

Wykorzystanie fermentacji metanowej do neutralizacji negatywnego wpływu gnojowicy na środowisko naturalne.

Adam Orzech

Wprowadzenie - czym jest gnojowica

Gnojowica jest tzw. produktem ubocznym pochodzącym z coraz bardziej dominującego w Polsce i Europie bezściełowego chowu inwentarza. Co do składu jest ona mieszaniną częściowo przefermentowanego kału i moczu zwierząt, w tym niestrawionych części pokarmu oraz wody. Ilość wytwarzanej w gospodarstwie gnojowicy jest pochodną sposobu żywienia, rodzaju i liczebności hodowanego stada, które często sięga od kilkudziesięciu do kilku tysięcy DJP (umowna jednostka liczebności zwierząt hodowlanych w gospodarstwie, według polskich norm odpowiadająca jednej krowie o masie 500 kg). Przykładowy tucznik (0,14 DJP) to roczna produkcja odchodów na poziomie 1,9 m³, natomiast locha (0,35 DJP) lub knur to 4,6 m³. Szczególnym przykładem są krowy mleczne (1 DJP) bowiem ilość wytwarzanej gnojowicy sięga poziomu 25,4 m³ rocznie.^[1] Oznacza to, że w tzw. towarowych gospodarstwach hodowlanych wytwarzanych jest i gromadzonych, a następnie aplikowanych do gleby od kilku do kilkuset tysięcy metrów sześciennych gnojowicy. Przykładowa hodowla 2 000 tuczników oznacza wytworzenie i przekazanie do środowiska ok 3 800 m³ gnojowicy rocznie.

Gnojowica uznawana jest jako wysokowartościowy nawóz naturalny. Średnio, gnojowica trzody chlewnej zawiera: 0,6% azotu, 0,2% fosforu, 0,2% potasu i 0,05% magnezu.^[2] Oprócz tych i wielu innych, korzystnych dla nawożenia gleby składników, gnojowica zawiera także szereg związków, które w odpowiednim stężeniu lub postaci są bardzo szkodliwe dla środowiska. W gnojowicy występuje relatywnie duże stężenie amoniaku i siarkowodoru oraz w sposób niekontrolowany emitowany jest do atmosfery metan i dwutlenek węgla. Obecne są również związki odorotwórcze, takie jak diacetyl, p-krezol, indol, fenole, merkaptany, skatole, aminy, siarczki metylu (łącznie 400 związków organicznych i nieorganicznych o wysokiej uciążliwości zapachowej).^[2]

Wpływ gnojowicy na środowisko naturalne

Zestawienie różnorodności i stężenia składników gnojowicy z jej ilością, a zwłaszcza silną koncentracją w wybranych regionach, pozwala na wyodrębnienie kilku zjawisk, które wywierają lub mogą wywierać destrukcyjny wpływ na środowisko naturalne:

- bardzo duża, w stosunku do możliwości przyswojenia przez naturalne środowisko, zawartość azotu organicznego w rezultacie prowadzi do jego denitryfikacji, co skutkuje silnym zakwaszeniem gleb, w tym spływu azotu do cieków wodnych i mórz,
- niekontrolowana fermentacja masy organicznej zawartej w gnojowicy prowadzi do uwalniania do atmosfery dużej ilości metanu, który według KOBIZE (Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami / Instytut Ochrony Środowiska) wywiera ponad 30 krotnie większy wpływ na powiększanie efektu cieplarnianego niż CO₂,

- silna emisja odorów bardzo pogarsza warunki życia lokalnej społeczności (do kilkunastu kilometrów od umiejscowienia chlewni lub obór), a także obniża warunki egzystencji hodowanych stad.

Problem ten szczególnie dotkliwie uwidacznia się w regionach o silnej koncentracji hodowli. W Europie najbardziej dotknięte są takie kraje jak Holandia, Dania, Belgia, Austria oraz wybrane landy w Niemczech, gdzie na niedużej powierzchni silnie skoncentrowana jest wielkotowarowa hodowla bydła i trzody chlewnej. Dlatego też w tych krajach najwcześniej rozpoczęto wdrażanie technologii i rozwiązań organizacyjnych ograniczających negatywny wpływ gnojowicy na środowisko.

