

AGNIESZKA PILARSKA¹, AGNIESZKA WOLNA-MARUWKA², TOMASZ PIECHOTA³,
KRZYSZTOF PILARSKI⁴, MAGDALENA SZYMAŃSKA⁵, DOROTA WOLICKA⁶

¹Institut Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

²Katedra Mikrobiologii Ogólnej i Środowiskowej
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

³Katedra Agronomii
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

⁴Institut Inżynierii Biosystemów
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

⁵Katedra Nauk o Środowisku Glebowym
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

⁶Institut Geochemii, Mineralogii i Petrologii
Uniwersytet Warszawski

WSTĘPNE BADANIA PULPY POFERMENTACYJNEJ Z BIOGAZOWNI ORAZ JEJ KOMPOSTÓW JAKO POTENCJALNYCH NAWOZÓW ORGANICZNYCH*

PRELIMINARY RESEARCH OF DIGESTATE PULP FROM BIOGAS PLANT
AND ITS COMPOSTS AS POTENTIAL ORGANIC FERTILIZERS

Streszczenie. Wytwarzanie biogazu na bazie materiałów organicznych jest związane z wytwarzaniem znacznej ilości tzw. pulpy pofermentacyjnej. Jej zagospodarowanie nastręcza wiele problemów, głównie ekonomicznych, które wynikają m.in. z małej zawartości suchej masy (ok. 8-12%) oraz zmiennego składu chemicznego, uzależnionego od rodzaju substratu użytego do procesu fermentacji. Korzystnym rozwiązaniem dla zagospodarowania pofermentu jest jego uznanie za środek poprawiający właściwości fizyczne, chemiczne lub biologiczne gleby. Jednakże wykorzystanie tego materiału w charakterze nawozu powinno być poprzedzone kompleksowymi badaniami. Normy jakościowe dla omawianego produktu są ściśle określone w Rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi (Rozporządzenie..., 2008). Poprawę jakości pulpy pofermentacyjnej (m.in. przez mineralizację, higienizację) może zapewnić jej kompostowanie. Rozwiązanie to, jako

*Pracę zrealizowano w ramach grantu Narodowego Centrum Nauki na lata 2010-2013 nr N N313 432539: „Ocena wartości nawozowej i wpływu na glebę pulpy pofermentacyjnej powstającej w procesie wytwarzania biogazu z wykorzystaniem różnych substratów organicznych”.

dobrze rokujące, zostało zrealizowane w niniejszej pracy. W pracy określono wartość pH, zawartość makroelementów, azotu, węgla, metali ciężkich, aktywność dehydrogenaz, fosfatazy i ureazy w poszczególnych próbach. Najwyższy poziom aktywności dehydrogenaz otrzymano w pulpie pofermentacyjnej z osadem ściekowym, która w porównaniu z innymi poddanymi badaniom materiałami charakteryzowała się dużą zawartością azotu i węgla organicznego. Korzystne rezultaty zarejestrowano również w przypadku pulpy i kompostu wytworzonych na bazie gnojowicy – bez dodatków organicznych.

Słowa kluczowe: gnojowica, pulpa pofermentacyjna, kompost, właściwości chemiczne pofermentu i kompostów, aktywność enzymatyczna

Wstęp

Wytwarzanie biogazu na bazie materiałów organicznych ma wymierne korzyści środowiskowe. Można je rozpatrywać na wielu płaszczyznach: jaką metodę zagospodarowania odpadów organicznych, jako odnawialne źródło energii itp. (Pilarska i in., 2014b). Należy wziąć jednak pod uwagę, że produkcji biogazu towarzyszy powstawanie masy odpadowej w postaci tzw. pulpy pofermentacyjnej. W krajach zachodnich, gdzie funkcjonuje wiele biogazowni rolniczych, przefermentowana masa organiczna (pulpa pofermentacyjna) jest stosowana na polach uprawnych (KTBL: Kuratorium..., 2005; Sorda i in., 2013). Zastępowanie świeżych nawozów naturalnych przefermentowaną masą lub kompostami w znacznym stopniu ogranicza emisję uciążliwych odorów oraz redukuje wymywanie azotanów(V) w głąb profilu glebowego, z uwagi na fakt, że po procesie fermentacji dominującą formą azotu mineralnego jest $N-NH_4$ (Paavola i Rintala, 2008; Tambone i in., 2009). Przedstawiony sposób zagospodarowania materii organicznej zmniejsza nadmiar składników azotowych, występujących na terenach z dominacją produkcji zwierzęcej, i sprzyja ich alokacji na tereny wyspecjalizowane w produkcji roślinnej (Holm-Nielsen i in., 2009). W ujęciu globalnym postępowanie takie daje szansę na poprawę bilansu materii organicznej w glebach. Oczywiście, zastosowanie pulpy pofermentacyjnej na polach uprawnych wymaga znajomości jej wartości nawozowej. Należy tu pamiętać, że skład chemiczny pulpy jest determinowany rodzajem użytego substratu i może być różny – dla różnych biogazowni.

Literatura (Debosz i in., 2002; Inubushi i in., 2000; Wolna-Maruwka i Pilarski, 2010) obejmuje coraz większy zasób oryginalnych prac z zakresu oceny właściwości fizyczno-chemicznych pulpy pofermentacyjnej i kompostów oraz możliwości ich praktycznego wykorzystania. Badania prowadzone w zagranicznych ośrodkach badawczych wskazują, że masa pofermentacyjna, w stosunku do materiału wyjściowego poddanego fermentacji, zawiera takie same ilości: N, K, Al, Fe, Cu i Zn, natomiast znacznie mniej P (o 36%), Ca (o 44%) i Mg (o 32,5%) (Marcato i in., 2008). Szczegółowe badania masy pofermentacyjnej prowadzili także Güngör i Karthikeyan (2008). Uzyskane przez nich wyniki potwierdzają zmniejszenie się w masie pofermentacyjnej zawartości zarówno form ogólnych fosforu, jak i form łatwo rozpuszczalnych w stosunku do materiału wyjściowego. Redukcję zawartości wymienionych pierwiastków w pofermencie przypisuje się ich gwałtownej ekstrahowalności, w szczególności z gnojowicy czy obornika. Z kolei Møller i in. (2006) stwierdzili, że w masie pofermentacyjnej znajduje się zale-

