

---

***PRACE***

**Instytutu Ceramiki  
i Materiałów Budowlanych**

---

***Scientific Works***  
of Institute of Ceramics  
and Building Materials

---

**Nr 10**

ISSN 1899-3230

**Rok V**

**Warszawa–Opole 2012**

---

DOROTA ANDERS\*  
DANIEL ZAJĄC\*\*  
MARIUSZ TAŃCZUK\*\*\*

# Wstępna ocena możliwości kompostowania glonów usuwanych z plaż turystycznych

**Słowa kluczowe:** glony, kompostowanie, bioreaktory.

W pracy przedstawiono analizę możliwości wykorzystania glonów, zalegających na plażach Morza Bałtyckiego, w procesie kompostowania. Opisano proces kompostowania dwuetapowego dla wsadu będącego mieszaniną glonów oraz odchodów zwierzęcych (obornik koński). Dla wsadu o ustalonych proporcjach poszczególnych substratów zaproponowano odpowiednią technologię bioreaktora, w którym prowadzony będzie proces intensywnego kompostowania. Zdefiniowano również parametry przym kompostowych oraz przeanalizowano sposoby wykorzystania uzyskanego kompostu.

## 1. Wstęp

Kompostowanie to uniwersalna metoda przerobu odpadów organicznych w której w warunkach sztucznych wykorzystuje się procesy zachodzące powszechnie w naturze.

Do procesu kompostowania przeznaczone mogą być odpady organiczne, ulegające biodegradacji, a także odpady, które są potencjalnymi nośnikami substancji organicznych. Komponentami w kompostowaniu mogą być również odpady, które same trudno byłoby poddać takiemu procesowi, a które mają w konsekwencji dobry wpływ zarówno na przebieg procesu, jak i na produkt końcowy [1]. Prowadząc proces kompostowania należy mieć na uwadze dwa aspekty [5]:

- 1) produkcję pełnowartościowego produktu finalnego,
- 2) odzysk jak największej ilości rodzajów odpadów (w tym odpadów trudnych do potencjalnego wykorzystania).

---

\* Dr, Politechnika Opolska.

\*\* Dr inż., Politechnika Opolska.

\*\*\* Dr inż., Politechnika Opolska.

Bilansowanie odpadów do procesu kompostowania to gwarancja otrzymania pełnowartościowego produktu. W warunkach krajowych nie została stworzona lista odpadów przeznaczonych do recyklingu organicznego poprzez kompostowanie. Analizując katalog odpadów (Rozporządzenie Ministra Środowiska z 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów, Dz.U. z 2001 r. nr 112, poz. 1206) można w sposób następujący pogrupować główne źródła odpadów z potencjalnym przeznaczeniem do kompostowania:

- 1) rolnictwo, sadownictwo, uprawy hydroponiczne, rybołówstwo, leśnictwo, łowiectwo,
- 2) przetwórstwo żywności, gastronomia, kuchnie żywienia zbiorowego i gospodarstw domowych,
- 3) przetwórstwo drewna oraz produkcja płyt i mebli, masy celulozowej, papieru i tektury,
- 4) przemysł skórzany, futrzarski i tekstylny,
- 5) oczyszczanie ścieków, uzdatnianie wody,
- 6) instalacje zagospodarowania odpadów i gospodarka komunalna (oczyszczanie z odpadów ogrodów, parków, cmentarzy, targowisk).

Poza zaprezentowanym podziałem można zastosować podział w oparciu o kryterium „wagi roli”, jaką odpad będzie spełniał w przebiegu procesu kompostowania i w produkcie finalnym. Podstawową składową „wagi roli” będzie zawartość substancji organicznej. Odpady o dużej zawartości substancji organicznej można nazwać podstawowymi komponentami kompostowania. Nie zawsze jednak taki komponent kompostowania będzie mógł podlegać procesowi bez sporządzania mieszanki z innymi odpadami. Przyczyną takiego stanu rzeczy może być:

- 1) zbyt duża wilgotność odpadu,
- 2) predyspozycje do tworzenia zbitej masy,
- 3) zbyt mała zawartość składników pokarmowych w wyniku przeprowadzenia procesu,
- 4) duży udział trwałej substancji organicznej – odpornej na rozkład.

