

JOLANTA BOHDZIEWICZ<sup>1</sup>, MARIUSZ KUGLARZ<sup>2</sup>, BOŻENA MROWIEC<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut Inżynierii Wody i Ścieków  
Politechnika Śląska

<sup>2</sup>Institut Ochrony i Inżynierii Środowiska  
Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

## INTENSYFIKACJA FERMENTACJI METANOWEJ GNOJOWICY ŚWIŃSKIEJ PRZEZ WPROWADZENIE KOSUBSTRATU W FORMIE BIOODPADÓW KOMUNALNYCH

**Streszczenie.** Celem badań przedstawionych w artykule była intensyfikacja produkcji biogazu generowanego w procesie mezofilowej fermentacji metanowej gnojowicy świńskiej przez dodanie kosubstratu w formie selektywnie zbieranych bioodpadów komunalnych. Podjęto próby ustalenia najkorzystniejszego udziału bioodpadów komunalnych we wsadzie fermentatora zapewniającego stabilność procesu oraz nie wpływającego znacząco na pogorszenie właściwości odwadniającej biomasy przefermentowanej. Stwierdzono, iż najkorzystniejszy udział bioodpadów komunalnych wyniósł 30% s.m., co stanowi około 10% objętościowego wsadu fermentatora. Dla najkorzystniejszej mieszaniny kofermentacyjnej uzyskano około 35% wzrost sumarycznej produkcji biogazu w porównaniu z fermentacją gnojowicy bez dodatku kosubstratu.

**Słowa kluczowe:** fermentacja metanowa, kofermentacja, biogaz, odchody zwierzęce, gnojowica świńska, bioodpady komunalne

### Wstęp

Unieszkodliwianie odpadów powstających podczas hodowli zwierząt coraz częściej jest prowadzone w warunkach beztlenowych. Proces ten umożliwia odzysk energii odnawialnej w postaci biogazu oraz uzyskanie ustabilizowanego nawozu organicznego (ROMANIUK 2004). Fermentacja uwodnionych odchodów zwierzęcych (gnojówka, gnojowica) w formie monosubstratów charakteryzuje się jednak relatywnie niską wydajnością i w związku z tym nie jest efektywna z ekonomicznego punktu widzenia (GABRY-SZEWSKA i ROGULSKA 2009). Zwiększenie wydajności procesu fermentacji płynnych odchodów zwierzęcych można osiągnąć przez modyfikację wsadu fermentatora, nakie-

rowaną na zwiększenie udziału suchej masy organicznej. Można to osiągnąć przez wprowadzenie kosubstratów zasobnych w substancje organiczne, takich jak bioodpady komunalne, osady poflotacyjne z przemysłu mięsnego, odpady tłuszczowe, odpady poźniwne itd. (GRZYBEK 2004, JĘDRZAK 2007, DEUBLEIN i STEINHAUSER 2008).

Coraz większa popularność segregacji odpadów w miejscu ich powstawania oraz rosnąca świadomość ekologiczna społeczeństwa sprawia, że selektywnie zbierana organiczna frakcja stałych odpadów komunalnych, charakteryzująca się dużą zawartością materii organicznej łatwo ulegającej biodegradacji w warunkach beztlenowych, stanowi wartościowy kosubstrat w biogazowniach rolniczych. W Polsce powstaje rocznie około 10 mln ton stałych odpadów komunalnych, których jednym z głównych składników jest właśnie organiczna frakcja (ROSIK-DULEWSKA 2007). Jednak wprowadzając dodatkowe kosubstraty należy w szczególności wziąć pod uwagę ich wpływ na stabilność procesu.

Celem badań przedstawionych w artykule była intensyfikacja produkcji biogazu generowanego w procesie mezofilowej fermentacji metanowej gnojowicy świńskiej przez dodanie kosubstratu w formie selektywnie zbieranej organicznej frakcji odpadów komunalnych. Jako kryteria oceny prawidłowo dobranej składki mieszanin poddawanych fermentacji przyjęto: sumaryczną produkcję biogazu, stopień usunięcia suchej masy organicznej, stabilność procesu oraz podatność biomasy przefermentowanej na odwadnianie. Stabilność procesu fermentacji metanowej została wyznaczona na podstawie stężenia lotnych kwasów tłuszczowych (LKT) oraz stosunku lotnych kwasów tłuszczowych do zasadowości (LKT/Z).

