

Andrzej Eymontt
Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa
w Warszawie

WYKORZYSTANIE ODPADOWEJ MASY ORGANICZNEJ W GOSPODARSTWACH EKOLOGICZNYCH

Streszczenie

W gospodarstwach zajmujących się produkcją roślinną jednym z istotnych problemów jest równoważenie bilansu nawozowego w glebie. W gospodarstwach towarowych bilans ten jest uzyskiwany przez nawożenie mineralne z uzupełnieniem nawozami organicznymi, natomiast w gospodarstwach produkujących żywność metodami ekologicznymi podstawą jest nawożenie nawozami organicznymi, zapobiegające mineralizacji gleby. Jedną z metod uzyskiwania nawozów organicznych jest kompostowanie. W zależności od typu gospodarstwa, rodzaju i wielkości produkcji powinno stosować się odpowiednie metody kompostowania zapewniające: jak największe wykorzystanie odpadowej masy organicznej produkowanej w gospodarstwie, minimalizację strat składników nawozowych (azot, fosfor, potas) powstających w trakcie procesu kompostowania i nawożenia, wykorzystanie ciepła i gazów powstających w trakcie kompostowania z jednoczesnym ograniczeniem ich emisji do atmosfery oraz uzyskanie dojrzałego kompostu jak najlepszej jakości. Na świecie i w Polsce rozwijane są metody kompostowania w przyzmach oraz w komorach zamkniętych. W opracowaniu zostały omówione różne metody kompostowania, możliwe do zastosowania w gospodarstwach ekologicznych i uzyskiwane w nich rezultaty.

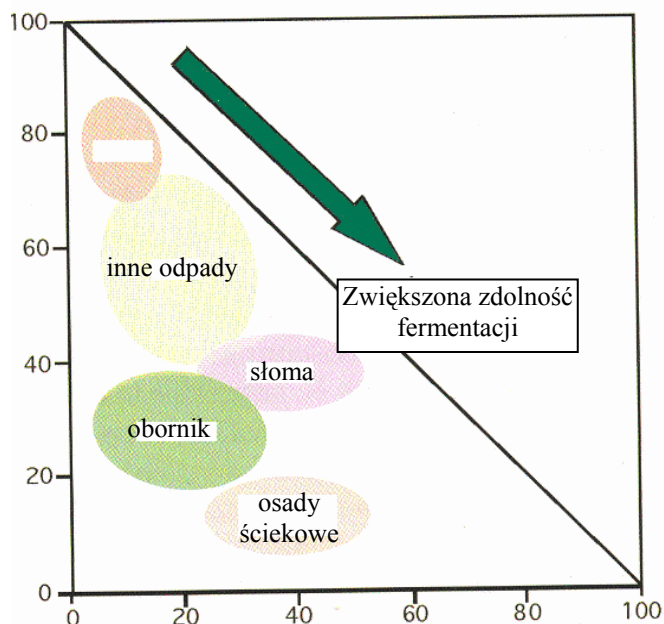
Słowa kluczowe: produkcja zwierzęca, biomasa, osady ściekowe, fermentacja tlenowa, humus

Wstęp

O wyborze technologii kompostowania powinny decydować następujące, zależne od siebie czynniki: wielkość gospodarstwa, typ produkcji, rodzaj i ilość dostępnej biomasy. Rodzaj dostępnej biomasy uzyskiwanej bezpośrednio z gospodarstwa oraz z zewnątrz, to: osady ściekowe niezanieczyszczone metalami ciężkimi, gnojowica i gnojówka, obornik, słoma, inne odpady organiczne, odpady z drewna (trociny, wióry, gałęzie).

Od rodzaju biomasy i zawartości w niej ligniny i celulozy zależy jej degradowalność oraz czas kompostowania (rys.1).

Lignina (substancja organiczna, %), Karbohydraty – Hemiceluloza (substancja organiczna, %).