Wynika stąd konieczność stosowania komponentów uzupełniających, czyli takich odpadów, które zmniejszają lub zwiększają wilgotność masy kompostowej, regulują stosunek C:N, uzupełniają zawartość substancji odżywczych (azotu, fosforu, potasu), dostarczają mikroelementów oraz wpływają na strukturę kompostu [1].

Podstawowe zasady sporządzania mieszanek kompostowych, bez względu na zastosowaną technologię kompostowania, gwarantujące dobry przebieg procesu to selektywnie zebrany (czysty) odpad organiczny, wilgotność masy kompostowej

55–60%, stosunek C:N w przedziale 25/1 ÷ 35/1 oraz odpowiedni udział materiału strukturalnego (gwarantującego napowietrzanie biomasy), w zależności od składu odpadów w mieszance kompostowej [3–4].

Powszechnie wykorzystywanymi w procesie kompostowania są odpady z grupy 20 – odpady komunalne łącznie z frakcjami gromadzonymi selektywnie, a zwłaszcza rodzaje z podgrupy 20 02 – odpady z ogrodów i parków (w tym z cmentarzy). Niemniej źródeł powstawania odpadów biodegradowalnych jest znacznie więcej. Na uwagę zasługują odpady z podgrupy 02 01 – odpady z rolnictwa, sadownictwa, upraw hydroponicznych, leśnictwa, łowiectwa i rybołówstwa. Do tej podgrupy zalicza się zarówno odpady pochodzenia zwierzęcego, jak i roślinnego. Najczęściej wykorzystywanymi z tej podgrupy w procesie kompostowania są odchody zwierzęce (pomioty kurzy, obornik trzody chlewnej, bydlęcy, koński) oraz odpadowa masa roślinna (słoma, odpady owoców i warzyw). Odpady te mają duży wpływ na właściwości próchniczne kompostu, a komposty wyprodukowane z udziałem takich komponentów charakteryzują się dobrą wartością składników nawozowych [2, 6].

Należy jednak wyraźnie zaznaczyć, że wszystkie odpady pochodzenia zwierzęcego i wszystkie operacje oraz procesy z ich udziałem podlegają Rozporządzeniu (WE) nr 1069/2009 Parlamentu Europejskiego i Rady z 21 października 2009 r. ustanawiającemu przepisy sanitarne dotyczące produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego nieprzeznaczonych do spożycia przez ludzi i uchylające Rozporządzenie WE 1774/2002.

Wymagania technologiczne stawiane przez ustawodawstwo unijne, które dotyczą procesu kompostowania ubocznych produktów pochodzenia zwierzęcego, to przede wszystkim graniczne parametry: wielkości cząstek przed wprowadzeniem do bioreaktora (maksymalnie 12 mm), temperatury całego surowca podczas obróbki w reaktorze (minimalnie 70°C) oraz czasu obróbki przy temperaturze 70°C (minimum 60 minut). Proces kompostowania musi być prowadzony w zamkniętych bioreaktorach. Zapisy Rozporządzenia Komisji (WE) nr 142/2011 z 25 lutego 2011 r. w sprawie wykonania Rozporządzenia (WE) nr 1069/2009 Parlamentu Europejskiego i Rady w zakresie norm przetwarzania dla wytwórni biogazu i kompostowni oraz wymagań dotyczących obornika, dopuszczają możliwość zastosowania innych parametrów procesu, o ile zapewnią one minimalizację ryzyka biologicznego.

## 2. Glony jako odpady

Usuwany z plaż i linii brzegowej materiał roślinny w postaci glonów stanowi odpad organiczny. Ze względu na brak możliwości zaklasyfikowania flory wodnej wyrzucanej na brzeg według katalogu odpadów, najczęściej odpadowe glony klasyfikowane są jako niesegregowane (zmieszane) odpady komunalne

(kod 20 03 01), ponieważ z reguły są one usuwane łącznie z innymi odpadami komunalnymi. W przypadku wykorzystania odpadowych glonów w procesie recyklingu organicznego, np. poprzez proces kompostowania, można nadać im kod 20 03 99 (odpady komunalne niewymienione w innych podgrupach).

Opadowe glony są odpadami ulegającymi biodegradacji. Według danych literaturowych [7], zawartość substancji organicznej mieści się w przedziale 55–70% suchej masy. Podana zawartość substancji organicznej umożliwia wykorzystanie odpadowych glonów w procesie kompostowania. Należy jednak brać pod uwagę zmienną zawartość frakcji mineralnej w odpadzie, uzależnionej zarówno od czynników naturalnych, jak i od systemu zbiórki odpadu z plaż.

