



Kompost na bazie odpadów z hodowli trzody chlewnej – ocena właściwości nawozowych

Marcin BANACH, Zygmunt KOWALSKI, Justyna KWAŚNY
Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Wydział Inżynierii i Technologii
Chemicznej, Instytut Chemii i Technologii Nieorganicznej
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków
tel. 12-62-82-768
e – mail: kwasnyjustyna@chemia.pk.edu.pl

Streszczenie

Gnojowica świńska powstaje przy bezściółkowym chowie i hodowli trzody chlewnej. Stosowana jest głównie jako nawóz naturalny. Ze względu na zbyt dużą ilość powstającej gnojowicy, wykorzystuje się ją również do produkcji kompostu. Kompostowaniu poddaje się frakcję stałą gnojowicy (FSG), gdyż optymalna wilgotność w przyzmacz kompostowych nie powinna przekraczać 70%, podczas gdy surowa gnojowica zawiera nawet 99% wody. Dlatego też, przed kompostowaniem, gnojowicę poddaje się mechanicznej separacji. W artykule przedstawiono sposoby prowadzenia kompostowania i scharakteryzowano substraty procesu: FSG oraz dodatki wypełniające, których zastosowanie umożliwia ustalenie optymalnej wilgotności i stosunku C/N w przyzmacz kompostowych. Jako materiały wypełniające stosuje się m. in. trociny, słomę, i torf. W artykule opisano również właściwości nawozowe kompostów na bazie FSG w kontekście zawartości materii organicznej, wybranych makro i mikroelementów roślinnych.

Słowa kluczowe: gnojowica świńska, kompostowanie, właściwości nawozowe, substancje wypełniające, stosunek C/N, substancje humusowe, składniki odżywcze

Abstract

Compost based on waste from pig farming – evaluation of fertilizer properties. A review

Slurry is waste from the pig farming, which is mainly used as natural fertilizer. It is a mixture of urine, faeces and water, which in the liquid fraction contains mainly compounds of nitrogen and minerals in the form of sodium, potassium and magnesium oxides. The composition of the solid fraction includes phosphorus compounds and organic compounds. The growth of industrial pig farming has caused a significant increase in the amount of liquid manure. Therefore, it is also used to produce compost. Raw manure contains up to 99% water, while the compost should contain no more than 70% moisture. Therefore, manure is submitted to the mechanical separation before composting. Composting of the

separated solid fraction of slurry (FSG) is conducted with the addition of bulking agents or without. It depends on the method of conducting the process. The use of bulking agents allows to determine the optimum moisture content and C/N ratio in compost piles. The bulking agents are i.a. sawdust, straw and peat. The filling substances characterized by the highest ratio of C/N are sawdust, spent mushroom compost and shredded newspaper. The present article express the ways of conducting the composting process and shows the characteristics of the substrates. Fertilizer properties of compost based on the solid fraction of pig slurry (FSG) have been also discussed in the context of content for organic matter and selected macro- and micronutrients.

Keywords: pig slurry, composting, fertilizer properties, compost bulking agents, C/N ratio, humic substances, nutrients

1. Wstęp

Do odpadów z hodowli trzody chlewnej zalicza się obornik, gnojowicę i gnojówkę, które różnią się konsystencją, składem chemicznym oraz sposobem powstawania. Obornik jest mieszaniną odchodów zwierzęcych i ściółki słomowej. Gnojowica powstaje przy bezściółkowym chowie i hodowli trzody chlewnej. Jest mieszaniną kału i moczu zwierząt z wodą. Natomiast przefermentowany mocz zwierzęcy przechowywany w zbiornikach nazywany jest gnojówką. Odpady hodowlane stosowane są jako nawozy naturalne. Różnią się jednak między sobą biodostępnością składników mineralnych i działaniem nawozowym.

W ostatnich latach wzrosła przemysłowa produkcja trzody chlewnej metodą bezściółkową, w wyniku czego ilość gnojowicy znacznie przekroczyła areal pól uprawnych mogących ją przyjąć. Dlatego też wzrosło zainteresowanie innymi sposobami zagospodarowania tego odpadu, np. kompostowaniem gnojowicy. Jest to metoda, która umożliwia mikrobiologiczne unieszkodliwienie oraz zmniejszenie ilości gnojowicy.

2. Kompost i jego właściwości nawozowe

Nawozy organiczne stanowią naturalne źródło roślinnych składników odżywczych oraz substancji stosowanych do użyźniania gleby. Wśród nich wyróżnia się obornik, gnojowicę, gnojówkę, pomiot ptasi, słomę, a także kompost, który może być produkowany z materiałów organicznych różnego pochodzenia. Głównymi surowcami są odpady przemysłowe i odpady gospodarskie w postaci np. plewów, łodyg kukurydzy, rzepaku i słonecznika. Stosuje się również torfy, liście, igliwia oraz szlam wydobywany ze stawów [1]. Kompostowanie jest więc naturalnym sposobem utylizacji i zagospodarowania produktów odpadowych, gdyż umożliwia znaczne zmniejszenie objętości i masy odpadów, likwidację odorów wydzielanych podczas rozkładu substancji organicznych oraz eliminację zanieczyszczeń mikrobiologicznych związanych z rozwojem bakterii i grzybów. Dodatkowo przyczynia się do zmniejszenia powierzchni składowisk [2-6], co w aspekcie „Ustawy o odpadach” [7] oraz jej nowelizacji z 2010 roku [8] jest koniecznością. Otrzymany kompost jest nieszkodliwy i stanowi wartościowy nawóz, poprawiający strukturę gleby, zwiększający ilość składników glebotwórczych i jakość plonów [2-6].

Podczas kompostowania stosuje się procesy mechaniczne i biochemiczne. Procesy mechaniczne opierają się na obróbce wstępnej surowca oraz na wszelkich czynnościach związanych z utrzymaniem prawidłowego przebiegu procesów biochemicznych i jeśli jest to konieczne, na obróbce końcowej kompostu. Natomiast procesy biochemiczne dzieli się na przebiegające równoległe procesy mineralizacji i procesy humifikacji [2].

Na odpowiedni przebieg kompostowania wpływa aktywność enzymów i bakterii odpowiedzialnych za rozkład materii organicznej. Istotne jest, aby materiał poddawany kompostowaniu był rozdrobniony do wielkości cząstek ok. 12 nm (kompostowanie mechaniczne) i 25-40 nm (kompostowanie naturalne), a także aby miał odpowiedni skład -nie zawierał substancji toksycznych, a ilość substancji organicznej wynosiła więcej niż 30%. Dodatkowo konieczne jest utrzymanie odpowiedniej wilgotności (40 – 70%) i odczynu masy kompostowej (pH ok. 6,5) oraz temperatury prowadzenia procesu w zakresie 50 - 65°C. Przez kompostowany materiał powinno być przepuszczane powietrze o natężeniu przepływu w zakresie 0,6–1,9 m³/kg s.m. organicznej na dobę. O aktywności mikroorganizmów decyduje również stosunek C/N, który w procesie kompostowania powinien optymalnie wynosić 25-35 [4,5]. Sprawdzanie i utrzymywanie tych parametrów na określonym poziomie jest konieczne, jeśli chce się otrzymać materiał unieszkodliwiony i ustabilizowany, gdyż potraktowanie gleby „niedojrzałym kompostem” może wywołać fitotoksyczność i niekorzystnie wpłynąć na środowisko. Często materiał kompostowany poddaje się dodatkowo analizie spektroskopowej, która pozwala określić przebieg procesów humifikacji [9].

