

**Beata Jurga, Ryszard Winiarski**

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy  
w Puławach*

INNOWACJE W ZAGOSPODAROWANIU I STOSOWANIU  
NAWOZÓW NATURALNYCH\*

**Słowa kluczowe:** nawożenie wglębne, zakwaszanie gnojowicy, fermentowanie gnojowicy, kompostowanie

---

**Wstęp**

W Polsce za nawozy naturalne uważa się: obornik, gnojówkę i gnojowicę, pochodzące od zwierząt gospodarskich, z wyjątkiem odchodów pszczoł i zwierząt futerkowych, bez dodatków innych substancji oraz guano, przeznaczone do rolniczego wykorzystania (44). Obornik jest to nawóz składający się z odchodów (kału i moczu) zwierząt gospodarskich oraz ściółki. Gnojówka, powstająca w warunkach chowu zwierząt na płytkiej ściółce, jest to przefermentowany mocz z niewielką ilością kału, przenikający przez warstwę ściółki i gromadzony w specjalnych zbiornikach. Gnojowica jest płynnym nawozem powstającym w bezściółowym systemie chowu w procesie fermentacji odchodów zwierząt z domieszką wody z mycia stanowisk i pojenia. Nawozy naturalne są tanim źródłem składników pokarmowych dla roślin oraz ważnym źródłem materii organicznej kształtującej żyzność gleby (23). Niemniej ich nieumiejętne przechowywanie i stosowanie – stwarza ryzyko emisji związków fosforu i azotu do wód i atmosfery. Wielkość emisji zależy m.in. od stosowanej dawki, sposobu i terminu stosowania nawozów (21).

Zasady przechowywania i stosowania nawozów naturalnych zawarte są w polskich aktach prawnych (39, 44). Ponadto, zgodnie z zaleceniem tzw. dyrektywy azotowej (5), w Polsce opracowany został Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej, który zawiera zbiór przyjaznych środowisku praktyk rolniczych oraz zasady aplikowania i przechowywania nawozów naturalnych. Ich przestrzeganie zapewnia zrównoważone gospodarowanie składnikami pokarmowymi pochodzącymi z nawozów naturalnych i mineralnych, tym samym ogranicza rozpraszanie składników poza ekosystem rolniczy.

---

\* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.6 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

W Polsce, według różnych źródeł, w ciągu roku powstaje od 100 do 112 mln ton nawozów naturalnych, które są źródłem znaczącej ilości azotu, fosforu i pozostałych składników (17, 20). W związku z przestawianiem produkcji zwierzęcej na system utrzymania bezściółkowego, zmniejsza się masa wytwarzanego obornika, natomiast wzrasta ilość gnojowicy (20). Coraz więcej gospodarstw rolnych z dużą obsadą zwierząt staje przed ogromnym wyzwaniem, jakim jest konieczność zagospodarowania płynnych nawozów naturalnych, zwłaszcza gnojowicy.

Celem pracy jest omówienie najważniejszych, dostępnych na rynku innowacyjnych technik stosowania, przetwarzania i zagospodarowania nawozów naturalnych lub ich nadwyżek, które nie mogą być natychmiast zastosowane na polu. Na potrzeby tej pracy przyjęto definicję innowacyjności według Organizacji Współpracy Gospodarczej i Rozwoju OECD, według której za innowacje uważa się „najróżniejsze (...) zjawiska o charakterze technicznym, organizacyjnym, społecznym (...), których efektem są nowe lub istotnie ulepszone (*new or significantly improved*) produkty i procesy”. Produkty, procesy i metody (techniczne, organizacyjne i marketingowe) są innowacjami, jeśli są nowe lub istotnie ulepszone, przynajmniej z punktu widzenia wdrażającego je regionu lub przedsiębiorstwa czy pojedynczego gospodarstwa (34).

### Zakwaszanie gnojowicy

Sposób przechowywania i technika aplikacji nawozów naturalnych ma zasadniczy wpływ na wielkość strat składników nawozowych i ich skutki środowiskowe (23). Jednym z promowanych obecnie innowacyjnych rozwiązań, ograniczającym gazowe straty azotu, jest zakwaszanie gnojowicy. Dotychczas zabieg ten został z powodzeniem wdrożony do praktyki wyłącznie w Danii. Celem zakwaszania jest obniżenie pH do wartości 4,5-6,8 w zależności od rodzaju i składu gnojowicy (8), dzięki czemu można ograniczyć straty azotu w postaci jonów amonowych. Według różnych autorów, możliwe jest zredukowanie strat gazowych amoniaku o 40-60% (9). Zakwaszanie może odbywać się na różnych etapach – od wytworzenia do aplikacji (tj. w oborach, w kanałach odprowadzających gnojowicę, w zbiorniku magazynującym) lub w trakcie aplikacji na pola, co jest najbardziej pionierskim rozwiązaniem. Metodę łączącą zakwaszanie gnojowicy zarówno w oborze, kanałach, jak i w zbiorniku magazynującym opisuje Ka i (19). Nowa technika (opracowana i wprowadzona w Danii), polega na zakwaszaniu gnojowicy w specjalnym zbiorniku przez kontrolowane dodawanie kwasu siarkowego do momentu obniżenia pH do około 5,5. Zakwaszoną zawiesinę pompuje się z powrotem do budynków inwentarskich, prowadząc do obniżenia pH świeżych odchodów, krótko po ich wydaleniu. Proces ten powtarzany jest kilka razy dziennie w celu utrzymania pH gnojowicy w budynku na niskim poziomie. Zastosowanie tej metody umożliwi obniżenie emisji  $\text{NH}_3$  z chlewni o 70% (19).

W procesie zakwaszania gnojowicy najczęściej stosuje się stężony kwas siarkowy (96%  $H_2SO_4$ ) (3, 18, 24, 33), choć wykorzystywane są również inne związki zakwaszające: kwas solny (6, 35), kwas azotowy (16), kwas mlekowy (1, 2), chlorek glinu (30, 40) sacharoza (1), siarka elementarna (25) czy superfosfat (42). Zakłada się, że zakwaszanie gnojowicy ogranicza straty gazowe azotu, zwiększa dostępność fosforu, a tym samym przyczynia się do wzrostu plonów. Jednak wyniki prowadzonych badań nie są jednoznaczne.