W Polsce także obserwujemy silną koncentrację hodowli w wybranych regionach, co wywołuje podobne skutki jak w ww. krajach:

- hodowle trzody chlewnej: województwa wielkopolskie, mazowieckie, łódzkie, kujawsko-pomorskie,
- hodowle bydła: województwa podlaskie, wielkopolskie, mazowieckie, łódzkie.

Poniżej przykład koncentracji trzody chlewnej

Tabela 2 Pogłowie trzody chlewnej w Polsce

	30.VI. 2020	18.XI.2020	6.I.2021	Zmiana w proc.	
				XI.20/I.21	VI.20/I.21
	w sztukach				
dolnośląskie	199 632	193 520	194 002	-3,06	-2,82
kujawsko-pomorskie	1 196 794	1 158 974	1 168 630	-3,16	-2,35
lubelskie	498 783	492 821	488 135	-1,20	-2,13
lubuskie	220 211	199 995	196 534	-9,18	-10,75
łódzkie	1 315 360	1 211 615	1 223 775	-7,89	-6,96
małopolskie	138 243	142 714	143 712	3,23	3,96
mazowieckie	1 455 184	1 442 920	1 449 167	-0,84	-0,41
opolskie	418 069	402 884	410 612	-3,63	-1,78
podkarpackie	162 132	158 449	160 655	-2,27	-0,91
podlaskie	348 267	346 364	350 749	-0,55	0,71
pomorskie	678 987	680 201	657 231	0,18	-3,20
śląskie	257 179	249 745	253 804	-2,89	-1,31
świętokrzyskie	253 845	235 093	239 701	-7,39	-5,57
warmińsko-mazurskie	678 197	659 366	668 899	-2,78	-1,37
wielkopolskie	3 202 214	3 177 410	3 175 000	-0,77	-0,85
zachodniopomorskie	519 421	471 513	486 094	-9,22	-6,42
Polska ogółem	11 542 518	11 223 584	11 266 700	-2,76	-2,39

Źródło: ARIMR, obliczenia własne

Tabela 3 Udział poszczególnych województw w hodowli trzody (w proc.)

	30.VI.2018	30.VI.2019	30.VI.2020	18.XI.2020	6.I.2021
dolnośląskie	1,68	1,72	1,73	1,72	1,72
kujawsko-pomorskie	10,50	9,87	10,37	10,33	10,37
lubelskie	4,68	3,96	4,32	4,39	4,33
lubuskie	1,40	1,22	1,91	1,78	1,74
łódzkie	10,17	10,38	11,40	10,80	10,86
małopolskie	1,43	1,16	1,20	1,27	1,28
mazowieckie	10,62	10,32	12,61	12,86	12,86
opolskie	3,16	2,88	3,62	3,59	3,64
podkarpackie	1,27	1,20	1,40	1,41	1,43
podlaskie	2,77	2,97	3,02	3,09	3,11
pomorskie	6,53	7,16	5,88	6,06	5,83
śląskie	1,86	1,84	2,23	2,23	2,25
świętokrzyskie	1,95	1,68	2,20	2,09	2,13
warmińsko-mazurskie	4,84	4,97	5,88	5,87	5,94
wielkopolskie	34,54	36,33	27,74	28,31	28,18
zachodniopomorskie	2,57	2,33	4,50	4,20	4,31

Źródło: GUS (lata 2018-2019), ARIMR (2020), obliczenia własne

Źródło: : <https://www.wrp.pl/analiza-zmian-na-ryнку-trzody-chlewnej-w-polsce-w-2020-r/>

Sposoby przeciwdziałania negatywnemu oddziaływaniu gnojowicy na środowisko

Przeciwdziałanie negatywnym skutkom oddziaływania gnojowicy na środowisko naturalne odbywa się na kilku poziomach:

- na poziomie Unii Europejskiej i kraju członkowskiego – poprzez wprowadzanie regulacji pranych i organizacyjnych, w tym dyrektyw (np. Dyrektywa Rady Unii Europejskiej 96/61/EC z 24 września 1996 r. w sprawie zintegrowanego zapobiegania zanieczyszczeniom i ich kontroli) oraz rozporządzeń, (np. w Polsce Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 12 lutego 2020 r. w sprawie przyjęcia "Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu"),
- na poziomie instytucjonalnym, w tym organizacji o zasięgu krajowym i regionalnym (Regionalne Dyrekcje Ochrony Środowiska),
- na poziomie lokalnych władz samorządowych – poprzez opracowanie i przyjęcie planów zagospodarowania przestrzennego oraz wydawanie odpowiednich decyzji administracyjnych, które ze względu na presje społeczne w dużej mierze sprowadzają się do ograniczania hodowli w regionie,
- na poziomie społecznym – głównie poprzez manifestacje niezadowolenia mieszkańców gmin i blokadę rozwoju hodowli,
- na poziomie hodowców – poprzez dostosowywanie się do obowiązujących regulacji, w tym obowiązujących terminów stosowania nawozów (Dz. U. z 2020 r. poz. 243, pkt. 1.3., tab. 2.), a co za tym idzie inwestowania w budowę zbiorników przeznaczonych na kilkumiesięczne gromadzenie gnojowicy.

Teoretycznie, interesy na poszczególnych poziomach są takie same – każda z grup i instytucji chce chronić środowisko i najbliższe otoczenie. Odbywa się to jednak różnym kosztem, często nieuświadomionym. Rozwój potencjału ekonomicznego regionu, czym również jest rozwój hodowli wielkotowarowych, jest pożądanym ze względów społecznych. Jednak z tych samych względów ten rozwój jest ograniczany, przy czym na plan pierwszy wysuwa się obawa przed zwiększoną emisją odorów. Problem jest tym większy, że często silne stężenie nieprzyjemnych zapachów, jeszcze przed decyzjami o rozwoju hodowli, utrudnia funkcjonowanie lokalnej społeczności.

Rozwiązaniu opisanego powyżej dylematu oraz poprawie istniejącej już, trudnej sytuacji odorowej i zaazotowania gleb, służyć może wykorzystanie **odpowiednich technologii**.

Literatura i prace naukowe oraz praktyka wskazuje na kilka sposobów skutecznego przeciwdziałania negatywnemu oddziaływaniu gnojowicy. Są to tzw. technologie żywienia inwentarza, w tym stosowanie komponentów i uszlachetniaczy karmy, sposób przechowywania gnojowicy oraz jej aeracja lub ozonowanie ^[3]. Na pierwszy plan wysuwa się jednak technologia poddania gnojowicy **beztlenowej fermentacji metanowej**, która w sposób najbardziej wszechstronny i szeroki neutralizuje negatywny wpływ gnojowicy na środowisko. Dodatkowo, węzeł fermentacji metanowej wyposażony w układ kogeneracyjny, wykorzystujący jako paliwo biogaz rolniczy (biogazownia rolnicza), ogranicza dalszą emisję szkodliwych dla otoczenia związków. Technologia ta pozwala zastąpić pozyskanie energii

NATURALNA ENERGIA.plus Sp. z o.o.

53-608 Wrocław, ul. Robotnicza 52A

tel. +48-71-341-02-19

<https://naturalnaenergia.plus>

elektrycznej i ciepła ze źródeł kopalnych źródłami odnawialnymi w postaci biomasy odpadowej.

Fermentacja metanowa jako optymalna technologia neutralizacji gnojowicy

Na biogazownie jako główne narzędzie redukcji odorów w sektorze rolniczym wskazuje np. Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Departament Ochrony Powietrza i Klimatu. W opublikowanym w dniu 5 września 2016 r. dokumencie pod nazwą „Kodeks przeciwdziałania uciążliwości zapachowej” czytamy, że „do głównych zalet produkcji biogazu należą:

- redukcja odorów pochodzących z produkcji zwierzęcej, np. z wykorzystania gnojowicy,
- redukcja patogenów przez proces fermentacji;
- zagospodarowanie uciążliwych odchodów zwierzęcych;
- możliwość stosowania biomasy i roślin energetycznych o dużej wilgotności;
- możliwość wykorzystania traw z łąk, parków oraz chwastów;
- możliwość lokalnego wytwarzania energii.”^[4]