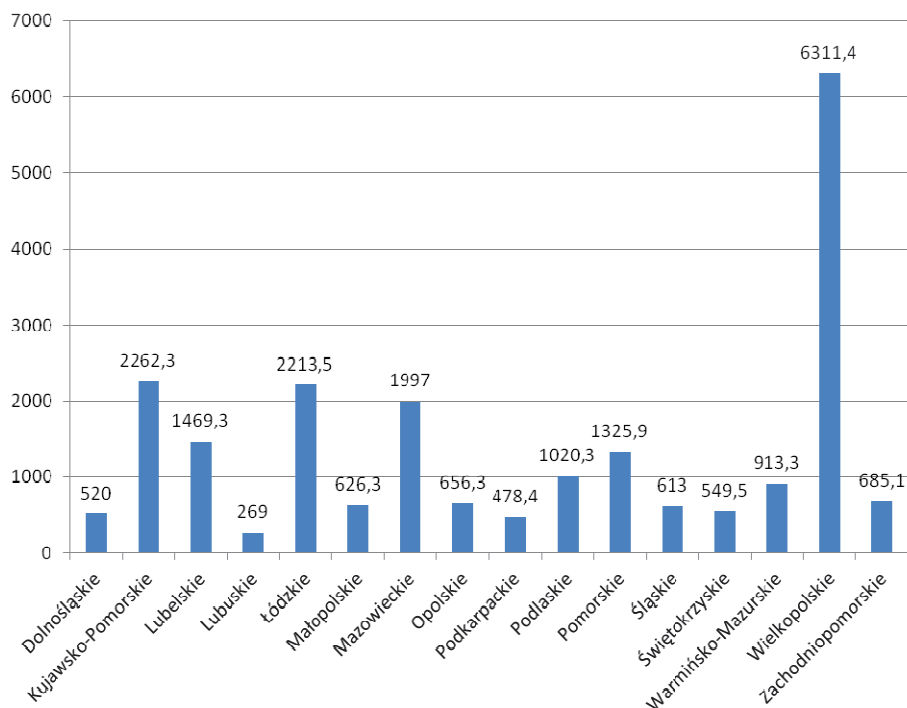
Zdatność odpadów do kompostowania określają właściwości nawozowe. Najczęściej określane są na podstawie grupy wskaźników, do których zalicza się zawartość makroelementów (azotu, fosforu, potasu), węgla i niektórych metali ciężkich oraz ogólną zawartość materii organicznej [4].

Główną grupę odpadów, dla których określa się właściwości nawozowe, stanowią odpady komunalne, z których otrzymuje się jednak komposty o nieodpowiedniej jakości, zawierające duże ilości szkła, tworzyw sztucznych oraz metali ciężkich, w wyniku czego konieczne jest ich dalsze przetwarzanie. Komposty wysokiej jakości otrzymuje się z pozostałości organicznych wyselekcjonowanych z odpadów komunalnych, przemysłowych, rolniczych oraz osadów ściekowych [4].

3. Kompostowanie gnojowicy od trzody chlewnej

Nawozem naturalnym, który może być wykorzystany w procesie kompostowania, jest gnojowica świńska, będąca mieszaniną moczu, kału i wody stosowanej do oczyszczania chlewni. Frakcja wodna odpadu zawiera głównie związki azotu oraz minerały w postaci tlenków sodu, potasu i magnezu, natomiast w skład frakcji stałej wchodzi związki fosforu i związki organiczne [10]. Gnojowicę powszechnie stosuje się do nawożenia użytków rolnych, jednak obowiązujące akty prawne, takie jak *Ustawa o nawozach i nawożeniu z dnia 10 lipca 2007 r.* [11] zmuszają rolników do ustalenia ilości dawek gnojowicy na takim poziomie, aby ilość azotu aplikowana do 1 ha gleby nie przekroczyła 170 kg w ciągu roku.

W ostatnich latach wzrosła przemysłowa produkcja trzody chlewnej, zwłaszcza w północnej Polsce. Na rysunku 3.1 zobrazowano produkcję żywca rzeźnego w poszczególnych województwach do końca listopada 2007 roku. Największą hodowlę prowadziły województwa wielkopolskie i kujawsko – pomorskie [12]. Natomiast dane statystyczne dotyczące produkcji trzody chlewnej na przestrzeni lat od 2000 do 2009 roku zestawiono w tabeli 3.1 [13].



Rysunek 3.1. Produkcja żywca rzeźnego w poszczególnych województwach do końca listopada 2007 roku [12]

W okresie od 1 grudnia do końca lutego, kiedy nawożenie gnojowicą jest niedozwolone [14,15], korzystnie jest poddać ją procesowi kompostowania. Jednak wysoka zawartość wody w gnojowicy, przysparza wielu problemów podczas tego procesu, związanych głównie z utrzymaniem odpowiedniej wilgotności kompostu. Optymalna zawartość wilgoci w przyrmach kompostowych wynosi od 40 do 70%, podczas gdy w gnojowicy znajduje się od 68 do 99,2% wody w zależności od pochodzenia nawozu [16-18]. Dlatego też, przed kompostowaniem, gnojowicę poddaje się mechanicznej separacji, otrzymując stały produkt zawierający do 79% wilgoci [5]. Imbeah przytacza kilka przykładów kompostowania frakcji stałej odpadu, opierając się na badaniach Stentiforda oraz Liao i współpracowników.

Przedstawia dwie opinie - według pierwszej z nich prawidłowe kompostowanie możliwe jest tylko wtedy, gdy wilgotność substratów nie przekracza 65%, natomiast zgodnie z drugą tezą, proces ten można skutecznie prowadzić przy udziale materiału o większej wilgotności, pod warunkiem, że kompost będzie napowietrzany w takim stopniu, który zapewni mikroorganizmom odpowiedni dostęp tlenu [5]. Według Georgacakis'a i współpracowników stosowanie tylko rozdzielonej frakcji stałej odpadu nie może skutkować otrzymaniem wartościowego kompostu [6]. Aby produkt kompostowania był odpowiedni, do rozdzielonej frakcji stałej gnojowicy dodaje się różnego rodzaju komponenty, które umożliwiają uzyskanie optymalnej wilgotności kompostu, zwiększenie zawartości masy organicznej i roślinnych składników pokarmowych, a także pozwalają stymulować rozwój drobnoustrojów odpowiedzialnych za przebieg procesów biochemicznych [15]. Jako dodatki stosuje się m.in. słomę, trociny, torf, korę, odpady zieleni miejskiej, popioły z węgla brunatnego i kamiennego oraz fosfogips [5,15].