Według badań dotyczących glonów z plaż Sopotu [8], zawartość metali ciężkich (Cr, Cd, Ni, Pb, Hg) jest na znacznie niższym poziomie, aniżeli wymagania stawiane nawozom organicznym lub środkom poprawiającym właściwości gleby według Rozporządzenia Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu (Dz.U. z 2008 r. nr 119, poz. 765).

Analiza makroelementów dotyczących glonów z plaż szwedzkich [7] wykazała duże zawartości  $P_2O_5$  (ok. 2,0% s.m.),  $K_2O$  (ok. 3,0% s.m.) oraz N (ok. 2,6% s.m.). Z punktu widzenia nawozowego taka zawartość składników pokarmowych dla roślin w odpadach przeznaczonych do kompostowania pozwala na prowadzenie procesu bez składników uzupełniających. W związku z powyższym odpadowe glony mogą podlegać kompostowaniu, a produkt finalny procesu będzie spełniał wymagania parametryczne nawozu organicznego.

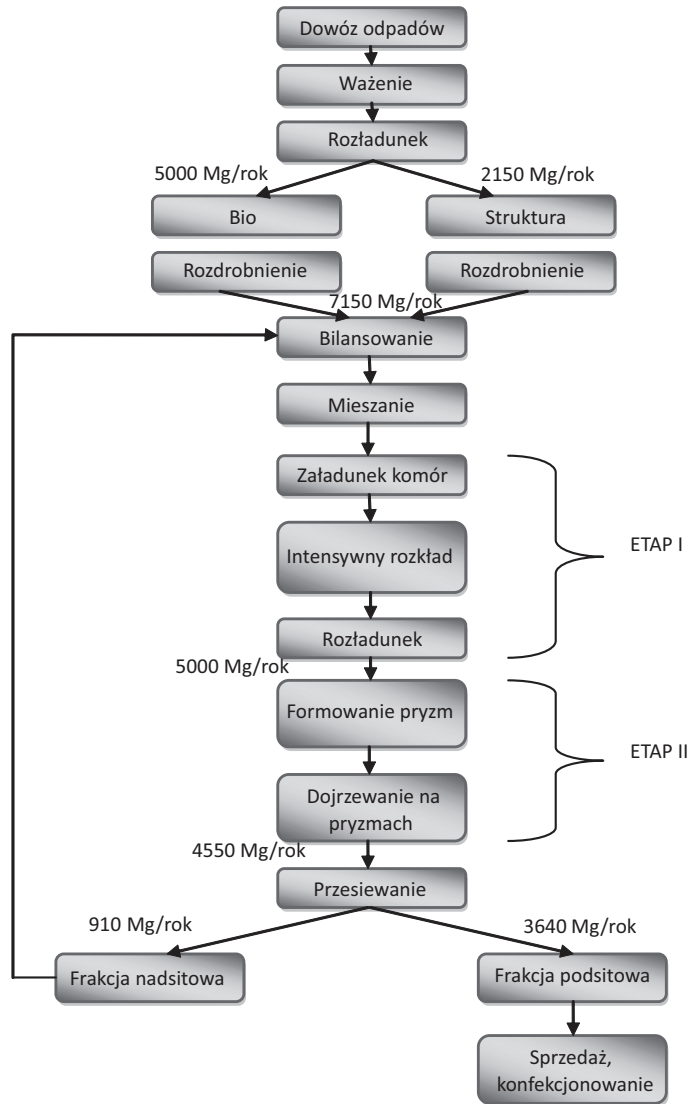
### 3. Operacje technologiczne kompostowania

Proces kompostowania glonów będzie składał się z kilku operacji technologicznych. Selektywnie zebrane odpady organiczne będą dowożone do kompostowni i ważone przy wjeździe na jej teren. W hali bioreaktorów będzie następował rozładunek odpadów do odpowiednich boksów: na tzw. odpady zielone (liście, trawa), na tzw. materiał strukturalny (pocięte gałęzie drzew i krzewów), na odchody zwierzęce oraz boksu na odpadowe glony.