Jak dowodzi R o b o r e d o i n . (37) stosowanie zakwaszonej gnojowicy świńskiej zwiększało w glebie ilość fosforu dostępnego dla roślin i nie powodowało jego uwsteczniania. Autorzy przypuszczają, że może być to związane z rozpuszczaniem nieorganicznych fosforanów, co powodowało większe stężenie mobilnych nieorganicznych związków fosforu w roztworze glebowym. Potencjalny wpływ zakwaszania gnojowicy na zwiększenie dostępności fosforu może być szczególnie istotny dla roślin wrażliwych na niedobór tego składnika, jak np. kukurydza. W badaniach wazonowych P e d e r s e n a (36) zastosowanie zakwaszonej (pH 5,9) gnojowicy świńskiej pod pszenicę ozimą spowodowało zwiększenie zawartości N w ziarnie średnio o 12,9% i przyrost plonów ziarna średnio o 7% w porównaniu do obiektu z surową gnojowicą świńską. Autor zaobserwował również większe plony suchej masy kukurydzy oraz lepsze pobranie składników pokarmowych w obiektach nawożonych zakwaszoną gnojowicą. P e d e r s e n (36) zaproponował więc, aby zakwaszoną gnojowicę bydłą traktować jako nawóz startowy pod kukurydzę. By zweryfikować ten kierunek wykorzystania zakwaszonej gnojowicy F a n g u i e r o (9) przeprowadził podobny eksperyment, nie obserwując jednakże istotnego wpływu zakwaszania gnojowicy na dostępność form fosforu.

Zakwaszanie modyfikuje również właściwości samej gnojowicy (tab. 1). Metoda ta budzi też pewne obawy co do wpływu zakwaszonej gnojowicy na aktywność mikrobiologiczną gleby, a także wpływu powtarzającej się aplikacji zakwaszonej gnojowicy na zawartość siarki i pH gleby. Aktualnie brakuje jednak obszernych badań w tym zakresie. Badania prowadzone przez F a n g u i e r o (10) wykazały, że stosowanie zakwaszonej gnojowicy (pH ok. 5) nie miało negatywnego wpływu na aktywność enzymatyczną gleby, w porównaniu z obiektem kontrolnym bez nawożenia, są to jednak wyniki pojedynczego doświadczenia, z których nie można wyciągnąć wniosków generalnych. Produkcyjne skutki zakwaszania gnojowicy nie są jednoznaczne, natomiast obawy budzi konieczność pracy ze stężonymi kwasami osób niewykwalifikowanych. W związku z tym dąży się do pełnej automatyzacji tego typu rozwiązań.

Tabela 1

Zmiany właściwości gnojowicy świńskiej zakwaszonej kwasem siarkowym (VI) do pH 5.5

Parametr	Próba kontrolna	Zakwaszona gnojowica
Sucha masa ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	91,0	83,0
Całkowity węgiel nieorganiczny ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)	90,0	10,0
Fosfor całkowity ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)	17,4	12,6
Fosfor przyswajalny ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)	1,4	11,0
Siarka całkowita ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)	6,4	53,0
Siarka przyswajalna ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)	1,4	11,0
Magnez całkowity ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)	9,2	7,5
Magnez przyswajalny ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)	0,3	7,5
Wapń całkowity ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)	25,7	20,3
Wapń przyswajalny ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)	5,7	16,0

Źródło: Fanguiero i in., 2015 (9); zmodyfikowano na podstawie Hjorth i in., 2015 (15)

### Separacja gnojowicy

Rozwiązaniem problemu zagospodarowania gnojowicy na obszarach o znacznej koncentracji ferm bezściołowych może być rozdzielanie gnojowicy na frakcję stałą (separat) bogatą w fosfor oraz frakcję płynną, która zawiera przede wszystkim azot i potas. Przyjmuje się, że w wyniku separacji 100 kg gnojowicy zwykle otrzymuje się 95 kg frakcji płynnej, zawierającej 1% suchej masy, 80% N, 20% P i prawie 100% K z całkowitej ilości zawartej w gnojowicy oraz 5 kg frakcji stałej zawierającej około 25-35% suchej masy, 20% N i 80% P (23). Frakcja stała może być zbywana jako nawóz organiczny do stosowania w oddalonych rejonach lub poddana kompostowaniu, natomiast frakcja płynna musi być zagospodarowana lokalnie. Istnieją różne technologie separacji, w tym flokulacja (kłaczkowanie), filtracja pasmowa, sedymentacja, flotacja, separacja przy użyciu wirówek, krat, sit, bębnow czy pras filtracyjnych (14, 26).

Sedymentacja gnojowicy to proces oparty na zjawisku swobodnego opadania zawiesiny ciała stałego w cieczy w wyniku działania sił ciężkości. Najczęściej prowadzona jest w osadnikach, zagęszczaczach lub wirówkach sedymentacyjnych (13). Frakcjonowanie gnojowicy tą techniką zarówno na drodze grawitacyjnej, jak i w wirówkach sedymentacyjnych jest odpowiednie dla cząstek, których średnica nie przekracza 1 mm (28). Proces filtracji ciśnieniowej stosuje się przede wszystkim do rozdziału na frakcję stałą i ciekłą zawiesin drobnoziarnistych, trudno odwadniających się, o charakterze mineralnym i organicznym (26). Elementami tej technologii

są prasy filtracyjne (komorowa, śrubowa, taśmowa) oraz filtry ciśnieniowe (4). W celu usprawnienia procesów separacji stosowane są podwyższone temperatury, rozcieńczenia, obróbka tlenowa oraz dodatki koagulantów i flokulantów. Koagulacja to proces polegający na łączeniu się cząstek fazy rozproszonej koloidu w większe agregaty tworzące fazę ciągłą o nieregularnej strukturze. Powszechnie stosowane związki usprawniające ten proces (koagulanty) to wielopierścieniowe kationy  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ , siarczan (VI) glinu (III) oraz chlorek żelaza (II) (32). Jako flokulanty, czyli związki, dzięki którym następuje łączenie się małych grup skoagulowanych cząsteczek w większe, osiadające kłaczkę, stosowane są najczęściej długołańcuchowe lub rozgałęzione polimery (26). Wybór techniki sedymentacji powinien być uzależniony od celu przeprowadzania separacji, wydajności, nakładu kapitału oraz kosztów eksploatacji.