dwie 20-25% azotu i 10-15% potasu w stosunku do świeżej gnojowicy. Wyniki te świadczą o znacznym pogorszeniu się wartości nawozowej przefermentowanej masy organicznej, tu szczególnie nawozów naturalnych. Z uwagi na rozbieżności w cytowanych wynikach należy kontynuować badania prowadzące do szczegółowego poznania mechanizmów odpowiedzialnych za utrzymanie stabilności fazy stałej oraz do określenia właściwości fizyczno-chemicznych pulpy pofermentacyjnej.

Analizując wartość nawozową pulpy pofermentacyjnej, należy wziąć również pod uwagę jej efekt następczy. Stosowanie świeżych nawozów naturalnych powoduje powolny rozkład materii organicznej w glebie, czemu towarzyszy uwalnianie się składników pokarmowych mniej więcej przez trzy lata. Stosując przefermentowaną masę organiczną, wprowadzamy do gleby składniki pokarmowe w formach łatwo dostępnych dla roślin. Może to ograniczać następcze działanie tych nawozów. Potwierdzają to badania prowadzone przez Schrödera i Uenk (2006). Rozwiązaniem tego problemu jest kompostowanie pulpy pofermentacyjnej w określonych warunkach (Czekala i in., 2009; Pilarski i Pilarska, 2009) z dodatkiem substancji organicznej o szerokim stosunku C:N. Proces kompostowania w tym przypadku pełni dodatkowo funkcję higienizującą i stanowi ciekawe ujęcie problemu nawozowego zagospodarowania pulpy pofermentacyjnej.

Dobrym wskaźnikiem procesów zachodzących w danym środowisku oraz jakości materiałów organicznych, które mogłyby stanowić pokarm dla roślin, jest analiza poziomu aktywności enzymów. Zdaniem Kieliszewskiej-Rokickiej (2001) najczęściej analizie poddaje się poziom aktywności enzymów biorących udział w degradacji celulozy i ligniny oraz w mineralizacji i obiegu takich pierwiastków, jak azot, fosfor czy siarka.

Jedną z grup enzymów, których poziom aktywności najczęściej jest poddawany analizie, są dehydrogenazy. Ich obecność w podłożu świadczy o występowaniu aktywnych mikroorganizmów. Według Bielińskiej (2009) i Mocek-Płóćiniak (2010) aktywność dehydrogenaz zależy od liczby i gatunków mikroorganizmów, właściwości fizyczno-chemicznych podłoża, sprawności katalitycznej oraz ilości związków biorących udział w reakcjach enzymatycznych.

Istotną rolę w mineralizacji materii organicznej w podłożu odgrywają również fosfataza i ureaza. Fosfataza, katalizując odłączenie reszty fosforanowej od związków organicznych (cukrowców, białek, tłuszczów) oraz innych estrów kwasu fosforowego, umożliwia roślinom oraz innym organizmom korzystanie z fosforu nieorganicznego w postaci anionów $H_2PO_4^-$ i $H_2PO_4^{2-}$ (Gibczyńska i Lewandowska, 2005). Z kolei ureaza jest enzymem, dzięki któremu azot organiczny zawarty w szczątkach zwierzęcych i roślinnych może ponownie zostać zasymilowany przez inne mikroorganizmy czy rośliny i ponownie wykorzystany do budowy białek i innych molekuł niezbędnych do funkcjonowania organizmów (Wyczółkowski i Dąbek-Szreniawska, 2005).

Celem przedstawionej pracy było zbadanie składu chemicznego oraz aktywności enzymatycznej pulpy pofermentacyjnej z biogazowni, utworzonej na bazie gnojowicy i różnych dodatków organicznych, oraz jej odpowiednich kompostów jako potencjalnego nawozu organicznego.

Material i metody

Wytwarzanie pulpy pofermentacyjnej w procesie fermentacji metanowej

W badaniach wykorzystano gnojowicę oraz inne, organiczne odpady w postaci: bu-raka energetycznego, gliceryny, wywaru gorzelnianego oraz osadu ściekowego.

Wymienione substraty poddano fermentacji metanowej w wielokomorowym bio-fermentorze do badań modelowych przebiegu fermentacji (Pilarski i in., 2010). Komory biofermentora znajdują się w płaszczu grzejnym o stałej temperaturze, dzięki czemu możliwe jest przeprowadzenie badań w warunkach mezofilnych (35-38°C), jak i termo-filnych (57-63°C). Wytwarzany biogaz przedostaje się do zbiorników o pojemności 7 dm³, wypełnionych wodą, której poziom obniża się wraz ze zwiększaniem ilości gazu. Każdy zbiornik jest podłączony do zestawu analizatorów składu gazu.

Kompostowanie pulpy pofermentacyjnej w celu wytworzenia wysokojakościowych nawozów organicznych

Proces kompostowania wykonano w dwukomorowym, izotermicznym bioreaktorze do badań modelowych rozkładu materiałów organicznych w warunkach tlenowych i beztlenowych oraz w poszerzonej, czterokomorowej wersji bioreaktora, zbudowanego w ramach projektu realizowanego w 6. Programie Ramowym UE *Clean Compost* (Wol-na-Maruwka i in., 2010). Dzięki odpowiedniej izolacji termicznej oraz kontrolowanemu dopływowi powietrza do badanego odpadu bioreaktor dokładnie odwzorowuje przemiany zachodzące w składowanym beztlenowo lub kompostowanym materiale. Podstawo-wym kryterium oceny technologii kompostowania odpadów jest intensywność i długo-trwałość fazy termofilnej. Temperatura powyżej 65°C i czas powyżej 3 tygodni są gwa-rancją wystąpienia intensywnych przemian fizycznych, chemicznych i biologicznych kompostowanego materiału, a w konsekwencji uzyskania wartościowego nawozu. W trakcie badań nad kompostowaniem dodatkowo analizowano zawartość tlenu we wnętrzu kompostowanego materiału, co pozwoliło uniknąć warunków beztlenowych.