## Material i metody

Substratami procesu fermentacji metanowej były gnojowica świńska pochodząca z hodowli trzody chlewnej (główny substrat fermentacji) oraz selektywnie zbierana organiczna frakcja stałych odpadów komunalnych (OFSOK), czyli tzw. bioodpady. Charakterystyka fizykochemiczna substratów fermentacji została przedstawiona w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka fizykochemiczna substratów fermentacji  
Table 1. Characteristics of the digested substrates

Wskaźnik Indicator	Gnojowica świńska Pig manure	Bioodpady komunalne Municipal biowaste	Zaszczep fermentacji Inoculum
pH – pH value	6,7	4,7	7,7
s.m. (g/dm <sup>3</sup> ) – TS (g/dm <sup>3</sup> )	62,16	231,98	42,99
s.m.o. (g/dm <sup>3</sup> ) – VS (g/dm <sup>3</sup> )	51,78	216,52	31,57
C <sub>org</sub> (% s.m.) – C <sub>org</sub> (% TS)	43,8	54,5	27,8
N <sub>og</sub> (% s.m.) – N <sub>tot</sub> (% TS)	3,0	2,8	3,9
C/N – C/N ratio	14,6	19,5	7,1
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/dm <sup>3</sup> )	4 910	–	5 250
ChZT (mg O <sub>2</sub> na 1 dm <sup>3</sup> )	30 350	–	11 950
COD (mg O <sub>2</sub> per 1 dm <sup>3</sup> )			

Fermentację mezofilową (36°C) w warunkach statycznych (35 dni) prowadzono w bioreaktorach o pojemności roboczej 3 dm<sup>3</sup>, wyposażonych w mieszadła sterowane elektronicznie. Fermentacji poddawano gnojowicę świńską oraz mieszaniny bioodpadów komunalnych i gnojowicy zestawionych w następujących proporcjach suchej masy: 20:80, 30:70, 40:60, 50:50, 60:40 oraz 70:30. W formie zaszczechu fermentacji (inokulum) użyto gnojowicy przefermentowanej pochodzącej z mezofilowej fermentacji prowadzonej w warunkach laboratoryjnych, której charakterystykę przedstawiono w tabeli 1. Wsad fermentatora mieszano z inokulum w stosunku wagowym 1:2. Charakterystyka mieszanin kofermentacyjnych została przedstawiona w tabeli 2. Wszystkie oznaczenia fizykochemiczne wsadu fermentatora oraz biomasy przefermentowanej wykonano zgodnie z metodyką przedstawioną w Polskich Normach oraz Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater (EATON i IN. 2005). Pomiar ilości produkowanego biogazu wykonano w układzie składającym się z wyskalowanego cylindra wypełnionego 5-procentowym chlorkiem sodu oraz zbiornika wyrównawczego. Układ działał na zasadzie naczyń połączonych, a produkowany biogaz wypychał nadmiar roztworu do zbiornika wyrównawczego. Objętość biogazu przeliczono na warunki normalne.

Tabela 2. Charakterystyka fizykochemiczna mieszanin poddawanych kofermentacji  
Table 2. Characteristics of the mixtures undergoing co-digestion

Wskaźnik Indicator	Bioodpady komunalne:gnojowica świńska (% s.m.) Municipal biowaste:pig manure (% TS)						
	0:100	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40	70:30
pH – pH value	7,2	7,2	7,1	7,1	7,1	7,0	7,0
s.m. (g/dm <sup>3</sup> ) – TS (g/dm <sup>3</sup> )	49,38	52,95	55,56	58,50	61,40	65,83	71,57
s.m.o. (g/dm <sup>3</sup> ) – VS (g/dm <sup>3</sup> )	38,39	41,50	43,59	45,97	48,99	53,16	58,09
C:N – C/N ratio	10,2	11,0	11,4	11,9	12,4	13,0	13,6
Udział kosubstratu (% wag.) Cosubstrate content (% ww.)	–	6	10	15	21	29	39