Tabela 3.1. Produkcja trzody chlewnej na przestrzeni lat od 2000 do 2009 roku [12,13]

Trzoda chlewna	Jednostka miary	2000	2002	2005	2006	2007	2008	2009
Produkcja żywca rzeźnego	W tys. sztuk	22658	23040	22737	24681	24678	21917	19008
	W tys. Mg	2501	2601	2540	2776	2776	2483	2202
Produkcja w gospodarstwach indywidualnych	W tysiącach sztuk	20197	20809	20315	21777	21777	18884	-
	W tys. Mg	2251	2372	2287	2505	2468	2155	-

4. Charakterystyka surowców do produkcji kompostu

W omawianym zagadnieniu gnojowica świńska stanowi podstawowy surowiec do otrzymywania kompostu. Jej skład jest różny i zależy od fizjologii zwierząt, ich wieku i płci, od sposobu hodowli i rodzaju pożywienia. Różni się również zawartością wody, w związku z czym wyróżnia się gnojowicę gęstą (powyżej 8% suchej masy) i gnojowicę rozcieńczoną (poniżej 8% suchej masy). W tabeli 4.1 przedstawiono kompozycję i właściwości frakcji stałej odpadu pochodzącą z ferm hodowlanych w Irlandii. Badane przez Rao i współpracowników [19] próbki różniły się zawartością suchej masy, ilością popiołów i oznaczanych form azotu. Stosunek C/N w czterech przypadkach był bardzo zbliżony lub równy, podczas gdy w pozostałych próbkach wartości znacznie odbiegały od średniej. Jedynie odczyn frakcji nie różnił się znacząco i w większości przypadków wynosił 8,9 [19].

Tabela 4.1. Charakterystyka frakcji stałej gnojowicy świńskiej stosowanej do produkcji kompostu [19]

Materia sucha (s.m), %	Azot całkowity, % w s.m	Azot w związkach nietłocznych, % w s.m	Azot amoniakalny, % azotu całkowitego	pH	Popioły, % w s.m	C/N stosunek
26,4	2,80	1,59	43,6	8,8	15,2	18
28,0	2,71	1,55	42,8	8,9	15,5	18
31,3	2,67	1,58	40,8	8,9	22,0	17
31,2	2,49	1,74	30,0	8,3	23,3	18
31,6	1,78	1,77	>1,0	8,6	22,5	25
54,2	4,30	2,67	37,9	8,9	17,9	12

Frakcja stała gnojowicy zawiera również makro i mikroelementy potrzebne roślinom do rozwoju. W tabeli 4.2 przedstawiono zawartość wybranych pierwiastków w nawozie pochodzącym z ferm trzody chlewnej w Irlandii.

Tabela 4.2. Kompozycja minerałów we frakcji stałej gnojowicy świńskiej [19]

Składnik frakcji stałej gnojowicy	Zawartość, g/kg
Miedź	0,22
Mangan	0,73
Żelazo	1,67
Cynk	0,44
Wapń	63,7
Magnez	7,05
Potas	7,99
Sód	0,99
Fosfor	0,99

Wśród surowców do produkcji kompostu na bazie frakcji stałej gnojowicy wyróżnia się również grupę materiałów pełniących rolę wypełniaczy. Jednymi z najczęściej stosowanych surowców tego typu są trociny [5, 9, 18-22], które charakteryzują się wysoką zawartością suchej materii oraz niską zawartością azotu i części nieorganicznych. W przeciwieństwie do gnojowicy wykazują wysoki stosunek C:N – od 376:1 do 579:1[19]. Według Huanga i współpracowników [18], przytaczających publikację Bhamidimariego i Pandey'a, trociny ze względu na zdolność do absorbowania wilgoci, a także strukturę zapewniającą odpowiednią porowatość kompostu, stanowią bardzo dobry surowiec. Jednak, podkreślają, że przy niskim stosunku C/N materiału kompostowanego (np. mieszanki trocin i innych dodatków), procesy rozkładu materii i jakość otrzymanego produktu nie zostały jeszcze ostatecznie poznane [18]. Trociny stanowią również substrat kompostu na bazie obornika świńskiego, w którym także pełnią rolę substancji wypełniających. Poprzez ich dodatek, ustala się odpowiednią wartość stosunku C/N, a ze względu na zdolność trocin do absorpcji

wilgoci, zwiększa się szybkość pochłaniania odorów [17, 20]. W tabelach 4.3 i 4.4 przedstawiono charakterystykę trocin różnego pochodzenia [9, 18, 19].

Tabela 4.3. Fizykochemiczne właściwości trocin z okolic Hong Kongu [9, 18]

Zawartość wilgoci, %	Azot całkowity, %	Węgiel organiczny całkowity, %	Fosfor całkowity, %	pH	Przewodnictwo elektryczne, S/m	Stosunek C/N
8,12	0,07	46,5	0,006	5,55	0,002	664

Tabela 4.4. Właściwości fizykochemiczne trocin pochodzących z Irlandii [19]

Materia sucha (s.m), %	Azot całkowity, % w s.m	Azot w związkach nielotnych, % w s.m	Azot amoniakalny, % azotu całkowitego	pH	Popioły, % w s.m	Stosunek C/N
84,5	0,10	0,10	-	-	1,07	575
88,1	0,15	0,13	13	6,3	0,45	386
90,1	0,14	0,13	7	4,8	9,54	376

Kolejnym materiałem pełniącym rolę substancji wypełniającej w kompoście jest pomiot ptasi [5, 19]. Podobnie jak w przypadku gnojowicy, jego skład jest zróżnicowany i zależy od rodzaju paszy podawanej zwierzętom oraz od fizjologii ptaków. Jest źródłem roślinnych składników pokarmowych, gdyż zawiera średnio 2,4% CaO, 1,6% N, 1,5% P₂O₅, 0,7% MgO, 0,8% K₂O oraz 56% wody – w przypadku pomiotu kurzego. Nieodpowiednio przechowywany pomiot ptasi, w ciągu kilku miesięcy traci duże ilości azotu, który z formy kwasu mocznikowego szybko przekształca się do amoniaku. Aby temu zapobiec, materiał miesza się z kompostem lub torfem [1].

Wypełniającym składnikiem kompostu na bazie frakcji stałej gnojowicy jest również słoma [5, 19], która w zależności od gatunku zboża, zawiera średnio 1,10 – 2,07% K₂O, 0,46 – 0,65% N i 0,22 – 0,34% P₂O₅. Charakteryzuje się większym niż w glebie stosunkiem C/N, dlatego w celu zmniejszenia tej różnicy dodawana jest do kompostu, mineralnych nawozów azotowych, gnojowicy i gnojówki [1]. Skład słomy i innych substancji wypełniających stosowanych do produkcji kompostu na bazie frakcji stałej gnojowicy, zbadany przez Rao i współpracowników [19] przedstawiono w tabeli 4.5.

Tabela 4.5. Kompozycja i pH substancji wypełniających pochodzących z Irlandii [19]

Materiał wypełniający	Materia sucha (s.m),%	Azot całkowity, % w s.m	Azot w związkach nielotnych, % w s.m	Azot amoniakalny, % azotu całkowitego	pH	Popioły, % w s.m	Stosunek C/N
Pomiot ptasi	43,3	4,54	2,57	43,4	-	16,1	11
	51	2,12	1,61	24,5	9,2	17,4	23
	40,9	4,41	2,86	35,1	8,4	21,2	10
	46	4,64	2,81	39,4	8,6	16,6	10
Słoma	85	0,45	0,45	-	-	4,99	123
Zużyty kompost grzybowy	35,2	1,6	1,58	1,25	-	43,1	21
	33,7	2,49	2,46	1,2	7,8	35,1	15
	33,4	2,08	2,04	1,92	6,9	37,5	17
	83,8	0,1	0,1	-	5,8	0,35	579
Kawałki papieru	90,2	0,07	0,07	-	6,48	0,85	823
Łuski kakaowca	85,7	2,33	2,33	-	-	7,29	23

Do grupy substancji wypełniających dodawanych do omawianego kompostu zalicza się również zużyty kompost grzybowy, skrawki papieru, skorupy ziaren kakaowca [19], a także inne pozostałości roślinne, np. torf [22, 23], skorupki nasion ryżu lub pozostałości bawełny [6]. Materiały te stanowią źródło roślinnych substancji odżywczych, czego dowodem może być przedstawiona w tabeli 4.6 kompozycja torfu zbadana przez zespół Paré'a [22]. Autorzy wykazali, że w jego skład nie wchodzi K_2O , P_2O_5 oraz siarka, której również nie stwierdzono w słomie, FSG i pomiole ptasim.