Analiza składu chemicznego pulpy pofermentacyjnej i kompostów

Analizowano:

- pH (w H₂O z użyciem pehametru),
- zawartość suchej masy (metodą suszarkową),
- zawartość azotu ogólnego (metodą Kjeldahla),
- zawartość N-NH₄ (metodą destylacji bezpośredniej),
- zawartość P (spektrofotometrycznie),
- zawartość K, Mg i Ca (metodą ASA),
- zawartość metali ciężkich (metodą ASA po mineralizacji w wodzie królewskiej).

Analiza aktywności enzymatycznej pulpy pofermentacyjnej i kompostów

Analizy biochemiczne polegały na oznaczeniu w pobranych próbkach metodą spek-trofotometryczną odpadów aktywności dehydrogenaz, ureazy i fosfatazy kwaśnej. Po-

ziom aktywności dehydrogenaz oznaczano używając jako substratu 1-procentowego chlorku trójfenylotetrazolu (TTC), po 5-godzinnej inkubacji w temperaturze 30°C, przy długości fal 485 nm. Aktywność enzymu wyrażano w mikromolach TPF na 1 g s.m. odpadu powstałego w czasie 5 h (Thalmann, 1968). Aktywność fosfatazy kwaśnej oznaczano, używając jako substratu p-nitrofenylofosforanu sodu, po godzinnej inkubacji w temperaturze 37°C, przy długości fal 400 nm. Wynik wyrażano w milimolach PNP na 1 kg s.m. odpadu powstałego w ciągu 1 h (Tabatabai i Bremner, 1969). Poziom aktywności ureazy określano przy długości fal 410 nm, używając jako substratu mocznika, po 18-godzinnej inkubacji w temperaturze 37°C. Aktywność enzymatyczną wyrażano w miligramach N-NH_4^+ na 1 kg s.m. odpadu powstałego w czasie 18 h (Hoffmann i Teicher, 1961).

Zastosowane analizy statystyczne

Doświadczenie prowadzono w układzie jednoczynnikowym, głównym czynnikiem był rodzaj odpadu. Wyniki opracowano statystycznie metodą analizy wariancji, a istotność różnic średnich oceniono testem Tukeya (program STATISTICA 11).

Wyniki i dyskusja

W tabeli 1 przedstawiono wyniki analizy laboratoryjnej pulpy pofermentacyjnej i otrzymanych na jej bazie kompostów. Poddane stabilizacji materiały w każdym przypadku charakteryzują się obojętnym lub lekko alkalicznym odczynem pH, wynoszącym od 6,98 do 7,36. Przedstawione dane potwierdzają prawidłowy przebieg zarówno procesu fermentacji, jak i kompostowania. Komposty przygotowane na bazie odpowiednich prób pulp pofermentacyjnych wykazują większą zawartość suchej masy, co częściowo dowodzi zmian fizyczno-chemicznej struktury produktów finalnych.

Pulpa z gnojowicy (1P) cechowała się zawartością suchej masy na poziomie 3,68%, lekko alkalicznym odczynem, dużą zawartością azotu ogólnego w suchej masie (8,97%) i dużym udziałem frakcji amonowej tego pierwiastka (2,6% suchej masy). Dodatki do gnojowicy zwiększyły zawartość suchej masy i zmniejszyły zawartość węgla organicznego w uzyskanym pofermencie, natomiast pozostałe właściwości badanych cieczy zależały od rodzaju zastosowanego kofermentu. Dodatek buraka cukrowego i wywaru gorzelnianego (2P, 4P) podniósł zawartość azotu amonowego do – odpowiednio – 3,6% i 3,9% s.m., natomiast zastosowanie gliceryny zmniejszyło zawartość azotu ogólnego o ponad 2,5% w porównaniu z pulpą z samej gnojowicy (1P).

Kompostowanie pulpy pofermentacyjnej zwiększyło zawartość suchej masy do ponad 20% i spowodowało znaczne zmniejszenie zawartości azotu ogólnego oraz amonowego w suchej masie, nie wpłynęło natomiast na odczyn uzyskanych kompostów, który był zbliżony do odczynu niekompostowanych pulp pofermentacyjnych.

Zawartość składników mineralnych i metali ciężkich była zazwyczaj podobna we wszystkich analizowanych materiałach organicznych. Jedynie w pulpie z osadu ściekowego (5P) i wytworzonym z niej kompoście (10K) stwierdzono około dwukrotnie większą zawartość cynku niż w pozostałych nawozach.

Tabela 1. Skład chemiczny pulpy pofermentacyjnej oraz uzyskanych na jej bazie kompostów dla pięciu różnych substratów

Table 1. Chemical composition of digestate pulp and its composts for five different substrates

