacji w kiszoncek oraz wpływ skarmiania niestabilnych tlenowo kiszzonek na ryzyko wystąpienia jednostek chorobowych u krów mlecznych [The factors effecting on secondary fermentation in silages and effect of the aerobically unstable silages on the risk of different metabolic disease frequency of dairy cows]. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Biologia i Hodowla Zwierząt. T. 60. Nr 577 s. 205–216.

WAGNER A., WEBER U. 2008. Bezpieczne magazynowanie surowców energetycznych: Biomasa w rękawach foliowych [Secure storage of energy feedstock: Biomass in silage bags]. Ag-bag News. Nr 8 s. 19–22.

WEINBERG Z.G., ASHBELL G., HEN Y., AZRIELI A. 1993. The effect of applying lactic acid bacteria at ensiling on the aerobic stability of silage. Journal of Applied Microbiology. Vol. 75 Iss. 6 s. 512–518.

WINTERS A.L., FYCHAN R., JONES R. 2001. Effect of formic acid and bacterial inoculants on the amino acid composition of grass silage and of animal performance. Grass and Forage Science. Vol. 56. Iss. 2 s. 181–192.

WRÓBEL B. 2008. Quality and aerobic stability of big bale silage treated with bacterial inoculants containing *Lactobacillus buchneri*. Grassland Science in Europe. Vol. 13 s. 651–653.

WRÓBEL B. 2012a. Ocena efektywności stosowania dodatków biologicznych w procesie zakiszania runi łąkowej [Evaluation of biological additives effectiveness in ensilage process of meadow sward]. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. Vol. 57. Nr 4 s. 193–198.

WRÓBEL B. 2012b. Wpływ stopnia przewędnięcia runi łąkowej na jakość i wartość pokarmową kiszzonek w belach cylindrycznych [Impact of the sward meadow pre-wilting degree on quality and nutritive value of the silages in cylindrical bales]. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. Vol. 57. Nr 4 s. 199–204.

ZASTAWNY P., JAŚNIEWICZ P. 2000. Jakość i stabilność kiszzonek [The quality and stability of silage]. *Przegląd Hodowlany*. Nr 4 s. 20–25.

ZIELIŃSKA K.J., STECKA K.M., SUTERSKA A.M., MIECZNIKOWSKI A.H. 2006. Ekologiczna metoda kiszzenia pasz objętościowych [Ecological method of silage making from roughage of feeds]. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*. Vol. 51. Nr 2 s. 219–223.

Aleksandra Król, Marta Oleszek, Jerzy Tys, Mariusz Kulik

**REVIEW OF THE STATE OF KNOWLEDGE ON SOLVING PROBLEMS
WITH SECONDARY FERMENTATION OF SILAGES DEDICATED
FOR BIOGAS PRODUCTION**

Summary

The aim of article is review of the newest literature considered problems with secondary fermentation occurring in silages, which are substrates for biogas production. The scope of work includes the basics of conservation by ensiling, characterization of secondary fermentation and lack of aerobic stability, causes and ways of preventing this process and description of its influence on efficiency of biogas production. This issue is very important from the point of view of customer of silages like cattle breeders and lately also producers of agricultural biogas. Deterioration of raw material caused by secondary fermentation induces the losses in nutrients and decrease in energy value and, in consequence, decrease in efficiency of biogas production in the methane fermentation process. The use of appropriately selected silage additives contributes to improvement of ensiling process prevents spoiling of plant material. Taking to account the rising demand for high quality substrates for biogas production, it should be assumed that the issue raised in the article will become increasingly important.

Key words: silage, secondary fermentation, aerobic stability, biogas, silage additive

Adres do korespondencji:

mgr Marta Oleszek

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN w Lublinie

Zakład Fizycznych Właściwości Materiałów Roślinnych

ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin

tel.: 81 744-50-61 wew. 167; e-mail: m.oleszek@ipan.lublin.pl