Zespół ekspertów z Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, w swojej publikacji pod tytułem „Technologie redukujące emisje uciążliwych gazów powstających podczas chowu zwierząt gospodarskich” istotnie rozwija i wyjaśnia zalety nakreślone w powyższym „kodeksie”. Naukowcy stwierdzają, że:

„Wykorzystanie gnojowicy jako substratu w biogazowniach jest korzystnym rozwiązaniem, powoduje uzyskanie energii odnawialnej, zapobiega emisji gazów cieplarnianych oraz odorów do atmosfery na poziomie 80–90% [Pilarska i in. 2014]. Podczas procesu fermentacji zarówno mezofilowej jak i termofilowej temperatura kształtuje się odpowiednio w granicach 30–42°C i 48–56°C, co powoduje obumieranie organizmów patogennych, ale również uszkodzenie termiczne diaspor chwastów, o czym mówią w swoich badaniach Piechota i in. [Piechota i in. 2012]. Pulpa pofermentacyjna wykazuje lepsze właściwości nawozowe a jeżeli surowa gnojowica. Zawiera wyższą zawartość związków mineralnych, co wynika z faktu stosowania gnojowicy z innymi substratami, o wyższej zawartości suchej masy organicznej. Fermentacja metanowa powoduje również wzrost o 20% azotu w postaci azotu amonowego, który jest łatwo przyswajalny przez rośliny [Margel 2004]. Wobec powyższego wykorzystanie gnojowicy jako substratu w biogazowniach przynosi zyski energetyczne z zachodzącego procesu przyczyniając się do ograniczenia zużycia paliw kopalnianych, poza tym powstająca pulpa pofermentacyjna przyczynia się do obniżenia zużycia nawozów mineralnych [Chynoweth i in. 2001].”^[3]

Jako pierwsze w Europie i na największą skalę, fermentację metanową stosują wspomniane wcześniej kraje o silnej koncentracji hodowli na małym areale. Powszechne stosowanie przykrytych zbiorników i lagun na gnojowicę oraz wykorzystanie biogazowni bazujących na gnojowicach zredukowało uciążliwość zapachową o kilkadziesiąt procent. W tych krajach także najbardziej rozwinęły się technologie fermentacji metanowej, wprost przystosowanej do skali gospodarstwa. „Fermentacja jest powszechnie wykorzystywana w Niemczech, Austrii i Danii jako proces pozwalający na utylizację gnojowicy [Lentz i in. 2007, Raven, Gregersen 2007, Weiland 2010]. Beztlenowa utylizacja jest uważana za technikę przyczyniającą się do redukcji

emisji gazów cieplarnianych do środowiska [Clemens i in. 2006, Kaparaju, Rintala 2011, Holm-Nielsen i in. 2009].” [3]

Po przeprowadzeniu fermentacji metanowej gnojowica w bardzo szerokim zakresie zmienia swoje właściwości fizykochemiczne i po tym procesie powszechnie nazywana jest już pofermentem lub pulpą pofermentacyjną. **Ta zmiana właściwości fizykochemicznych jest podstawą redukcji uciążliwości środowiskowych gnojowicy oraz diametralnie zwiększa możliwości dalszego wykorzystania jej, z tym, że już w postaci pofermentu i bez uszczerbku dla środowiska.** Zmienia się bowiem lepkość i gęstość masy po przefermentowaniu, co ułatwia aplikowanie pofermentu do gleby, a więc także jego przyswajalność i absorpcję przez grunt. „Podstawowymi parametrami charakteryzującymi substancję pofermentacyjną są: zawartość suchej masy, odczyn, zawartość substancji organicznych, azotu, fosforu, wapnia i magnezu, a także metali ciężkich. Substancja pofermentacyjna to zawiesina wodna zawierająca 2–5% suchej masy o pH~7. W fazie ciekłej rozpuszczone są zarówno związki mineralne, jak i organiczne. Zawartość azotu ogólnego w masie pofermentacyjnej waha się od 2% do 3% świeżej masy. Ponieważ w procesie fermentacji beztlenowej azot organiczny ulega w znacznym stopniu amonifikacji, jego dominująca ilość, dochodząca nawet do 85%, to azot amonowy.” [5]

