

ZAWARTOŚĆ WĘGLA I KATIONÓW METALI W WYBRANYCH
ODPADACH ORGANICZNYCH POD KĄTEM WYKORZYSTANIA
ICH DO PRODUKCJI BIOGAZU*

*Anna Talarowska, Iwona Niemiałkowska-Butrym, Zofia Sokołowska,
Patrycja Boguta*

Instytut Agrofizyki im. B. Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin
e-mail: a.talarowska@ipan.lublin.pl

Streszczenie. Celem badań była analiza chemiczna odpadów organicznych w celu wykorzystania ich jako wsady do fermentacji metanowej. Badaniami objęto odpady takie jak pomiot indyczy, osad stały Hajdów, podłoże po pieczarkach oraz pozostałość pofermentacyjna stała po odcisnięciu części płynnej i wysuszona pozostałość pofermentacyjna stała i węgiel drzewny pochodzący ze zbiogazowania biomasy w wyniku pirolizy. Badane materiały analizowano na zawartość węgla organicznego oraz miedzi, ołowiu, kadmu, manganu i wapnia. Stwierdzono, że ilości węgla organicznego i analizowanych metali w badanych odpadach oraz osadach pofermentacyjnych było różne. Najwyższą zawartością węgla organicznego charakteryzował się pomiot indyczy. Najwyższą zawartość ołowiu stwierdzono w pomiole indyczym i w osadzie z Hajdowa, a obecność żelaza w osadzie stałym z Hajdowa.

Słowa kluczowe: fermentacja metanowa, osady, wsady, węgiel organiczny, metale ciężkie

WSTĘP

Fermentacja jest beztlenowym biologicznym procesem rozkładu złożonych wysokocząsteczkowych substancji organicznych prowadzących do ustabilizowania właściwości osadu. Zasadniczym produktem reakcji jest biogaz złożony głównie z metanu i dwutlenku węgla.

Według danych literaturowych proces fermentacji osadów jest procesem wielofazowym, składającym się z czterech faz (Bień i in. 1999). W pierwszej fazie

*Badania wykonano, częściowo, w Pracowni Chemicznych i Fizykochemicznych Właściwości Osadu ŚLEO IA PAN w Lublinie.

prowadzona jest hydroliza wielkocząsteczkowych związków organicznych, w drugiej zaś rozkład zhydrolizowanych substancji do kwasów organicznych, w trzeciej rozkład kwasów organicznych do kwasu octowego, natomiast w czwartej następuje rozkład octanów i kwasu octowego do metanu i bezwodnika kwasu węglowego (Zielewicz-Madej i Fukas-Płonka 2001).

Główne drogi pozyskiwania metanu podczas fermentacji metanowej to biologiczny rozkład kwasu octowego z udziałem bakterii metanowych oraz redukcja dwutlenku węgla przy udziale bakterii autotroficznych (Graczyk i Sadecka 1993). Proces fermentacji metanowej jest determinowany przez wiele czynników mających znaczny wpływ na szybkość i efektywność jego przebiegu. Są to między innymi: skład chemiczny doprowadzonego substratu (wsadu), temperatura procesu fermentacji, ilość i częstotliwość doprowadzonego wsadu, intensywność mieszania, odczyn oraz zawartość azotu, fosforu i substancji toksycznych. Aby uzyskać wysoką wydajność procesu wydzielania metanu wymagane jest zapewnienie odpowiednich warunków takich jak: beztlenowa atmosfera w komorze fermentacyjnej, brak metali ciężkich (takich jak kadm i ołów) hamujących proces fermentacji, odpowiedni odczyn (pH powinno wynosić od 6,6 do 7,6), odpowiednie stężenie substancji potrzebnych do rozwoju i wzrostu bakterii oraz odpowiednia temperatura procesu (Fabbri i Mignani 2007).

Podstawowymi surowcami do produkcji biogazu są odpady pochodzące z hodowli dużych ferm np. bydła, trzody chlewnej czy drobiu, natomiast surowcami uzupełniającymi są masa roślinna lub odpady z zakładów przetwórstwa spożywczego np. z gorzelnii. Łączenie różnych typów odpadów umożliwia otrzymanie wyższych wydajności biogazu. Odpady rolnicze i z przemysłu rolno-spożywczego zawierają wszystkie niezbędne składniki do rozwoju mikroorganizmów, takie jak: węglowodany, białka, tłuszcze, pierwiastki biogenne, mikroelementy i witaminy. Pozostawianie odpadów rolniczych w stanie surowym powoduje zagrożenie sanitarne i problemy środowiskowe. Jednym ze sposobów wykorzystania i unieszkodliwiania odpadów rolniczych i przemysłu rolno-spożywczego są procesy biotechnologiczne pozwalające na przekształcenie ich w energię, paszę czy nawozy (Brown i van den Heuvel 1996).