Obiekt Object	pH	Sucha masa Dry matter (%)	N _{org}	N-NH ₄	C _{org}	P	K	Mg	Ca	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	Cr
			% s.m. – % d.m.		g·kg ⁻¹ s.m. – g·kg ⁻¹ d.m.						mg·kg ⁻¹ s.m. – mg·kg ⁻¹ d.m.					
1P	7,21	3,68	8,97	2,6	551,2	30,1	62,4	11,4	42,3	0,21	98,5	4,2	0,85	128,5	0,25	4,29
2P	7,36	5,56	7,55	3,5	483,6	28,6	56,2	10,5	41,9	0,33	69,8	5,3	0,96	125,8	0,36	3,96
3P	7,11	5,21	5,37	2,2	442,5	25,1	51,5	9,4	36,5	0,18	80,1	4,1	0,74	112,3	0,24	5,11
4P	6,98	4,86	9,47	3,9	421,6	24,5	60,3	11,3	29,2	0,12	75,6	3,8	0,69	95,2	0,19	4,86
5P	7,01	5,26	9,70	2,8	511,3	28,3	51,2	12,3	33,1	0,42	125,3	4,9	0,99	212,3	0,39	5,56
6K	7,11	22,23	1,30	0,21	512,2	29,2	61,2	10,9	42,1	0,23	80,1	3,9	0,79	125,6	0,19	4,11
7K	7,09	23,58	1,48	0,29	441,6	28,1	55,9	9,6	40,2	0,32	66,6	5,1	0,91	111,9	0,34	3,85
8K	6,98	21,16	1,13	0,18	410,1	24,2	49,9	9,1	35,3	0,16	78,6	3,8	0,66	100,2	0,22	4,96
9K	7,02	20,19	1,93	0,31	395,6	23,5	58,4	10,2	28,5	0,09	69,9	3,2	0,65	89,9	0,15	4,78
10K	7,11	22,23	1,98	0,22	481,5	28,1	50,3	11,5	32,1	0,36	111,2	4,2	0,89	200,1	0,33	5,42

1P – pulpa z gnojowicy, 2P – pulpa z gnojowicy i buraka cukrowego, 3P – pulpa z gnojowicy i gliceryny, 4P – pulpa z gnojowicy i wywaru gorzelnianego, 5P – pulpa z gnojowicy i osadu ściekowego, 6K – kompost z pulpy pofermentacyjnej na bazie gnojowicy, 7K – kompost z pulpy pofermentacyjnej na bazie buraka cukrowego, 8K – kompost z pulpy pofermentacyjnej na bazie gliceryny, 9K – kompost z pulpy pofermentacyjnej na bazie wywaru gorzelnianego, 10K – kompost z pulpy pofermentacyjnej na bazie osadu ściekowego

1P – pulp of manure, 2P – pulp of manure and sugar beet, 3P – pulp of manure and glycerine, 4P – pulp of manure and decoction, 5P – pulp of manure and sludge, 6K – compost of manure pulp, 7K – compost of sugar beet pulp, 8K – compost of glycerine pulp, 9K – compost of decoction pulp, 10K – compost of sludge pulp

Właściwości uzyskanych nawozów organicznych zależą w przeważającej mierze od składu kofermentów użytych do ich wytworzenia oraz zastosowanej metody przetworzenia. Podstawowym surowcem do fermentacji metanowej jest gnojowica, będąca źródłem materii organicznej do produkcji metanu, ale także bardzo dobrym medium do fermentacji innych surowców. Uwagę należy zwrócić także na glicerynę, która jest bogatym źródłem węgla, a w czystej postaci praktycznie nie zawiera azotu, dlatego w pulpie z jej udziałem zawartość azotu była znacznie mniejsza.

Gnojowica jest cennym nawozem organicznym, który jednocześnie może w dużym stopniu zastąpić nawożenie mineralne. Skład badanych pulp pofermentacyjnych odpowiada parametrom surowej gnojowicy. Można zatem przypuszczać, że ich działanie nawozowe będzie zbliżone. W celu pełnego wykorzystania tych nawozów oraz prawidłowego zbilansowania składników pokarmowych w nawożeniu należy jednak wykonywać regularne badanie zawartości podstawowych składników pokarmowych.

Ważnym aspektem oceny przydatności materiałów organicznych, zwłaszcza odpadowych, do nawożenia jest zawartość metali ciężkich. W przedstawionych badaniach zaobserwowano znaczący wzrost zawartości cynku po dodaniu osadu ściekowego. Ilość

tego pierwiastka nie przekraczała jednak dopuszczalnych zawartości dla nawozów organicznych. Duża zawartość metali ciężkich w osadach ściekowych jest poważnym problemem w ich zagospodarowaniu i często dyskwalifikuje ich rolnicze zastosowanie, dlatego zalecany jest ciągły monitoring składu osadów oraz wytworzonych na ich bazie nawozów organicznych. Istotny jest również dobór dodatków o możliwie małej zawartości metali ciężkich. W trakcie przemian, zarówno w beztlenowej fermentacji metanowej, jak i podczas kompostowania, następuje ubytek materii organicznej, czego efektem jest wzrost stężenia składników mineralnych, w tym metali ciężkich. Zbyt duże zażycie metali w trakcie procesu może spowodować przekroczenie dopuszczalnych norm, pomimo początkowo odpowiedniego składu surowców.

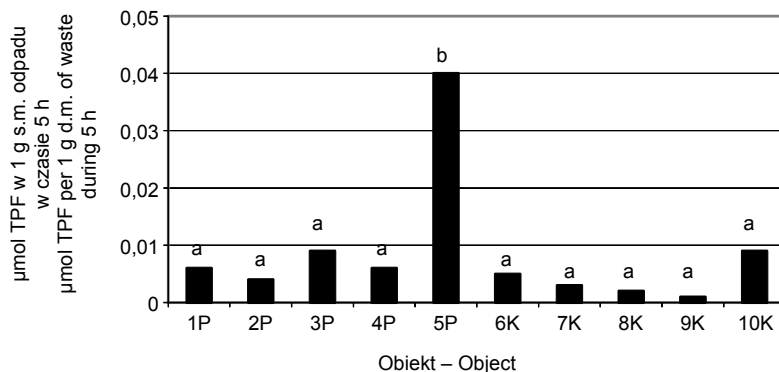
Analiza zawartości poszczególnych pierwiastków w pulpie pofermentacyjnej czy kompostach, jako potencjalnych nawozach, jest niezwykle istotna dla przygotowania odpowiednich ich dawek. W celu uniknięcia nadmiernego stosowania nawozów określa się tzw. wartości standardowe, które mają zapewnić roślinom optymalną dawkę składników odżywczych i zapobiec niekorzystnym zmianom gleby (Blecharczyk i in., 2008; Piechota i in., 2013). Analiza zawartości azotu, fosforu i potasu (NPK) w nawozach naturalnych pozwala na oszacowanie jakości nawozów (Pilarska i in., 2014a). Każdy z tych makroskładników pełni istotną rolę w rozwoju roślin: azot jest niezbędnym składnikiem białek, kwasów nukleinowych oraz chlorofilu, fosfor jest składnikiem adenozynotrójfosforanu (ATP), który dostarcza energii dla procesów metabolicznych rośliny, a potas spełnia wiele funkcji jako budulec enzymów czy regulator tolerancji na wysychanie i regulator wydajności zużycia wody (Hillel, 2012). W przeprowadzonych badaniach skład pierwiastkowy materiałów był determinowany rodzajem kombinacji doświadczalnej.

