

AGNIESZKA ŁAGOCKA¹, MICHAŁ KAMIŃSKI², MACIEJ CHOLEWIŃSKI³,
WOJCIECH POSPOLITA⁴

¹Katedra Kształtowania Agroekosystemów i Terenów Zieleni

²Zakład Niskoemisyjnych Źródeł Energii i Gospodarki Odpadami

Instytut Inżynierii Rolniczej

Wydział Przyrodniczo-Technologiczny

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

C. K. Norwida 25, 50-375 Wrocław

³Katedra Technologii Energetycznych, Turbin i Modelowania Procesów Ciepłno-Przepływowych

⁴Zakład Mechaniki i Systemów Energetycznych

Wydział Mechaniczno-Energetyczny

Politechnika Wrocławska

Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

E-mail: agnieszka.lagocka@up.wroc.pl

michal.kaminski@up.wroc.pl

maciej.cholewinski@pwr.edu.pl

wojciech.pospolita@pwr.edu.pl

KORZYŚCI EKOLOGICZNE ZE STOSOWANIA POFERMENTU Z BIOGAZOWNI ROLNICZYCH JAKO NAWOZU ORGANICZNEGO

WSTĘP

Odnawiany w ostatnich latach rozwój odnawialnych źródeł energii w polskim sektorze energetycznym jest rezultatem wdrażania założeń krajowej polityki proekologicznej. Nieuchronna konieczność odejścia od produkcji energii elektrycznej i ciepłej na drodze procesów spalania paliw kopalnych oraz wysokie koszty przesyłu energii elektrycznej i ciepła na duże odległości skłaniają do budowy lokalnych elektrowni i ciepłowni, w których wykorzystywana jest energia odnawialna (słoneczna, wiatru, biomasy, geotermiczna). Jedną z takich koncepcji, przeznaczoną szczególnie dla obszarów wiejskich, jest budowa biogazowni rolniczych wykorzystujących lokalne zasoby biomasy odpadowej. Uwzględniając szacowany teoretycznie potencjał surowcowy Polski na około 5 mld m³ wyprodukowanego biogazu (JASIULEWICZ i JANISZEWSKA 2013), a także założenia określające zakres wykorzystania biogazu rolniczego (MG 2010), instalacje biogazowe należy uznać za perspektywiczną gałąź produkcji

energii elektrycznej i ciepłej. Dodatkowym impulsem w poszukiwaniu efektywnych sposobów zmniejszenia zanieczyszczenia środowiska jest narastający kryzys ekologiczny o podłożu antropogenicznym. Do działań proekologicznych należy ograniczenie nadmiernego stosowania nawozów mineralnych i środków ochrony roślin, jako głównego sposobu maksymalizacji produkcji rolniczej. W ten sposób można zapobiec skażeniu gleby oraz wód gruntowych, a w konsekwencji poprawić jakość i zdrowotność zebranego plonu. W ostatnich latach wzrasta zainteresowanie produktami ekologicznymi spowodowane zwiększoną świadomością społeczeństwa i prozdrowotnymi akcjami edukacyjnymi. Produktów takich dostarczają gospodarstwa ekologiczne, w których maksymalnie ograniczono stosowanie chemicznych środków ochrony roślin i nawozów mineralnych. Cechy, które powinno spełniać tego typu gospodarstwo przedstawia ŻELEZIK (2009):

– utrzymywanie i poprawa struktury oraz naturalnej żyzności gleby, stabilności i różnorodności biologicznej, zapobieganie i zwal-

czanie erozji oraz odżywanie roślin głównie poprzez ekosystem gleby;

- ograniczenie do minimum stosowania zasobów nieodnawialnych;

- recykling odpadów i produktów ubocznych pochodzenia roślinnego i zwierzęcego jako środka koprodukcji roślinnej i zwierzęcej;

- rezygnacja ze zdobyczy chemii i częściowo techniki na rzecz bardzo starannej agrotechniki i optymalnego wykorzystania czynników naturalnych;

- utrzymanie żyzności gleby poprzez nawożenie organiczne i odpowiedni płodozmian, z uwzględnieniem wsiewek roślin motylkowych i poplonów;

- ograniczenie nawożenia mineralnego do małych dawek i tylko w formie zmielonej skały;

- rezygnacja z syntetycznych pestycydów na rzecz alternatywnych metod ochrony upraw (tworzenie systemu równowagi ekologicznej, odpowiedni płodozmian i metody uprawy, wykorzystywanie preparatów biologicznych);

- prowadzenie produkcji zwierzęcej jako nieodłącznej części gospodarstwa;

- dążenie do samowystarczalności paszowej gospodarstwa, rezygnacja z pasz i dodatków pochodzenia przemysłowego, a także hormonów;

- zapewnienie zwierzętom ruchu na świeżym powietrzu i legowiska na słomie;

- dążenie do zamkniętego obiegu materii w gospodarstwie.

