

KWAŚNY JUSTYNA, KOWALSKI ZYGMUNT, BANACH MARCIN\*

## WŁAŚCIWOŚCI NAWOZOWE GNOJOWICY W KONTEKŚCIE ZAWARTOŚCI WYBRANYCH MAKRO- I MIKROELEMENTÓW

### FERTILIZER PROPERTIES OF PIG SLURRY IN THE CONTEXT OF SELECTED MACRO- AND MICRONUTRIENTS CONTENT

#### Streszczenie

Gnojowica świńska jest produktem odpadowym powstającym w bezściółkowej hodowli trzody chlewnej. Ze względu na bogaty skład znalazła zastosowanie jako nawóz naturalny. W niniejszym artykule zostały przedstawione właściwości nawozowe odpadu w kontekście zawartości makroelementów, takich jak N, P, K, Ca i Mg oraz wybranych mikroelementów. Zawarte zostały również kwestie zanieczyszczenia środowiska występujące podczas nawożenia gleb gnojowicą.

*Słowa kluczowe: gnojowica świńska, azot, fosfor, mikroelementy, nawóz, wartość nawozowa*

#### Abstract

Pig slurry is a waste from pig farming, which is onerous for the environment. It is used as the natural fertilizer because of specific composition. In the present article fertilizer properties of waste were described in the context of content of macronutrients, such as N, P, K, Ca and Mg and selected micronutrients. Also raised issues of environmental pollution occurring during fertilization of soil with pig slurry.

*Keywords: pig slurry, nitrogen, phosphorus, micronutrients, fertilizer, fertilizer value*

\* Mgr inż. Justyna Kwaśny, prof. dr hab. inż. Zygmunt Kowalski, dr inż. Marcin Banach, Instytut Chemii i Technologii Nieorganicznej, Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej, Politechnika Krakowska.

## 1. Wstęp

Gnojowica świńska od wielu lat stosowana jest jako nawóz naturalny [1]. Obecnie znacznie wzrosła jednak przemysłowa hodowla trzody chlewnej, czego wynikiem jest nadmierna produkcja gnojowicy, znacznie przekraczająca areał pól uprawnych mogących ją przyjąć. Dlatego też konieczne jest ustanowienie pewnych norm, określających ilości nawozów aplikowanych do gleby. W Polsce kwestie tego typu regulują ustawy z 2001 roku: Prawo ochrony środowiska [2] i Ustawa o odpadach [3] oraz nowelizacja tej ustawy z 2010 roku [4]. Dodatkowo w 2004 roku został sporządzony Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej [5], który określa aspekty racjonalnego postępowania i gospodarowania np. nawozami. Przy odpowiednim stosowaniu nawozów naturalnych, których przykładem jest gnojowica świńska, gleba zostaje wzbogacana w makro i mikroelementy stymulujące wzrost i rozwój roślin. Do składników odżywczych zawartych w gnojowicy zalicza się m.in. związki N, P, K, Ca, Mg oraz z grupy mikroelementów np. Cu i Zn [6, 7]. Obecność wspomnianych pierwiastków, a także ich biodostępność dla roślin decyduje o właściwościach nawozowych odpadu z hodowli trzody chlewnej.

## 2. Nawożenie i właściwości nawozowe

Nawożenie gleb służy ich użyźnieniu, co w efekcie zwiększa stężenie składników odżywczych w podłożu i powoduje wzrost plonów. Głównymi materiałami nawozowymi są nawozy mineralne, np. saletra amonowa (azotan amonu), wapniowa i potasowa oraz saletra chilijska (azotan sodu), a z grupy nawozów fosforowych stosuje się np. superfosfat pojedynczy i potrójny, kwas fosforowy i fosforany amonowe.

W celu ograniczenia postępującej degradacji środowiska, z powodu nadmiernej produkcji materiałów odpadowych, w tym też odpadów organicznych zwiększa się nacisk na ich utylizację. Sposobem umożliwiającym utylizację gnojowicy świńskiej w sposób najbardziej naturalny, jest jej aplikacja do gleby. Umożliwia to dodatkowo zmniejszenie ilości stosowanych nawozów mineralnych, które mogą powodować zanieczyszczenia niektórych obszarów w wyniku nieodpowiedniego nawożenia, a ich produkcja jest kosztowna. Należy zauważyć, że nie wszystkie odpady mogą służyć jako nawozy, gdyż muszą spełniać wymagania związane z ochroną środowiska, oraz być użyteczne w środowisku. W celu określenia wspomnianej użyteczności bada się właściwości nawozowe danego odpadu [6].

O właściwościach nawozowych materiału świadczy głównie zawartość substancji organicznych, organicznego węgla, azotu i fosforu. Dodatkowo określa się ilość innych makroelementów i wybranych mikroelementów. Jednak najistotniejszym kryterium jest biodostępność wspomnianych związków umożliwiająca łatwe wchłanianie substancji odżywczych przez rośliny [6].

## 3. Gnojowica świńska i jej skład chemiczny

Produktem ubocznym powstającym w bezściółkowej hodowli trzody chlewnej jest gnojowica, będąca płynną mieszaniną kału i moczu z dodatkiem wody. W zależności od jej za-

wartości w odpadzie, gnojowicę można scharakteryzować jako gęstą (zawiera powyżej 8% suchej masy) oraz rozcieńczoną, która zawiera poniżej 8% suchej masy.

Zawartość określonych składników w gnojowicy zależy przede wszystkim od fizjologii zwierzęcia, sposobu żywienia i hodowli trzody chlewnej. W Tabeli 1 przedstawiono skład gnojowicy świńskiej pochodzącej z różnych hodowli, która wyraźnie różniła się zawartością wody, całkowitą ilością węgla organicznego (TOC) oraz azotu (TN) i fosforu. W Tabeli 1 zestawiono również wartości pH oraz w przypadku gnojowicy hiszpańskiej całkowitą ilość ciał stałych (TS), lotnych ciał stałych (VS) oraz azotu amonowego (AN).