Osady ściekowe i segregowane odpady z gospodarstw domowych są substratami zanieczyszczonymi przez obecne w nich patogeny. Przed wykorzystaniem rolniczym należy oczyścić te odpady. Szczególną uwagę należy zwrócić na odpady pochodzenia zwierzęcego, na przykład z rzeźni, bowiem mogą one przenosić choroby takie jak Creutzfelda-Jakoba (Ahring 2003). Natomiast pestycydy czy antybiotyki obecne w odpadach rolniczych ulegają degradacji podczas fermentacji metanowej (Alatryste-Mondragon i in. 2003).

Z powodu niecałkowitego usunięcia (redukcja 80-90%) zanieczyszczeń metodą fermentacji w wielu przypadkach istnieje konieczność dalszego oczyszczania

pozostałości pofermentacyjnej wykorzystując tradycyjną metodę osadu czynnego lub przy zastosowaniu metod membranowych, takich jak ultrafiltracja czy odwrócona osmoza (Reali i in. 2001).

Istnieje wiele metod utylizacji i wykorzystania odpadów jako wysokowartościowych produktów. Fermentacja metanowa może służyć do produkcji kwasów organicznych, alkoholi, enzymów, a pozostała biomasa jest dobrym produktem do otrzymywania metanu.

Celem badań było określenie w badanych odpadach ilości węgla, który jest niezbędny dla wzrostu i rozmnażania się bakterii oraz zawartości metali ciężkich blokujących proces fermentacji.

MATERIAŁ I METODY

Badania prowadzono na próbkach odpadów organicznych takich jak pomiot indyczy z fermi drobiu (próbki nr 1 i 2), osad stały z oczyszczalni ścieków Hajdów w Lublinie (próbka nr 6), podłoże po pieczarkach (próbka nr 7) oraz pozostałości pofermentacyjne stałe (po odcisnięciu części płynnej, próbka nr 3), wysuszone pozostałości pofermentacyjne stałe (próbka nr 4) oraz węgiel drzewny pochodzący ze zbiogazowania biomasy w wyniku pirolizy (Hajnówka, próbka nr 5).

Zawartość węgla organicznego w badanych materiałach mierzono analizatorem węgla i azotu TOC MULTI N/C 2000, HT 1300 (Analytik Jena). Próbkę w łożeczkach porcelanowych wprowadzano ręcznie do komory wysokotemperaturowej aparatu, a z krzywej kalibracyjnej odczytywano zawartość węgla (Hermanowicz i in. 1999). Obliczenia prowadzono z wykorzystaniem oprogramowania będącego na wyposażeniu aparatu.

Metale (Cu, Mn, Fe, Cd, Pb i Ca) w badanych materiałach organicznych oznaczano spektrofotometrycznie na analizatorze AAS contr AA 300 (Analytik Jena), a ich zawartości obliczano z wykorzystaniem oprogramowania będącego na wyposażeniu aparatu. Przed pomiarami na absorpcyjnym spektroskopie atomowym odpady poddano procesowi mineralizacji i przygotowano w formie roztworu. Próbkę odpadów wstępnie wysuszono w 105°C i zmielono. Następnie sporządzono naważki po około 2 g i umieszczono je w tyglu porcelanowym. Tak sporządzone próbki spalano przez 5 godzin w temperaturze 520°C w piecu muflowym FCF 12 SP (CZYŁOK). Następnie popiół rozpuszczono w 20 ml HCl, ilościowo przelano (przez sączek) do kolby o objętości 100 ml i uzupełniono wodą destylowaną do kreski. Tak przygotowane roztwory poddano analizie na zawartość metali.

WYNIKI I DYSKUSJA

Wydajność procesu fermentacji metanowej jest ściśle związana z jakością surowca (właściwościami fizycznymi jak i chemicznymi) oraz warunkami procesu (Fabbri i Mignani 2007). Zawartość węgla i metali ciężkich należy do ważniejszych cech surowca decydujących o przebiegu procesu, a zawartość węgla organicznego ma istotny wpływ na aktywność życiową bakterii.