Jednym ze sposobów ograniczenia stosowania nawozów mineralnych jest zastąpienie ich tzw. pofermentem, tj. masą pofermentacyjną powstałą w biogazowniach. Poferment zawierający materię organiczną oraz ważne związki mineralne jest konkurencyjnym produktem dla nawozów naturalnych, a także alternatywą dla nawozów mineralnych. Poferment w coraz szerszym zakresie jest postrzegany jako wartościowy nawóz zarówno

pod względem ekonomicznym, jak i środowiskowym (KOWALCZYK-JUŠKO i SZYMAŃSKA 2015). Celem pracy jest przedstawienie zalet pofermentu, odpadowego produktu biogazowni rolniczych, jako wartościowego nawozu organicznego.

NAWOŻENIE A ZDROWIE CZŁOWIEKA

Nawożenie polega na wprowadzaniu substancji mających na celu zwiększenie w glebie zawartości składników pokarmowych potrzebnych roślinom oraz poprawienie właściwości chemicznych i fizycznych gleby. Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (Dz.U. 2007, KOCOŃ 2012) rozróżnia cztery grupy nawozów:

- mineralne (nieorganiczne), wyprodukowane na drodze przemian fizycznych, chemicznych lub przerobu surowców mineralnych;

- organiczne, wyprodukowane z substancji organicznych i ich mieszanin, w tym komposty, a także komposty wyprodukowane z wykorzystaniem dżdżownic;

- organiczno-mineralne, będące mieszaninami nawozów mineralnych i organicznych;

- naturalne, odchody zwierząt gospodarskich, tj. obornik, gnojówka, gnojowica, przeznaczone do rolniczego wykorzystania.

Wykorzystanie nawozów naturalnych w rolnictwie i ogrodnictwie wpływa na poprawę jakości uzyskanych plonów i ich prozdrowotnych właściwości ze względu na zawartość w odpowiednich proporcjach makroelementów (azotu, fosforu, potasu) oraz mikroelementów. Ograniczeniu ulega również zawartość azotanów i azotynów w produktach rolniczych i ogrodniczych. W szczególności można to stwierdzić w uprawach marchwi i ziemniaków, które należą do popularnych produktów codziennej diety. Azotany wprowadzają nie są zbyt szkodliwe dla zdrowia człowieka, jednak łatwo ulegają redukcji do bardziej toksycznych azotynów, które mogą

Tabela 1. Minimalna zawartość składników NPK oraz maksymalne stężenie metali ciężkich w nawozach organicznych (ŁAGOCKA i współaut. 2016, Dz.U. 2008a).

Składnik	Nawóz organiczny w postaci		Metal	Maksymalna zawartość [mg/kg]
	stałej	płynnej		
Substancja organiczna [% s.m.]	30	-	Kadm	5
Azot [%]	0,3	0,08	Chrom	100
Fosfor [jako % P ₂ O ₅]	0,2	0,05	Nikiel	60
Potas [jako % K ₂ O]	0,2	0,12	Ołów	140
			Rtęć	2

zakłócić transport tlenu w żywych organizmach, powodując methemoglobinemię. W podwyższonej temperaturze azotyny reagują z drugo- i trzeciorzędowymi aminami, tworząc nitrozoaminy o działaniu mutagennym i kancerogennym (REMBIAŁKOWSKA 2000, GADOMSKA i współaut. 2014). Rośliny (głównie zboża) z upraw nawożonych organicznie cechuje większa zawartość witamin z grupy B. Zwiększona jest w nich także zawartość węglowodanów oraz białka o wysokiej wartości biologicznej (REMBIAŁKOWSKA 2000, GADOMSKA i współaut. 2014). Rośliny pochodzące z upraw ekologicznych nawożonych organicznie charakteryzują się zwiększoną zawartością biopierwiastków. Zwiększoną zawartość żelaza, magnezu, fosforu i potasu stwierdzono w marchwi, ziemniakach, kapuście włoskiej, szpinaku, porach i w sałacie (CRINNION 2010, GADOMSKA i współaut. 2014).