Tabela 1

#### Skład chemiczny i pH gnojowicy świńskiej

Pochodzenie gnojowicy	Parametr							
	pH	Zawartość wody %	TS mg/l	TOC %	VS mg/l	TN %	AN kg N/m <sup>3</sup>	Fosfor %
Włochy – Perugia [8]	8,40	99,20	–	22,10*	–	18,20*	–	1,90*
Hiszpania –Segovia [9]	7,67	–	5,67	–	2,05	0,19	0,10	–
Chiny – Hong Kong [10]	8,12	68,30	–	36,60	–	3,24	–	1,72
Chiny – Hangzhou [11]	–	75,00	–	–	–	2,53	–	3,17

\* W przeliczeniu na suchą masę

Gnojowica świńska ze względu na kompozycję składników, znalazła zastosowanie głównie jako nawóz organiczny. Główny Urząd Statystyczny wykazał, że w 2007 roku stosowano ją do nawożenia w 42,1 tysiącach gospodarstw, co stanowiło 1,8% ogółu gospodarstw rolnych prowadzących działalność rolniczą w Polsce. W tym celu zużyto 21,9 mln m<sup>3</sup> gnojowicy, co w przeliczeniu stanowi 13,4 kg NPK na 1 ha uprawy [12].

#### 4. Właściwości nawozowe gnojowicy świńskiej

Przydatność nawozów organicznych do celów rolniczych określa się na podstawie zawartości w nich określonych substancji mineralnych (np. azotu i fosforu) oraz na podstawie tzw. kryteriów dodatkowych, które uwzględniają warunki higieniczno-sanitarne, rodzaj terenów i gleb przeznaczonych pod uprawę oraz gatunki uprawianych roślin. Do kryteriów podstawowych zalicza się kryterium azotowe, fosforowe i kryterium pierwiastków śladowych, dotyczące zawartości np. miedzi i cynku [13].

Gnojowica świńska stanowi cenne źródło substancji mineralnych, szczególnie potrzebnych roślinom do rozwoju. O jej właściwościach nawozowych świadczy obecność związków azotu, fosforu, magnezu, wapnia i potasu oraz chlorków i siarczanów. Jednak najistotniejszym kryterium decydującym o tych właściwościach jest forma, w jakiej te substancje występują, gdyż od niej zależy stopień przyswojenia przez rośliny składników pokarmowych.

## 5. Właściwości nawozowe gnojowicy w kontekście zawartości azotu

Pierwiałkiem niezbędnym dla życia i rozwoju roślin jest azot. Jako budulec chlorofilu jest wyjątkowo energicznie przez nie pochłaniany. Większość roślin nie potrafi absorbować azotu z atmosfery, wyjątek stanowią rośliny motylkowe żyjące w symbiozie z bakteriami azotowymi. Pozostałe rośliny pobierają azot poprzez systemy korzeniowe, w formie rozpuszczalnych w wodzie jonów: jonu azotanowego  $\text{NO}_3^-$  oraz jonu amonowego  $\text{NH}_4^+$ .

Azot w glebie występuje w postaci związków nieorganicznych i organicznych. Jego zawartość zależy m.in. od genezy gleby, sposobu prowadzenia upraw i od rodzaju uprawianych roślin oraz od podatności na erozję. Należy zauważyć, że udział procentowy azotu nieorganicznego wynosi mniej niż 10% całkowitej ilości azotu w glebie, która zależy głównie od zawartości materii organicznej. Jony amonowe  $\text{NH}_4^+$  powstają wskutek mineralizacji pozostałości roślinnych i materii organicznej w podłożu. Bakterie nityfikacyjne utleniają je do jonów azotynowych  $\text{NO}_2^-$ , a następnie do jonów azotanowych  $\text{NO}_3^-$ , które są łatwiej wchłaniane przez rośliny niż jony amonowe [14]. Ilość jonów azotanowych zależy od ilości jonów  $\text{NH}_4^+$  oraz od obecności w glebie mikroorganizmów, które w obecności  $\text{NO}_3^-$  zwiększają populację. Stwierdzono jednak, że bakterie tego typu chętniej gromadzą jony amonowe, natomiast na koncentrację  $\text{NO}_3^-$  w glebie znaczny wpływ ma konsumpcja roślinna oraz procesy nityfikacji [15].

Mineralizacja materii organicznej jest procesem długoterminowym i zależy od warunków glebowych, np. na terenach podmokłych zachodzi szybciej, czego dowodem może być większa ilość jonów amonowych w stosunku do jonów azotanowych [14]. W związku z tym, w celu zaspokojenia zapotrzebowania roślinnego na nieorganiczne związki azotu, konieczne jest nawożenie gleby. Organicznym nawozem bogatym w azot jest gnojowica świńska, która zawiera m.in. amoniak, związki amonowe, azotany, tlenki azotu oraz materię organiczną [16]. Należy zauważyć, iż gnojowica jest źródłem głównie nieorganicznych związków azotu, których udział procentowy wynosi ok. 75% całkowitej ilości N, przy czym zależy on w dużej mierze od fizjologii i stanu zwierzęcia. Nawóz pochodzący od karmiących i ciężarnych loch różni się składem od gnojowicy pochodzącej od innych osobników [6]. Zawartość azotu dla różnych grup hodowlanych trzody chlewnej przedstawiono w Tabeli 2, gdzie do Grupy 1 zaliczono lochy karmiące, ciężarne i prosięta (do 14–16 kg wagi), Grupa 2 obejmowała wszystkie osobniki (dorosłe osobniki i prosięta), a Grupa 3 składała się ze świń o wadze 14–16 kg hodowanych na ubój [6]. Stwierdzono również, że zawartość azotu w gnojowicy związana jest z jej przewodnością elektryczną właściwą (EC), gęstością oraz chemicznym i biochemicznym zapotrzebowaniem na tlen (ChZT i BZT<sub>s</sub>) [17].