## Wyniki i dyskusja

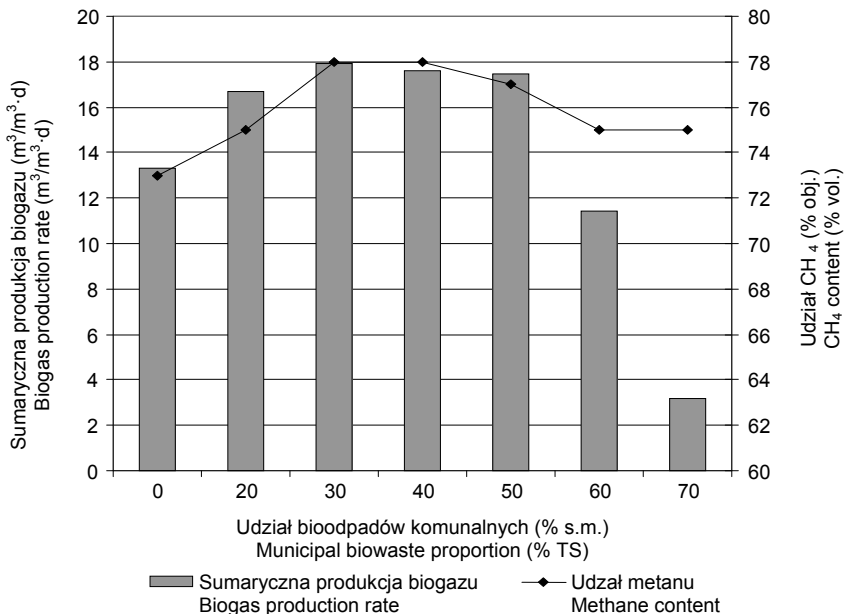
We wszystkich mieszaninach zawierających w swym składzie bioodpady komunalne jako kosubstrat uzyskano wyższy stopień usunięcia suchej masy organicznej (od 39,1% do 46,2%) w porównaniu do fermentacji gnojowicy bez dodatku kosubstratu (37,4%) (tab. 3). Pozwala to stwierdzić, że bardziej zróżnicowany skład wsadu fermentatora wpływa korzystnie na efektywność przemian biochemicznych zachodzących podczas fermentacji metanowej, m.in. przez poprawę stosunku C/N (JĘDRZAK 2007).

W trakcie eksperymentu dokonywano dobowego pomiaru ilości wydzielającego się biogazu. Już niewielki dodatek bioodpadów komunalnych na poziomie 20% oraz 30% s.m. doprowadził do wzrostu sumarycznej produkcji biogazu odpowiednio o 25% i 35% w porównaniu z ilością biogazu powstałą podczas fermentacji samej gnojowicy.

Tabela 3. Charakterystyka fizykochemiczna biomasy przefermentowanej  
Table 3. Characteristics of the digested biomass

Wskaźnik Indicator	Bioodpady komunalne:gnojowica świńska (% s.m.) Municipal biowaste:pig manure (% TS)						
	0:100	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40	70:30
pH – pH value	8,1	8,1	8,0	7,9	7,8	7,8	6,6
s.m.o. ( g/dm <sup>3</sup> ) – VS (g/dm <sup>3</sup> )	24,05	25,22	26,53	27,64	27,56	28,58	35,39
Stopień usunięcia s.m.o. (%) VS reduction (%)	37,35	39,23	39,11	39,87	43,74	46,24	39,08
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/dm <sup>3</sup> )	5 715	5 675	5 696	5 584	5 485	5 378	5 315
LKT (mg CH <sub>3</sub> COOH na 1 dm <sup>3</sup> ) VFA (mg CH <sub>3</sub> COOH per 1 dm <sup>3</sup> )	1 331	1 550	1 654	4 516	4 756	6 870	11 080
Zasadowość (mg CaCO <sub>3</sub> na 1 dm <sup>3</sup> ) Alkalinity (mg CaCO <sub>3</sub> per 1 dm <sup>3</sup> )	17 450	16 350	14 465	13 560	14 110	15 570	12 360

Dalsze zwiększanie udziału bioodpadów komunalnych we wsadzie fermentatora nie wpłynęło już znacząco na ilość produkowanego biogazu (rys. 1). W trakcie eksperymentu analizowano również wpływ dodatku bioodpadów na udział metanu w generowanym biogazie. Dla procesu fermentacji gnojowicy świńskiej bez dodatku kosubstratu