Nawozy organiczne charakteryzują się zwykle niską zawartością arsenu, rtęci, ołowiu i innych metali ciężkich, w odróżnieniu od niektórych nawozów mineralnych (SINGH i PANDEY 2012). W warunkach polskich metale ciężkie, z wyjątkiem kadmu, nie stanowią istotnego zagrożenia na obszarach rolniczych (ARVANITI i współaut. 2006, GADOMSKA i współaut. 2014).

W Tabeli 1 przedstawiono zalecane w Polsce minimalne zawartości wybranych składników w nawozach organicznych, a także dopuszczalne maksymalne zawartości metali ciężkich w nawozach organicznych. W przypadku ich przekroczenia takie nawozy się dyskwalifikuje, gdyż zagrażać

mogą zarówno prowadzonym uprawom, jak i środowisku.

KORZYŚCI ŚRODOWISKOWE I ROLNICZE ZWIĄZANE Z WYKORZYSTANIEM POFERMENTU

Rozwój technologii inwentarskiej przyczynia się do zmniejszenia produkcji nawozów organicznych, dlatego uzyskanie zadawalających plonów upraw rolniczych wymaga bardziej efektywnego wykorzystania odpadów organicznych oraz wprowadzenia do praktyki rolniczej innych produktów nawozowych, np. pofermentu. Wzbogacanie gleby o substancje organiczne poprzez nawożenie wymaga wiedzy i staranności ze względu na konieczność przestrzegania dopuszczalnych stężeń makroskładników (DZ.U. 2008a). W Tabeli 2 zestawiono właściwości pofermentów uzyskanych z różnych mieszanin substratów (ALBURQUERQUE i współaut. 2012).

Poferment uzyskany z gnojowicy zwierzęcej ma odczyn zasadowy o pH około 7-8 (Tabela 2). Kombinacja GB-GK ma najwyższe stężenie chloru, a GB-G1, GB-G2 i GŚ-PO2 charakteryzują się najwyższą koncentracją Na. Przy stosowaniu jako nawozu wyższych dawek pofermentu bogatego w Cl i Na trzeba zachować ostrożność, żeby nie doprowadzić do wzrostu alkalizacji gleby i zahamowania wzrostu roślin. Najwyższą wartością nawozową charakteryzuje się poferment o największej zawartości nieorganicznej formy azotu ($\text{NH}_4\text{-N}$), ponad 70% w mieszaninach, w których bazą jest gnojowica świńska (GŚ)

Tabela 2. Podstawowe właściwości nawozowe pofermentów uzyskanych z wybranych mieszanin substratów (wg ALBURQUERQUE i współaut. 2012).

Poferment	pH	Sucha masa	Azot ogólny	g/dm ³			mg/dm ³					
				$\text{NH}_4\text{-N}$	P	K	Ca	Mg	Na	Zn	Cu	
GŚ-RZ	7,82	43,9	3,6	2,9	1,1	3,1	1993	633	666	49,2	8,4	
GŚ-SŁ	7,92	38,3	3,5	2,6	1,1	3,1	1970	721	699	45,9	7,0	
GŚ-KUK	7,90	28,3	3,4	2,7	1,2	2,7	1863	698	697	62,5	7,8	
GŚ-PO1	7,95	21,0	2,9	2,2	0,5	2,2	799	324	696	84,4	14,3	
GŚ-PO2	7,86	29,5	4,9	3,4	0,8	3,1	828	365	995	140,2	15,1	
GŚ-PO3	8,20	19,5	4,0	3,5	0,2	2,0	218	67	726	34,7	4,0	
GB-G1	5,64	28,9	1,9	1,0	0,5	1,8	1550	267	1164	18,1	10,8	
GB-G2	7,35	38,3	2,3	0,9	0,4	1,6	1735	333	1842	28,3	13,0	
GB-G3	6,35	72,9	0,6	0,4	0,1	0,8	192	79	66	10,6	1,4	
GB-SP1	7,86	17,6	1,4	0,8	0,2	1,1	1008	257	276	7,7	2,8	
GB-SP2	7,90	90,1	1,5	0,9	0,2	1,2	1035	314	303	8,0	3,1	
GB-GK	7,50	31,4	4,0	2,4	0,8	3,1	4026	698	746	27,7	10,8	