Tabela 4.6. Skład chemiczny torfu [22]

Składnik	Zawartość
Azot całkowity g/g	0.01
Materia organiczna g/g	0.95
Ca g/kg	2.50
Mg g/kg	1.18
Fe g/kg	1.41
Cu mg/kg	6.40
Mn mg/kg	38
Zn mg/kg	38
Na mg/kg	352

Jako dodatek do kompostu stosuje się również węgiel brunatny, charakteryzujący się niskim przewodnictwem elektrycznym ($563 \mu\text{S}/\text{cm}$), zawartością wilgoci na poziomie 6,5% oraz popiołów w ilości 54,5%, stosunkiem C/N równym 12,94: 1 i wysoką gęstością nasypową ($1050 \text{ kg}/\text{m}^3$). Stosowanie tego materiału umożliwia eliminację nieprzyjemnych zapachów i utrzymanie odpowiedniej wilgotności [6].

5. Sposoby kompostowania frakcji stałej gnojowicy trzodowej oraz mieszanki nawozu z dodatkami wypełniającymi

Kompost na bazie gnojowicy otrzymuje się z jej frakcji stałej. W związku z tym, proces kompostowania poprzedzony jest najczęściej mechaniczną separacją nawozu naturalnego, np. separacją sitową [24], dekantacją [22] lub separacją za pomocą wirówki, po czym osad sączy się na filtrach membranowych [6, 9]. Istnieje również szereg komercyjnych metod rozdziału odpadu, wśród których wyróżnić można wirowanie dekantacyjne (*Pteralisi, GEA Westfalia separator A/S Alfa Laval*), obrotową filtrację bębnową z naciskiem wirowym (*Samson Bimatech*), wirowanie i filtrację wibracyjną (*PCK consulting A/S*), rozdział poprzez wirowanie (*SWEA A/S*), a także obróbkę chemiczną połączoną z ciśnieniową separacją taśmową (*Kemira Water A/S*) [25].

Rozdzieloną frakcję stałą poddaje się kompostowaniu według różnych rozwiązań. Hsu i Lo [24, 26] przetwarzali odpad w postaci dwóch kopców o objętości ok. $1,5 \text{ m}^3$ każdy, nie stosując przy tym specjalnego, wymuszonego napowietrzania. Proces trwał 122 dni, a kompostowany materiał był mieszany i badany w określonych odstępach czasowych [26]. W celu określenia dojrzałości kompostu, analizowano wilgotność, całkowitą zawartość azotu i węgla, ilość rozpuszczalnych w wodzie organicznych związków węgla, zawartość substancji próchnicowych i węgla organicznego, a także stosunek C/N i ilość popiołów. Istotnym parametrem jest również temperatura, którą mierzono na głębokości 0,3 m codziennie przez pierwsze 40 dni, a następnie w odstępach 3 dniowych. Wilgotność kompostu utrzymywano w granicach 50 – 60% dodając, w razie potrzeby, wody do pryzm [24].

Kompost na bazie frakcji stałej gnojowicy, ale z dodatkiem torfu, kawałków drewna i liści otrzymał zespół Paré'a [22], wykorzystując go później do produkcji organiczno – mineralnego nawozu. Rozdział gnojowicy prowadzono za pomocą wirówki, prasy obrotowej i śrubowej oraz dekantacji. W każdej metodzie stosowano dodatek koagulantów, natomiast flokulantów nie użyto tylko podczas wirowania. Mieszkę surowców kompostowano przez około 3 miesiące, a uzyskany produkt wysuszono na powietrzu, zmielono i odsiano sitem o średnicy otworów wynoszącej 2,3 mm [22]. Ribeiro i współpracownicy [23] otrzymali kompost mieszając ze sobą 3 objętości zmielonych odpadów leśnych i jedną objętość frakcji stałej gnojowicy. Proces prowadzony był w napowietrzanych pryzmach przez 6 miesięcy. Wraz ze wzrostem temperatury, materiał był mechanicznie obracany, a jego wilgotność utrzymywano na poziomie 60%. Otrzymany kompost mieszano z handlowym substratem torfowym, po czym badano właściwości fizykochemiczne kompostu i uzyskanych mieszanek, a także określano ich wpływ na rozwój pomidorów i sałaty [23].

Georgacakis z zespołem [6] skutecznie otrzymali kompost, na bazie węgla brunatnego i frakcji stałej nawozu, zmieszanych w równym stosunku objętościowym. Pozwoliło to na usunięcie nieprzyjemnych odorów oraz ustalenie wilgotności na poziomie od 55 do 65%. Jako substancje wypełniające stosowali pozostałości bawełny oraz skorupki nasion ryżu. Pryzmy kompostowe o objętości 1,5 m³ były ręcznie obracane i napowietrzane, jeśli temperatura materiału przekroczyła lub wynosiła ok 55°C. Podczas obracania regulowano również wilgotność kompostu, dodając wody do pryzm o wilgotności poniżej 50%. Zespół naukowców otrzymał kompost w 4 pryzmach o kompozycji początkowej opisanej w tabeli 5.1 [6].

Tabela 5.1. Mieszanki do otrzymywania kompostu z frakcji stałej gnojowicy (FSG), węgla brunatnego (WB), pozostałości bawełny (B) oraz skorupki nasion ryżu (NR) [6]

Nr pryzmy	Baza kompostu – BK (stosunek objętościowy)	Dodatki wypełniające	Uwagi dotyczące dodatków
1		-	-
2	Fracja stała gnojowicy : węgiel brunatny = 1 : 1	Skorupki nasion ryżu	Dodatek NR do ustalenia stosunku C/N = 34 – 36/ 1
3		Pozostałości bawełny	Stosunek objętościowy BK/ B = 1/ 1
4		Pozostałości bawełny + Skorupki nasion ryżu	Stosunek objętościowy BK/ B = 1/ 1 + dodatek NR do ustalenia stosunku C/N = 34 – 36/ 1

Rao i współpracownicy [19] otrzymali kompost na bazie stałych części gnojowicy, pomiotu drobiowego, trocin, słomy, kawałków papieru, skorup ziaren kakaowca oraz zużytego kompostu grzybowego według proporcji podanych w tabeli 5.2. Rozdział nawozu naturalnego prowadzony był przy użyciu separatora mechanicznego zamontowanego na suwnicy z elektryczną pompą, pełniącą rolę dozownika. Części stałe gromadzono w bunkrze, natomiast ciecz w zbiorniku nad powierzchnią gruntu. Frakcję stałą gnojowicy i pozostałe surowce homogenizowano w wagonie paszowym (paszo- wozie) marki Keenan, po czym pozostawiono je tam na kolejne 7 – 10 dni. Otrzymaną mieszankę kompostowano przez 30 dni w komorze zaopatrzonej w wentylator, wymuszający przepływ powietrza od dołu do górnej powierzchni kompostu. Podczas tego procesu monitorowano zmiany temperatury za pomocą wielokanałowego systemu rejestracji danych Fancom 765 [19].