Rys. 1. Zależność zdolności biomasy do fermentacji tlenowej od zawartości substancji organicznych [Chiumenti, Chiumenti 200]

Fig. 1. Biomass ability to aerobic digestion as affected by organic matter contents [Chiumenti, Chiumenti 2005]

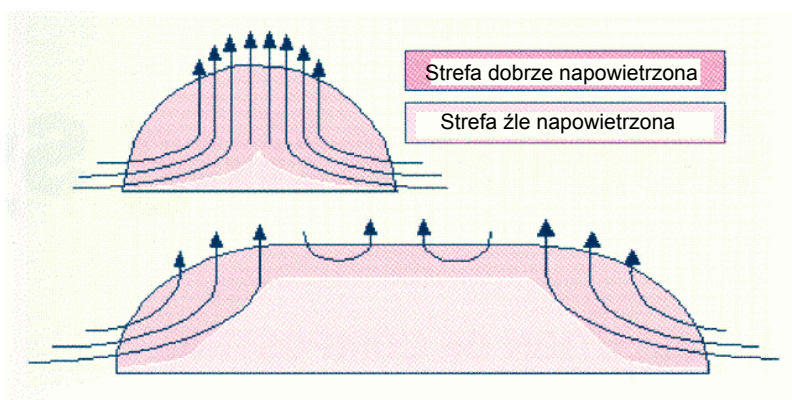
Systemy kompostowania można ogólnie podzielić na otwarte i zamknięte. Systemy otwarte są zlokalizowane całkowicie lub częściowo na otwartej przestrzeni. Systemy zamknięte są zlokalizowane w zamkniętych pomieszczeniach z możliwością kontroli gazów i odorów wydzielających się w trakcie kompostowania.

Celem opracowania jest analiza stosowanych technologii kompostowania z ukierunkowaniem na zastosowanie w rolnictwie.

Kompostowanie w pryzmach

Najpopularniejszym i najtańszym w budowie systemem jest kompostowanie w pryzmach o wysokości 1-3 m i szerokości 3-8 m. Rozróżnia się następujące rozwiązania techniczne:

- kompostowanie statyczne z napowietrzaniem naturalną konwekcją w pryzmie (rys. 2),
- kompostowanie z wymuszonym obiegiem powietrza,
- kompostowanie z odwracaniem pryzmy,
- kompostowanie z odwracaniem pryzmy i wymuszonym obiegiem powietrza.

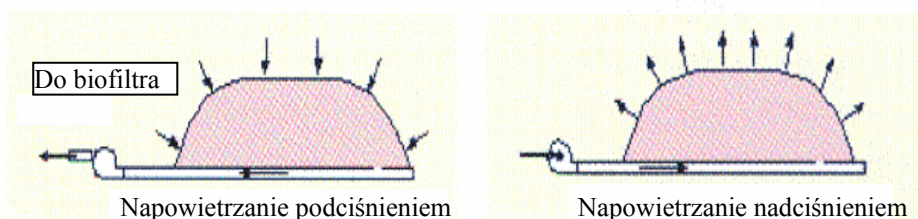


Rys. 2. Kompostowanie z napowietrzaniem naturalną konwekcją [Chiumenti, Chiumenti 2005]

Fig. 2. Composting with the aeration by natural convection (good and bad aerated zones) [Chiumenti, Chiumenti 2005]

Kompostowanie statyczne nie jest zalecane ze względu na niejednorodność uzyskiwanego kompostu, możliwość samozapłonu pryzmy oraz w przypadku takich materiałów jak trawa beztlenową fermentację w części pryzmy.

Przy wymuszonym obiegu powietrze może przepływać z wierzchu pryzmy do jej wnętrza (podciśnienie) lub z dołu pryzmy do jej zewnętrznej części (nadciśnienie). W przypadku przepływu podciśnieniowego powietrze przepływające przez pryzmę można skierować do biofiltra (rys. 3).