Oznaczenia: GŚ – gnojowica świńska, GB – gnojowica bydłeca, dodatki: RZ – pozostałości rzepaku (9,6%), SŁ – pozostałości słonecznika (4,5%), KUK – pozostałości kukurydzy (5,4%), PO1 i PO2 – pasteryzowane odpady z rzeźni (0,6%) i (3,8%), PO3 – osad z oczyszczalni ścieków z ubojni (1,0%) i ścieki z produkcji biodiesla (6,5%), G1 – gliceryna (4,0%), G2 i GP 3 – gliceryna (6,0%), SP1 i SP2 – pozostałości skórki z pomarańczy (5,0%) i (10,0%), GK – gnojówka bydłeca (4,3%) oraz kiszonka owsa i kukurydzy (11,6%).

oraz 39–61% w mieszaninach gnojowicy bydłowej z dodatkiem gliceryny. Niestety forma ta jest nietrwała i szybko może się ulatniać w środowisku zasadowym wytwarzanym przez poferment. Dodatkowo, $\text{NH}_4\text{-N}$ w sprzyjających warunkach ulega szybko nityfikacji, co ułatwia dostępność dla roślin, ale także umożliwia wymywanie w głąb profilu glebowego do wód gruntowych, stwarzając niebezpieczeństwo ich skażenia. GŚ-RZ, GŚ-SŁ i GŚ-KUK razem z GŚ-PO2 i GB-GK wykazały najwyższą zawartość P, K, Ca i Mg. Wysoką zawartość cynku i miedzi stwierdzono w pofermencie, którego głównymi składnikami były gnojowice świń i bydła. Stężenie tych dwóch metali było szczególnie wysokie w mieszaninach, których podstawą była gnojowica świńska.

Porównując nawozy organiczne z nawozami pofermentacyjnymi można zauważyć, że stosunek węgla do azotu w gnojowicy surowej wynosi 6,8:1,0. W przypadku substancji pofermentacyjnej wielkości te są znacznie większe i mieszczą się w granicach od 15,0:1,0 do 25,0:1,0. Rośliny są w stanie lepiej wykorzystać składniki zawarte w gnojowicy po jej fermentacji. W porównaniu do surowych nawozów organicznych wykorzystanie to wzrasta z 50% do 75–80%. Zastosowanie pofermentu zmniejsza ryzyko eutrofizacji wód oraz zanieczyszczenia wód gruntowych związkami azotu i fosforu, tak jak to może mieć miejsce przy zastosowaniu surowych nawozów organicznych, tj. obornika czy gnojowicy. W przypadku stosowania obornika istnieje ryzyko, że wraz z nawozem wprowadzimy do gleby patogeny oraz nasiona chwastów. Stosując nawóz z pofermentu można uniknąć takiego ryzyka (KOWALCZYK-JUŚKO i SZYMAŃSKA 2015).

PRODUKCJA BIOGAZU Z SUROWCÓW ROLNICZYCH I ICH WPŁYW NA JAKOŚĆ PRZYSZŁEGO NAWOZU

Możliwość i opłacalność produkcji biogazu rolniczego zależy głównie od ilości i jakości dostępnych substratów, które obejmują zarówno biomasę zebraną z upraw rolniczych i energetycznych, jak i substratów uzyskanych z hodowli zwierząt. Ze względu na duże powierzchnie użytków rolnych Polska ma możliwość przeznaczenia ich części na uprawę roślin do produkcji biogazu. Według MICHALSKIEGO (2002) największy średni uzysk biomasy można otrzymać z uprawy buraków pastewnych (80 t/ha), zielonki lub kiszonki z kukurydzy (50 t/ha i 45 t/ha), ziemniaków i trawy (40 t/ha) oraz pszenicy (30 t/ha). Potencjał produkcji biomasy na trwałych użytkach zielonych, po zabezpieczeniu potrzeb paszowych na obecnym poziomie produkcji zwierzęcej, wynosi rocznie ok.

2,3 mln ton przy produkcji ekstensywnej, a maksymalnie 3,4 mln ton przy produkcji intensywnej (GIS i współaut. 2013).