Tabela 5.2. Zawartość procentowa składników (świeżej masy) mieszanek kompostu [19]

Nr komory	Składnik, %						
	Fracja stała gnojowicy	Pomiot drobiowy	Zużyty kompost grzybowy	Trociny	Kawałki papieru	Łuski kakaowca	Słoma
1	47	10	20	23	-	-	-
2	65	16	-	19	-	-	-
3	75	11	-	14	-	-	-
4	59	11	-	10	-	20	-
5	79	-	-	7	9	-	5
6	41	15	20	10	14	-	-
7	20	26	26	-	10	-	-
8	29	47	10	-	14	7	-
9	35	50	-	-	15	-	-
10	72	20	-	-	8	-	-

Huang i współpracownicy [9, 18] otrzymali kompost na bazie trocin i frakcji stałej gnojowicy poprzez zmieszanie tych materiałów w stosunku wagowym (świeża masa) 3:2 i 4:1, w pryzmach o objętości 8 m³. W wyniku tego stosunek C/N w kompoście wyniósł odpowiednio 30 i 15. Odpady kompostowano przez 63 dni, podczas których materiał obracano za pomocą ładowarki czołowej w odstępach 3 dniowych, a jego wilgotność utrzymywano na poziomie 60 – 70%. Próbkę pobrane do analizy dojrzałości kompostu wysuszono na powietrzu, zmielono i odsiano sitem o średnicy otworów wynoszącej 0,25 mm. Badano wpływ otrzymanego nawozu na kiełkowanie nasion i wzrost korzenia rzeżuchy [18], a w przypadku kompostu, którego stosunek C/N wyniósł 30 analizowano również przemianę materii organicznej [9].

Badaniem zawartości metali ciężkich i analizą dojrzałości kompostu na bazie trocin i odchodów zwierzęcych zmieszanych w stosunku objętościowym 10 : 90, zajmowali się Ko i współpracownicy [20]. Mieszanka odchodów składała się w 50% z obornika z gospodarstwa mleczarskiego, w 30% z obornika bydłowego i w 20% z frakcji stałej gnojowicy, rozdzielonej za pomocą separatora mechanicznego. Odpady zwierzęce wymieszano za pomocą miksera i przeniesiono taśmowo do kompostownika o objętości 100,8 m³. Materiał kompostowano od września do listopada, kontrolując jego temperaturę i wilgotność. W celu dostarczenia odpowiednich ilości tlenu i otrzymania właściwej jednorodności kompostu, odpady były przekładane każdego dnia procesu [20].

6. Właściwości nawozowe kompostu na bazie frakcji stałej gnojowicy świńskiej (FSG)

Właściwości nawozowe kompostu określa się na podstawie zawartości materii organicznej, makro i mikroelementów. Istotny jest również odczyn nawozu oraz stosunek C/N, który w glebie wynosi od 8: 1 do 12: 1. Jeżeli wartość C/N w nawozie znacznie odbiega od wartości C/N podłoża, może dojść do biologicznego unieruchomienia azotu, w wyniku wzmoczonego rozwoju mikroorganizmów glebowych. Przy dużej ilości dostępnego węgla,

do budowy wykorzystują one nie tylko azot z rozkładającej się materii, ale również łatwo przyswajalny azot glebowy. Dochodzi wtedy do obniżenia plonów roślin.

Odczyn gleby może być obojętny ($\text{pH} = 6,8 - 7,2$), kwasowy ($\text{pH} < 6,8$) lub zasadowy ($\text{pH} > 7,2$) i ściśle związany jest z ilością jonów glinowych i wodorowych w podłożu. Znacząco wpływa też na jakość plonów, gdyż rośliny do prawidłowego rozwoju wymagają określonego odczynu gleby. Przykładowo ziemniaki dobrze tolerują środowisko glebowe kwaśne, natomiast len i konopie preferują podłoża o odczynie obojętnym lub zasadowym [1]. Dlatego też istotne jest, jakie gleby nawozi się jakimi nawozami, aby ta ingerencja nie okazała się szkodliwa dla jakości plonów roślinnych.

Odczyn kompostu na bazie frakcji stałej gnojowicy, bez dodatku substancji wypełniających, otrzymanego przez Hsu i Lo [24, 26] wynosił 7,35 – 7,98. Jego zasadowość spowodowana była uwalnianiem się amoniaku z pryzm podczas kompostowania. Ribeiro i współpracownicy [23] otrzymali kompost ze zmieszanych odpadów leśnych i frakcji stałej gnojowicy, a następnie mieszała go z handlowym substratem torfowym w różnych stosunkach objętościowych. Pierwsza próbka zawierała 50% kompostu, a druga 75% kompostu. Do trzeciej próbki nie dodawano substratu torfowego. Odczyn otrzymanych produktów, w każdym przypadku był kwasowy i wynosił odpowiednio 6,88, 6,69 i 6,78. Zaobserwowano, że dodatek handlowego substratu torfowego obniżał pH otrzymanego nawozu [23]. Podczas produkcji kompostu na bazie FSG i trocin Huang i współpracownicy [18] obserwowali początkowy wzrost odczynu materiału do wartości maksymalnej 8,7, a następnie spadek do pH wynoszącego 7,6 lub 8,0 w zależności od ilości zastosowanych substratów. Również w tym przypadku, autorzy wykazali, że wzrost zasadowości kompostu wiąże się z zachodzeniem procesów amonifikacji i mineralizacji organicznych związków azotu. Obniżenie wartości pH wynikało z ulatniania się amoniaku oraz aktywności bakterii nityfikacyjnych [18].

Georgacakis z zespołem [6] otrzymali kompost, na bazie węgla brunatnego i FSG, do których dodawali pozostałości bawełny oraz skorupki nasion ryżu, wg proporcji podanych w Tabeli 8. Odczyn kompostu bez dodatków wypełniających wynosił 7,28. Natomiast zastosowanie wypełniaczy spowodowało wzrost pH , które mieściło się w zakresie 7,43 – 7,65. Najbardziej zasadowy odczyn wykazywała mieszanka kompostu i pozostałości bawełny [6].

6.1 Materia organiczna w kompoście

Materia organiczna gleby składa się z zespołu organizmów żywych, głównie bakterii i grzybów, a także z nieożywionej substancji organicznej, do której zalicza się szczątki organiczne (tzw. martwą materię organiczną) oraz substancje próchniczne [27]. Hsu i Lo [24, 26] badali właściwości nawozowe i dojrzałość kompostu na bazie frakcji stałej gnojowicy, bez dodatku substancji wypełniających. Skupili się na analizie przemian substancji organicznych (SO), określając zawartość substancji humusowych (kwasu humusowego, kwasu fulwowego i frakcji niehumusowej) w kompoście. Całkowita zawartość SO (substancji organicznych) w surowej frakcji stałej nawozu wynosiła 28% i w ciągu 33 dni kompostowania wzrosła do 44%, ustalając się na tym poziomie do końca procesu (przez kolejne 89 dni). Zawartość kwasu fulwowego zmniejszyła się z 7,7% w surowej substancji organicznej frakcji stałej gnojowicy do 6,3% w dojrzałym kompoście.