**Średnia zawartość azotu w gnojowicy różnego pochodzenia (Grupa 1, Grupa 2 i Grupa 3) [6]**

Zawartość azotu [g/kg gnojowicy]	Grupa 1	Grupa 2	Grupa 3
$\text{NH}_4^+-\text{N}$	1,50	1,69	2,43
Nieorg-N	2,07	2,47	3,31
Org-N	0,67	0,70	0,88
Azot całkowity	2,61	3,07	4,08

W celu określenia skuteczności nawożenia gleby gnojowicą pod względem dostarczania azotu, Bertora i współpracownicy [16] aplikowali do niej surową mieszaninę oraz jej frakcją stałą i ciekłą (nieprzetworzoną i przechowywaną w warunkach beztlenowych), a następnie określali stopień kondensacji w glebie jonów amonowych oraz azotanowych. Analizę, w celu porównania, wykonano również dla gleby nawożonej mocznikiem. Udział procentowy związków amonowych w surowej gnojowicy, jej frakcji stałej, ciekłej i ciekłej przetworzonej wynosił odpowiednio 43%, 32%, 30% i 33% w przeliczeniu na jony  $\text{NH}_4^+$ . Najwięcej jonów amonowych znajdowało się w glebie, do której aplikowano mocznik, co wynikało z faktu, że przed nawożeniem zawierał on największą ilość  $\text{NH}_4^+$  – około 53% w przeliczeniu na N. Nityfikacja jonów amonowych przebiegała szybko, gdyż już po pierwszym tygodniu po nawożeniu zaobserwowano ich całkowitą asymilację. Po tym okresie nastąpił wzrost akumulacji jonów azotanowych w glebie, który nie zależał od typu zastosowanego nawozu. W 58 dniu po aplikacji stwierdzono, że zawartość jonów  $\text{NO}_3^-$  w glebie nawożonej surową gnojowicą zawierała 39% całkowitej zawartości N. Podczas gdy w przypadku aplikacji frakcji ciekłej nawozu, a także frakcji ciekłej przetworzonej i stałej zawartość ta wyniosła odpowiednio 52%, 67%, 19% zawartości azotu. Warto dodać, że dla gleby nawożonej mocznikiem udział procentowy anionów wyniósł 41%. Wartości te określono po odjęciu zawartości jonów  $\text{NO}_3^-$  w glebie nienawożonej. Autorzy stwierdzili więc, że ilość gromadzonych jonów azotanowych zależy głównie od ilości jonów amonowych w nawozie [16]. W Tabeli 3 przedstawiono ilość jonów amonowych oraz azotanowych w glebie w określonych dniach po aplikacji.

W celu zbadania właściwości nawozowych gnojowicy w odniesieniu do dynamiki azotu mineralnego w glebie i jego nityfikacji, Sørensen i Eriksen [18] zakwasili mieszaninę poprzez dodatek kwasu siarkowego do pH 5,5; a następnie prowadzili napowietrzanie części nawozu, przepuszczając powietrze atmosferyczne przez 6 godzin oraz przez 4 dni, po czym pozostawili ją na 3 tygodnie. Po aplikacji nawozu do gleby stwierdzono, że zakwaszenie gnojowicy oraz jej napowietrzanie nie wpływają na dynamikę azotu nieorganicznego w podłożu, a także stopień nityfikacji nie zależy od zakwaszenia ziemi. Autorzy określili również równoważnik nawozów mineralnych (MFE – *Mineral Fertilizer Equivalent*) w odniesieniu do gnojowicy stosowanej do nawożenia pól uprawnych pszenicy ozimej i jęczmienia jarego. Dla gleby zasianej pszenicą i nawożonej surową gnojowicą wartość MFE stanowiła równowartość 74% całkowitego azotu, podczas gdy w przypadku nawożenia zakwaszoną gnojowicą MFE wyniosło od 101 do 103%. W przypadku uprawy jęczmienia jarego wartość MFE wyniosła 59% i 61–68% przy nawożeniu odpowiednio surową i zakwaszoną gnojowicą.

wicą. W ten sam sposób przeprowadzono badanie dla gnojowicy bydlęcej, dla której wartości MFE były niższe [18]. Ponieważ równoważnik nawozów mineralnych określa ilość składników pokarmowych dostarczanych roślinom w nawozach organicznych w stosunku do składników w nawozach mineralnych [19], można stwierdzić, że uzyskane wartości MFE świadczą o dobrych właściwościach nawozowych gnojowicy świńskiej w odniesieniu do zawartości azotu, w dodatku lepszych od właściwości gnojowicy bydlęcej. Dodatni wpływ zakwaszenia gnojowicy trzody chlewnej i bydlęcej na stabilizację azotu amonowego badali Hoffmann i współpracownicy [20], którzy w celu obniżenia odczynu gnojowicy stosowali dodatek zakwaszających nawozów stałych. Autorzy stwierdzili, że obniżenie pH ma znaczący wpływ na stabilizację azotu amonowego [20].