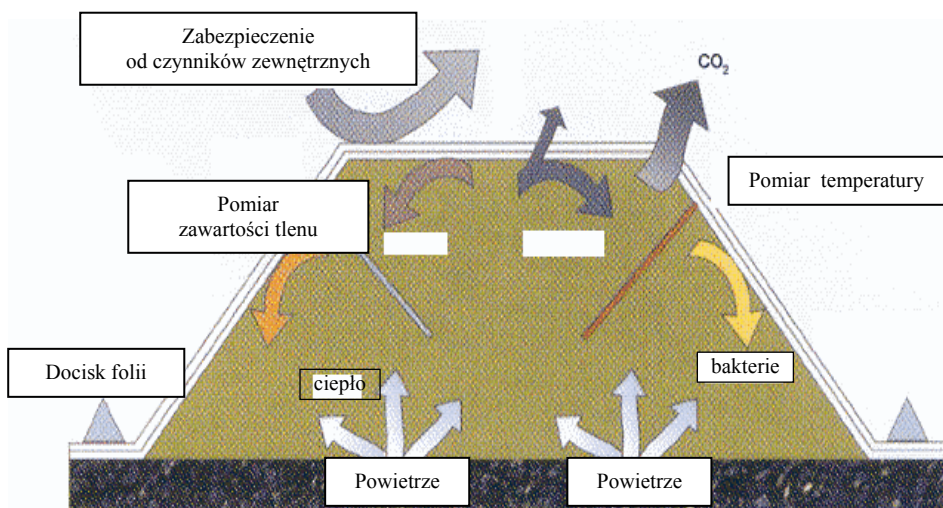
Rys. 3. Napowietrzanie pryzmy w układach podciśnieniowym i nadciśnieniowym [Chiumenti, Chiumenti 2005]

Fig. 3. Pile aeration in the underpressure and overpressure systems [Chiumenti, Chiumenti 2005]

Ze względu na zmienność zewnętrznej temperatury powietrza i destabilizację procesu fermentacji (szczególnie zimą), do regulacji przepływu powietrza zastosowano sterowanie zależne od temperatury i wilgotności pryzmy oraz wprowadzono wlotowe powietrze z ogrzewanych pomieszczeń. W trakcie kompostowania w pryzmach rozkład substancji organicznej przebiega w trzech podstawowych fazach.

Pierwsza faza to rozpad związków organicznych łatwiej rozkładalnych (białka, skrobia, aminokwasy), powodowany głównie przez bakterie tlenowe. W fazie tej ma miejsce szybki wzrost temperatury do 60-70°C, w wyniku czego następuje higienizacja kompostowanej masy, gdyż w zakresie tych temperatur ginie większość bakterii chorobotwórczych. Faza ta charakteryzuje się intensywnym przebiegiem, czego przejawem jest wzmożone wydzielanie się CO₂ i pary wodnej. Przyjmuje się, że pierwsza faza trwa około 10-14 dni i w tym okresie ulega rozkładowi 80% tej masy, która ulegnie przemianom biochemicznym. Sygnałem informującym o zakończeniu pierwszej fazy procesu kompostowania jest spadek temperatury do około 40°C oraz zmniejszenie intensywności wydzielania CO₂.

W *fazie drugiej* następuje zapoczątkowanie wpływu grzybni na rozkład substancji organicznych trudno rozkładalnych (lignina, kora, woski, żywice). Ażeby procesy biochemicznego rozpadu substancji organicznej były intensywne, kompostowaną masę należy zwilżyć do zawartości ok. 50% H₂O. W fazie tej następuje również wzrost temperatury do ok. 50°C, wzmożone wydzielanie CO₂, lecz nie tak intensywne, jak w fazie pierwszej. Rozwijające się grzyby pobierają amoniak i włączają go ponownie do procesów rozkładu zachodzących w przyzmiu. Faza druga trwa około 2 miesięcy.