Zawartość kwasu humusowego wzrastała z 4,6% do 6,0% w ciągu pierwszych 18 dni, następnie gwałtownie wzrosła do 15% w 25 dniu procesu i ustaliła się na poziomie 21% w dojrzałym kompoście. Potwierdziło to tezę, że w kompostach niedojrzałych zawartość kwasu fulwowego jest większa niż w dojrzałych, natomiast w przypadku kwasu humusowego sytuacja ma się odwrotnie. Zawartość frakcji niehumusowej w SO gwałtownie wzrastała z 16 do 25% przez 18 dni, po czym spadła do 19% w 122 dniu kompostowania. Początkowy wzrost nastąpił wskutek uwalniania produktów rozkładu substancji łatwo ulegających biodegradacji w podwyższonej temperaturze, natomiast spadek spowodowany był humifikacją produktów rozpadu i trudno biodegradowalnej materii organicznej w chłodniejszym etapie procesu [24, 26].

Huang i współpracownicy [9] określali zawartość substancji humusowych w kompoście na bazie FSG i trocin. Wykazali, że ilość kwasu humusowego wzrosła w wyniku kompostowania z 2,05% do 3,79%. Ilość kwasu fulwowego również wzrosła, ale nieznacznie z 0,49% do 0,62%. Określono także wartość współczynnika E_4/E_6 , stosowanego do oceny masy cząsteczkowej substancji humusowych, która wraz z postępem procesu maleje. Stwierdzono, iż łatwo degradowane związki organiczne takie jak związki alifatyczne, polisacharydy, białka i alkohole uległy rozkładowi, w wyniku czego dojrzały kompost zawierał głównie związki aromatyczne, charakteryzujące się większą stabilnością [9].

Zespół Paré'a [22] określił zawartość materii organicznej w kompoście na bazie FSG z dodatkiem torfu, kawałków drewna i liści. Analizowano próbki z 4 nawozów otrzymanych z frakcji stałej gnojowicy rozdzielanej według różnych metod. W pierwszym przypadku, gnojowicę poddano separacji za pomocą wirówki i zastosowano dodatek koagulanta (kompost A), kompost B zawierał FSG rozdzieloną poprzez dekantację i dodatek koagulanta i flokulanta. Następne komposty otrzymano z frakcji stałej odpadu odseparowanej na prasie obrotowej (kompost C) i śrubowej (kompost D), dodając w obu przypadkach koagulanta i flokulanta. Najbogatszym w materię organiczną był kompost B (0,86 g/g), natomiast kompost A, C i D zawierały odpowiednio 0,54 g/g, 0,78 g/g i 0,79 g/g [22].

6.2 Związki węgla i stosunek C/N

Rozpuszczalne w wodzie organiczne związki węgla ($C_{org_H_2O}$) są najbardziej biologicznie czynnymi składnikami kompostu aplikowanymi do gleby. Ich zawartość analizowali Hsu i Lo [24]. Frakcja stała gnojowicy zawierała 981 mg/l rozpuszczalnych w wodzie organicznych związków węgla, natomiast kompost w 12 dniu procesu zawierał 1640 mg/l. W 18 dniu wartość ta wzrosła do 5560 mg/l, po czym spadła do 1020 mg/l w 122 dniu procesu. Wzrost zawartości $C_{org_H_2O}$ spowodowany był rozkładem cukrów, aminokwasów, białek i hemicelulozy przez mikroorganizmy. Spadek zawartości $C_{org_H_2O}$ zachodził przy obniżonej temperaturze. W rezultacie dojrzały kompost zawierał 4% $C_{org_H_2O}$, podczas gdy w końcowym etapie procesów termofilnych zawartość wynosiła ok. 17,5%. Naukowcy [24] stwierdzili, że na podstawie zmian ilości $C_{org_H_2O}$ można określać dojrzałość kompostów.

Hsu i Lo [24] analizowali także stosunek C/N w otrzymanym kompoście, który początkowo wynosił 21 w surowcu, w ciągu 18 dni spadł do 10, a w 49 dniu wynosił 7,4. W dojrzałym kompoście (122 dzień) ustalili się na poziomie ok. 7 [24]. Początkowe szybkie obniżenie

współczynnika wynikało z intensyfikacji procesów rozkładu materii organicznej, natomiast w końcowym etapie spadek był powolniejszy, ze względu na procesy suszenia i niską szybkość rozkładu MO [26].

Całkowitą zawartość węgla organicznego w kompoście na bazie węgla brunatnego i FSG określał Georgacakis z zespołem [6]. W tym przypadku zwiększenie ilości węgla organicznego stwierdzono w kompoście z dodatkiem pozostałości bawełny. Huang i współpracownicy [18] wykazali, że wraz z dodatkiem trocin do FSG zwiększa się ilość węgla organicznego, która podczas przebiegu kompostowania spada nie zależnie od ilości zastosowanych dodatków. W przypadku kompostu z większą i mniejszą zawartością trocin spadek wyniósł odpowiednio 13% i 16% [18].

6.3 Makro i mikroelementy w kompoście

Gnojowica świńska zawiera makroelementy roślinne, takie jak N, P, K, Ca i Mg, które znajdują się w różnych frakcjach nawozu, np. w części ciekłej odpadu znajdują się głównie związki azotu oraz tlenki sodu, potasu i magnezu.

Paré'a i współpracownicy [22] określali zawartość azotu, fosforu, potasu, siarki, wapnia i magnezu w kompoście na bazie FSG z dodatkiem torfu, kawałków drewna i liści, otrzymanym według różnych metod. Fosfor i potas występowały w formie tlenkowej, przy czym obecność K_2O potwierdzono tylko w dwóch mieszankach kompostowych, natomiast P_2O_5 występował w największej ilości. Niska zawartość azotu w analizowanych próbkach wynikała z większej zawartości jonów azotanowych we frakcji wodnej gnojowicy. Potwierdzeniem tego mogą być badania Bertory i współpracowników [28], którzy w celu określenia skuteczności dostarczania azotu z gnojowicy do gleby, aplikowali do niej surową mieszaninę nawozu oraz jego frakcją stałą i ciekłą (nieprzetworzoną i przechowywaną w warunkach beztlenowych). Następnie określali stopień kondensacji w glebie jonów amonowych oraz azotanowych. Frakcja stała i ciekła odpadu zawierały odpowiednio 32% i 30% NH_4^+ . Autorzy zaobserwowali, że nityfikacja jonów amonowych przebiegła szybko i po pierwszym tygodniu od aplikacji nastąpiła ich całkowita asymilacja. Następnie zaobserwowali wzrost akumulacji jonów azotanowych w glebie, który nie zależał od typu zastosowanego nawozu. W 58 dniu po aplikacji stwierdzono, że gleba nawożona frakcją stałą gnojowicy zawierała 19% jonów NO_3^- , a frakcją ciekłą 52% jonów azotanowych [28]. Niska zawartość związków nieorganicznych azotu w części stałej nawozu, zmniejsza ryzyko przenawożenia podczas jej aplikacji do gleby. Zawartość makroelementów znajdujących się w kompoście otrzymanym przez zespół Paré'a [22] przedstawiono w tabeli 6.3.1.