Podobną prawidłowość zarejestrowano na podstawie przeprowadzonych analiz biochemicznych, gdzie wykazano zróżnicowanie poziomu aktywności badanych enzymów (rys. 1-3) w zależności od badanego materiału.

Tiquia i in. (2002) uważają, iż poziom aktywności enzymów w danym materiale odzwierciedla stopień aktywności metabolicznej mikroorganizmów. Lynch i Painting (1980) wskazują, że nie zawsze liczba mikroorganizmów koreluje dodatnio z poziomem aktywności metabolicznej mikroorganizmów. Duża liczba mikroorganizmów w danym podłożu, zdaniem wyżej wymienionych autorów, może charakteryzować się małą aktywnością metaboliczną.

Jedną z grup enzymów, której poziom aktywności analizowano w przeprowadzonym doświadczeniu, były dehydrogenazy. Zdaniem Brzezińskiej i Włodarczyk (2005) aktywność dehydrogenaz w podłożu jest uznawana za wskaźnik intensywności metabolizmu oddechowego drobnoustrojów, głównie bakterii właściwych i promieniowców. Czynne dehydrogenazy występują jako integralna część nienaruszonych komórek. Szczególne znaczenie dehydrogenaz dla funkcjonowania mikroorganizmów sprawia, że wskaźnik ten jest powszechnie stosowany w określeniu aktywności biologicznej danego materiału organicznego.

Rozpatrując wyniki analiz biochemicznych przedstawione na rysunku 1, wykazano, że największą aktywnością dehydrogenaz charakteryzowała się pulpa pofermentacyjna z dodatkiem osadu ściekowego. Poziom aktywności omawianych enzymów w tej kombinacji był statystycznie istotnie wyższy przy $p < 0,01$ w stosunku do pozostałych obiektów doświadczalnych. Przyczyną powyższego zjawiska była najprawdopodobniej

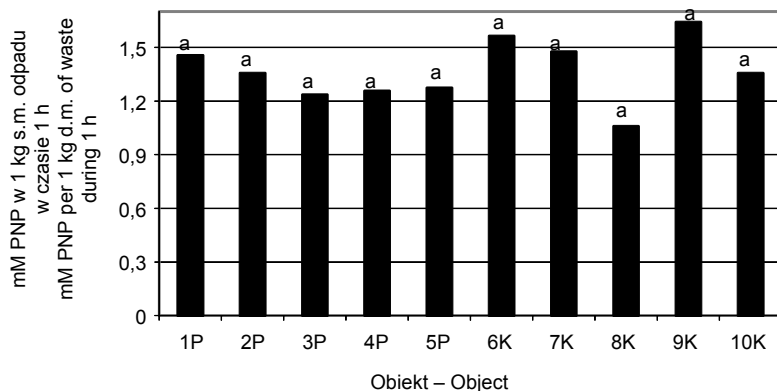


Rys. 1. Aktywność dehydrogenaz w analizowanych materiałach; 1P – pulpa z gnojowicy, 2P – pulpa z gnojowicy i buraka cukrowego, 3P – pulpa z gnojowicy i gliceryny, 4P – pulpa z gnojowicy i wywaru gorzelnianego, 5P – pulpa z gnojowicy i osadu ściekowego, 6K – kompost z pulpy pofermentacyjnej na bazie gnojowicy, 7K – kompost z pulpy pofermentacyjnej na bazie buraka cukrowego, 8K – kompost z pulpy pofermentacyjnej na bazie gliceryny, 9K – kompost z pulpy pofermentacyjnej na bazie wywaru gorzelnianego, 10K – kompost z pulpy pofermentacyjnej na bazie osadu ściekowego. Średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy $p < 0,01$

Fig. 1. Activity of dehydrogenases in the analysed materials; 1P – pulp of manure, 2P – pulp of manure and sugar beet, 3P – pulp of manure and glycerine, 4P – pulp of manure and decoction, 5P – pulp of manure and sludge, 6K – compost of manure pulp, 7K – compost of sugar beet pulp, 8K – compost of glycerine pulp, 9K – compost of decoction pulp, 10K – compost of sludge pulp. Means denoted with the same letters do not differ statistically significantly at $p < 0.01$