Odseparowana, bezwonna frakcja stała (47) może być składowana w sposób uporządkowany na wysokiej przymie i może zostać rozprowadzona w każdej chwili bez konieczności ponoszenia dodatkowych nakładów na homogenizację. Może być stosowana jako nawóz organiczny (31) albo polepszacz gleby (46). Przykładową charakterystykę odseparowanej masy z gnojowicy prezentuje tabela 3. Separacja gnojowicy ogranicza emisję odorów, zmniejsza koszty magazynowania i transportu nawozu, dzięki zmniejszeniu jego objętości (12, 13), co ułatwia również ewentualne zagospodarowanie nawozu na cele energetyczne. Innym sposobem zagospodarowania separatu jest wykorzystanie do ścielenia legowisk po uprzedniej higienizacji wapnem. Zaletą takiego rozwiązania jest istotna oszczędność słomy. Jak podaje Wardal i Romaniuk (46), wydajność separatora 5-10 m<sup>3</sup>/h jest w stanie zabezpieczyć potrzeby na ściółkę fermy bydła o obsadzie około 250 krów. Wadą proponowanego rozwiązania jest wysoki koszt zakupu separatora oraz budowy instalacji – wraz z pompą, rurami i budową konstrukcji pod separator jest to wydatek rzędu od kilkudziesięciu do prawie 200 tys. złotych, w zależności od zastosowanego rozwiązania i wydajności (tab. 2).

Tabela 2

## Przykładowe ceny separatorów

Przykładowe ceny separatorów						
Wydajność (m <sup>3</sup> /h)	4,5-18	4,0-50	4,0-50	6,0-72	4,0-22	4,0-42
Silnik (kW)	3	4	4	5,5	5,5	7,5
Cena brutto (tys. zł)	55	65	80	110	95	120

Źródło: Wardal i Romaniuk, 2016 (46)

Tabela 3

Przykładowa charakterystyka gnojowicy świeżej i po separacji

Charakterystyka		Przykryty zbiornik	Odkryty zbiornik
		gnojowica świńska	gnojowica mieszana (bydło + tuczniaki)
Surowa gnojowica	sucha masa (%)	5,6	7,6
	N (kg/m <sup>3</sup> )	4,7	3,9
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	2,3	1,9
	K <sub>2</sub> O (kg/m <sup>3</sup> )	2,6	2,8
Charakterystyka odseparowanej masy z gnojowicy	sucha masa (%)	20*	20-40*
	N (kg/m <sup>3</sup> )	6,4	4,8
	N <sub>org</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	3,5	2,9
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	3,7	2,5
	K <sub>2</sub> O (kg/m <sup>3</sup> )	2,6	2,9

\* w zależności od rodzaju separacji masy, zawartość suchej masy (%) może wynosić od 20% do 50%

Źródło: Wardal i Romaniuk, 2016 (46)

Fracja ciekła, bogata w azot i potas może być wykorzystana jako płynny nawóz aplikowany bezpośrednio do gleby za pomocą węży wleczonych lub iniekcji doglebowej (27). Może być również poddana obróbce tlenowej lub dalszemu oczyszczaniu i po spełnieniu wymagań jakościowych dla wody przemysłowej, może być powtórnie spożytkowana w gospodarstwie, np. do mycia budynków inwentarskich czy zraszania pól w okresach wzmożonego zapotrzebowania na wodę (21). Fracja ciekła gnojowicy nie rozwarstwia się i nie wymaga dodatkowego mieszania przed aplikacją. Jej objętość zostaje zredukowana o 15-30%, przez co zmniejsza się objętość magazynowa i liczba przejazdów transportowych. Ograniczone zostają straty azotu podczas magazynowania i aplikacji na skutek usunięcia ciał stałych i węgla. Wyraźnie zmniejsza się również uciążliwość zapachowa (26).

### Kompostowanie

Innym sposobem zagospodarowania nadwyżek stałych nawozów naturalnych, obornika i frakcji stałej gnojowicy jest ich kompostowanie w gospodarstwie. Kompostowanie polega na mikrobiologicznym rozkładzie substratu organicznego w warunkach tlenowych. Podczas termofilnej fazy kompostowania temperatura wewnątrz przyzmy może osiągnąć 60-75°C, co powoduje higienizację substratu. Intensywność procesu zwiększa napowietrzenie przyzmy (najlepiej 2-, 3-krotne), przy użyciu specjalnych maszyn napowietrzających, tzw. aeratorów (22). Napowietrzanie

powoduje powstanie porowatej struktury, nagrzewanie się obornika, odparowanie nadmiaru wody, a następnie pasteryzację nawozu i uzyskanie kompostu o bardzo dużej wartości nawozowej. Zgodnie z obowiązującym w Polsce prawem, kompostowanie nie wymaga płyty betonowej, ponieważ napowietrzanie przyzmu powoduje szybki i znaczny spadek uwilgotnienia masy, redukując ryzyko wymywania w głąb profilu glebowego. Problem środowiskowy może zaistnieć, gdy występują długotrwałe opady przy obniżonej temperaturze, dlatego też kompostowanie powinno być przeprowadzane w warunkach słonecznej wiosny, lata lub wczesnej jesieni. Na lokalizację przyzmu należy przeznaczyć miejsce równe, bez zagłębień i znacznych pochyłości, z zachowaniem wymaganych odległości od domów mieszkalnych i innych obiektów.