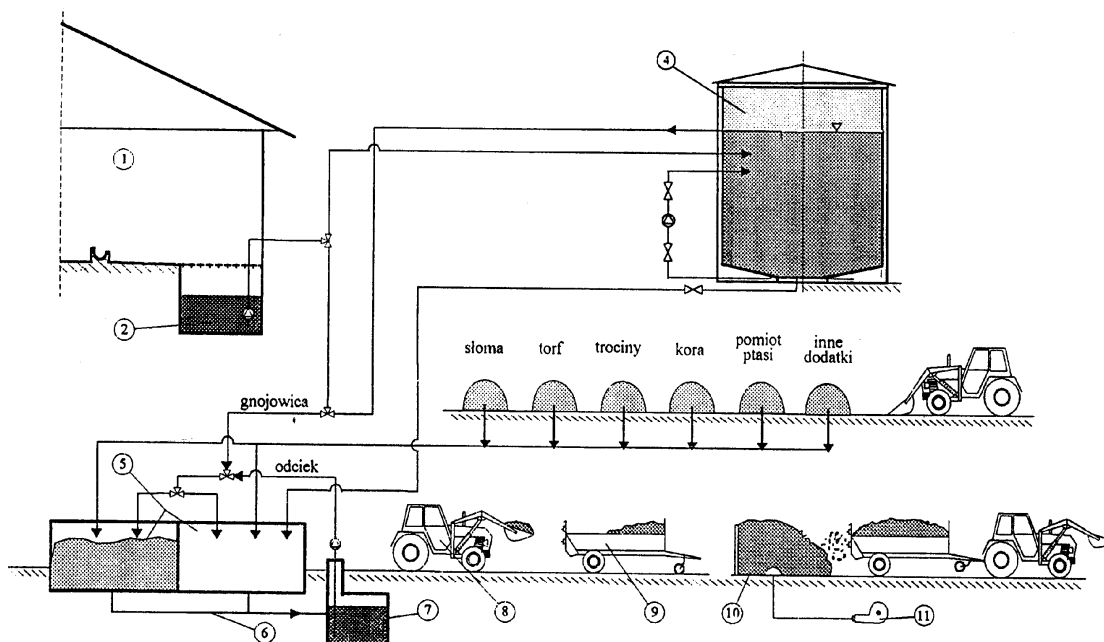
Rys. 4. Przepływ powietrza w napowietrzanej przyzmi z przykryciem (BIOE)
 Fig. 4. The airflow system in a compost pile covered with plastic foil (BIOE)

Faza trzecia to zupełne opanowanie kompostowanej masy przez grzybnię. Podobnie jak poprzednio, w celu zapewnienia odpowiednich warunków do rozwoju grzybów, kompostowaną przyzmię należy zwilżyć i napowietrzyć przez jej wymieszanie. W fazie tej obserwuje się zapoczątkowanie rozwoju owadów i dżdżownic. Występujące w tym czasie ciemnobrunatne zabarwienie świadczy o tym, że w kompostowanej masie powstają związki humuso-

we oraz poprawa stosunku węgla do azotu. W trzeciej fazie tworzy się struktura gruzelkowata charakterystyczna dla procesu glebotwórczego w wierzchniej warstwie gleby. Faza trzecia w zależności od rodzaju kompostowanej masy oraz przebiegu pogody trwa 7-9 miesięcy. Stosując proste systemy przyzmove należy zwracać uwagę na: wybór miejsca kompostowania, odcieki, powstające odory i gazy oraz jakość otrzymanego kompostu.

Innym rozwiązaniem umożliwiającym zmniejszenie emisji gazów i przyspieszenie procesu kompostowania jest przykrywanie przyzm przepuszczalną folią z Gore-Texu lub innego, podobnego materiału. Układ przepływu powietrza w tak przykrytej przyzmie pokazano na rysunku 4.

Innym rozwiązaniem zastosowanym przez IBMER było kompostowanie biomasy w poziomych, otwartych komorach silosów z wymuszonym napowietrzaniem nadciśnieniowym i przykryciem matami z prasowanej słomy. Kompostowany materiał był polewany gnojowicą z komory fermentacji beztlenowej (biogazowni) (rys. 5).



Rys. 5. Technologia produkcji kompostu w otwartych silosach [Romaniuk, Gancarz 1997]: 1- chlewnia, 2- kanał gnojowicowy, 3- rurociąg, 4- komora fermentacyjna, 5- komory gnojowe, 6- drenaż, 7- zbiornik na odciek, 8- ciągnik z ładowaczem czołowym, 9- rozrzutnik obornika, 10- płyta kompostowa z silosami, 11- wentylator

Fig. 5. Technology of compost production in the open silos [Romaniuk, Gancarz 1997]: 1- piggy, 2- slurry channel, 3- pipeline, 4- digestion chamber, 5- dung chambers, 6- drainage, 7- leachate tank, 8- tractor front loader, 9- manure spreader, 10- compost plate with silos, 11- fan

Podobnym rozwiązaniem jest umieszczenie pryzm w komorach wykonanych z folii z tworzywa sztucznego z wymuszonym przepływem powietrza dostarczanego przez perforowane rury (rys. 6). Zaletą takiego rozwiązania jest zmniejszenie zależności procesu od wpływów atmosferycznych i niski koszt. Wadą jest trudność w odbiorze gazów oraz kontroli procesu kompostowania.