Tabela 3

**Zawartość  $\text{NH}_4^+$  i  $\text{NO}_3^-$  w glebie nienawożonej i nawożonej surową gnojowicą, jej frakcją stałą, cieklą i cieklą przechowywaną w warunkach beztlenowych oraz mocznikiem w określonych dniach po aplikacji [16]**

Rodzaj nawozu	Zawartość jonów [mg/ kg gleby]								
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N						
	Dzień								
	1	1	8	15	30	44	58	71	85
Surowa gnojowica	23,9	98,2	121,6	103,9	126,3	141,6	143,0	159,2	163,8
Frakcja stała	11,9	95,4	116,4	95,8	112,2	114,1	126,9	122,3	138,1
Frakcja ciekła	21,1	97,8	135,7	130,2	137,4	144,8	153,1	157,0	166,6
Frakcja ciekła w war. beztlenowych	23,2	94,8	131,1	121,8	126,7	147,3	165,0	150,0	170,7
Mocznik	41,8	103,0	135,8	129,6	141,9	152,3	143,9	167,8	172,8
Gleba nienawożona	0,3	83,2	87,8	79,6	90,5	99,9	111,9	119,0	122,8

## 6. Właściwości nawozowe gnojowicy w kontekście zawartości fosforu

Fosfor jest kolejnym pierwiastkiem o bardzo ważnym znaczeniu dla rozwoju roślin [21,22]. Największe jego zapotrzebowanie stwierdza się w okresie wytwarzania systemu korzeniowego oraz organów generatywnych [23]. Rośliny najlepiej przyswajają związki fosforu rozpuszczalne w wodzie, przy lekko kwaśnym odczynie podłoża ( $\text{pH} = 6-7$ ), podczas gdy w glebie występuje on w postaci organicznej lub nieorganicznej, a jego zawartość waha się w granicach od 0,02 do 0,3% mas.  $\text{P}_2\text{O}_5$  [24] oraz od 0,01 do 0,2 % mas.  $\text{P}_2\text{O}_5$  w warstwie ornej [25]. Najczęściej fosfor w glebie tworzy związki z kationami metali 2- i 3-wartościowymi, np. wapnia, magnezu, żelaza, glinu i manganu [24]. W podłożu kwaśnych dominują formy związków z glinem, żelazem oraz z jonem hydroksytlenkowym, natomiast

fosforany wapnia przeważają w glebie o odczynie zasadowym [21, 25]. Należy zauważyć, że przy długotrwałym powierzchniowym nawożeniu ziemi nawozem organicznym, zwiększa się ilość mineralnych związków fosforu, co wynika z faktu, że ortofosforany są najbardziej stabilnymi związkami tego niemetalu. Ponadto, układy organiczne fosforu łatwo ulegają procesom mineralizacji [21].

Mieszaniną bogatą w nieorganiczne związki fosforu jest gnojowica świńska, przy czym ich zawartość jest różna i zależy od fizjologii zwierząt, od których pochodzi nawóz [6]. W Tabeli 4 przedstawiono procentowe ilości fosforu w stosunku do całkowitej ilości tego pierwiastka w gnojowicy świńskiej dla różnych grup hodowlanych (Grupa 1, Grupa 2, Grupa 3 – opisane w poprzednim rozdziale) [6].

Tabela 4

**Zawartość P w odniesieniu do jego całkowitej ilości w gnojowicy świńskiej oraz całkowita ilość P dla różnych grup hodowlanych [6]**

Rodzaj gnojowicy	Udział procentowy fosforu [%]		Całkowita ilość fosforu [g/kg]
	Nieorganicznego	Organicznego	
Grupa 1	74,49	17,39	0,690
Grupa 2	87,06	14,49	0,773
Grupa 3	84,06	17,66	0,991

Moral i współpracownicy stwierdzili również, że ilość P w gnojowicy jest związana z jej gęstością, całkowitą ilością ciał stałych oraz ciał sedymentowanych, co ukazuje Tabela 5 [17].

Tabela 5

**Stopień zależności pomiędzy zawartością wybranych składników odżywczych, a określonymi właściwościami gnojowicy świńskiej [17]**

Składniki odżywcze	Konduktywność	Gęstość	Ciała zawieszone	Ciała stałe	ChZT
Azot całkowity	***	***	ni	ni	***
Azot amonowy	***	**	ni	ni	***
Azot w zw. organicznych	*	***	**	*	***
K	***	***	ni	ni	***
P	ni	***	***	***	***
Ca	ni	***	***	***	**
Mg	ni	***	***	***	***

\* – znaczący, \*\* – średnio znaczący, \*\*\* – bardzo znaczący, ni – nie istotne

Związki nieorganiczne i organiczne fosforu znajdują się we frakcji stałej gnojowicy, gdzie ich udział procentowy wynosi odpowiednio 80% i 20% całkowitej zawartości pierwiastka w nawozie. Jednak wykonane przez Sáncheza i Gonzáleza [6] analizy gleby po dłuższym



czasie od aplikacji ukazują, że zawiera ona niewielkie ilości lub brak fosforu organicznego. Wynika to z faktu, że procesy mineralizacji są długoterminowe i po dłuższym czasie związki organiczne fosforu ulegają całkowitemu rozkładowi [6]. Jest to potwierdzone analizami gleby przeprowadzonymi przez Saviozziego i współpracowników [26], które wykazały obecność rozpuszczalnych związków fosforu w ziemi po 8 miesiącach od aplikacji i całkowity ich zanik w ciągu kolejnych 4 miesięcy [26]. Podczas nawożenia gnojowicą szczególnie istotna jest zawartość w wodzie wapnia i magnezu oraz rodzaj podłoża, gdyż na glebach wapiennych ponad 40% fosforu zawartego w nawozie zostaje przekształcona w nierozpuszczalne w wodzie formy, np. fosforany wapnia [17].