W tabeli 1 przedstawiono wyniki analizy zawartości węgla w badanych odpadach organicznych. Odpady te charakteryzowały się różną zawartością węgla organicznego. Zawartość węgla zmieniała się w granicach od 25 do prawie 50%. Najwięcej węgla było w próbkach nr 3 i 4 (pozostałość pofermentacyjna stała po odcisnięciu części płynnej i pozostałość sucha), a najmniej w próbce 6 (osad stały z oczyszczalni Hajdów). Zawartości C_{org} nie są zbyt znaczne i być może powinny być uzupełnione innymi substratami. Jak wiadomo proces fermentacji metanowej nie zapewnia całkowitej konwersji substancji organicznej. Jak wynika z danych literaturowych nawet do 50% substancji organicznej zawartej we wsadzie nie ulega konwersji do biogazu (Boyce 1995). Dlatego też uzasadnione jest uzupełnienie substratów o niskiej zawartości węgla przed dostarczeniem ich do fermentatorów (Fabbri i Mignani 2007). Podobnie w produkcji kompostów jednym z ważniejszych czynników wpływających na ich jakość jest odpowiedni stosunek zawartości węgla do azotu, który powinien wynosić 20-30 (Galardo-Lara i Nogales 1987, Chen i in. 1997).

Drugim czynnikiem decydującym o przebiegu procesu fermentacji metanowej jest zawartość we wsadzie metali, głównie metali ciężkich (Fabbri i Mignani 2007). Metale ciężkie są głównym problemem w opadach przemysłowych, w osadach ściekowych i stałych opadach organicznych. W dużym stopniu można ograniczyć ilość metali ciężkich stosując segregację u źródła. Nie wszystkie metale mają negatywny wpływ na proces fermentacji. Do wzrostu mikroorganizmów w komorze fermentacyjnej potrzebne są rozpuszczalne formy żelaza, potasu, magnezu i wapnia oraz pierwiastki śladowe takie jak mangan, miedź, cynk czy ko-

Tabela 1. Zawartość węgla organicznego w próbkach odpadów organicznych
Table 1. Content of organic carbon in samples of organic waste

Numer próbki* Sample number	Ilość węgla w s.m. ($mg \cdot g^{-1}$) Amount of carbon in dry matter
1	418,7
2	407,6
3	472,8
4	468,1
5	354,9
6	252,3
7	306,7

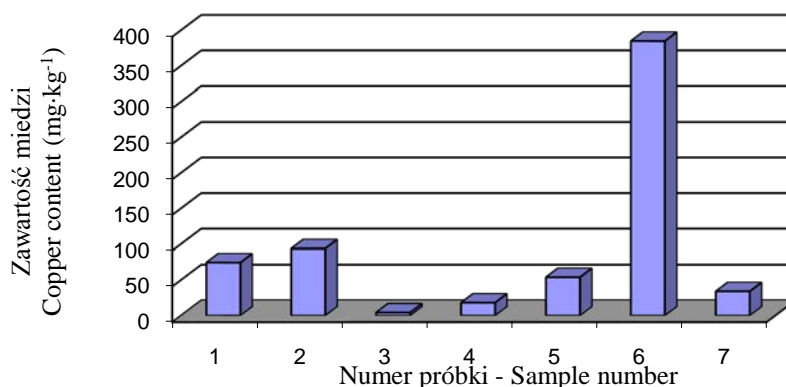
*objaśnienie w "Materiał i Metody" – explanations in the "Materials and Methods".

balt (Jędrzak 2007). Oznaczenie zawartości metali ciężkich jest istotne, zwłaszcza gdy rośliny pochodzą z terenów skażonych, np. w procesie kompostowania możliwy jest względny wzrost stężenia tych metali (Jerzykiewicz 2004). Ilości metali mające negatywny wpływ na fermentację metanową podali Kaltschmitt i Hartmann (2011).

Wiedza o zawartości w odpadach metali ciężkich jest niezbędna przy wykorzystaniu ich jako nawozów organicznych. Należy też pamiętać o silnym związku pomiędzy jonami metali i związkami organicznymi (Impellitteri i in. 2002), problemach niedoboru i nadmiaru pierwiastków w glebie (Ruszkowska i Wojcieszka-Wyskupajtyś 1996) oraz wpływem zjawisk synergii i antagonizmu pomiędzy pierwiastkami na ich toksyczność w glebie (Zhou De-Zhi 1991).

W badanych odpadach analizowano także zawartość metali, które mają wpływ na fermentację metanową. Badane osady organiczne charakteryzują się wyraźnie zróżnicowaną zawartością analizowanych pierwiastków. Otrzymane wyniki przedstawiono na rysunkach 1-6.

Ilość miedzi (rys. 1) wahała się w granicach od 384,7 mg kg⁻¹ dla próbki nr 1 do 4,2 mg·kg⁻¹ dla próbki nr 3 (pozostałości pofermentacyjnej stałej po odciesnieniu części płynnej).