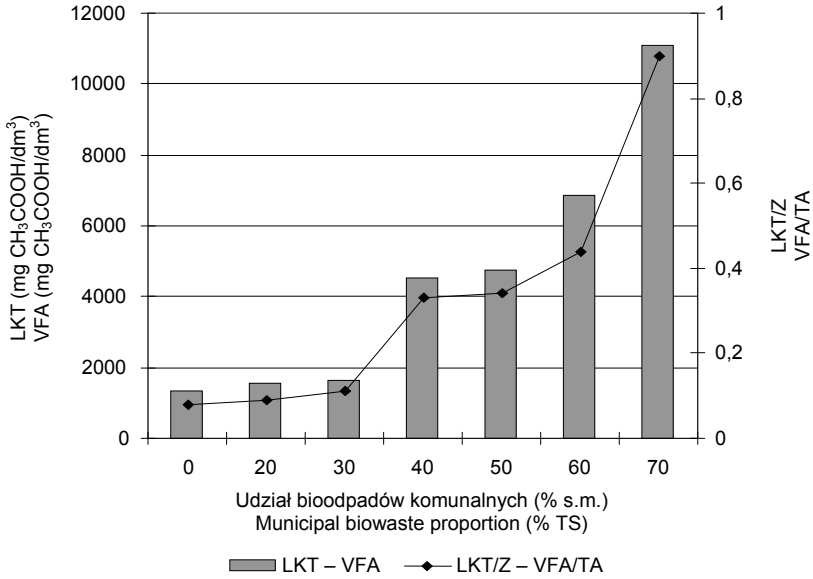
Rys. 1. Wpływ dodatku bioodpadów komunalnych (kosubstrat) na ilość i jakość produkowanego biogazu

Fig. 1. Influence of municipal biowaste addition as a co-substrate on the amount and quality of biogas produced

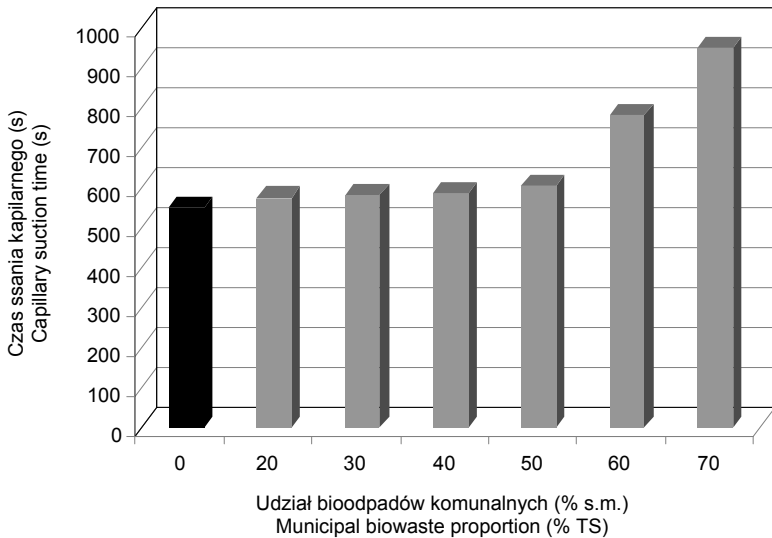
zawartość  $\text{CH}_4$  wyniosła 73% obj., podczas gdy dla mieszanin kofermentacyjnych zawartość ta kształtowała się w zakresie od 75% obj. do 78% obj. Wysoki udział metanu w produkowanym biogazie oraz kilkuprocentowy wzrost jego zawartości, będący wynikiem dodatku bioodpadów komunalnych, został przypisany fermentacji substratów zawierających znaczną ilość substancji białkowych, które – jak powszechnie wiadomo – prowadzą do wytworzenia biogazu o wysokiej zawartości metanu (BURACZEWSKI 1989, HARTMANN 1996).