### 7. Właściwości nawozowe gnojowicy w kontekście zawartości potasu, wapnia i magnezu

Do substancji odżywczych z grupy makroelementów, oprócz azotu i fosforu zalicza się m.in. potas, wapń i magnez. Potas w glebie występuje w dużych ilościach, ale zawartość form przyswajalnych dla roślin wynosi od 0,01 do 2,0% mas.  $K_2O$ . Natomiast zawartość wapnia i magnezu wynosi odpowiednio od 0,01 do 0,5% mas.  $CaO$  i od 0,05 do 0,6% mas. Mg. Przyswajalne dla roślin formy tych pierwiastków występują w roztworze glebowym lub w stanie wymiennym w kompleksie sorpcyjnym, przy czym z powodu słabego wiązania ich przez kompleksy, w łatwy sposób podlegają wymywaniu. Konieczne jest zatem stosowanie systematycznego nawożenia gleby tymi pierwiastkami, za wyjątkiem wapnia, gdyż w porównaniu z K i Mg występuje on w kompleksie sorpcyjnym w największej ilości, co sprawia, że zapotrzebowanie roślin na Ca jest zaspokojone. Natomiast wapnowanie gleby służy jedynie poprawie odczynu podłoża [24].

Gnojowica świńska może być stosowana jako źródło wspomnianych makroelementów. Ich zawartość dla różnych grup hodowlanych trzody chlewnej opisuje Tabela 6.

Tabela 6

**Średnia zawartość potasu, wapnia i magnezu w gnojowicy świńskiej pochodzącej z hodowli hiszpańskiej [17]**

Makroelement [kg/m <sup>3</sup> ]	Pochodzenie gnojowicy			
	Lochy ciężarne	Lochy prośne	Warchlaki	Tuczniaki
P	1,70	1,54	1,75	3,46
Ca	10,60	6,90	6,30	15,60
Mg	0,90	0,82	0,87	1,64

Stwierdza się, iż największa ilość potasu w odchodach zwierząt hodowlanych znajduje się w gnojowicy świńskiej, mniejsza w gnojowicy bydłowej, a najmniejsza w pomiole kurzym [7]. W gnojowicy świńskiej występuje on w postaci kationu  $K^+$  i jest powiązany z przewodnością nawozu, a także gęstością i ChZT, co wynika z danych zawartych w Tabeli 5 [17]. Obecność postaci kationowej pierwiastka powoduje, że stanowi on składnik frakcji ciekłej gnojowicy i gwarantuje jego wysoką dostępność jako składnika odżywczego roślin [6].



Wapń i magnez uważane są za makroelementy decydujące o dostępności innych składników pokarmowych, głównie fosforu, gdyż mogą z nim tworzyć nierozpuszczalne w wodzie sole. Wchodzą w skład frakcji stałej gnojowicy [6], a ich obecność wpływa na jej gęstość, ilość ciał zawieszonych i ciał stałych, a także na ChZT i BZT<sub>5</sub>. Stopień tej zależności został ukazany w Tabeli 5 [17]. Ponadto stosunek ilości Ca:Mg w nawozie wynosi zazwyczaj 5, a taki właśnie jest wymagany przy aplikacji do gleby [6], co również świadczy o właściwościach nawozowych gnojowicy.

### 8. Właściwości nawozowe gnojowicy w kontekście zawartości wybranych mikroelementów

Gnojowica świńska zawiera mikroelementy, takie jak Cu, Zn, Fe, Mn, Mo w ilościach przedstawionych w Tabeli 7, a także Co i Se [6, 7]. Wszystkie z wymienionych pierwiastków wchodzą w skład frakcji stałej nawozu [6]. Ich obecność w odchodach zwierząt w głównej mierze zależy od diety, fizjologii i sposobu hodowli trzody chlewnej [6, 7].

Tabela 7

**Średnia zawartość mikroelementów w gnojowicy różnego pochodzenia (Grupy 1, Grupy 2 i Grupy 3 – opisane we wcześniejszych rozdziałach) [6]**

Zawartość mikroelementu [mg/kg gnojowicy]	Grupa 1	Grupa 2	Grupa 3
Zn	19,70	24,90	30,60
Cu	8,90	13,30	18,60
Mo	0,18	0,35	0,39
Mn	8,30	12,70	17,00
Fe	59,80	81,50	89,40

Mikroelementem występującym w gnojowicy w największych ilościach jest żelazo, mniej jest cynku, miedzi i manganu. Natomiast molibden pojawia się w bardzo małych ilościach, czasem niewykrywalnych na zastosowanym poziomie miary [6].

Jak już wspomniano, zawartość mikroelementów w odchodach zależy od sposobu żywienia zwierząt. Minimalne zapotrzebowanie trzody chlewnej na Cu wynosi od 5 do 10 mg/kg mieszanki paszowej, ale stosuje się większą ilość, gdyż to stymuluje wzrost. W przypadku cynku mogą wystąpić jego niedobory. Jeżeli dieta jest bogata w wapń, wtedy ilość wydalanego Zn może wynosić od 92 do 96% cynku dostarczonego z pożywieniem.

Wraz z odchodami zwierzęta wydają od 70–82% spożywanej z paszą miedzi [7]. W glebie metal ten w większości związany jest w materii organicznej. Saviozzi i współpracownicy [26] badali podłoże po nawożeniu gnojowicą i wykazali, że znajdująca się w nim Cu występuje w formie związku organicznego oraz w postaci odpowiednio związku nieorganicznego i zawartego we frakcji HNO<sub>3</sub> utworzonej specjalnie w celu zbadania kompozycji gleby, a udział procentowy miedzi w stosunku do jej całkowitej ilości w glebie w poszczególnych

frakcjach wynosił odpowiednio 36%, 25% i 33%. Tą samą metodą analizowano zawartość cynku w glebie nienawozonej i nawozonej gnojowicą oraz jej mieszaniną ze słomą pszeniczną. Badania składu podłoża aplikowanego mieszaną wykazały wzrost ilości Zn związanego organicznie we frakcji NaOH z 2% do 8% Zn w glebie, a także wzrost ilości Zn związanego w związkach nieorganicznych we frakcji EDTA z 8% do 25% Zn w glebie, oraz zmniejszenie jego zawartości we frakcji  $\text{HNO}_3$  z 88% do 65% całkowitej ilości cynku w glebie. Naukowcy powtórzyli analizę po roku od aplikacji i stwierdzili, że dystrybucja zarówno miedzi, jak i cynku we frakcjach podłoża została niezmieniona, a użyźnianie gleby wzbogaca ją, zwiększając zawartość metali [26].