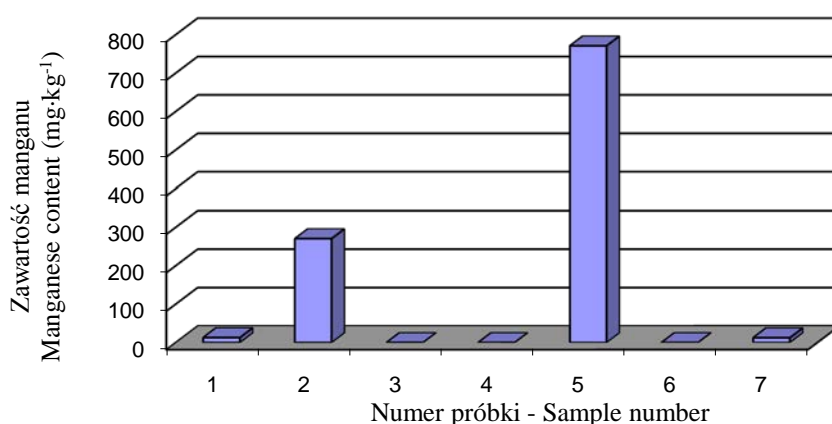


Rys. 1. Zawartość miedzi w badanych próbkach. Objaśnienia w tekście pracy
Fig. 1. Copper content in the samples. Explanations in the text

Miedź jest niezbędnym składnikiem pożywienia wszystkich zwierząt i ludzi, a pełne pokrycie zapotrzebowania na nią jest podstawowym warunkiem prawidłowego rozwoju i zdrowia. Miedź w zasadzie nie jest trująca. Natomiast jej związki mają właściwości toksyczne. Do najbardziej niebezpiecznych zaliczamy siarczany miedzi (II) i obojętne i zasadowe węglany oraz octany. Na pokrycie potrzeb większości roślin wystarczają małe stężenia miedzi, w wysokości > 2ppm w przeliczeniu na gram suchej masy. Organizm dorosłego człowieka zawiera

średnio około 80 mg miedzi (Kabata-Pendias i Pendias 1999). Miedzi od $40 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ma działanie hamujące proces fermentacji metanowej (Kaltschmitt, Hartmann 2001). Biorąc pod uwagę zawartość miedzi, w badanych osadach można stwierdzić, że obecność tego pierwiastka nie powinna wpływać znacząco na produkcję metanu.

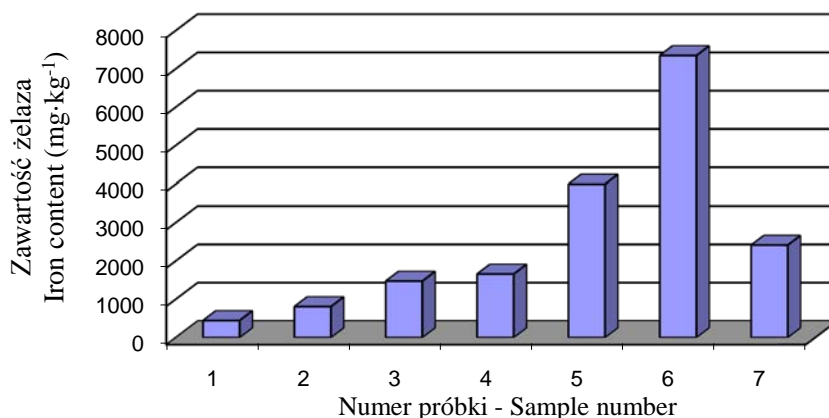
Zawartości manganu (rys. 2) w badanych próbkach były niewielkie z wyjątkiem węgla drzewnego pochodzącego ze zbiogazowania biomasy w wyniku pirolizy (próbka nr 5). W materiale tym było $771,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ manganu. W literaturze (Kabata-Pendias i Pendias 1999) nie znaleziono informacji, aby mangan w niewielkich ilościach miał ujemny wpływ na rozwój organizmów zwierzęcych i roślinnych. Zapotrzebowanie roślin na mangan jest zróżnicowane, ale dla większości z nich wystarcza $10\text{-}25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Mangan spełnia ważną funkcję w procesach oksydacyjno-redukcyjnych u roślin. Istotny jest stosunek zawartości Fe/Mn, który powinien wynosić 1,5-2,5. Natomiast szkodliwą dawką jest $4\text{-}10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Można więc przyjąć, że tak niewielkie ilości manganu w badanych próbkach nie będą wykazywać negatywnego wpływu na proces fermentacji (Kabata-Pendias i Pendias 1999).