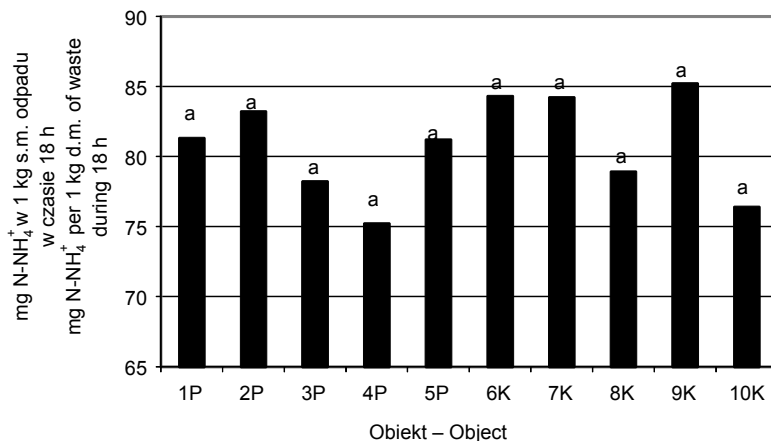
duża zawartość azotu i węgla w związkach organicznych (tab. 1) w omawianej próbie. W pozostałych obiektach doświadczalnych aktywność badanych enzymów utrzymywała się na zbliżonym poziomie. Z danych przedstawionych w tabeli 1 wynika, że kompostowanie pulpy pofermentacyjnej przyczyniło się do zwiększenia zawartości suchej masy, co jednak nie przełożyło się na zmiany poziomu aktywności dehydrogenaz. Można więc domniemywać, że zawartość węgla organicznego oraz wartość pH należały do głównych czynników determinujących poziom aktywności dehydrogenaz. Z rozważań Fuchs (2010) oraz Sundberg i in. (2004) także wynika, że aktywność metaboliczna mikroorganizmów zależy od wartości pH kompostowanych odpadów oraz rodzaju i zawartości materii organicznej w podłożu. Również Januszek i in. (2007) informują o istotnym wpływie wartości pH podłoża na poziom aktywności dehydrogenaz. Zdaniem wymienionych autorów aktywność dehydrogenaz zmniejsza się wraz ze spadkiem wartości pH podłoża.

W przeprowadzonym doświadczeniu analizowano ponadto poziom aktywności fosfatazy kwaśnej i ureazy (rys. 2, 3). Dick i Tabatabai (1993) uważają, iż wymienione enzymy mogą być uznawane za wskaźniki potencjału procesu amonifikacji oraz mineralizacji fosforu organicznego w podłożu.



Rys. 2. Aktywność fosfatazy kwaśnej w analizowanych materiałach; objaśnienia – jak na rysunku 1

Fig. 2. Activity of acid phosphatase in the analysed materials; explanations – as in Figure 1



Rys. 3. Aktywność ureazy w analizowanych materiałach; objaśnienia – jak na rysunku 1

Fig. 3. Activity of urease in the analysed materials; explanations – as in Figure 1

Analizując dane przedstawione na rysunkach 2 i 3, wykazano zwiększoną, jednak nieistotną statystycznie przy $p < 0,01$, aktywność omawianych enzymów w przekompostowanej pulpie pofermentacyjnej z gnojowicy, buraka cukrowego i z dodatkiem wywaru gorzelniczego. Przeprowadzona analiza chemiczna powyższych materiałów nie wykazała, aby charakteryzowały się one większą zawartością azotu organicznego czy fosforu niż pozostałe obiekty doświadczalne. Według Tarafdara i Jungk (1987) aktywność fosfatazy w podłożu silnie koreluje z zawartością substancji organicznej.

Można zatem przypuszczać, że wyższy poziom fosfatazy i ureazy w wymienionych kombinacjach był spowodowany pojawieniem się pewnego rodzaju mikrobiologicznych metabolitów komórkowych, które przyczyniły się do zwiększenia aktywności omawianych enzymów.

Ponadto wykazano, że w odpadach nieprzekompostowanych najwyższy poziom aktywności ureazy odnotowano w pulpie pofermentacyjnej z buraka cukrowego, natomiast fosfatazy kwaśnej – w pulpie wytworzonej z gnojowicy, co wynikało prawdopodobnie ze składu chemicznego wyżej wymienionych prób (tab. 1).

Wnioski

1. Skład chemiczny oraz poziom aktywności enzymów badanych materiałów były determinowane rodzajem tworzących je komponentów oraz procesami, którym zostały poddane (fermentacja, kompostowanie).

2. Kompostowanie pulpy pofermentacyjnej zwiększyło zawartość suchej masy do ponad 20% i spowodowało znaczne zmniejszenie zawartości azotu ogólnego oraz amonowego w suchej masie, nie zmieniło natomiast pH uzyskanej biomasy.

3. Najwyższy poziom aktywności dehydrogenaz zarejestrowano w pulpie pofermentacyjnej z osadem ściekowym, co tłumaczy się znaczną zawartością azotu węgla w materiale organicznym oraz jego stabilnością (pH 7,01).

4. Zwiększoną aktywnością fosfatazy i ureazy charakteryzowała się pulpa pofermentacyjna z gnojowicy, buraka cukrowego i z dodatkiem wywaru gorzelniczego, co w przypadku przeprowadzonych badań wynika bardziej z przyczyn mikrobiologicznych aniżeli składu chemicznego. Wymienione próby zawierają znaczne ilości magnezu, potasu czy wapnia, ale nie fosforu.

Literatura

- Bielińska, E. A. (2009). Fosfatazy w środowisku glebowym. Poznań: Wyd. UP.
- Blecharczyk, A., Małecka, I., Piechota, T., Sawinska, Z. (2008). Wpływ następstwa roślin i nawożenia na plonowanie oraz skład chemiczny bulw ziemniaka odmiany Sante. *Acta. Sci. Pol. Agric.*, 7, 3, 13–19.
- Brzezińska, M., Włodarczyk, T. (2005). Enzymy wewnątrzkomórkowych przemian redoks (oksydoreduktazy). *Acta Agrophys. Rozpr. Monogr.*, 120, 3, 11–26.
- Czekała, W., Pilarski, K., Dach, J., Janczak, D. (2009). Analiza możliwości zagospodarowania pofermentu z biogazowni. *Tech. Roln.*, 4, 1–3.
- Debosz, K., Petersen, S. O., Kure, L. K., Ambus, P. (2002). Evaluating effects of sewage sludge and household compost on soil physical, chemical and microbiological properties. *Appl. Soil Ecol.*, 19, 237–248.
- Dick, W. A., Tabatabai, M. A. (1993). Significance and potential uses of soil enzymes. W: F. B. Metting (red.), *Soil microbial ecology: application in agricultural and environmental management* (s. 95–125). New York: Dekker.
- Fuchs, J. G. (2010). Interactions between beneficial and harmful microorganisms: from the composting process to compost application. Berlin: Springer.