Rys. 6. Kompostowanie pod przykryciem folią (Apiesse, Ag-Bag)
Fig. 6. Composting under foil cover (Apiesse, Ag-Bag)

Kompostowanie z odwracaniem pryzmy może być realizowane z zastosowaniem ładowacza obornika (w małych gospodarstwach) lub specjalnych samojezdnych maszyn z jednoczesnym formowaniem pryzmy o stosunku przekroju poprzecznego wysokości do szerokości 1: 2 (rys. 7).



Rys. 7. Maszyna do odwracania i formowania pryzm (Bacchus)
Fig. 7. Machine to turn over and formation of the compost piles (Bacchus)

Nieco innym rozwiązaniem jest maszyna do przyzmożenia sprzężona z ciągnikiem (rys. 8). W mniejszych gospodarstwach można stosować inne, prostsze maszyny sprzężone z ciągnikiem (rys. 9).



Rys. 8. Maszyna do odwracania i formowania pryzm sprzężona z ciągnikiem. Fotografia z lewej strony – położenie transportowe maszyny firmy Sandberger. Fotografia górna – maszyna firmy Wildcat Manufacturing, fotografia dolna – maszyna z Washington State University

Fig. 8. Tractor driven machines to compost pile turning and forming. Left side photo: Sandberger machine in transport position. Upper photo: the machine of Wildcat Manufacturing. Bottom photo: the machine from the Washington State University



Rys. 9. Sprzężone z ciągnikiem maszyny przyzmujące dla średnich i małych gospodarstw (Brown Bear Corporation)

Fig. 9. Tractor driven pile forming machines for middle-size and small farms (Brown Bear Corporation)

Kompostowanie w zamkniętych bioreaktorach

Bioreaktory są generalnie stosowane do prowadzenia pierwszej fazy procesu kompostowania, która wymaga ciągłego monitoringu, natomiast dojrzewanie kompostu może się odbywać na płytach kompostowych, w pryzmach. Monitoruje się przebieg procesu w kompostowanej masie i koncentrację O_2

i/lub CO₂. Wskaźnik stopnia fermentacji jest określany jako „współczynnik respiracji (Qr)” i definiowany następującą zależnością:

$$Qr = \frac{[O_2]_{wylot.} + [CO_2]_{wylot.}}{[O_2]_{wlotowe}}$$

Kompostowanie z odwracaniem i formowaniem pryzm jest dostępne dla dużych gospodarstw rolniczych i przetwórczych ze względu na cenę maszyny. W procesach tlenowej fermentacji współczynnik respiracji Qr powinien być mniejszy od 1 (Qr < 1).

Ze względu na rozwiązania techniczne bioreaktory mogą być pionowe, poziome, kanałowe, komorowe, kontenerowe, tunelowe, bębnowe z obracającym się bębniem. Ze względu na sposób pracy reaktory dzielą się na reaktory o pracy ciągłej i okresowej. Ze względu na przemieszczanie się lub nie biomasy w reaktorach, dzieli się je na reaktory statyczne i dynamiczne.

W bioreaktorach pierwsza faza procesu kompostowania trwa 7-15 dni w zależności od materiału wsadowego, co w porównaniu z systemem kompostowania w pryzmach trwającym 20-30 dni jest znacznym przyspieszeniem procesu. Przyspieszony proces kompostowania wymaga precyzyjnego monitoringu i sterowania. Użycie maszyn i układów automatyki znacznie zwiększa koszty inwestycyjne i dlatego systemy zamknięte mają zastosowanie przede wszystkim w dużych gospodarstwach i przetwórnictwie, co ogranicza ich zastosowanie w gospodarstwach ekologicznych i nie będą szczegółowo omawiane.

Jedną z prób zastosowania bioreaktorów rolniczych ekologicznych gospodarstw rolniczych jest dynamiczne bębnowe urządzenie zaprojektowane w IBMER (rys. 10).