Głównymi substratami dostarczonymi do biogazowni rolniczych są gnojowica i obornik. Usuwany z obór, chlewni lub ferm drobiowych nawóz jest wstępnie składowany w zbiornikach (gnojowica) lub na lagunach (obornik). Składowanie jest konieczne, ponieważ ze względu na wymogi sanitarne i konieczność przestrzegania kalendarza zabiegów agrotechnicznych, pola uprawne można zasilać tego typu świeżymi nawozami jedynie w określonych terminach (Dz.U. 2008b). Podczas składowania nawozy te ulegają naturalnemu procesowi fermentacji tlenowej, a także uwalniają do atmosfery znaczne ilości metanu z fermentacji beztlenowej. Odchody zwierzęce są substratem o dużej zawartości wody, co sprawia, że w procesie produkcji biogazu konieczne jest dostarczanie większych ilości tego substratu (w porównaniu np. do kiszonki), aby uzyskać taką samą ilość produktu finalnego. Obornik jest produktem pochodzącym z hodowli wszystkich zwierząt gospodarskich, przy czym najwięcej można go uzyskać od krów mlecznych i byczków, odpowiednio 30–50 i 28–26 kg/(dzień·szt.) oraz jałówek (18–26 kg/(dzień·szt.)), loch (10–20 kg/(dzień·szt.)) i knurów (10–16 kg/(dzień·szt.)). Stosunkowo mało obornika uzyskuje się w hodowli cieląt (6–12 kg/(dzień·szt.)), tuczników (3–8 kg/(dzień·szt.)), a najmniej od ptactwa domowego, zwłaszcza kurcząt (0,08–0,12 kg/(dzień·szt.)). Produktem nawozowym w hodowli bydła i trzody jest także gnojowica (ROMANIUK 2005).

Właściwości chemiczne obornika i kompostów różnią się znacznie i zależą głównie od użytej ściółki i rodzaju zwierząt produkujących substraty w postaci odchodów, m.in. bydła, koni, trzody chlewnej, owiec, drobiu. Przykładowy skład chemiczny obornika pozyskiwanego od zwierząt gospodarskich i wykorzystywanego jako nawóz organiczny zamieszczono w Tabeli 3.

Z każdej instalacji biogazowej, w zależności od wyboru kompozycji substratów, różny będzie nie tylko uzysk i skład biogazu, ale także właściwości półpłynnego produktu ubocznego, pofermentu stanowiącego potencjalny nawóz organiczny. Wykorzystywanie substratów zawierających duże ilości metali ciężkich, patogenów i inhibitorów fermentacji może spowodować nie tylko obniżenie wydajności instalacji biogazowej, ale także znacznie pogorszenie jakości pofermentu. Z tego też względu stosowanie mieszanek z osadami ściekowymi lub odpadami poubojowymi niepoddanych higienizacji (co w obu przypadkach stanowi nierzadko sposób ich utylizacji) może uniemożliwić zastosowanie

Tabela 3. Zawartość makro- i mikroelementów w oborniku zwierząt gospodarskich (wg KAMIŃSKIEGO i MARKIEWICZA 2014).

Pochodzenie obornika	Makroelementy [%]					Mikroelementy [mg/kg]				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	B	Cu	Mn	Mo	Zn
Bydło	0,47	0,29	0,67	0,45	0,16	4,46	4,46	64,65	0,29	34,60
Trzoda chlewna	0,49	0,71	0,68	0,44	0,16	3,60	5,38	63,22	0,33	48,51
Konie	0,54	0,29	0,95	0,45	0,16	3,51	3,36	70,41	0,25	25,91
Owce	0,76	0,40	1,25	0,61	0,21	5,81	5,14	84,22	0,34	32,37
Drób	1,20	0,79	0,80	0,73	0,21	9,59	8,73	76,63	0,52	66,60
Obornik mieszany	0,49	0,31	0,68	0,44	0,16	4,65	5,05	73,31	0,34	40,50

pofermentu jako nawozu. Potencjał podłoża stosowanego w hodowli zwierząt gospodarskich w przypadku produkcji biogazu ma także wpływ na ilościowy i jakościowy uzysk pulpy pofermentacyjnej. Zasadniczym wyznacznikiem każdej instalacji biogazowej jest moc nominalna w procesie generacji energii elektrycznej i ciepła. Podczas tego procesu następuje produkcja pofermentu. Uzyskany produkt może być wykorzystany w gospodarstwie własnym lub sprzedawany jako wartościowy nawóz organiczny.

SUBSTRATY DO PRODUKCJI BIOGAZU A JAKOŚĆ POFERMENTU

Wydajność produkcji biogazu zależy od odpowiedniego doboru substratów (Tabela 4). Obecnie dominującym substratem ze względu na jego dostępność jest gnojowica. Substancje organiczne charakteryzują się różnym tempem rozkładu i różną ilością biogazu powstałego w wyniku tego rozkładu.

Coraz częściej do biogazowni dostarczana jest stała biomasa rolnicza (siano, odpady rolnicze, słoma). W Niemczech powszechną aprobatą cieszą się uprawy roślin energetycznych (kukurydza, trawa, koniczyna, ziemniaki i in.) z wyłącznym przeznaczeniem do produkcji biogazu, tzw. uprawy celowe. Rośliny z upraw energetycznych mogą być wykorzystywane w całości lub części (słoma, owoce, bulwy), a także w postaci kiszonek.