Rys. 2. Zawartość manganu w badanych próbkach. Objasnienia w tekście pracy
Fig. 2. Manganese content in the samples. Explanations in the text

Jak wynika z rysunku 3 we wszystkich badanych próbkach odpadów stwierdzono obecność żelaza. Wyraźnie większe zawartości żelaza były w próbkach odpadów nr 5, 6 i 7. Najwyższe zawartości Fe występowały w osadzie stałym pochodzącym z oczyszczalni ścieków z Hajdowa (próbka nr 6) – $7350 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Tak znaczna zawartość Fe może hamować proces fermentacji (Kaltschmitt i Hartmann 2001). Najniższą koncentracją tego pierwiastka stwierdzono w pomiole indyczym (próbki nr 1 i 2). Obecność żelaza może powodować zmniejszenie ilości tlenu i może mieć stymulujący wpływ na proces w fermentacji bez-

tlenowej (Fabbri i Mignani 2007). Jednocześnie jak wskazują badania Kaltschmitt i Hartmann (2001) zawartość żelaza powyżej $1750 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ma hamujący wpływ na fermentację metanową.

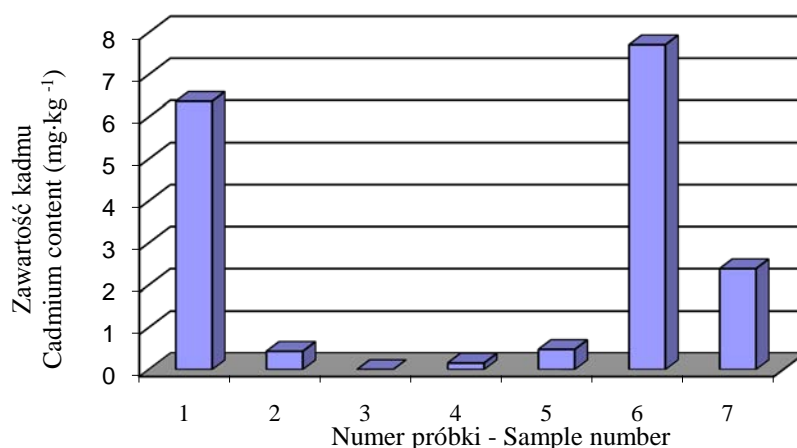


Rys. 3. Zawartość żelaza w badanych próbkach. Objasnienia w tekście pracy
Fig. 3. Iron content in the samples. Explanations in the text

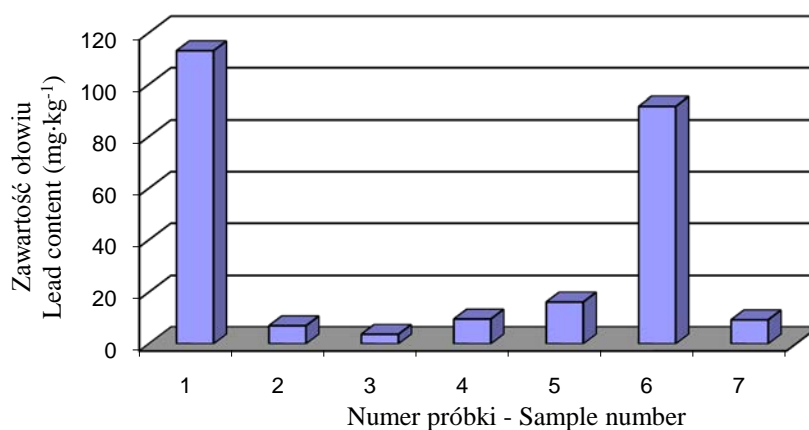
Istotne znaczenie w produkcji metanu ma obecność pierwiastków metali ciężkich w odpadach organicznych (Fabbri i Mignani 2007). W badanych odpadach oznaczono ilość kadmu i ołowiu. Negatywne działanie kadmu na proces fermentacji zaznacza się od stężenia $180 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, a dla ołowiu od stężenia $340 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Kaltschmitt i Hartmann 2001). Według Kabaty-Pendias i Pendiasa (1999) oba te pierwiastki są toksyczne i bardzo szkodliwe dla organizmów żywych. Badania Santillan-Me-drano i Jurinak'a (1975) oraz Jopony i Young'a (1994) wykazały, że właśnie kadm, a nie ołów jest bardziej ruchliwy w środowisku. Kadm (Cd) działa hamująco na procesy biochemiczne w środowisku wodnym, a szczególnie na fazę nitryfikacji związków azotu. Toksyczne działanie Cd określane jest na $5\text{-}10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ dla roślin wrażliwych oraz $10\text{-}30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ dla roślin odpornych. Dla człowieka zalecana dawka pobierania kadmu z pożywieniem to $60\text{-}70 \mu\text{g}$ dzień⁻¹. Natomiast ołów już przy stężeniu $0,2\text{-}0,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ wpływa negatywnie na procesy biologiczne zachodzące w organizmie człowieka i w roślinach. Stężenie na poziomie $2\text{-}5 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ pokrywa dzienne zapotrzebowanie tego pierwiastka u roślin, natomiast dopuszczalna ilość tego pierwiastka w odniesieniu do człowieka wynosi $500 \mu\text{g}$ dzień⁻¹.