Dojrzały kompost to nawóz organiczny, zawierający rozłożone resztki pochodzenia roślinnego, nawozy naturalne, ewentualnie osady ściekowe. Kompost, w którym procesy humifikacji zostały zakończone, stygnie i nabiera cech próchnicy. Jest lekko wilgotny, ma ciemną barwę, bezpostaciową formę i przyjemny zapach wilgotnej ziemi ogrodniczej. Zawartość składników pokarmowych w kompostach zależy od rodzaju użytych substratów i waha się w granicach: 0,75-1,5% N, 0,25-0,5% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i 0,5-1,0% K<sub>2</sub>O. Przyjmuje się, że dawka 15 t kompostu odpowiada 30-35 t zwykłego obornika. Zatem z nawozowego punktu widzenia, znacznie bardziej uzasadnione jest kompostowanie obornika. Kompost, obok nawozów naturalnych, jest głównym nawozem stosowanym w rolnictwie ekologicznym. Jest tam pożądanym, kompletnym nawozem wieloskładnikowym, gdyż jest bogaty w substancję organiczną i zawiera niezbędne do życia roślin makro- i mikroelementy.

### Granulowanie

Inną propozycją dla gospodarstw borykających się z problemem nadmiaru nawozów naturalnych może być ich suszenie i granulowanie (peletyzacja). Proces granulacji polega na ścisaniu, zlepianiu i formowaniu materiału, zwykle po uprzednim jego wysuszeniu (11) bądź zakwaszeniu (w przypadku gnojowicy) (27). Granulacja ułatwia wysiew i przechowywanie (nawóz nie zbryla się, a magazynowany w zacienionym i chłodnym miejscu, zachowuje pełnię swoich właściwości przez ok. 3 lata). Przy zachowaniu wszystkich pozytywnych cech tradycyjnego surowego obornika, obornik granulowany posiada czterokrotnie mniejszy ciężar i objętość, a co istotne dla potencjalnych nabywców – jest on pozbawiony nieprzyjemnego zapachu. Dzięki zmniejszeniu objętości i masy, granulowanie zdecydowanie ułatwia transport nawozów do miejsc, gdzie mogą być one bezpiecznie wykorzystane.

Obecnie na rynku dostępne są gotowe rozwiązania do granulacji nawozów, dedykowane nie tylko dużym fermom, ale też pojedynczym gospodarstwom. Zasadniczo takie systemy zawierają trzy podstawowe elementy:

- suszarnię, np. bębnową z wymiennikiem ciepła, gdzie suszony materiał znajduje się tylko w gorącym powietrzu, czy też suszarnie wykorzystujące nagrzane

powietrze z obór (jeśli substrat nie spełnia minimalnych kryteriów wilgotności dla danej suszarni, zaleca się wcześniej poddać surowiec odwodnieniu, wykorzystując wyciskacze mas gęstych lub wirówki dekantacyjne);

- zestaw ślimaków podających i odbierających materiał z suszarni;
- pelecjarę do produkcji peletu lub granulatu.

Według raportu opracowanego na zlecenie Komisji Europejskiej, obecnie w Europie granulowaniu podlega blisko 280 tys. ton nawozów naturalnych (11), niestety dane o wykorzystaniu tej techniki w Polsce nie są dostępne. Przetworzone nawozy naturalne mogą być zbywane w Polsce jako nawozy organiczne wyłącznie po uzyskaniu pozwolenia Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi na wprowadzenie do obrotu.

### Fermentacja metanowa gnojowicy

Kolejną metodą zagospodarowania nadwyżek gnojowicy jest fermentacja metanowa w biogazowniach rolniczych. Fermentacja metanowa jest kilkustopniowym procesem biologicznym, przebiegającym w wyniku działania określonego środowiska bakteryjnego. Podczas fermentacji metanowej odpady podlegają stabilizacji w wyniku usunięcia dużej ilości węgla. Jedynymi usuwanymi z systemu składnikami są wydzielające się gazy:  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{S}$ , a cały azot konserwowany jest w formie organicznej lub amoniakalnej. Wyprodukowany w procesie fermentacji biogaz może być przetworzony na:

- energię elektryczną bezpośrednio włączaną do sieci przesyłowej lub wytworzoną w gazowych generatorach prądu;
- ciepło – w kotłach gazowych;
- energię elektryczną i ciepło – w układach do skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła (38).

Prawie wszystkie materiały organiczne nadają się do fermentacji, ale najbardziej znany jest proces fermentacji gnojowicy, ponieważ gnojowica, ze względu na swoje znaczne uwodnienie, zapewnia optymalne warunki do życia dla bakterii biorących udział w fermentacji (tab. 5). Ze względu na dobre właściwości fermentacyjne odchodów, inne odpady organiczne często są fermentowane właśnie z obornikiem czy gnojowicą. Takie połączenie substratów korzystnie wpływa na proces fermentacji i produkcję biogazu, znacząco wpływając na rentowność instalacji. Fermentacja materiałów organicznych bez użycia gnojowicy czy obornika jest możliwa, pod warunkiem, że substraty są właściwie skomponowane, jest jednak znacznie mniej popularna.

Wartość gnojowicy jako surowca do produkcji biogazu może się znacząco różnić w zależności od sposobu żywienia, gatunku zwierząt od którego pochodzi i ilości zużytej wody. Stopień rozkładu substratu organicznego zależy głównie od składu



surowca, obciążenia komory fermentacyjnej oraz temperatury. Substancje organiczne charakteryzują się różnym tempem rozkładu i wydajnością. W tabeli 4 przedstawione są dane dotyczące produkcji odchodów przez bydło, trzodę i drób oraz charakterystyczny dla nich potencjał produkcji biogazu.

Tabela 4

Właściwości odchodów zwierzęcych i wydajność produkcji biogazu

Parametr	Jednostka	Bydło		Trzoda chlewna		Drób	
		obornik	gnojowica	obornik	gnojowica	obornik	gnojowica
Sucha masa (s.m.)	t s.m./t	0,237	0,095	0,238	0,066	0,303	0,15
Sucha masa organiczna (s.m.o.)	t s.m.o./ t s.m.	0,764	0,774	0,799	0,761	0,727	0,756
s.m.o./DJP	kg s.m.o./ DJP/d	3-5,4 średnio 3,3		2,5-4 średnio 4,2		5,5-10 średnio 7,78	
Produkcja biogazu	m <sup>3</sup> /t s.m.o.	249,4	225,5	228,0	301,0	230,0	320,0
Produkcja biogazu	m <sup>3</sup> /DJP/d	1,5-2,9 średnio 2,2	0,56-1,5 średnio 1,03	0,6-1,25 średnio 0,93		3,5-4,0 średnio 3,75	

Źródło: Shulz i Eger, 2001 (40)

Tabela 5 prezentuje zaś charakterystykę stosowanych w procesie fermentacji nawozów naturalnych wraz z potencjałem produkcji biogazu.