Uwzględniając aspekty ekonomiczne należy przyjąć, że do fermentacji najkorzystniejsze jest wykorzystywanie odpadów organicznych i roślin z upraw celowych. W porównaniu z odpadami roślinnymi, odchody zwierzęce charakteryzują się mniejszym potencjałem produkcyjnym w procesie wytwarzania biogazu (MAE 2009). Podczas fermentacji rozkładowi najczęściej ulega od 30 do 60% materii organicznej wprowadzonej w postaci substratów do komory bioreaktora. Oprócz biogazu wytwarzanego podczas fermentacji metanowej powstają znaczne ilości

Tabela 4. Wydajność substratów w produkcji biogazu (wg BPP 2010).

Substraty	Produkcja biogazu [m ³ /t _{substratu}]	Substraty	Produkcja biogazu [m ³ /t _{substratu}]
Gnojowica bydłowa	25	Odpady zielone	110
Gnojowica świńska	36	Odpady ziemniaczane	110
Obornik bydłowy	45	Serwatka	55
Obornik świński	60	Krajanka buraczana	75
Obornik kurzy	90	Wysłodziny browarniane	115
Ziemniaki	130	Tłuszcz odpadowy	950
Burak cukrowy	175	Odpady poubojowe	205
Słonecznik	65	Melasa	310
Rzepak	46	Odpady piekarnicze	525
Kiszonka traw	185	Gliceryna odpadowa	550
Żyto – kiszonka całych roślin	195	Makuchy rzepakowe	950
Kiszonka kukurydzy	210	Wytłoki owoców	180
Wywar gorzelniczny	80	-	-

pofermentu. W zależności od rodzaju wykorzystanego substratu masa pofermentacyjna charakteryzuje się zróżnicowanym składem chemicznym i zawartością wody. Ten drugi czynnik umożliwia kwalifikację pofermentu jako frakcję stałą lub ciekłą i dalsze zagospodarowanie tych produktów.

Biogazownie są najczęściej wyposażone w separatory mechaniczne, np. prasy lub wirówki umożliwiające oddzielenie frakcji stałej od ciekłej. W taki sposób, z masy pofermentacyjnej uzyskuje się frakcję stałą o zawartości około 30% suchej masy. Frakcja stała wyglądem zbliżona jest do świeżego kompostu. Składa się z części organicznych, zawierających substancje odpowiedzialne za rozwój próchnicy i znaczne ilości związków mineralnych. Stałą część masy pofermentacyjnej, w zależności od potrzeb oraz dostępnej technologii, można wykorzystać do produkcji nawozu na użytki rolne bądź jako paliwo w postaci pelletu lub brykietu wykorzystywanego powszechnie do celów grzewczych.

Stosowanie pofermentu jako nawozu zwiększa zawartość materii organicznej w glebie, co pozytywnie wpływa na jej pojemność wodną i sorpcyjną oraz stanowi wartościowe źródło składników pokarmowych dla prowadzonych upraw, mogące w znacznym stopniu ograniczyć stosowanie nawozów mineralnych. Wykorzystując nadmiarową energię cieplną z instalacji biogazowych do suszenia masy pofermentu, otrzymuje się finalnie jednolity produkt o zmniejszonej masie i gęstości nasypowej, cechujący się zwiększoną zawartością składników pokarmowych (KOWALCZYK-JUŠKO i SZYMAŃSKA 2015). Frakcja ciekła, będąca odciekiem z separacji mechanicznej, charakteryzuje się znaczną ilością rozpuszczalnych form azotu, fosforu i potasu, stanowiąc płynny nawóz organiczny wysokiej jakości. Zarówno frakcja ciekła, jak i stała z powodzeniem mogą być wykorzystywane w zabiegach agrotechnicznych jako produkty nawozowe, a będąc ubocznymi produktami fermentacji mogą stanowić źródło dodatkowego dochodu po wprowadzeniu do obrotu handlowego.