W badanych odpadach organicznych stężenie tych pierwiastków było bardzo zróżnicowane (rys. 4 i 5). Niewielkie ilości kadmu w tych odpadach (rys. 4) nie powinny wpływać znacząco na fermentację (Kaltschmitt i Hartmann 2001). Jedynie w próbkach nr 1 i 6 stężenie Cd było wyższe i wynosiło około $6\text{-}7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Zróżni-

cowanie w ilości ołowiu (rys. 5) w badanych odpadach kształtowało się podobne jak w przypadku kadmu. Najwięcej Pb stwierdzono w pomiole indyczym (próbka nr 1) oraz w osadzie stałym z Hajdowa (próbka nr 6). Było to odpowiednio $113,05 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $91,69 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Tak wysokie zawartości ołowiu pozwalają postawić hipotezę, że w próbkach nr 1 i 6 może być spowolniony rozwój mikroorganizmów uczestniczących w produkcji metanu (Kaltschmitt i Hartmann 2001).



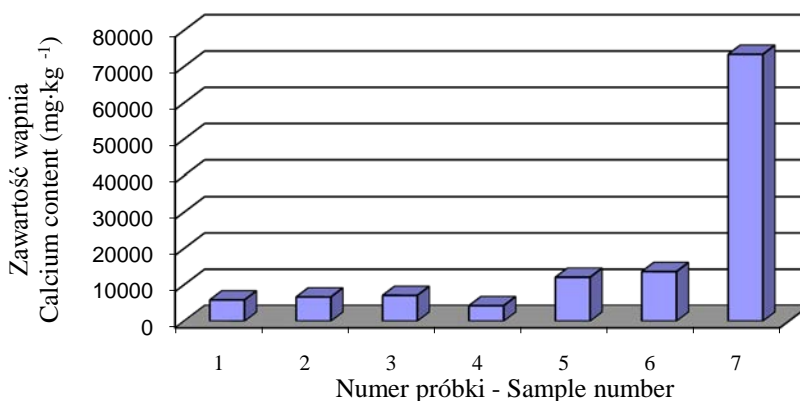
Rys. 4. Zawartość kadmu w badanych próbkach. Objasnienia w tekście pracy
Fig. 4. Cadmium content in the samples. Explanations in the text



Rys. 5. Zawartość ołowiu w badanych próbkach. Objasnienia w tekście pracy
Fig. 5. Lead content in the samples. Explanations in the text

Do wzrostu mikroorganizmów w komorze fermentacyjnej potrzebne są rozpuszczalne formy żelaza, potasu, magnezu i wapnia (Jędrzak 2007). Rola wapnia i jego soli jako regulatorów odczynu jest powszechnie znana i nie wymaga komentarza. Pełni on funkcję regulatora aktywności wielu enzymów, między innymi ATPazy, fosfolipazy, amylazy (Starck 2007). Nadmiar jakiegokolwiek z składników i dodatkowo kwaśny odczyn środowiska glebowego może wpływać na ograniczone pobieranie jonów wapnia i tym samym zakłócać fizjologiczne funkcje roślin. Antagonistyczne oddziaływanie pomiędzy jonami miedzi i wapnia jest przyczyną znacznego zmniejszenia zawartości jonów (Ca^{2+}) w roślinach (Szatanik-Kloc i in. 2010).

Na rysunku 6 przedstawiono zawartość wapnia w badanych odpadach organicznych.