Pilarska, A., Wolna-Maruwka, A., Piechota, T., Pilarski, K., Szymańska, M., Wolicka, D. (2015). Wstępne badania pulpy pofermentacyjnej z biogazowni oraz jej kompostów jako potencjalnych nawozów organicznych. *Nauka Przyn. Technol.*, 9, 2, #19. DOI: 10.17306/J.NPT.2015.2.19

- Gibczyńska, M., Lewandowska, L. (2005). Porównanie zmian zawartości frakcji fosforu i aktywności fosfatazy w glebie inkubowanej. *Inż. Ekol.*, 13, 64–65.
- Güngör, K., Karthikeyan, K. G. (2008). Phosphorus forms and extractability in dairy manure: a case study for Wisconsin on-farm anaerobic digesters. *Bioresour. Technol.*, 99, 2, 425–436.
- Hillel, D. (2012). *Gleba w środowisku*. Warszawa: Wyd. Nauk. PWN.
- Hoffmann, G., Teicher, K. (1961). Ein kolorimetrisches Verfahren zur Bestimmung der Ureaseaktivität im Boden. *Z. Pflanzenernaehr. Dueng. Bodenkd.*, 95, 55–63.
- Holm-Nielsen, J. B., Al Seadi, T., Oleskowicz-Popiel, P. (2009). The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresour. Technol.*, 100, 22, 5478–5484.
- Inubushi, K., Goyal, S., Sakamoto, K., Wada, Y., Yamakawa, K., Arai, T. (2000). Influences of application of sewage sludge compost on N₂O production in soils. *Chemosphere*, 2, 3–4, 329–334.
- Januszek, K., Błońska, E., Stanik, P. (2007). Uwagi dotyczące oznaczania aktywności dehydrogenaz w glebach testem TTC – formazan. *Acta Agrophys.*, 9, 3, 635–644.
- Kieliszewska-Rokicka, B. (2001). Enzymy glebowe i ich znaczenie w badaniach aktywności mikrobiologicznej gleby. W: H. Dahm, A. Pokojowska-Burdziej (red.), *Drobnoustroje środowiska glebowego*. Toruń: Marszałek.
- Krzywy-Gawrońska, E., Krzywy, E., Wołoszyk, C., Izewska, A., Krzywy, I. (2009). Wpływ substancji PRP®FIX na zmiany aktywności enzymatycznej dehydrogenazy, fosfatazy i ureazy w kompostach z komunalnego osadu ściekowego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 537, 207–215.
- KTBL: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. (2005). *Biogasgewinnung und -nutzung*. Leipzig: Institut für Energetik und Umwelt.
- Lynch, J. M., Painting, L. M. (1980). Cultivation and the soil biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 12, 29–33.
- Marcato, C. E., Pinelli, E., Pouech, P., Winerton, P., Guisresse, M. (2008). Particle size and metal distributions in anaerobically digested pig slurry. *Bioresour. Technol.*, 99, 7, 2340–2348.
- Mocek-Plóćiniak, A. (2010). Wykorzystanie aktywności enzymatycznej do oceny wpływu antropogenicznych zmian wywołanych przez metale ciężkie w środowisku glebowym. *Nauka Przyn. Technol.*, 4, 6, #86.
- Møller, H. B., Nielsen, A. M., Andersen, G., Nakakubo, R. (2006). Process performance of biogas plants integrating pre-separation of manure. DIAS Rep. Plant Prod. 123 (S. O. Petersen, red., 12th Ramiran International conference Technology for Recycling of Manure and Organic Residues in a Whole-Farm Perspective. Vol. II), 125–128.
- Natywa, M., Sawicka, A., Wolna-Maruwka, A. (2010). Aktywność mikrobiologiczna i enzymatyczna gleby pod uprawą kukurydzy w zależności od zróżnicowanego nawożenia azotem. *Woda Środ. Obsz. Wiej.*, 10, (30), 2, 111–120.
- Paavola, T., Rintala, J. (2008). Effects of storage on characteristics and hygienic quality of digestates from four co-digestion concepts of manure and biowaste. *Bioresour. Technol.*, 99, 15, 7041–7050.
- Piechota, T., Zbytek, Z., Kowalski, M., Dach, J. (2013). Effect of strip tillage and mechanical weeding on physical soil properties in corn planted after winter cover crop. *J. Res. Appl. Agric. Eng.*, 58, 4, 104–108.
- Pilarska, A., Pilarski, K., Dach, J., Boniecki, P. (2014a). Nowoczesne metody oraz perspektywy zagospodarowania nawozów naturalnych. *Tech. Roln. Ogrodn. Leśn.*, 2, 9–11.
- Pilarska, A., Pilarski, K., Krysztofiak, A., Dach, J., Witaszek, K. (2014b). Impact of organic additives on biogas efficiency at sewage sludge. *Agric. Eng.*, 151, 3, 139–148.
- Pilarski, K., Dach, J., Mioduszewska, N. (2010). Comparison of efficiency of methane production from liquid muck and dung with refined glycerin addition. *J. Res. Appl. Agric. Eng.*, 55, 78–81.