Głównym czynnikiem wpływającym na rozwój mikroorganizmów odpowiedzialnych za produkcję biogazu jest odczyn. Wykorzystanie pH jako wskaźnika stabilności procesu tłumaczy się tym, iż kumulacja LKT prowadzi do znacznego zmniejszenia wartości pH cieczy fermentacyjnej (DYMACZEWSKI i LOZAŃSKI 1995, JĘDRZAK 2007). W przypadku gnojowicy bez dodatku kosubstratu stężenie LKT w komorze bioreaktora po 35 dniach prowadzenia procesu beztlenowego wyniosło 1331 mg  $\text{CH}_3\text{COOH}$  na 1 dm<sup>3</sup>. Dla wsadu fermentatora wzbogaconego o 20-30% s.m. pochodzącej od kosubstratu, stężenie LKT wzrosło o około 16-24% i kształtowało się na poziomie 1550-1654 mg  $\text{CH}_3\text{COOH}$  na 1 dm<sup>3</sup>. Dalsze zwiększanie udziału bioodpadów komunalnych doprowadziło do wzrostu stężenia LKT (4756-11 080 mg  $\text{CH}_3\text{COOH}$  na 1 dm<sup>3</sup>) powyżej 2000 mg  $\text{CH}_3\text{COOH}$  na 1 dm<sup>3</sup>, czyli wartości uważanej za wskazującą na zaburzenia w produkcji biogazu (DYMACZEWSKI i LOZAŃSKI 1995). Przytoczone powyżej wartości LKT nie korespondowały ze znaczącym obniżeniem wartości pH cieczy fermentacyjnej (pH 6,6-7,8), co nie jest zaskakujące, ponieważ w przypadku fermentacji substratów o dużej zawartości substancji białkowych, jakimi są produkty uboczne hodowli zwierzęcej oraz bioodpady komunalne, dochodzi do mineralizacji azotu amonowego, który do pewnego stopnia przeciwdziała obniżeniu wartości odczynu cieczy fermentacyjnej pomimo znaczącego wzrostu stężenia LKT. W związku z powyższym, bardziej wiarygodnym oraz powszechniej stosowanym wskaźnikiem stabilności procesu fermentacji metanowej jest stosunek stężenia lotnych kwasów tłuszczowych do zasadowości (LKT/Z), którego wzrost wartości powyżej 0,3-0,4 wskazuje na zaburzenia stabilności procesu (DYMACZEWSKI i LOZAŃSKI 1995, MAGREL 2004). Wpływ dodatku kosubstratu na stężenie LKT oraz wartość stosunku LKT/Z został przedstawiony na rysunku 2. Kierując się tym wskaźnikiem można stwierdzić, że proces fermentacji zachodził stabilnie dla gnojowicy bez dodatku kosubstratu oraz mieszanin kofermentacyjnych, w których udział bioodpadów komunalnych wynosił 20-30% s.m. Powyżej tego zakresu zaobserwowano podwyższoną wartość stosunku LKT/Z.

Przefermentowana biomasa stanowi wartościowy nawóz organiczny, jednak na terenach o intensywnej produkcji zwierzęcej jej ilość często przewyższa zapotrzebowanie roślin na składniki pokarmowe w niej zawarte. Rozsądnym rozwiązaniem wydaje się rozdzielenie gnojowicy na frakcję stałą i płynną. Frakcja płynna może być wykorzystana w obrębie gospodarstwa, natomiast frakcja stała może zostać w łatwiejszy sposób przetransportowana na tereny o niedoborze nawozów naturalnych. Wobec powyższego analizowano wpływ dodatku bioodpadów komunalnych na właściwości odwadniająco-separacyjne biomasy przefermentowanej. W porównaniu do gnojowicy surowej (550s), dodatek bioodpadów komunalnych w ilości 20-50% nie doprowadził do znaczącego pogorszenia właściwości separacyjnych biomasy przefermentowanej (CSK= 575-605s, rys. 3).