Tabela 5

Charakterystyka wybranych substratów i ich potencjał produkcji biogazu

Nazwa substratu	% zawartości suchej masy w 1 t substratu	% zawartości suchej masy organicznej w zawartości suchej masy	Produkcja metanu z 1 t s.m.o.
	% wsadu	% s.m.o.	M3/t s.m.o.
Gnojowica bydłęca	9,5	77,4	222,5
Gnojowica świńska	6,6	76,1	301,0
Gnojowica kurza	15,1	75,6	320,0
Gnojowica krów mlecznych	8,5	85,5	154,0
Gnojówka	2,1	60,0	222,5

Źródło: EU Agrobiogas (7)

Duże znaczenie ma właściwe przygotowanie nawozu naturalnego (gnojowicy) do fermentacji. Przede wszystkim, okres wstępnego przygotowania przed załadowaniem do komory fermentacyjnej powinien być jak najkrótszy. Zbiorniki wstępnie magazynujące gnojowicę powinny mieć izolację cieplną, aby utrzymać substrat w odpowiedniej temperaturze zarówno zimą, jak i latem. Zbytne wychłodzenie, jak też utrzymywanie odchodów zwierzęcych w wysokiej temperaturze obniża ich wartość jako fermentowanego substratu. Bardzo duży wpływ na wydajność i produktywność procesu fermentacji mają także czynniki fizyczne (jak temperatura i mieszanie) oraz chemiczne (jak pH, potencjał redox oraz stosunek węgla do azotu). W klimacie europejskim najpopularniejsza jest fermentacja mezofilna, której zakres optimum termicznego wynosi 37-38°C, a zawartość komór jest mieszana kilka razy w ciągu doby, aby zapewnić jednorodność temperatury w całym zbiorniku, jak również zapobiegać tworzeniu się osadu i kożucha. Bakterie wywołujące fermentację metanową wymagają odczynu obojętnego, tj. pH ok. 7,0, albowiem poniżej pH 6,0 i powyżej pH 8,0 fermentacja szybko ustaje. Ponadto bakterie uczestniczące w fermentacji metanowej wymagają bardzo niskiego potencjału redox, rzędu 250 mV lub niższego, aby produkować metan. Potencjał ten tworzony jest przez pary: metan  $\text{CH}_4$  i dwutlenek węgla  $\text{CO}_2$  oraz proton  $\text{H}^+$  i wodór  $\text{H}_2$ . Populacja bakterii uczestniczących w fermentacji metanowej wymaga dostatecznej ilości pożywki, aby żyć i rozmnażać się. Z tego względu stosunek zawartości węgla do azotu, fosforu i siarki C/N/P/S, powinien wynosić odpowiednio 600:15:5:1, co wynika z zapotrzebowania mikroorganizmów na poszczególne składniki pokarmowe (45).

Przeprowadzone badania wykazują, że masa przefermentowana ma równorzędną wartość nawozową, jak np. obornik czy gnojowica. Ze względu na możliwe różnice jakościowe w otrzymanym pofermencie, przy ustalaniu dawek nawożenia najlepiej wykorzystywać wyniki analizy składu chemicznego pofermentu z konkretnej biogazowni, które wytwórca jest zobowiązany posiadać. Według wstępnych wyników badań IUNG-PIB (niepublikowane), poferment surowy zawiera przeciętnie ok. 0,5% azotu (czyli 5 kg N w 1 m<sup>3</sup>), 0,2% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i 0,4% K<sub>2</sub>O. Płynna frakcja pofermentu po separacji zawiera ok. 0,3% N, 0,09% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i 0,3% K<sub>2</sub>O zaś frakcja stała zawiera przeciętnie ok. 0,6% N, 0,6% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i 0,4% K<sub>2</sub>O. Orientacyjne dawki pofermentu na gruntach ornych wynoszą zatem:

- dla pofermentu surowego – 30 m<sup>3</sup> na 1 ha (na oziminach zaleca się podział całkowitej dawki: 15 m<sup>3</sup> jesienią + 15 m<sup>3</sup> wiosną);
- dla pofermentu płynnego po separacji – 60 m<sup>3</sup> na 1 ha, również zaleca się dzielić dawkę (30 m<sup>3</sup> + 30 m<sup>3</sup>), ale możliwe jest zastosowanie całej dawki pod uprawy jare, nie później jednak niż na 10-14 dni przed zasiewem;
- dla frakcji stałej – 30 t na 1 ha jesienią lub wiosną przedsięwzię.

Do głównych zalet stosowania pofermentu można zaliczyć zwiększenie zawartości materii organicznej, ograniczenie emisji metanu związanej ze składowaniem i stosowaniem nawozów naturalnych, a także ograniczenie emisji odorów.

Wykorzystanie jako dodatkowego substratu w biogazowniach odpadów z przemysłu rolno-spożywczego (np. wywaru gorzelnianego, odpadów z przetwórstwa mięsnego) czy odpadów zielonych umożliwi wykorzystanie w celach nawozowych cennych składników, a poprzez domknięcie obiegu składników nawozowych („odzysk”) również pośrednio ochronę zasobów surowców kopalnych.

Niewątpliwą zaletą pofermentu jest również to, że wydzielanie odorów zarówno podczas magazynowania w zbiornikach, jak i aplikacji na polu w zestawieniu ze składowaniem i stosowaniem nawozów naturalnych jest znacznie ograniczone (46). Nie bez znaczenia jest również dodatkowy aspekt higienizacyjny fermentacji metabolicznej, niemal całkowicie likwidujący mikroorganizmy chorobotwórcze.