Urządzenie jest wyposażone w 4 niezależne komory z otworami zasypowymi. Jest poziomym, bębnowym z obracającym się bębniem, dynamicznym urządzeniem do pracy okresowej. Urządzenie może być przeznaczone dla małych i średnich gospodarstw rolnych o przeliczeniowej produkcji do 30 SD (sztuk dużych), gospodarstw agroturystycznych, w produkcji ekologicznej, zakładów przetwórstwa rolno-spożywczego oraz lokalnych i gminnych oczyszczalni ścieków. Może stanowić rozwiązanie do usuwania odpadów organicznych w gospodarstwach i lokalnych oczyszczalniach ścieków. Dodatkowymi urządzeniami jest taśmowy podajnik biomasy i rozdrabniacz części stałych.

Jakość produkowanego kompostu

Zgodnie z normą BN-88/9103, odnoszącą się do jakości kompostu stosowanego do upraw rolniczych, podstawowymi składnikami warunkującymi jakość są zawartość substancji organicznych, węgla organicznego, azotu organicz-



Rys. 10. Bębnowe urządzenie do kompostowania konstrukcji IBMER [Eymontt, Mizgajska 2004]

Fig. 10. Drum composting device of the IBMER's design [Eymontt, Mizgajska 2004]

nego, fosforu i potasu, odczyn pH, zawartość wody, wielkość cząstek, zawartość szkła i ceramiki, zawartość metali ciężkich, wskaźniki mikrobiologiczne, jak miano e-Coli, miano *Cl porfingens*, % bakterii w postaci przetrwalnikowej, żywe jaja helmintów. W zależności od wartości poszczególnych składników, kompost może być zaliczony do jednej z trzech klas. Najkorzystniejsza jakościowo jest klasa I. W normie BN-88/9103 nie uwzględniono stosunku C:N, który w dobrym kompoście powinien wynosić (16–20):1. Dodatkowo kompost stosowany do upraw rolniczych powinien być poddany testowi na wzrost i kiełkowanie roślin.

W trakcie kompostowania poprawia się stosunek węgla do azotu (w porównaniu z materiałem wsadowym), co wpływa na przechodzenie azotu w formy łatwo dostępne dla roślin oraz na uwalnianie się z połączeń organicznych takich pierwiastków, jak fosfor, potas i magnez. Typowy skład jakościowy kompostu otrzymanego z odpadów organicznych pokazano w tabeli 1.

Analiza i wnioski

Dobrze przefermentowany i dojrzały kompost może być wykorzystany do następujących celów: uprawy rolnicze, ogrodnicze, zieleń miejska, rekultywacja zdegradowanych terenów przemysłowych, hałd, wysypisk odpadów, obiekty sportowo–rekreacyjne, hodowla drobiu i prosiąt (dodatek do paszy lub jako ściółka), biofiltr w kompostowni zamkniętej.

Przy zastosowaniu kompostu w rolnictwie spełnia on rolę substancji poprawiającej stosunki powietrzno-wodne oraz źródła składników pokarmowych dla roślin (poprawia retencję wodną gleb). Ponadto kompost, z uwagi na

ciemną barwę, powoduje silniejsze pochłanianie promieni słonecznych, co podnosi temperaturę gleby. Kompost poprawia właściwości retencyjne i sorbujące gleb oraz unieruchamia metale ciężkie przez tworzenie wiązań chelatowych. Dobrej jakości kompost obniża zawartość związków patogennych i chorobotwórczych w glebie.

Tabela 1. Skład jakościowy kompostu z odpadów organicznych [Szczegółów 1990]
Table 1. Qualitative composition of organic waste compost [Szczegółów 1990]