Gnojowica świńska stanowi źródło makro- i mikroelementów potrzebnych roślinom do rozwoju. Jednak przy nieodpowiednim nawożeniu gleby, może przyczynić się do zanieczyszczenia środowiska gazami cieplarnianymi, patogenami i metalami ciężkimi.

### 9. Zagrożenia środowiska wynikające z nawożenia gnojowicą świńską

Wraz ze wzrostem przemysłowej hodowli trzody chlewnej wzrasta ilość wytwarzanej gnojowicy, przy czym stale zmniejsza się areal pól uprawnych i terenów zielonych nawożonych tym nawozem. W związku z tym konieczne jest przechowywanie odpadu w szczelnych zbiornikach, co utrudnia emisję gazów cieplarnianych do atmosfery.

Gnojowica jest źródłem zanieczyszczeń powietrza – odorów, amoniaku, tlenu diazotu, metanu i ditlenku węgla [27], a także przyczynia się do zanieczyszczenia wód gruntowych i powierzchniowych oraz gleby metalami ciężkimi i patogenami. Udział rolnictwa w całkowitej emisji gazów cieplarnianych wynosi ok. 10%. W przypadku gnojowicy ilość emitowanych zanieczyszczeń podczas przechowywania odpadu zależy od dostępu powietrza [16], obecności lotnych substancji stałych i inhibitorów denitryfikacji, wartości pH, temperatury oraz czasu przechowywania [28]. Natomiast na obecność metali ciężkich i patogenów wpływa dieta i sposób hodowli trzody chlewnej [29]. Nieustannie trwają badania nad zmniejszeniem emisji szkodliwych substancji z gnojowicy do środowiska. W przypadku tlenu diazotu Béline i Martinez [30] zastosowali okresowe napowietrzanie odpadu przechowywanego w warunkach beztlenowych. Prowadzony w ten sposób proces biologicznego tlenowego przetwarzania pozwolił usunąć do 54% azotu zawartego w surowym odpadzie, w wyniku hamowania procesów denitryfikacji, co wiązało się ze zmniejszeniem ilości ulatniającego się  $\text{N}_2\text{O}$  [30]. Natomiast Meijide i współpracownicy [31] zastosowali dodatek inhibitorów denitryfikacji, np. dicyjanodiamidu, który zredukował emisję  $\text{N}_2\text{O}$  oraz NO odpowiednio o 64% i 78% w porównaniu z emisją tych tlenków z surowej gnojowicy [31]. W celu zmniejszenia ulatniania się metanu, tlenu diazotu oraz amoniaku przyczyniającego się do eutrofizacji [18] oraz zakwaszenia gleby, Berg i współpracownicy obniżyli pH gnojowicy poniżej wartości 6,0. W tym celu do nawozu dodali mieszaninę perlitu i kwasu mlekowego (obniżenie pH do 5,5), oraz perlitu i sacharozy, przy czym nie była ona wystarczająco skuteczna [32]. Emisja szkodliwych gazów zachodzi nie tylko przy gromadzeniu gnojowicy, ale już w chlewniach. Haeussermann i współpracownicy [28] wykazali, że ulatnianiu  $\text{CH}_4$  sprzyja wzrost temperatury powyżej  $25^\circ\text{C}$ , dlatego też aby ograniczyć ten proces, należy kontrolować temperaturę w pomieszczeniach dla zwierząt, a także usuwać zalegające odchody oraz prowadzić efektywną wentylację chlewni [28]. W celu redukcji emisji szkodliwych substancji, wewnętrzne

ścianki kanałów gnojowych pokrywa się warstwą preparatu zawierającego nanocząsteczki o właściwościach grzybo i bakteriobójczych, neutralizujące lotne związki organiczne. Przykładem takiego związku jest nanosrebro, którego działanie potwierdziły badania Szulca i współpracowników [33].

Gazy cieplarniane ulatniają się z gnojowicy również po jej aplikacji do gleby. W celu zbadania tego procesu Bertora i współpracownicy [16] nawozili glebę surową gnojowicą, jej frakcją stałą, surową frakcją ciekłą oraz przechowywaną w warunkach beztlenowych. Efekty badań porównywano z emisją gazów z gleby nienawożonej oraz z gleby, do której aplikowano mocznik. Ulatnianie się  $N_2O$  obserwowano tylko w pierwszych 7 dniach po nawożeniu, przy czym największą emisję gazu w drugim dniu po aplikacji z gleby nawożonej surową gnojowicą. Natomiast sumarycznie najwięcej tlenu diazotu ( $5,75 \text{ mg } N_2O-N / \text{ kg gleby}$ ) ulotniło się z gleby nawożonej frakcją ciekłą gnojowicy [16]. Należy więc zauważyć, że procesy denitryfikacji zachodzące w glebie nie zależą od stężenia jonów azotanowych w podłożu, lecz od dostępności tlenu oraz węgla, co potwierdziły badania Maaga i Vinthera [34]. Natomiast Bertora i współpracownicy [16] obserwowali również emisję ditlenku węgla, zauważając że trwała przez cały okres analizy (85 dni). Największą ilość  $CO_2$  stwierdzono między 10 a 15 dniem po aplikacji dla gleby nawożonej frakcją stałą gnojowicy. W pozostałych przypadkach emisja  $CO_2$  była niższa i przebiegała z podobną dynamiką (najwyższa w ciągu pierwszych 5 dni po aplikacji) [16].