Rys. 6. Zawartość wapnia w badanych próbkach. Objasnienia w tekście pracy i przy rysunku
Fig. 6. Calcium content in the samples. Explanations in the text and the drawing

Przeprowadzone badania były próbą odpowiedzi na pytanie, który z wybranych odpadów mogłyby być wykorzystane w procesie fermentacji. Wydaje się, że metody analityczne wykorzystywane do badania kompostów (Jerzykiewicz 2004) mogłyby mieć zastosowanie do oceny odpadów organicznych pod kątem wykorzystania ich do produkcji biogazu. Ocena odpadów organicznych poprzez oznaczenie zawartości węgla i metali ciężkich jest ważna. Znajomość zawartości całkowitego węgla organicznego w odpadach wpływa na ilość powstałego biogazu w procesie fermentacji. Do wzrostu mikroorganizmów w komorze fermentacyjnej potrzebne są rozpuszczalne formy żelaza, potasu, magnezu i wapnia oraz pierwiastki śladowe takie jak mangan, miedź, cynk czy kobalt (Jędrzak 2007). Substraty stosowane w biogazowniach zawierają odpowiednie ilości pierwiastków. Jednak niekiedy istnieje potrzeba uzupełnienia wsadów o mikroelementy.

Ilość węgla organicznego jak również metali ciężkich ma ogromny wpływ na wykorzystanie osadów. Jak wspomniano wcześniej, nawet do 50% substancji organicznej zawartej we wsadzie nie ulega konwersji do biogazu (Boyce 1995). Tak więc odpady po fermentacji metanowej mogą być wykorzystane jako źródło węgla w odżywianiu roślin, np. jako nawóz. W tym przypadku ilościowe określenie obecności związków organicznych w osadzie jest ważne, bowiem zawartość substancji organicznej wpływa na poprawę struktury i żyzność gleb. Także istotna jest ich jakość i dostępność dla roślin. Materia organiczna jest ważnym składnikiem gleby, głównym źródłem składników pokarmowych i energii dla organizmów glebowych, posiada znaczny wpływ na biologiczne funkcjonowanie ekosystemów oraz bioróżnorodność (Gonet 2004). Obecność metali zarówno w odpadach organicznych jak i odpadach po fermentacji metanowej może decydować o wykorzystaniu ich jako wsadów do fermentatorów, jak i ewentualnych nawozów organicznych.

WNIOSKI

1. Przeprowadzone badania nie dały jednoznacznej odpowiedzi, który z badanych osadów mógłby być wykorzystany w procesie fermentacji pod kątem satysfakcjonującej wydajności tego procesu. Do pełnej charakterystyki osadów należałoby wykonać kolejne badania takie jak np. pomiar stężenia rozpuszczonego tlenu czy zasolenia.

2. Badane odpady organiczne charakteryzowały się zróżnicowaną zawartością węgla organicznego w granicach od 25 do 47%.

3. Stwierdzone w odpadach organicznych ilości wapnia, manganu i miedzi nie powinny wykazywać negatywnego wpływu na proces fermentacji. Jedynie zawartość żelaza może powodować zmniejszenie ilości tlenu w fermentatorze i to może mieć stymulujący wpływ na proces w fermentacji beztlenowej.

4. W odpadach były niewielkie ilości kadmu, które nie wpływają znacząco na fermentację.

5. W próbkach pomiotu indyczego i osadu z oczyszczalni ścieków z Hajdowa stwierdzono wysokie zawartości ołowiu co może wpływać na rozwój mikroorganizmów uczestniczących w produkcji metanu. Także ewentualne, późniejsze, wykorzystanie osadu pofermentacyjnego z tych odpadów w rolnictwie może być dyskusyjne.

PIŚMIENNICTWO

Ahring B. K., 2003, *Adv. Biochem. Eng./Biotech.*, 81, 1-30.

Alatryste-Mondragon F., Iranpour R., Ahring B. K., 2003, *Water Res.*, 37 (6), 1260-1269.

Bień J., Matysiak B., Wystalska K., 1999. *Stabilizacja i odwadnianie osadów w aspekcie mikrobiologicznym: Osady ściekowe w praktyce*. Politechnika Częstochowska, Częstochowa, 21-26.