PROBLEMATYKA PRAWNA ZWIĄZANA Z POFERMENTEM

W przypadku stosowania nawozów organicznych pochodzących z pulpy pofermentacyjnej należy pamiętać o konieczności przestrzegania szeregu wymagań prawnych dotyczących sposobów magazynowania substratów i pofermentu na terenie biogazowni (Dz.U. 2001). Z kolei ustawa o nawozach i nawożeniu z dnia 10 lipca 2007 r. (Dz.U. 2007) określa maksymalną dawkę azotu zawartego w nawozie organicznym w ilości 170 kg azotu na 1 hektar użytków rolnych. Zapis taki

umożliwia określenie maksymalnej, dozwolonej ilości pofermentu, który można zastosować na jednostce powierzchni, a także określiła areal gruntów potrzebny do całkowitego zagospodarowania masy pofermentacyjnej z instalacji biogazowej. W biogazowni konieczne jest magazynowanie pofermentu powstałego w procesie produkcji biogazu przez minimum 3 miesiące. Okres ten może się wydłużyć, gdy przed 1 grudnia lub po 1 marca będzie utrzymywać się pokrywa śnieżna lub gleba będzie zamrznięta. Ponadto, zaleca się stosowanie nawozów organicznych w okresie od 1 marca do 30 listopada ze względu na wymagania klimatyczne i wegetacyjne prowadzonych upraw. Ustawa wprowadza także szereg dodatkowych ograniczeń dotyczących stosowania nawozów, m.in. zabrania się stosowania nawozów na glebach zalanych wodą, przykrytych śniegiem, zamrzniętych do głębokości 30 cm oraz podczas opadów deszczu, a także nie wolno stosować nawozów naturalnych w postaci płynnej podczas wegetacji roślin przeznaczonych do bezpośredniego spożycia przez ludzi.

PODSUMOWANIE

Biogazownie, poza głównym produktem, biogazem, produkują także znaczną ilość masy pofermentacyjnej (pofermentu). Może być ona wykorzystywana jako nawóz organiczny, co zwiększa opłacalność przetwarzania substratów w instalacjach biogazowych. Prawidłowo dobrana ilość i rodzaj substratów przeznaczonych jako wsad do komory fermentacyjnej biogazowni zapewnia wysoką jakość pofermentu. Właściwe nawożenia upraw rolniczych i ogrodniczych zapewnia produkcję wartościowej żywności, co pośrednio wpływa na zdrowie i dobrostan człowieka. W rolnictwie ekologicznym, obok naturalnych nawozów organicznych, celowe jest wykorzystywanie także produktów nawozowych wytwarzanych z masy pofermentacyjnej.

Streszczenie

Antropogeniczne zmiany klimatu związane z szybkim wzrostem zużycia paliw kopalnych przyczyniają się do poszukiwań nowych form wytwarzania energii elektrycznej i ciepła oraz ograniczenia destrukcyjnego wpływu odpadów na środowisko naturalne. Znaczna ilość odpadów pochodzących zarówno z upraw rolniczych, jak i hodowli zwierząt gospodarskich stanowi poważny problem ich dalszego zagospodarowania. Jednym z rozwiązań może być zwiększenie liczby biogazowni rolniczych, dzięki którym z odpadów rolniczych produkowany jest biogaz, a z pozostałości pofermentacyjnej wartościowy nawóz, poferment. W pracy przedstawiono zagadnienia związane z wykorzystaniem masy pofermentacyjnej jako nawozu organicznego oraz omówiono korzyści środowiskowe wynikające ze stosowania tego typu nawożenia, szczególnie w gospodarstwach ekologicznych.