Parametr	Jednostki	Możliwy zakres	Wartości średnie	Wg normy BN-88/9103, klasa I
Sucha masa	%	55 – 65	60	-
Zawartość wody	%	35 – 45	40	25 – 40
Masa właściwa	g/l	500 – 800	700	-
Maksymalna pojemność wodna	% objętości	40 – 60	55	-
Zawartość soli rozpuszczalnych w wodzie	g/l	2.0 – 6.3	3.5	-
Wartość pH		7.0 – 8.0	7.6	6.5 – 8.0
Azot /N _{całk.} /	% s.m.	0.3 – 0.5	0.4	> 0.8 /N _{org./}
N – NO ₃	mg/l	10 – 300	80	-
Fosfor /P _{całk./}	% s.m.	0.3 – 0.5	0.4	-
P ₂ O _{5całk.}	% s.m.	0.6 – 1.2	0.8	> 0.6
P /rozpuszczalny/	mg/l	220 – 870	440	-
P ₂ O ₅ /rozpuszczalny/	mg/l	500 – 2000	1000	-
Potas /K _{całk./}	% s.m.	0.7 – 1.4	1.2	-
K ₂ O _{całk.}	% s.m.	0.8 – 1.7	1.5	> 0.2
K /rozpuszczalny/	mg/l	1500 – 4000	3000	-
K ₂ O /rozpuszczalny/	mg/l	1810 – 4820	3610	-
Magnez /Mg _{całk./}	% s.m.	0.6 – 1.2	0.8	-
MgO _{całk.}	% s.m.	1.0 – 2.0	1.3	-
Wapń /Ca _{całk./}	% s.m.	2.5 – 5.5	4.0	-
CaO _{całk.}	% s.m.	3.5 – 7.7	5.5	-
Substancja organiczna	% s.m.	25 – 40	33	-
Stosunek C/N	-	10 – 20	15	-
Miano Coli	-	-	-	< 0.001
Miano E Coli	-	-	-	< 0.01

Kompost jako nawóz organiczny zasługuje na szczególną uwagę przy pracach rekultywacyjnych terenów zdegradowanych. Rolnictwo ze względu na sprzęt kombajnowy zbóż nie jest w stanie wyprodukować do tych celów odpowiedniej ilości obornika. Kompost do celów rekultywacyjnych nie musi spełniać rygorystycznych wymagań (jak do celów rolniczych) w odniesieniu do zawartości metali ciężkich.

Na uwagę zasługuje tzw. kompost grzeiny, mający zastosowanie w inspektach i szklarniach. Jest to kompost nie w pełni dojrzały, który ma utrzymywać podwyższoną temperaturę nawet w ciągu 2 miesięcy. Kompost może być również stosowany do hydroobsiewu skarp.

W czasie procesu kompostowania należy zwracać szczególną uwagę na ilość i rodzaj gazów, jak azot, CO₂, uwalniających się z kompostowanej masy oraz możliwości ich powrotu do kompostu lub inną formę zagospodarowania.

Istotnym czynnikiem warunkującym lokalizację kompostowni są odory. Mogą być one pochłaniane przez dodawanie zeolitów lub gliny do kompostu lub kompostowanie w zamkniętych przestrzeniach (przykrycie folią, kompostowanie w komorach z kontrolą gazów wylotowych) [Burton, Tuner 2003].

Na podstawie przeprowadzonej analizy należy ocenić, jako najmniej emisyjne, rozwiązania zamknięte, tj. z przykryciem folią i w zamkniętym bębnie. Wybór konkretnego rozwiązania powinien zależeć od typu i wielkości gospodarstwa.

Bibliografia

Burton C.H., Tuner C. 2003. Manure Management. Silsoe Research Institute, Bedford, UK

Chiumenti A., Chiumenti R. 2005. Modern Composting Technologies. Biocykle. Journal of Composting and Organic Recycling, Emmaus, PA, USA

Eymontt A., Mizgajska K. 2004. Możliwości zastosowania systemów kompostowania na terenach wiejskich. Problemy intensyfikacji produkcji zwierzęcej z uwzględnieniem ochrony środowiska i przepisów UE. IBMER, Warszawa

Kuczewski K., Łmotowski J. 2002. Komposty na bazie pomiotu kurzego. AXA, Wrocław

Parzonka W. 1997. Analiza dotychczasowych badań nad unieszkodliwianiem rolniczych odpadów produkcyjnych, w tym gnojowicy. Akademia Rolnicza, Wrocław

Romaniuk W., Garncarz F. 1997. Ekologiczne aspekty kompostowania gnojowicy z odpadami organicznymi. Podstawowe problemy w technologii chowu bydła i trzody chlewnej z uwzględnieniem aspektów ekologicznych. IBMER, Warszawa

Siuta J. 1999. Zasoby surowców do kompostowania. Kompostowanie i użytkowanie kompostów. Puławy

Siuta J. 1999. Kompostowanie i wartości użytkowe kompostów. Kompostowanie i użytkowanie kompostów. Puławy

Szczygłów A. 1990. Technologia hodowli dżdżownic. Red Hybrid of Kalifornia