Pilarska, A., Wolna-Maruwka, A., Piechota, T., Pilarski, K., Szymańska, M., **Wolicka, D.** (2015). Wstępne badania pulpy pofermentacyjnej z biogazowni oraz jej kompostów jako potencjalnych nawozów organicznych. *Nauka Przyn. Technol.*, 9, 2, #19. DOI: 10.17306/J.NPT.2015.2.19

- Pilarski, K., Pilarska, A. (2009). Parametry procesu kompostowania. *Tech. Roln. Ogrrodn. Leśn.*, 1, 16–17.
- Piotrowska-Cyplik, A., Cyplik, P., Czarnecki, Z. (2007). Measurement of dehydrogenase activity and traditional method of microorganisms. Mount estimation as indicators of microorganisms activity in compost from municipal sewage sludge. *J. Res. Appl. Agric. Eng.*, 52, 4, 22–26.
- Ros, M., Pascual, J. A., Garcia, C., Hernandez, M. T., Insam, H. (2006). Hydrolase activities, microbial biomass and bacterial community in a soil after long-term amendment with different composts. *Soil Biol. Biochem.*, 38, 3443–3452.
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu. (2008). *Dz. U.*, 119, poz. 765.
- Schröder, J., Uenk, D. (2006). Cattle slurry digestion does not improve the long term nitrogen use efficiency of farms. *DIAS Rep. Plant Prod.* 123 (S. O. Petersen, red., 12th Ramiran International conference Technology for Recycling of Manure and Organic Residues in a Whole-Farm Perspective. Vol. II), 9–12.
- Sorda, G., Sunak, Y., Madlener, R. (2013). An agent-based spatial simulation to evaluate the promotion of electricity from agricultural biogas plants in Germany. *Ecol. Econ.*, 89, 43–60.
- Sundberg, C., Smars, S., Jönsson, H. (2004). Low pH as an inhibiting factor in the transition for mesophilic to thermophilic phase in composting. *Bioresour. Technol.*, 95, 2, 140–150.
- Tabatabai, M. A., Bremner, J. M. (1969). Use of p-nitrophenyl phosphate for assays of soil phosphatase activity. *Soil Biol. Biochem.*, 1, 4, 301–307.
- Tambone, F., Genevini, P., D'Imporzano, G., Adani, F. (2009). Assessing amendment properties of digestate by studying the organic matter composition and the degree of biological stability during the anaerobic digestion of organic fraction of MSW. *Bioresour. Technol.*, 100, 12, 3140–3142.
- Tarafdar, J. C., Jungk, A. (1987). Phosphatase activity in the rhizosphere and its relation to the depletion of soil organic phosphorus. *Biol. Fertil. Soils*, 3, 199–204.
- Thalmann, A. (1968). Zur Methodik der Bestimmung der Dehydrogenase Aktivität in Boden mittels Triphenyltetrazoliumchlorid (TTC). *Landwirtsch. Forsch.*, 21, 249–258.
- Tiquia, S. M., Judy, J. H. C., Tam, N. F. Y. (2002). Microbial population dynamics and enzyme activities during composting. *Compost Sci. Util.*, 10, 150–161.
- Wolna-Maruwka, A., Pilarski, K. (2010). Wpływ wybranych parametrów fizykochemicznych na liczebność mikroorganizmów oraz aktywność dehydrogenaz w kompoście z osadu ściekowego. *Ochr. Środ. Zasob. Nat.*, 42, 212–224.
- Wolna-Maruwka, A., Sawicka, A., Natywa, M., Dach, J. (2010). Aktywność dehydrogenaz oraz zmiany liczebności bakterii mezo- i termofilnych podczas kompostowania osadów ściekowych z różnymi dodatkami w bioreaktorze. *Woda Środ. Obsz. Wiej.*, 10, (30), 2, 211–222.
- Wyczółkowski, A., Dąbek-Szreniawska, M. (2005). Enzymy biorące udział w mineralizacji azotu organicznego. *Acta Agrophys. Rozpr. Monogr.*, 120, 3, 37–61.
- Xue, D., Huang, X. (2013). The impact of sewage sludge compost on tree peony growth and soil microbiological, and biochemical properties. *Chemosphere*, 93, 4, 583–589.

PRELIMINARY RESEARCH OF DIGESTATE PULP FROM BIOGAS PLANT AND ITS COMPOSTS AS POTENTIAL ORGANIC FERTILIZERS

Summary. Biogas production based on organic materials involves generating large amounts of the so-called digested pulp. Its usage poses many problems stemming from the low dry matter content (about 8-12%) and variable chemical content dependent on the type of substrate used for

Pilarska, A., Wolna-Maruwka, A., Piechota, T., Pilarski, K., Szymańska, M., Wolicka, D. (2015). Wstępne badania pulpy pofermentacyjnej z biogazowni oraz jej kompostów jako potencjalnych nawozów organicznych. *Nauka Przyr. Technol.*, 9, 2, #19. DOI: 10.17306/J.NPT.2015.2.19

the fermentation process, among other factors. A beneficial solution for digestate management is to recognise its potential for enhancing the physical, chemical and biological soil properties or parameters. However, comprehensive research should precede the launching of the product as a fertilizer. Quality standards for digested pulp are strictly determined in the Regulation of the Minister of Agriculture and Rural Development (Rozporządzenie..., 2008). The pulp quality can be improved by its composting (through mineralization or hygienization, among others). This promising solution has been realised in this work. The variables determined in particular trials were pH value, the contents of macronutrients, nitrogen, carbon, heavy metals, and the activity of dehydrogenase, phosphatase and urease. The highest activity of dehydrogenase in the pulp with sludge was obtained. This material was characterised by high content of nitrogen and organic carbon, compared with the other tested samples. Beneficial results were also registered, in the case of application of pulp and compost with manure – without organic additives.

Key words: manure, digestate pulp, compost, enzyme activity, chemical properties of digestate and composts

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Agnieszka Pilarska, Instytut Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 31/33, 60-624 Poznań, Poland, e-mail: pilarska@up.poznan.pl

Zaakceptowano do opublikowania – Accepted for publication:
29.12.2014

Do cytowania – For citation:

*Pilarska, A., Wolna-Maruwka, A., Piechota, T., Pilarski, K., Szymańska, M., Wolicka, D. (2015). Wstępne badania pulpy pofermentacyjnej z biogazowni oraz jej kompostów jako potencjalnych nawozów organicznych. *Nauka Przyr. Technol.*, 9, 2, #19. DOI: 10.17306/J.NPT.2015.2.19*