Tabela 6.3.1. Zawartość wybranych makro i mikroelementów w kompoście na bazie FSG z dodatkiem torfu, kawałków drewna i liści [22]

Składnik, g/kg		Kompost			
		A	B	C	D
Makroelementy	N całkowity	30	20	10	20
	P ₂ O ₅	80	10	10	20
	K ₂ O	10	0	0	10
	S	10	10	0	0
	Ca	72,6	20,9	23,9	50,5
	Mg	22,38	2,12	4,13	3,98
	Na	2,29	1,02	1,15	1,36
Mikroelementy	Fe	6,33	7,74	4,54	3,87
	Cu	0,44	0,23	0,15	0,19
	Mn	1,05	0,65	0,67	0,76
	Zn	1,21	0,65	0,49	1,3

Zależność pomiędzy wartością C/N a przemianami azotu podczas kompostowania, analizował Huang i współpracownicy [18]. Wykazali, że kompost na bazie FSG i trocin o początkowym stosunku C/N = 15, charakteryzował się znacznie większą zawartością azotu całkowitego, azotanowego, organicznego oraz amonowego w porównaniu z kompostem o C/N = 30. W obu przypadkach ilość NH₄⁺ wzrastała do dnia 7, po czym szybko malała. Wzrost zawartości formy azotanowej wykazano od 14 dnia procesu (kompost o C/N = 15) i od dnia 21 (kompost o C/N = 30). Naukowcy określali również zmiany ilości fosforu podczas procesu. Określono, że spadek zawartości rozpuszczalnych organicznych i nieorganicznych związków P wynikał z mineralizacji związków organicznych i konsumpcji przez mikroorganizmy [18].

Ilość substancji odżywczych w kompoście na bazie FSG i zmielonych odpadów leśnych oraz w mieszankach otrzymanego kompostu z substratem torfowym, analizowali Ribeiro i współpracownicy [23]. Wykazali, że dodatek nawozu zwiększa ilość aplikowanego do gleby azotu, wapnia i magnezu, jednak powoduje zmniejszenie dawki fosforu i potasu, którą można uzupełnić odpowiednim systemem nawożenia. Naukowcy określali również wpływ nawozów na jakość plonu sałaty i pomidorów. Stwierdzili, że nawożenie kompostem i jego mieszankami nie wpływa na wzrost siewek sałaty. Natomiast najlepsze plony pomidorów otrzymano na podłożu nawożonym surowym kompostem. Ponadto naukowcy podkreślili, że otrzymany nawóz, stanowi alternatywne podłoże dla torfu, stosowanego powszechnie przy wysiewaniu. W tabeli 6.3.2 przedstawiono zawartość makroelementów w nawozach otrzymanych przez Ribeiro i współpracowników [23].

Tabela 6.3.2. Zawartość makroelementów w kompoście na bazie FSG i zmielonych odpadów leśnych oraz w mieszankach kompostu [23]

Zawartość kompostu w próbce (V/V), %	Makroelementy, mg/l				
	N	P	K	Ca	Mg
50	116	90	174	155	74
75	128	78	120	158	83
100	152	68	80	170	95

Mikroelementy, takie jak Cu, Zn, Fe, Mn, Mo wchodzą w skład frakcji stałej nawozu [29]. Ich zawartość zależy od diety, sposobu hodowli i fizjologii zwierząt [30]. W tabeli 6.3.3. zestawiono zawartość mikroelementów w gnojowicy różnego pochodzenia [29].

Tabela 6.3.3. Średnia zawartość mikroelementów w gnojowicy różnego pochodzenia [29]

Zawartość mikroelementu, mg/kg gnojowicy	Pochodzenie gnojowicy		
	Lochy karmiące, ciężarne i prosięta (do 14 – 16 kg wagi)	Osobniki dorosłe i prosięta	Świnie hodowlane o wadze 14 – 16 kg – na ubój
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

Hsu i Lo [26] badali zawartość mikroelementów w kompoście na bazie frakcji stałej gnojowicy bez dodatku wypełniaczy i wykazali, że największe ilości miedzi (53 – 67%) znajdują się we frakcji organicznej kompostu, ale występują również w postaci tlenków (23 – 32%) i węglanów (6 – 13%). We frakcji wymiennej znajduje się ok. 1 – 5%, natomiast reszta 1 – 3% znajduje się w pozostałej części kompostu. Znaczna zawartość Cu we frakcji organicznej wynika z wysokiego poziomu tworzenia się organicznych związków kompleksowych miedzi. Ilość metalu w poszczególnych frakcjach zmienia się wraz z postępowaniem kompostowania. Podobnie dzieje się z manganem, jednak największą zawartość tego pierwiastka stwierdzono we frakcji tlenkowej (34 – 60%) i węglowej (23 – 48%). We frakcji organicznej, wymiennej i pozostałej części kompostu zawartość Mn wyniosła odpowiednio 4 – 16%, 4 – 18% oraz 1 – 3%. Niewielkie ilości manganu (1032 mg/kg) we frakcji stałej gnojowicy świńskiej w połączeniu z ilością Mn w glebie (2500 mg/kg) mogą spowodować obniżenie jakości plonów i wywołać toksyczność podłoża. Zawartość cynku w kompoście również zmieniała się wraz z przebiegiem procesu. Zn stanowił główny składnik frakcji węglanowej (44 – 54%), ale wysoką zawartość cynku określono również we frakcji tlenkowej (35 – 49%), mniejszą we frakcji wymiennej i pozostałej części kompostu – w obu od 1 – 2%. Całkowita zawartość Cu, Mn i Zn w dojrzałym kompoście

wynosiła odpowiednio 791, 1032 i 1562 mg/kg i była 2,7, 2,8 i 2,4 razy większa niż w surowej frakcji stałej gnojowicy [26].

Zespół Paré'a [22] analizował zawartość mikroelementów w kompoście na bazie FSG z dodatkiem torfu, kawałków drewna i liści. Naukowcy badali próbki z 4 nawozów otrzymanych z frakcji stałej gnojowicy rozdzielanej według metod opisanych we wcześniejszych rozdziałach. Mikroelementem występującym w największych ilościach było żelazo, natomiast zawartość miedzi była najmniejsza. Wyniki analizy składu otrzymanych przez Paré'a i współpracowników [22] nawozów przedstawiono w tabeli 6.3.1.

Georgacakis z zespołem [6] również określali zawartość składników odżywczych w otrzymanych kompostach. Rodzaj zastosowanego dodatku wpływał na zawartość makro i mikroelementów w końcowym produkcie. Pozostałości bawełny zwiększały ilość jonów sodu, natomiast skorupki ryżu – ilość jonów manganu. W tabeli 6.3.4 porównano zawartość składników odżywczych w wyjściowych mieszankach (kompozycja tabela 5.1) i dojrzałym kompoście otrzymanym przez zespół Georgacakis'a [6].