Poferment może stać się źródłem problemów ekologicznych w przypadku jego nieprawidłowego przechowywania. Dlatego surowy poferment oraz płynną frakcję po separacji należy przechowywać w przykrytych gazoszczelną membraną lagunach lub w zamkniętych zbiornikach żelbetowych bądź stalowych. Frakcję stałą, uzyskaną po separacji pofermentu, należy magazynować na płycie kompostowej lub zbiorniku o szczelnym podłożu.

### Nawożenie wglębne

Każda aplikacja nawozów musi być przeprowadzona w taki sposób, aby ograniczać ryzyko przedostania się cennych składników do wód. Zgodnie z polskim prawem, nawozy naturalne i organiczne w postaci płynnej stosuje się przy użyciu rozlewaczy, aplikatorów dogłębowych, deszczowni lub wozów asenizacyjnych wyposażonych w płytki rozbryzgowe lub węże rozlewowe, zaś nawozy w postaci stałej standardowo stosuje się przy pomocy rozrzutników (39). Według UNECE (43), powierzchniowe rozlewanie pasowe nawozów naturalnych oraz iniekcja dogłębowa to dwie rekomendowane techniki, które w największym stopniu ograniczają straty składników.

Pasowe rozlewanie gnojowicy i gnojówki zmniejsza emisję amoniaku z nawozów przez zmniejszenie oddziaływania powietrza atmosferycznego na nie. W systemie tym stosowane są dwa rozwiązania:

- Powierzchniowe rozlewanie pasowe z wykorzystaniem elastycznych węży wleczonych, które umożliwiają aplikację pogłówną między rzędami uprawianych roślin – zaleca się stosować na użytkach zielonych i na gruntach ornych do aplikacji gnojowicy w międzyrzędzia.
- Pasowa aplikacja powierzchniowa, w której gnojowica jest dozowana za pomocą stopy wleczonej lub redlicy z płozami (redlicy płozowej); w technice tej przy wężu rozprowadzającym znajduje się stopa lub płoza, dzięki którym wąż nie leży swobodnie, lecz rozlewa gnojowicę w dokładnych odstępach (nacinając niewielki rowek). Pod wpływem ciśnienia płozy tworzą niewielkie bruzdy i rozsuwają trawę, a gnojowica wydostaje się przez rynienkę. Aby dodatkowo zmniejszyć straty gazowe azotu, zaaplikowana gnojowica powinna być przykryta przez roślinność (zalecana wysokość trawy powinna wynosić

minimum 8 cm). Aplikator naglebowy łyżwowy wykorzystywany w tej technice, dzięki aplikowaniu gnojowicy bezpośrednio na powierzchni gruntu, pozwala również na ograniczenie nieprzyjemnego zapachu. Aplikatory tego typu zaleca się stosować głównie na pastwiskach (43).

Najbardziej skuteczną metodą ze względu na ograniczenie strat amoniaku w trakcie i po aplikacji jest bezpośrednio wprowadzenie gnojowicy lub gnojówki do gleby. Bezpośrednia aplikacja doglebowa zmniejsza emisję amoniaku, ograniczając kontakt nawozu z powietrzem i zwiększając jego przenikanie do gleby, dzięki bezpośrednio umieszczeniu nawozu pod powierzchnią. W tym systemie mogą być stosowane wozy asenizacyjne, wyposażone w trzy podstawowe typy aplikatorów: szczelinowe, do iniekcji płytkiej oraz głębokiej.

Aplikatory szczelinowe, zwykle jako aplikatory tarczowe lub na bazie brony talerzowej wycinają wąskie szczeliny w glebie (zazwyczaj na głębokość 5-6 cm i w rozstawie 20-40 cm), do których jest rozlewana gnojówka lub gnojowica, bez przykrycia glebą. Ilość dozowanej gnojowicy musi być dokładnie określona, tak by nawóz nie wypływał na powierzchnię gleby. Technikę tę zaleca się stosować na użytkach zielonych, gruntach ornych oraz w zasiewach zbóż w fazie wczesnej wegetacji.

Aplikacja doglebowa może być wykonywana płytko (5-10 cm) lub głęboko (15-20 cm). Ta technika aplikacji nawozów, w przeciwieństwie do aplikatorów szczelinowych, umożliwi natychmiastowe przykrycie wstrzykniętej gnojowicy glebą przez zamontowane za rozdzielaczem gnojowicy koła naciskowe lub wał ugniatający. W aplikacji głębokiej wykorzystuje się m.in. aplikator talerzowy/tarczowy dwurzędowy (drugi rząd to talerze lub zgarniacze), w którym pierwszy rząd nacina w glebie rowek i aplikuje gnojowicę, a drugi rząd talerzy/zgarniaczy zasypuje rowek. Aplikatory do głębokiego zadawania gnojowicy zbudowane są na bazie kultywatorów lub bron talerzowych i przeznaczone są tylko do stosowania na gruntach ornych, ze względu na ryzyko uszkodzenia runi na użytkach zielonych. Ponadto, technika ta ma poważne ograniczenia w stosowaniu i nie jest zalecana m.in. na glebach płytkich, o zawartości frakcji pylastej powyżej 35% i równomiernie zdrenowanych, gdyż w pewnych warunkach mogą nastąpić znaczące straty azotu i fosforu na drodze szybszego wymywania, a azotu dodatkowo w postaci podtlenku  $N_2O$  (43).