Typowy skład chemiczny gnojowicy i pofermentu [5]

Wyszczególnienie	Sucha masa [%]	N całkow. [%]	NH ₄ -N [%]	pH
Gnojowica bydłowa	6,0	6,5	5,0	2,8
Gnojowica świńska	4,0	7,0	5,0	3,8
Poferment	2,8	7,5	5,0	4,0

Te pozytywne przemiany zachodzące w procesie fermentacji metanowej gnojowicy uwzględnione zostały w polskich przepisach określających np. zasady i terminy nawożenia nawozami naturalnymi. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 12 lutego 2020 r. w sprawie przyjęcia „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu” wskazuje, że w gnojowicy tuczniaków zawartość N (azotu) wynosi 4,6 kg/tonę lub m³ (str. 98 Programu), natomiast w „produkcie pofermentacyjnym – fermentacja „mokra”” w wysokości 2,8 kg/tonę lub m³ (str. 100 Programu). Zaleca się jednak przeprowadzenie badania, gdyż jak wskazują autorzy dokumentu zawartość azotu zależy od receptury fermentatu. [6] W konsekwencji oznacza to, że ustawodawca bazując na doświadczeniu przyjmuje, iż do racjonalnego zagospodarowania azotu zawartego w pofermencie wymagany jest mniejszy areał niż w przypadku gnojowicy. Dodatkowo dla pofermentu przyjęto wydłużone, względem gnojowicy, okresy możliwości jego aplikacji do gleb. To z kolei rozkłada proces nawożenia niemal na cały rok, a nie na kilka miesięcy jak to się dzieje w przypadku gnojowicy. Podobne regulacje funkcjonują w innych państwach Unii Europejskiej, z czego chętnie korzystają hodowcy w krajach o intensywnej hodowli. Dla przykładu w Niemczech, gdzie funkcjonuje już 9.5 tys.

NATURALNA ENERGIA.plus Sp. z o.o.