Procesy denitryfikacji zachodzące w glebie, w odniesieniu do ilości wody zapęniającej przestrzeń porów w podłożu, (*WFPS – water-filled pore space*) badali Maag i Vinther [34]. Stwierdzili, że wraz ze wzrostem tego zapęnienia zwiększa się intensywność procesów denitryfikacji, przez co rośnie emisja  $N_2O$  z gleby. Zbadali również wpływ zmian temperatury podłoża na proces denitryfikacji i stwierdzili, że czynnik temperaturowy nie decyduje o ich przebiegu i intensywności. Jedynie w połączeniu z innymi czynnikami, np. obecnością i rozwojem grup mikroorganizmów w glebie wpływa na procesy powstawania  $N_2O$ . Dzieje się tak dlatego, że wzrost temperatury powoduje wzrost aktywności mikrobiologicznej, co oznacza wzrost zużycia tlenu i zwiększenie ilość przestrzeni beztlenowych lub o małej ilości  $O_2$  w glebie [34].

Gnojowica świńska jest źródłem mikroelementów, które przy nieodpowiedniej diecie trzody chlewnej i nieodpowiednim nawożeniu powodują zanieczyszczenie gleby i wód. Sager [7] przeprowadził analizę rozmiarów cząsteczek miedzi i cynku znajdujących się w gnojowicy, wykazując, że ok.  $1/3$  Cu i tylko niewielkie ilości Zn występują w postaci makrocząsteczek o masie powyżej  $50 \text{ kDa}$ . Aplikacja do gleby o odczynie kwaśnym i pozostawienie nawozu na 3 dni umożliwiły odpowiednio zmniejszenie i zwiększenie rozmiarów cząsteczek miedzi i cynku, co świadczyło o intensywnej działalności mikroorganizmów w glebie [7]. Należy jednak zauważyć, że metale wykazują powinowactwo do substancji humusowych w podłożu, co w efekcie długoterminowym może mieć wpływ na biodostępność i mobilizację tych pierwiastków w glebie nawożonej gnojowicą. De la Fuente i współpracownicy [35] stwierdzili, że obecność rozpuszczalnych w wodzie związków cynku w ilościach powyżej  $20 \text{ mg/kg}$  podłoża poważnie ogranicza procesy nitryfikacji w glebie. Podkreśla się również negatywną korelację enzymów glebowych z biodostępnością miedzi i cynku [35].

## 10. Wnioski

Gnojowica świńska jest nawozem organicznym o bogatej kompozycji. Zawiera zarówno związki azotu, fosforu, potasu, wapnia i magnezu, jak i mikroelementy. O jej dobrych właściwościach nawozowych świadczy biodostępność wspomnianych związków. Azot zawarty w odpadzie w ok. 75% występuje w postaci rozpuszczalnej w wodzie, a po aplikacji do gleby szybko ulega procesom nityfikacji, przez co zwiększa się ilość jonów  $\text{NO}_3^-$ . Fosfor w 80% występuje w postaci związków nieorganicznych, natomiast zanik związków organicznych pierwiastka obserwuje się po roku od aplikacji nawozu do podłoża. Wapń i magnez znajdują się we frakcji stałej gnojowicy, a ich wzajemny stosunek odpowiada wymaganiom glebowym ( $\text{Ca} : \text{Mg} = 5$ ). Natomiast potas wykazuje dużą biodostępność, o czym świadczy jego kationowa forma i obecność w fazie ciekłej gnojowicy. Z grupy mikroelementów zawartych w odpadzie wyróżnić można Cu, Zn, Fe, Mn i Mo, przy czym żelazo występuje w największej ilości, a molibden w najmniejszej. Zawartość tych pierwiastków zależy głównie od rodzaju diety i stanu fizjologicznego trzody chlewnej. Nawożenie gleby gnojowicą powoduje jej użyznienie i wzrost ilości dostępnych dla roślin form metali. Podczas stosowania nawozów organicznych, w tym gnojowicy, należy postępować zgodnie z Kodeksem Dobrej Praktyki Rolniczej i prowadzić racjonalne nawożenie, gdyż w przeciwnym razie może dojść do zanieczyszczenia gleby, a także wód i powietrza. Może również dojść do nadmiernej akumulacji metali ciężkich w podłożu.

## Literatura

- [1] Patent tymczasowy nr 110318, Polska.
- [2] Prawo ochrony środowiska z dn. 27.04.2001., Dz. U. 2001.62.627 z 20.06.2001.
- [3] Ustawa o odpadach z dn. 27.04.2001., Dz.U.2001.62.628.
- [4] Ustawa o zmianie ustawy o odpadach oraz niektórych innych ustaw z dn. 22.01.2010., Dz. U. 2010.28.145 z 25.02.2010.
- [5] Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej, Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Ministerstwo Środowiska, Warszawa 2004.
- [6] Sánchez M., González J.L., *The fertilizer value of pig slurry. I. Values depending on the type of operations*, Bioresource Technology, 2005, 96, 1117-1123.
- [7] Sager M., *Trace and nutrient elements in manure, dung and compost samples in Austria*, Soil Biology & Biochemistry, 2007, 39, 1383-1390.
- [8] Gigliotti G., Kaiser K., Guggenberger G., Haumaier L., *Differences in the chemical composition of dissolved organic matter from waste material of different sources*, Biology and Fertility of Soils, 2002, 36, 321-329.
- [9] Sánchez E., Moragues A., Massana J., Guerrero A., Fernandez J., *Effect of pig slurry on two cement mortars: Changes in strength, porosity and crystalline phases*, Cement and Concrete Research, 2009, 39, 798-804.
- [10] Huang G.F., Wong J.W.C., Wu Q.T., B.B. Nagar B.B., *Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust*, Waste Management, 2004, 24, 805-813.
- [11] Zhang Y., He Y., *Co-composting solid swine manure with pine sawdust as organic substrate*, Bioresource Technology, 2006, 97, 2024-2031.