### Podsumowanie

Właściwe zarządzanie nawozami naturalnymi w gospodarstwach z dużą obsadą zwierząt lub wyspecjalizowanych fermach wielkoprzemysłowych może niekiedy nastęrczać pewnych trudności. Zgodnie z obowiązującym w Polsce prawem, w okresach dużego ryzyka wymycia składników do wód (gdy ustaje wegetacja) zabronione jest stosowanie nawozów naturalnych na polach. Niezbędnym wymo-

giem jest zatem posiadanie zbiorników na nawozy naturalne, o pojemności umożliwiającej gromadzenie wyprodukowanych nawozów w okresach, gdy ich stosowanie jest zabronione. Ponadto, należy pamiętać, że maksymalna dawka nawozów naturalnych, jaką rolnik może zastosować na pola to 170 kg N/ha/rok (44). Jeśli więc w gospodarstwie nie ma wystarczającego areálu gruntów by móc bezpiecznie wykorzystać nawozy naturalne bezpośrednio na polu, należy znaleźć odpowiednią technikę zagospodarowania lub przetwarzania nadwyżek. Według raportu opracowanego na zlecenie Komisji Europejskiej (11), w UE przetwarzanych jest 7,8% wytworzonych nawozów naturalnych, co odpowiada ilości 108 mln ton (108 Tg). Najwięcej nawozów naturalnych poddaje się przetworzeniu we Włoszech, Grecji i Niemczech – odpowiednio: 36,8, 34,6 oraz 14,8% nawozów naturalnych wytwarzanych w UE. W Polsce przetwarzanych jest 252 tys. ton, co stanowi zaledwie 0,3% całkowitej ilości nawozów wytwarzanych w UE. Obecnie na rynku dostępne są różnorodne rozwiązania uwzględniające zarówno rodzaj nawozu, niezbędne wymagania technologiczne, jak i potencjalne kierunki wykorzystania produktu finalnego. Zasadniczo wysiłki koncentrują się na uzyskaniu przynajmniej jednego z wymienionych efektów:

- umożliwienie racjonalnej gospodarki poszczególnymi składnikami nawozowymi (separacja gnojowicy, zakwaszanie gnojowicy);
- ułatwienie dalszej obróbki i ewentualnego transportu (separacja, kompostowanie, granulacja/peletyzacja);
- umożliwienie przetworzenia powstałej nadwyżki i jej wykorzystania na cele inne niż nawozowe (do ścielenia obór, odzysku wody czy produkcji energii w biogazowniach rolniczych).

W Polsce wciąż istnieje realna potrzeba promowania wśród rolników przedstawionych w pracy rozwiązań, tak by stały się one łatwiej dostępne i powszechnie wykorzystywane.

## Literatura

1. Berg W., Pazsiczki I.: Mitigation of manure emission during manure storage. Int. Congr. Ser., 2006, **1293**: 213-216.
2. Berg W., Türk M., Hellebrand H.J.: Effects of Acidifying Liquid Cattle Manure with Nitric or Lactic Acid on Gaseous Emissions. Workshop on Agricultural Air Quality. Washington D.C USA, 2006, 492-498.
3. Biocover A/S, 2012. Vera Statement. [http://www.veracert.eu/-/media/DS/Files/Downloads/Artikler/VERA/VERA\\_erklaering\\_2012\\_okt\\_enkeltside.pdf](http://www.veracert.eu/-/media/DS/Files/Downloads/Artikler/VERA/VERA_erklaering_2012_okt_enkeltside.pdf) (Uzyskano 17.05.2016 r.).
4. Chastain J., Lucas W., Albrecht J., Pardue J.C., Adams J., Moore K.P.: Solids and nutrient removal from liquid swine waste using a screw press separator. Applied Engineering in Agriculture, 2001, **17(3)**: 355-363.
5. Dyrektywa Rady z dnia 12 grudnia 1991 r. dotycząca ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego (91/676/EWG).

6. Eriksen J., Andersen A.J., Poulsen H.V., Adamsen A.P.S., Petersen S.O.: Sulfur turnover and emissions during storage of cattle slurry: effects of acidification and sulfur addition. *J. Environ. Qual.*, 2012, **41(5)**: 1633-1641.
7. EU Agrobiogas 2007-2010. Europejska inicjatywa instytucji badawczo-rozwojowych na rzecz zwiększania efektywności wykorzystania biogazu. Projekt 6 Programu ramowego Badań i Rozwoju Unii Europejskiej. <http://www.rtd-services.com/euagrobiogas/> (Uzyskano 20.05.2016 r.).
8. Fangueiro D., Hjorth M., Gioelli F.: Acidification of animal slurry – a review. *J. Environ. Manag.*, 2015a, **149**: 46-56.
9. Fangueiro D., Surgy S., Fraga I., Vasconcelos E., Coutinho J.: Acid treatment of animal slurries: potential and limitations. *Proceedings International Fertilizer Society*, 2015b, **775**: 10-13.
10. Fangueiro D., Surgy S., Fraga I., Cabral F., Coutinho J.: Band application of treated cattle slurry as an alternative to slurry injection: Implications for gaseous emissions, soil quality, and plant growth. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2015, **211**: 102-11.
11. Foged H.L., Flotats X., Bonmati Blasi A., Palatsi J., Magri A., Schelde K.M.: Inventory of manure processing activities in Europe. Technical Report No. I concerning “Manure Processing Activities in Europe” to the European Commission, Directorate-General Environment, 1997, 10-130.
12. González-Fernández C., Nieto-Diez P.P., León-Cofreces C., García-Encina P.A.: Solids and nutrients removals from the liquid fraction of swine slurry through screening and flocculation treatment and influence of these processes on anaerobic biodegradability. *Bioresource Technology*, 2008, **99**: 6233-6239.
13. Hjorth M., Christensen K.V., Christensen M.L., Sommer S.G.: Solid-liquid separation of animal slurry in theory and practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 2010, **30**: 153-180.
14. Hjorth M., Christensen M.L., Christensen P.V.: Flocculation, coagulation and precipitation of manure affecting three separation techniques. *Bioresource Technology*, 2008, **99**: 8598-8604.
15. Hjorth M., Coccolo G., Jonassen K., Abildgaard L., Sommer S.G.: Continuous in-house acidification affecting animal slurry composition. *Biosystem Engineering*, 2015, **132**: 56-60.
16. Husted S., Jensen L.S., Jørgensen S.S.: Reducing ammonia loss from cattle slurry by the use of acidifying additives: the role of the buffer system. *J. Sci. Food Agric.*, 1991, **57**: 335-349.
17. Igras J., Kopiński J.: Zużycie nawozów mineralnych i naturalnych w układzie regionalnym. *Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy*, 2007, **5**: 107-117.
18. Jensen A.O.: Changing the environment in swine buildings using sulfuric acid. *Trans. ASAE*, 2002, **45(1)**: 223-227.
19. Kai P., Pedersen J.E., Jensen J.E., Hansen M.N., Sommer S.G.: A whole-farm assessment of the efficacy of slurry acidification in reducing ammonia emissions. *Eur. J. Agron.*, 2008, **28**: 148-154.
20. Kamiński E., Markiewicz W.: Technika nawożenia nawozami naturalnymi. Falenty–Kłodzianko, 2014.