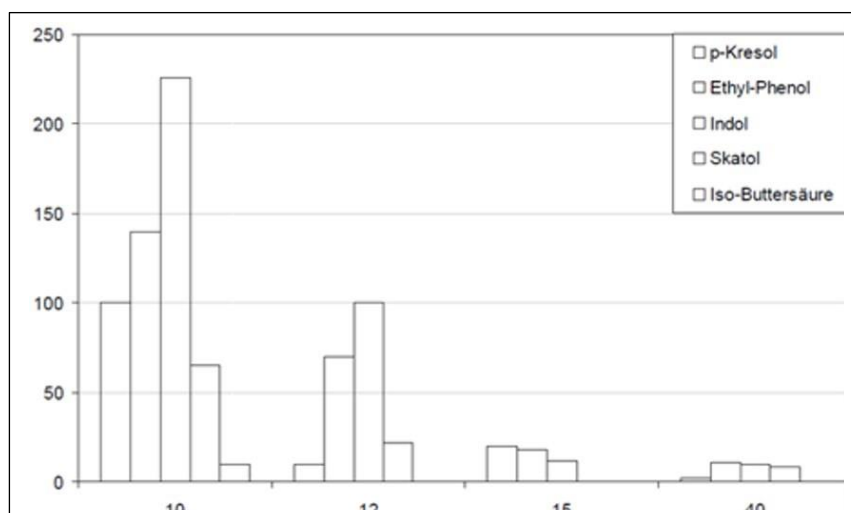
53-608 Wrocław, ul. Robotnicza 52A

tel. +48-71-341-02-19

<https://naturalnaenergia.plus>

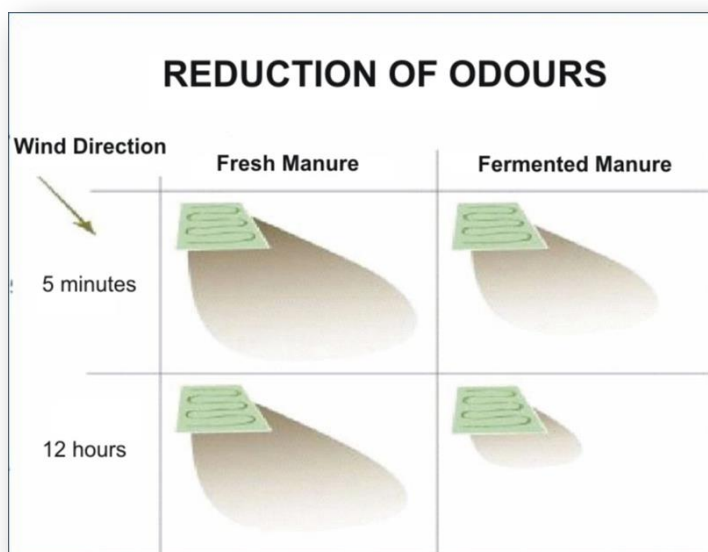
biogazowni rolniczych problem konfliktów społecznych na tle uciążliwości gnojowicy niemal rozwiązano. W Holandii w proces zagospodarowania gnojowicy zaangażowały się także duże korporacje będące odbiorcami mleka lub żywca. Polityka władz lokalnych i społeczności lokalnych zmierza w tych krajach z jednej strony do twardego egzekwowania narzuconych hodowcom obowiązków, a z drugiej wspiera rozwiązaniami umożliwiającymi spełnienie tych obowiązków. W Polsce jesteśmy na początku tej drogi. Aktualnie pracuje tylko 100 biogazowni rolniczych i 30 mikrobiogazowni zlokalizowanych bezpośrednio przy hodowlach. To pojedyncze procenty możliwości i promile potencjału biogazowego.

Stopień redukcji odorów poprzez eliminację w fermentacji metanowej związków odorotwórczych ilustrują dane przekazane np. przez GOBARTO podczas prezentacji „Biogazownie jako element gospodarki o obiegu zamkniętym”. Poniższy wykres przedstawia redukcję odorów w układzie: względna koncentracja związków odorotwórczych (%) w czasie retencji (dni).



Czas retencji, a więc poddania substratu procesowi fermentacji metanowej w biogazowni rolniczej wynosi w przypadku gnojowicy świńskiej od 26 do 35 dni, krów mlecznych od 15 do 30 dni. Z tego powodu bardzo ważnym elementem jest właściwy dobór skali biogazowni, dopasowanej do wielkości obsługiwanej hodowli i ilości generowanej gnojowicy – tak aby fermentacji poddać całą gromadzoną gnojowicę. W tym przypadku, jak wskazuje doświadczenie hodowców, najlepiej sprawdza się mikro i mała biogazownia, utylizująca gnojowicę w miejscu jej powstawania.

Osobnej analizy wymaga sposób rozprzestrzeniania się odorów w otoczeniu. „Z przeprowadzonych w Kanadzie badań intensywności i czasu trwania emisji odorów wynika, iż źródłem odorów w 20% są chlewnie, w 10% składowanie odpadów, w 5% regeneracja, a w 65% aplikacja nawozu do gleby”.^[2] O ile w obszarze chlewni i składowania odpadów optymalnym rozwiązaniem są systemy filtracji i przykryte zbiorniki lub laguny, to aplikacja nawozu do gleby wiąże się już tylko z przekształceniem gnojowicy w prawie bezwonny, płynny poferment. W tym wypadku fermentacja metanowa redukuje ilość związków odorotwórczych, oraz ułatwia rozprowadzenie płynnej cieczy bezpośrednio do gruntu. Skutki zastosowania pofermentu vs. gnojowicy przedstawia poniższa ilustracja:



Źródło: konferencja „Biogazownie szansą dla rolnictwa i środowiska” - Fundacja na Rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa oraz Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

Podsumowanie

Fermentacja metanowa przeprowadzana w zamkniętym, hermetycznym, beztlenowym środowisku zbiornika fermentacyjnego jest aktualnie najszerzej stosowaną w Europie technologią neutralizacji negatywnego oddziaływania gnojowicy na środowisko. Stało się tak dzięki uniwersalnym właściwościom fermentacji metanowej oraz ze względu na możliwość równoległej realizację kilku celów, tj. środowiskowych, społecznych i ekonomicznych:

- W procesie fermentacji zostaje wyeliminowanych do 80% związków odorotwórczych, a powstający poferment jest niemal bezwonny, zachowując nadal bardzo wysokie parametry nawozowe,
- Poferment jest silnie uwodniony, przez co łatwo rozprowadza się po polach uprawnych i łąkach, a zawarty w nim azot w formie amonowej lepiej jest wchłaniany przez glebę i nie dochodzi do silnej nityfikacji środowiska oraz spada zapotrzebowanie na wapno,
- Łatwe wchłanianie pofermentu zdecydowanie zmniejsza ryzyko rozprzestrzeniania się resztek zapachowych, i umożliwia hodowcom nawożenie pól niemal przez cały rok (za wyjątkiem okresów gdy leży pokrywa śnieżna lub grunt jest silnie zmrożony), bez kumulacji wywożenia odpadów w krótkich okresach, co zawsze utrudniało życie lokalnej społeczności,
- Wytwarzany podczas fermentacji metanowej biogaz wykorzystywany jest jako źródło energii odnawialnej i służy do wytwarzania energii elektrycznej i ciepła, zmniejszając tym samym zapotrzebowanie gospodarstwa na energię ze źródeł kopalnych,
- Kontrolowane uwalnianie metanu z gnojowicy oraz jego zagospodarowanie w układzie kogeneracyjnym biogazowni zmniejsza emisję szkodliwych gazów cieplarnianych i umożliwia osiągnięcie celów klimatycznych.

Powszechne stosowanie przy hodowlach mikro, małych lub średnich biogazowni, funkcjonujących jako uzupełnienie cyklu technologicznego gospodarstwa, może być istotnym narzędziem polityki zrównoważonego rozwoju na szczeblu lokalnym i krajowym. Szczególnym przypadkiem, jest zastosowanie technologii bazujących tylko na gnojowicy lub oborniku w miejscu jego powstawania. Nie ulega wówczas przerwaniu tzw. łańcuch żywieniowy i wyeliminowany zostaje uciążliwy transport substratów.

Literatura/źródła bezpośrednio wykorzystane

1. Walczak J. i inni (2012), Oszacowanie wielkości produkcji oraz jednostkowej zawartości azotu nawozów naturalnych, powstałych w różnych systemach utrzymania zwierząt gospodarskich w Polsce, Instytut Zootechniki Państwowy Instytut Badawczy.
2. Marszałek M., Banach M., Kowalski Z., (2011), Wpływ gnojowicy na środowisko naturalne – potencjalne zagrożenia, Instytut Chemii i Technologii Nieorganicznej, Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej, Politechnika Krakowska.
3. Smurzyńska A., Dach J., Czekąła W., (2016), Technologie redukujące emisję uciążliwych gazów powstających podczas chowu zwierząt gospodarskich, Inżynieria Ekologiczna / Ecological Engineering Vol. 47.
4. Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Departament Ochrony Powietrza i Klimatu, (2016), Kodeks przeciwdziałania uciążliwości zapachowej.
5. Makara A., Kowalski Z., Fela K., (2017), Zagospodarowanie substancji pofermentacyjnej w aspekcie bezpieczeństwa ekologicznego, Prace naukowe Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie.
6. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 12 lutego 2020 r. w sprawie przyjęcia „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu”.

Pozostałe źródła i materiały

- A. Kowalczyk-Juśko A., Szymańska M., (2015) Poferment nawozem dla rolnictwa, Fundacja na rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa
- B. Walczak J., Krawczyk W., i inni, (2017), Opracowanie monograficzne „Najefektywniejsze metody redukcji niekorzystnych oddziaływań rolnictwa w zakresie środowiska naturalnego i zmian klimatu oraz możliwości szacowania ich efektów”, Instytut Zootechniki Państwowy Instytut Badawczy.
- C. Zwoździak J. i inni, (2016), Lista substancji i związków chemicznych, które są przyczyną uciążliwości zapachowej, opracowanie finansowane przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej na zlecenie Ministerstwa Środowiska.
- D. Marszałek M., Banach M., Kowalski Z., (2011), Utylizacja gnojowicy na drodze fermentacji metanowej i tlenowej – produkcja biogazu i kompostu, Instytut Chemii i Technologii Nieorganicznej, Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej, Politechnika Krakowska.