Rys. 2. Wpływ dodatku bioodpadów komunalnych na stężenie LKT w komorze fermentacyjnej oraz stosunek LKT/Z  
 Fig. 2. Influence of municipal biowaste on the VFA concentration and the value of VFA/TA ratio



Rys. 3. Wpływ dodatku bioodpadów komunalnych na wartość czasu ssania kapilarnego (CSK)  
 Fig. 3. Influence of municipal biowaste addition on the value of capillary suction time (CST)

## Wnioski

1. Modyfikacja wsadu fermentatora przez dodanie bioodpadów komunalnych wpłynęła pozytywnie na stopień usunięcia materii organicznej oraz ilość i jakość produkowanego biogazu. Najkorzystniejszy udział bioodpadów komunalnych wyniósł 30% s.m., co stanowi około 10% objętościowego wsadu fermentatora.

2. Dla najkorzystniejszej mieszaniny kofermentacyjnej (30% s.m. bioodpady komunalne + 70% s.m. odchody zwierzęce) uzyskano około 35-procentowy wzrost sumarycznej produkcji biogazu w porównaniu z fermentacją gnojowicy bez dodatku kosubstratu. Ponadto nie zaobserwowano znaczącego pogorszenia stabilności procesu oraz podatności biomasy przefermentowanej na rozdział na frakcję stałą i ciekłą.

3. Kofermentacja bioodpadów komunalnych z odchodami zwierzęcymi może stanowić ważny element w planowaniu gospodarki odpadami w warunkach lokalnych, ponieważ poza produkcją energii odnawialnej instalacje biogazowe zapewniają utylizację odpadów oddziałujących niekorzystnie na środowisko.

## Literatura

- BURACZEWSKI G., 1989. Fermentacja metanowa. PWN, Warszawa.
- DEUBLEIN D., STEINHAUSER A., 2008. Biogas from waste and renewable resources. Willey-Liss, Weinheim.
- DYMACZEWSKI Z., LOZAŃSKI M., 1995. Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych, Poznań.
- EATON A.D., CLESCERI L.S., RICE E.W., GREENBERG A.E., 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. APHA, Washington.
- GABRYSZEWSKA M., ROGULSKA M., 2009. Biogazownie rolnicze. Bariery rozwoju. *Przem. Chem.* 88, 3: 248-251.
- GRZYBEK A., 2004. Możliwości i technologia produkcji biogazu rolniczego. *Czysta Energ.* 10: 35-36.
- HARTMANN L., 1996. Biologiczne oczyszczanie ścieków. Instal. Pol., Warszawa.
- JĘDRZAK A., 2007. Biologiczne przetwarzanie odpadów. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- MAGREL L., 2004. Prognozowanie procesu fermentacji metanowej mieszaniny osadów ściekowych oraz gnojowicy. Wyd. PB, Białystok.
- ROMANIUK W., 2004. Ekologiczne systemy gospodarki obornikiem i gnojowicą. IBMER, Warszawa.
- ROSIK-DULEWSKA CZ., 2007. Podstawy gospodarki odpadami. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.

## INTENSIFICATION OF PIG MANURE DIGESTION BY CO-SUBSTRATE ADDITION IN THE FORM OF MUNICIPAL BIOWASTE

**Summary.** The article presents the results of a study meant to increase the biogas production generated in mesophilic anaerobic digestion of pig manure. It was attempted to establish the most favourable proportion of municipal biowaste as a co-substrate, which did not impact either the stability of methane fermentation or susceptibility of digested biomass to dewatering in a negative

way. It was established that the most appropriate municipal biowaste proportion amounted to 30% of TS, which is about 10% if expressed as wet weight. As compared to the sample containing pig manure exclusively, the biogas production rate for the optimum co-digestion mixture (30% TS of municipal biowaste + 70% TS of pig manure) increased by about 35%. Besides, the process exhibited stable conditions and did not deteriorate significantly susceptibility of digested biomass to dewatering.

**Key words:** anaerobic digestion, co-digestion, biogas, animal by-products, pig manure, municipal biowaste

*Adres do korespondencji – Corresponding address:*

*Mariusz Kuglarz, Instytut Ochrony i Inżynierii Środowiska, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, Poland, e-mail: mkuglarz@ath.bielsko.pl*

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print:*

*6.07.2011*

*Do cytowania – For citation:*

*Bohdziewicz J., Kuglarz M., Mrowiec B., 2011. Intensyfikacja fermentacji metanowej gnojowicy świńskiej przez wprowadzenie kosubstratu w formie bioodpadów komunalnych. *Nauka Przyr. Technol.* 5, 4, #53.*