21. Konieczny K., Kwiecińska A., Gworek B.: The recovery of water from slurry produced in high density livestock farming with the use of membrane processes. *Separation and Purification Technology*, 2011, **80**: 490-498.
22. Kryzstoforski M.: Sporządzanie kompostów i biopreparatów. Naturalne metody podtrzymywania żyzności gleby i ochrony roślin. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie, Oddział w Radomiu, Radom, 2011, 4-11.
23. Kryzstoforski M.: Zarządzanie obornikiem i gnojowicą. Nowoczesne techniki stosowania nawozów naturalnych. Prezentacja szkoleniowa kampanii Dobre Praktyki Rolnicze na Obszarach Szczególnie Narażonych na Azotany Pochodzenia Rolniczego, Tzw. OSN. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie, Oddział w Radomiu, Radom, 2015, 4-11.
24. Kuligowski K., Tonderski A., Ziółkowski M., Skóra D.: Alternatywne, przyjazne środowisku technologie utylizacji nawozów odzwierzęcych. Seminarium „Ograniczenie odpływu biogenów z wielkoprzemysłowej produkcji zwierzęcej w Regionie Morza Bałtyckiego”, Warszawa, 06.12.2013.
25. Mahimairaja S., Bolan N.S., Hedley M.J., Macgregor A.N.: Losses and transformation of nitrogen during composting of poultry manure with different amendments: an incubation experiment. *Bioresource Technology*, 1994, **47**: 265-273.
26. Marszałek M., Kowalski Z., Makara A.: Rozdział gnojowicy na frakcje przy użyciu sedymentacji i filtracji ciśnieniowej. *Czasopismo Techniczne. Chemia*, 2012, **109(2)**: 125-134.
27. Memon B.V.: Method for preparing granular fertilizer from manure. Patent, sygnatura: US5118337\* 04.20.1992 – 02.06.1992.
28. Møller H.B., Lund I., Sommer S.G.: Solid-liquid separation of livestock slurry: efficiency and cost. *Bioresource Technology*, 2000, **74**: 223-229.
29. Møller H.B., Sommer S.G., Ahring B.K.: Separation efficiency and particle size distribution in relation to manure type and storage conditions. *Bioresource Technology*, 2002, **85**: 189-196.
30. Nahm K.H.: Environmental effects of chemical additives used in poultry litter and swine manure. *Crit. Rev. Env. Sci. Tech.*, 2005, **35**: 487-513.
31. Ndegwa P.M., Hristov A.N., Arogo J., Sheffield R.E.: A review of ammonia emission mitigation techniques for concentrated animal feeding operations. *Biosyst. Eng.*, 2008, **100**: 453-469.
32. Ndegwa P.M., Zhu J., Luo A.: Effect of solid levels and chemicals additives on removal of solids and phosphorus in swine manure. *J. Environ. Eng.*, 2001, **127(12)**: 1111-1115.
33. Nyord T., Liu D., Eriksen J., Adamsen A.P.S.: Effect of acidification and soil injection of animal slurry on ammonia and odour emission. [In:] *Proceedings from the 15th RAMIRAN Conference, France, Versailles, 2013*.
34. OECD/Eurostat: Oslo Manual. Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data, Third Edition, OECD/Eurostat, Paris, 2005.
35. Panetta D.M., Powers W.J., Lorimor J.C.: Management strategy impacts on ammonia volatilization from swine manure. *J. Environ. Qual.*, 2005, **34**: 1119-1130.
36. Pedersen J.B.: Oversight over landsforgogene. Knowledge Centre for agriculture. Aarhus, Dania, 2012.

37. Roboredo M., Fangueiro D., Lage S., Coutinho J.: Phosphorus dynamics in soils amended with acidified pig slurry and derived solid fraction. *Geoderma*, 2012, **189**: 328-33.
  38. Romaniuk W., Łukaszuk M., Karbowy A.: Potencjalne możliwości rozwoju biogazowni w gospodarstwach rolnych w Polsce. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 2010, **4**: 129-139.
  39. 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.2014.393.
  40. Schulz H., Eder B.: *Biogas praxis: Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele*. Fryburg, Okobuchverlag, 2001.
  41. Smith D.R., Moore Jr. P.A., Griffis C.L., Daniel T.C., Edwards D.R., Boothe D.L.: Effects of alum and aluminum chloride on phosphorus runoff from swine manure. *J. Environ. Qual.*, 2001, **30**: 992-998.
  42. Tran M.T., Vu T.K.V., Sommer S.G., Jensen L.S.: Nitrogen turnover and loss during storage of slurry and composting of solid manure under typical Vietnamese farming conditions. *J. Agric. Sci.*, 2011, **149**: 285-296.
  43. United Nations Economic Commission for Europe Framework Code for Good Agricultural Practice for Reducing Ammonia Emissions. UNECE, Geneva, 8-11 December 2014, 19-25.
  44. Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (Dz. U. Nr 147 poz. 1033).
  45. Ward A.J., Hobbs P.J., Holliman P.J., Jones D.L.: Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. *Bioresource Technology*, 2008, **99**: 7928-7940.
  46. Wardal W.J., Romaniuk W.: Kierunki rozwoju technologii w chowie bydła mlecznego i innowacyjne sposoby zagospodarowania nawozu naturalnego. Szkolenie: „Praktyczne wykorzystanie wyników badań naukowych we wdrażaniu innowacji w produkcji zwierzęcej”. Centrum Doradztwa Rolniczego, Oddział w Radomiu, 25-26.04.2016 r.
  47. Zhang R., Westerman P.: Solid-liquid separation of animal manure for odour control and nutrient management. *Appl. Eng. Agric.*, 1997, **13**: 657-664.
- 

Adres do korespondencji:

*mgr Beata Jurga*  
*Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8*  
*24-100 Puławy*  
*tel. 81 47 86 839*  
*e-mail: bjurga@iung.pulawy.pl*