- Boyce M. P., 1995, Gas Turbine Engineering Handbook. Design, Operation, Maintenance. Gulf Publishing Company, Houston, USA 1995.
- Brown A.E., van den Heuvel E.J., 1996: Producer gas quality requirements for IGCC gas turbine use: a state of the art review. EC-Project EC/AIR: Air-CT-92-0294, MHP, PO Box 217, 3950 AC. Maarn, The Netherlands.
- Chen Y., Inbar Y., Hadar Y., 1997. Composting and recycling of organic wastes. In: "Modern Agriculture and the Environment". Ed. D. Rosen. Kluwer, Acad. Publ., 341-362.
- Dojlido J., Zerbe J. 1980, 1997. Instrumentalne metody badania wody i ścieków, Warszawa.
- Fabbri R., Mignani N., 2007. Electrical Power Obtained from Burning Landfill Gas Into a Gas Turbine Generator: Experience After One Year of Operation. Materiały firmy TUMA Turbomach.
- Gallardo-Lara F., Nogales R., 1987. Effect of the application of town refuse compost on the soil plant system: a review. Biol. Wasres, 19, 35-62.
- Gonet S., 2004, Problemy ochrony zasobów materii organicznej gleb. W: Metody badań substancji humusowych ekosystemów wodnych i lądowych. str. 7-14. Red. D. Gołębiowska, Wyd. Akad. Roln. w Szczecinie, Szczecin 2004.
- Graczyk M., Sadecka Z., 1993. Persystencja i toksyczność wybranych insektycydów w warunkach fermentacji metanowej. Zeszyt Naukowy, 66, WSI, Zielona Góra.
- Hermanowic W., Dojlido J., Dożańska W., Koziorowski B., Zerbe J., 1999. Fizyko-chemiczne badanie wody i ścieków, Warszawa.
- Impellitteri C.A, Lu Y, Saxe J.K, Allen H.E, Peijnenburg W.J.G.M., 2002. Correlation of the partitioning of dissolved organic matter fractions with the desorption of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn from 18 Dutch soils. Environ. Int., 28, 401-410.
- Jerzykiewicz M., 2004. Analityczne metody badań dojrzałości kompostów. W: „Metody badań substancji humusowych ekosystemów wodnych i lądowych”. Red. D. Gołębiowska. Wydawnictwo AR w Szczecinie. Szczecin 2004, 35-45.
- Jędrzak A., 2007. Biologiczne przetwarzanie odpadów. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Jopony M., Young S.D., 1994. The solid solution equilibria of lead and cadmium in polluted soils. Europ. J. Soil Sci., 45, 59-70.
- Kabata-Pendias A., Pendias H., 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa.
- Kaltschmitt, M.Hartmann, H., 2001. Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren; Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York.
- Reali A. P. M., Penetra R. G., de Carvalho M. E., 2001, Water Sci. Technol., 44 (4), 205-212.
- Ruszkowska M., Wojcieszka-Wyskupajtyś U., 1996. Mikroelementy fizjologiczne i ekologiczne aspekty ich niedoboru i nadmiaru. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 434, 1-11.
- Santillan-Medrano J., Jurinak J.J., 1975. The chemistry of lead and cadmium in soils: solid phase formation. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 29, 851-856.
- Starck Z., 2007. Gospodarka mineralna roślin. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Szatanik -Kloc A., Sokołowska Z., Hajnos M., Alekseeva T., Alekseev A., 2010. Wpływ pH oraz jonów Cu^{2+} i Zn^{2+} na zawartość wapnia w życie. Acta Agrophysica, 15(1), 177-185.
- Zhou De-Zhi, Gu Zong-lian, Xie Si-Qin, Wu Liu-Song, 1991. Effects of synergism and antagonism between metals on toxicity in soils. Pedosphere, 1, 177-197.
- Zielewicz-Madej E., Fukas-Płonka Ł., 2001. Wpływ dezintegracji ultradźwiękowej osadu na efekty fermentacji metanowej. XII konferencja Naukowo-Techniczna Osady Ściekowe Problem Aktualny Częstochowa.

CONTENT OF CARBON AND METAL CATIONS IN SELECTED ORGANIC WASTES IN TERMS OF THEIR USE FOR THE PRODUCTION OF BIOGAS

*Anna Talarowska, Iwona Niemiałkowska-Butrym, Zofia Sokołowska,
Patrycja Boguta*

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences
ul. Doświadczalna 4 St., 20-290 Lublin
e-mail: a.talarowska@ipan.lublin.pl

Abstract. The aim of this study was the chemical analysis of organic wastes in terms of their use as feedstocks for methane fermentation. The study included wastes such as turkey manure, solid sludge from the sewage treatment plant Hajdów, the substrate after the mushrooms growth and the materials obtained after squeezing liquid or drying fermentation residues, as well as charcoal derived from biomass biogasing pyrolysis. The tested materials were analysed for the content of organic carbon and copper, lead, cadmium, manganese and calcium. It was found that the amounts of organic carbon and metals in the investigated wastes were varied. The turkey manure was characterised by the highest content of organic carbon. Noticeable content of lead was found in turkey droppings and in the sediment from Hajdów. Significant amount of iron appeared in the sediment from Hajdów.

Keywords: methane fermentation, sediments, fermentation batches, organic carbon, heavy metals