Tabela 6.3.4. Zawartość makro i mikroelementów w wyjściowych mieszankach (M) i dojrzałym kompoście (K) [6]

Składnik		Pryzma 1		Pryzma 2		Pryzma 3		Pryzma 4	
		M	K	M	K	M	K	M	K
P,	% s.m	0,15	0,36	0,11	0,18	0,16	0,25	0,05	0,23
K,	% s.m	0,17	0,14	0,20	0,25	2,84	0,70	0,68	0,23
Ca,	% s.m	0,76	3,05	0,48	2,56	2,35	4,92	0,44	2,97
Mg,	% s.m	0,33	0,78	0,21	0,46	0,58	1,14	0,12	0,79
Na,	% s.m	1,66	1,63	2,06	2,50	4,03	11,00	2,50	2,63
Fe,	ppm	1836	3315	1188	2520	1897	3855	386	2150
Cu,	ppm	27	25	24	20	56	45	10	30
Zn,	ppm	63	115	45	75	61	110	48	110
Mn,	ppm	63	265	45	295	97	195	55	235
B,	ppm	26	43	-	26	95	184	-	45

Stosowanie nawozów na bazie odpadów zwierzęcych, np. gnojowicy świńskiej, wymaga stałej kontroli ilości akumulowanych w glebie metali ciężkich. Badania nad zawartością Cd, Ni, As, Pb, Cr, Cu i Zn w kompoście na bazie FSG i trocin badali Ko i współpracownicy [20]. Miedź, chrom i cynk zaliczane są do mikroelementów, jednak przy nadmiernej aplikacji działają szkodliwie na środowisko i określane są wtedy mianem metali ciężkich. Badania naukowców wykazały, że ilość tych związków w kompoście była poniżej wartości granicznych określonych przez koreańskie prawo. Mimo to autorzy ostrzegają, że kontrola zawartości metali ciężkich w nawozach pochodzenia naturalnego jest niezbędna, w celu ograniczenia akumulacji tych związków w glebie [20].

7. Podsumowanie

Gnojowica świńska poddawana jest procesowi kompostowania, tylko po wcześniejszym rozdzieleniu frakcji ciekłej i stałej nawozu. Materiałem podstawowym kompostu z gnojowicy jest jej frakcja stała, która może być przetwarzana z dodatkiem lub bez dodatku substancji wypełniających. Zastosowanie materiałów tego typu, zwiększa zawartość materii organicznej w kompoście oraz wpływa na ilość makro i mikroelementów w produkcie końcowym kompostowania. Jednak bez względu na rodzaj substancji wypełniających, głównym mikroelementem aplikowanym do gleby jest żelazo. Niezależnie od sposobu prowadzenia kompostowania oraz od rodzaju substratów, konieczne jest stałe kontrolowanie składu otrzymanego produktu, w celu zapobiegania nadmiernej akumulacji makro- i mikroelementów w podłożu, które powyżej określonego stężenia powodują zanieczyszczenie środowiska.

Literatura

- [1] Czuba R. pod red., Nawożenie mineralne roślin uprawnych, Zakłady Chemiczne „POLICE” S.A. 1996, 247 – 254
- [2] Antolak T., Kompostowanie odpadków miejskich w warunkach polskich, Wyd. Katalogów i Cenników, Warszawa 1974, 14 – 15
- [3] Mazur K., Filipek-Mazur B., Wartość nawozowa kompostów i wermikompostów z odpadów roślinnych oraz osadów ścieków przemysłowych i komunalnych, Materiały konferencji nt. „Kompostowanie odpadów – dobry interes czy uciążliwa konieczność?”, Wyd. Zielone Brygady, Kraków 2001
- [4] Rosik-Dulewska Cz., Podstawy gospodarki odpadami, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2000, 150 – 151
- [5] Imbeah M., Composting piggery waste – a review, *Bioresource Technology* 1998, 63, 3, 197 – 203
- [6] Georgacakis D., Tsavdaris, A., Bakouli J., Symeonidis S., Composting solid swine manure and lignite mixtures with selected plant residues, *Bioresource Technology* 1996, 56, 2 – 3, 195 – 200
- [7] Ustawa o odpadach z dn. 27.04.2001., Dz.U.2001.62.628.
- [8] Ustawa o zmianie ustawy o odpadach oraz niektórych innych ustaw z dn. 22.01.2010., Dz. U. 2010.28.145 z 25.02.2010.
- [9] Huang G.F., Wu Q.T., Wong J.W.C., Nagar B.B.: Transformation of organic matter during co-composting of pig manure with sawdust. *Bioresource Technology* 2006, 97, 15, 1834 – 1842
- [10] Lens P., Hamelers B.: Resource recovery and reuse in organic solid waste management. IWA Publishing, 2004, 249 – 261
- [11] Ustawa o nawozach i nawożeniu z dnia 10 lipca 2007 r., Dz.U.2007.147.1033

- [12] Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2008, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2008
- [13] *Mały Rocznik Statystyczny Polski 2010*, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2008
- [14] Zbytek Z., Talarczyk W., *Gnojowica a ochrona środowiska naturalnego*, Technika rolnicza, ogrodnicza, leśna 2008, 4, 12 – 15
- [15] Krzywy E., *O gnojowicy raz jeszcze*, Aura 2005, 4, ss.16 - 17
- [16] 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
- [17] Zhang Y., He Y., *Co-composting solid swine manure with pine sawdust as organic substrate*, Bioresource Technology 2006, 97, 16, 2024–2031,
- [18] Huang G.F., Wong J.W.C., Wu Q.T., Nagar B.B., *Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust*, Waste Management 2004, 24, 8, 805–813
- [19] Rao J.R., Watabe M., Stewart T.A., Millar B.C., Moore J.E., *Pelleted organo-mineral fertilisers from composted pig slurry solids, animal wastes and spent mushroom compost for amenity grasslands*, Waste Management 2007, 27, 9, 1117–1128
- [20] Ko H.J., Kim K.Y., Hyeon T.K., Kim C.N., Umeda M., *Evaluation of maturity parameters and heavy metal contents in composts made from animal manure*, Waste Management 2008, 28, 5, ss.813–820
- [21] Wang P., Changa C.M., Watson M.E., Dick W.A., Chen Y., Hoitink H.A.J., *Maturity indices for composted dairy and pig manures*, Soil Biology & Biochemistry 2004, 36, 5, 767–776
- [22] Paré M.C., Allaire S.E., Parent L.– E., Khiari L., *Variation in the physical properties of organo-mineral fertilisers with proportion of solid pig slurry compost*, Biosystems Engineering 2010, 106, 3, 243 – 249
- [23] Ribeiro H.M., Romero A.M., Pereira H., Borges P., Cabral F., Vasconcelos E., *Evaluation of a compost obtained from forestry wastes and solid phase of pig slurry as a substrate for seedlings production*, Bioresource Technology 2007, 98, 17, 3294–3297
- [24] Hsu J.– H., Lo S.– L., *Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformations during composting of pig manure*, Environmental Pollution 1999, 104, 2, 189–196
- [25] Jørgensen K., Stoumann Jensen L., *Chemical and biochemical variation in animal manure solids separated using different commercial separation technologies*, Bioresource Technology 2009, 100, 12, 3088 – 3096.
- [26] Hsu J.– H., Lo S.– L., *Recycling of separated pig manure: characterization of maturity and chemical fractionation of elements during composting*, Water Science and Technology 1999, 40, 1, 121 – 127
- [27] Weiner J., *Życie i ewolucja biosfery*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2003, 180 – 181

- [28] Bertora C., Alluvione F., Zavattaro L., van Groenigen J.W., Velthof G., Grignani C., *Pig slurry treatment modifies slurry composition, N₂O, and CO₂ emissions after soil incorporation*, Soil Biology & Biochemistry 2008, 40, 8, 1999-2006
- [29] Sánchez M., González J.L., *The fertilizer value of pig slurry. I. Values depending on the type of operations*, Bioresource Technology 2005, 96, 10, 1117-1123
- [30] Sager M., *Trace and nutrient elements in manure, dung and compost samples in Austria*, Soil Biology & Biochemistry 2007, 39, 6, 1383-1390.