LITERATURA

- ALBUQUERQUE A. J., FUENTE C., FERRER-COSTA A., CARRASCO L., CEGARRA, ABAD M., BERNAL P. M., 2012. Assessment of the fertilizer potential of digestates from farm and agroindustrial residues. *Biomass Bioen.* 40, 181-189.
- ARVANITI F., MAGKOS F., ZAMPELAS A., 2006. Organic food: buying more safety or just peace of mind? A critical review of the literature. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 46, 23-56.
- BPP, 2010. Uwarunkowania lokalizacyjne i proces inwestycyjny budowy biogazowni rolniczych w województwie lubelskim. Biuro Planowania Przestrzennego w Lublinie.
- CRINNION W., 2010. Organic foods contain higher levels of certain nutrients, lower levels of pesticides and may provide health benefits for the consumer. *Environ. Med.* 15, 4-12.
- Dz.U., 2001. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów. *Dz. U. z 2001 r. nr. 112 poz. 1206.*
- Dz.U., 2007. Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu. *Dz. U. z 2007 r. nr 147 poz. 1033 z późn. zm.*
- Dz.U., 2008a. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 16 kwietnia 2008 r. w sprawie szczegółowego sposobu stosowania nawozów oraz prowadzenia szkoleń z zakresu ich stosowania. *Dz. U. Nr 80 poz. 479.*
- Dz.U., 2008b. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu. *Dz. U. Nr 119 poz. 765.*
- GADOMSKA J., SADOWSKI T., BUCZKOWSKA M., 2014. Ekologiczna żywność jako czynnik sprzyjający zdrowiu. *Probl. Hig. Epidem.* 95, 556-560.
- GIS W., ŻÓLTOWSKI A., GRZELAK P., 2013. Potencjał produkcji biogazu w Polsce. *Zesz. Nauk. Inst. Pojazdów* 1, 13-20.
- JASIULEWICZ M., JANISZEWSKA A. D., 2013. Potencjalne możliwości rozwoju biogazowni na przykładzie województwa zachodniopomorskiego. *Inż. Roln.* 2, 91-102.
- KAMIŃSKI E., MARKIEWICZ W., 2014. Technika nawożenia nawozami naturalnymi. ITP. Falenty, Kludzienko.
- KOCOŃ A., 2012. Nawozy naturalne i organiczne – współczesne zasady stosowania. IUNG PIB Puławy.
- KOWALCZYK-JUŚKO A., SZYMAŃSKA M., 2015. Poferment nawozem dla rolnictwa. Fundacja na rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa, Warszawa.
- ŁAGOCKA A., KAMIŃSKI M., CHOLEWIŃSKI M., 2016. Biogas fermentation by-products – the utilization as a full-value fertilizer and its impact on the rural areas. II Int. Conf. Human Ecology. *Wyd. Uczel. Zachodniopom. Uniw. Technol. W Szczecinie*, 124-125.
- MAE, 2009. Biogaz rolniczy – produkcja i wykorzystanie. Mazow. Agencja Energ. Warszawa.
- MG, 2010. Kierunki rozwoju biogazowni rolniczych w Polsce na lata 2010-2020. Min. Gosp. Warszawa.
- MICHALSKI T., 2002. Kukurydza źródłem surowca dla różnych gałęzi przemysłu. *Więś Jutra*, 6, 47, 53-55.
- REMBIAŁKOWSKA E., 2000. Żywność i żywność ekologiczna. *Wiad. Zielar.* 42, 5, 6-8.
- ROMANIUK W., 2005. Magazynowanie nawozu naturalnego. *Poradnik. IBMER Warszawa; Duńskie Służby Doradztwa Rolniczego; Wydanie II.*
- SINGH A., PANDEY J., 2012. Metal contamination and health risk from consumption of organically grown vegetables influenced by atmospheric deposition in a seasonally dry tropical region of India. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 89, 384-389.
- ŻELEZIK M., 2009. Dlaczego rolnictwo ekologiczne. *Rocznik Świętokrzyski. Ser. B, Nauki Przyr.* Kielce 30, 155-166.

KOSMOS Vol. 65, 4, 601-607, 2016

AGNIESZKA ŁAGOCKA¹, MICHAŁ KAMIŃSKI², MACIEJ CHOLEWIŃSKI³, WOJCIECH POSPOLITA⁴

¹Department of Agroecosystems and Green Areas Management, ²The Department of a Low Emission Energy Sources and Waste Management, The Institute of Agricultural Engineering, The Faculty of Life Sciences and Technology, Wrocław University of Environmental and Life Sciences, C. K. Norwida 25, 50-375 Wrocław, ³The Chair of Energy Technologies, Turbines and Modelling of Thermal and Fluid Flow Processes, ⁴The Department of Mechanical Engineering and Power Systems, The Faculty of Mechanical and Power Engineering, Wrocław University of Science and Technology, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, e-mail: agnieszka.lagocka@up.wroc.pl, michal.kaminski@up.wroc.pl, maciej.cholewinski@pwr.edu.pl, wojciech.pospolita@pwr.edu.pl

HEALTH AND ENVIRONMENTAL BENEFITS OF UTILIZATION OF POST-FERMENTATION PULP FROM AGRICULTURAL BIOGAS PLANTS AS A NATURAL FERTILIZER

Summary

Anthropogenic changes of climate, related to the rapid increase in consumption of fossil fuels, call for the search of new forms of energy and heat production, and reduction of the destructive impact of wastes on the environment. Growing amount of wastes from both agricultural and livestock production poses a major problem for further development of farming. One of solution of the problem might be an increase in the number of biogas power plants producing biogas from agricultural wastes and valuable fertilizer product – post-fermentation pulp. The article presents issues related to the use of the post-fermentation pulp as an organic fertilizer and discusses environmental benefits from use of this kind of fertilizer especially in organic farms.