- [12] Charakterystyka gospodarstw rolnych w 2007 r., Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2008.
- [13] Cebula J., *Kryteria przydatności osadów ściekowych do celów rolniczych*, Ochrona środowiska 2, 1980.
- [14] Schepers J.S., Raun W., *Nitrogen in agricultural systems*, Agronomy Monograph 2008, No. 49, 31-101.
- [15] Shi W., Norton J.M., *Microbial control of nitrate concentrations in an agricultural soil treated with dairy waste compost or ammonium fertilizer*, Soil Biology & Biochemistry, 2000, 32, 1453-1457.
- [16] Bertora C., Alluvione F., Zavattaro L., van Groenigen J.W., Velthof G., Grignani C., *Pig slurry treatment modifies slurry composition, N<sub>2</sub>O, and CO<sub>2</sub> emissions after soil incorporation*, Soil Biology & Biochemistry, 2008, 40, 1999-2006.
- [17] Moral R., Perez-Murcia M.D., Perez-Espinosa A., Moreno-Caselles J., Paredes C., *Estimation of nutrient values of pig slurries in Southeast Spain using easily determined properties*, Waste Management, 2005, 25, 719-725.
- [18] Sørensen P., Eriksen J., *Effects of slurry acidification with sulphuric acid combined with aeration on the turnover and plant availability of nitrogen*, Agriculture, Ecosystems and Environment, 2009, 131, 240-246.
- [19] Tien T.M., *Fertilizer Value of Animal Manure Application on the Field*, SUSANE Newsletter, No. 15, June 2010.
- [20] Hoffmann J., Gryglewicz G., Hoffmann K., Gryglewicz S., Rutkowski P., *Wpływ modyfikacji technologicznych wytwarzania nawozów na emisję związków odorowych*, Przemysł Chemiczny, 2010, 89, 4, 386-390
- [21] Potarzycki J., *Forms of phosphorus in long-lasting soils fertilization with mineral and organic fertilizers*, In: International Scientific – Research Seminar „Chemistry for Agriculture”, Velke Losiny, Czech Republic, 2000, 69-76.
- [22] Potarzycki J., Grzebisz W., *Dynamika uwalniania fosforu wodno rozpuszczalnego z gleb nawożonych w przeszłości gnojowicą i nawozami mineralnymi (eksperyment inkubacyjny)*, Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu. Chemia. Związki fosforu w chemii, rolnictwie i medycynie, nr 888; 190-196.
- [23] Grzebisz W., Potarzycki J., Biber M., Szczepaniak W., *Reakcja roślin uprawnych na nawożenie fosforem*, J. Elementol., 2003, 8, 83-93.
- [24] Czuła R. pod red., *Nawożenie mineralne roślin uprawnych*, Zakłady Chemiczne „POLICE” S.A., 1996, 33-41.
- [25] Potarzycki J., *Fosfor w glebie*, J. Elementol., 2003, 8, 19-32.
- [26] Saviozzi A., Levi-Minzi R., Riffaldi R., Vanni G., *Laboratory studies on the application of wheat straw and pig slurry to soil and the resulting environmental implications*, Agriculture, Ecosystems and Environment, 1997, 61, 35-43.
- [27] Blanes-Vidal V., Hansen M.N., Pedersen S., Rom H.B., *Emissions of ammonia, methane and nitrous oxide from pig houses and slurry: Effects of rooting material, animal activity and ventilation flow*, Agriculture, Ecosystems and Environment, 2008, 124, 237-244.
- [28] Haeussermann A., Hartung E., Gallmann E., Jungbluth T., *Influence of season, ventilation strategy, and slurry removal on methane emissions from pig houses*, Agriculture, Ecosystems and Environment, 2006, 112, 115-121.

- [29] Pawelczyk A., Muraviev D., *Zintegrowana technologia oczyszczania ciekłych odpadów z hodowli trzody chlewnej*, Przemysł Chemiczny 2003, 82/8-9, 2-4.
- [30] Béline F., Martinez J., *Nitrogen transformations during biological aerobic treatment of pig slurry: effect of intermittent aeration on nitrous oxide emissions*, Bioresource Technology, 2002, 83, 225-228.
- [31] Meijide A., Díez J.A., Sánchez- Martín L., López-Fernández S., Vallejo A., *Nitrogen oxide emissions from an irrigated maize crop amended with treated pig slurries and composts in a Mediterranean climate*, Agriculture, Ecosystems and Environment, 2007, 121, 383-394.
- [32] Berg W., Brunsch R., Pazsiczki I., *Greenhouse gas emissions from covered slurry compared with uncovered during storage*, Agriculture, Ecosystems and Environment, 2006, 112, 129-134.
- [33] Szulc R.J., Malicka M., Piotrkowski M., Myczko A., *The effect of coating manure channels with nanoproducts on the reduction of odour emissions*, Annual Review of Agricultural Engineering 5(1)/2006.
- [34] Maag M., Vinther F.P., *Effect of Temperature and Water on Gaseous Emissions from Soils Treated with Animal Slurry*, Soil Science Society of America Journal 63, July–August 1999.
- [35] de la Fuente C., Clemente R., Martinez J., Bernal M.P., *Optimization of pig slurry application to heavy metal polluted soils monitoring nitrification processes*, Chemosphere, 2010, 81, 603-610.