Na etapie rozładunku pracownik będzie wybierał zanieczyszczenia mechaniczne, które mogą pojawić się wśród selektywnie zebranych odpadów, ewentualnie otwierał i eliminował foliowe worki, jeśli nie ulegają one biodegradacji. Następnie do rozdrabniarko-mieszarki będą podawane w odpowiednich proporcjach poszczególne rodzaje odpadów.

Po zbilansowaniu i wymieszaniu rozdrobnionych odpadów – ładowarką zostaną przemieszczone do komory bioreaktora. Następnie zostanie uruchomiony proces intensywnego kompostowania z archiwizacją jego parametrów.

Po zakończeniu procesu kompostowania w bioreaktorze nastąpi jego otwarcie i rozładunek kompostu świeżego, a następnie uformowanie pryzm kompostowych, gdzie będzie miało miejsce dojrzewanie tego kompostu. Schemat poszczególnych operacji technologicznych i bilans masowy przedstawiono na rycinie 1.



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 1. Operacje technologiczne i bilans masowy procesu kompostowania

### 3.1. Założenia wyjściowe do kompostowania

Możliwe do pozyskania odpady biodegradowalne do wykorzystania w procesie kompostowania w warunkach miasta Sopotu to odpady o kodzie 20 02 01 – odpady ulegające biodegradacji, pochodzące z czyszczenia ogrodów, parków, w tym cmentarzy, oraz odpady o kodzie 02 01 06 – odchody zwierzęce, obornik koński. W tabeli 1 przedstawiono szacunkowe ilości poszczególnych rodzajów odpadów według dostępnych informacji i materiałów.

T a b e l a 1

*Rodzaje i ilości odpadów możliwych do wykorzystania w procesie kompostowania z terenu miasta Sopotu*

Rodzaj odpadu	Kod odpadu	Szacunkowa ilość odpadu [Mg/rok]
Odpady ulegające biodegradacji	20 02 01	4 500
Odchody zwierzęce	02 01 06	2 100
Odpady komunalne niewymienione w innych podgrupach (głony z sopockich kąpielisk)	20 03 99	550 (ilość uśredniona z lat 2008–2010)
Razem		7 150

Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

### 3.2. Charakterystyka kompostowania dwuetapowego

Kompostowanie dwuetapowe ma przyspieszyć proces rozkładu odpadów organicznych i higienizację kompostowej masy już w pierwszym etapie procesu, tak żeby wszystkie kolejne operacje procesowe odbywały się na materiale czystym sanitarnie. Kolejnym ważnym zadaniem kompostowania dwuetapowego jest zamknięcie procesu rozkładu intensywnego ze wszystkimi jego środowiskowymi uciążliwościami (odcieki i odory) w komorze-bioreaktorze.

W związku z powyższym kompostowanie dwuetapowe będzie składało się z:

- 1) etapu intensywnego kompostowania w bioreaktorze (od 8 do 21 dni),
- 2) etapu dojrzewania kompostu na przyzmacz kompostowych (ok. 4 miesiące),
- 3) operacji uzupełniających – badań chemicznych, sanitarnych i parazytologicznych potwierdzających dojrzałość kompostu,
- 4) przesiewania (konfekcjonowania gotowego produktu) i sprzedaży.

### 3.3. Etap intensywnego kompostowania w bioreaktorze

Bioreaktor to zamknięta betonowa komora z elektronicznie sterowanym napowietrzaniem i nawilżaniem masy wsadowej. W zależności od zastosowanej technologii rozwiązania techniczne napowietrzania i nawilżania będą się od siebie

różnić. Dla potrzeb niniejszego opracowania przyjęto technologię o następujących podstawowych parametrach:

- ładowność jednego bioreaktora – 40 Mg<sup>\*</sup>,
- czas rozkładu biomasy w bioreaktorze – 8 dni<sup>\*</sup>,
- gęstość nasypowa materiału wsadowego – ok. 600 kg/m<sup>3</sup>,
- objętość wsadu – ok. 67 m<sup>3</sup>,
- ubytek masy w bioreaktorze – ok. 30%,
- ilość kompostu świeżego z jednego bioreaktora – ok. 28 Mg,
- objętość kompostu świeżego z jednego bioreaktora – ok. 47 m<sup>3</sup>.

Biorąc pod uwagę czas przebywania wsadu w bioreaktorze, ilość wsadów do jednego bioreaktora w ciągu roku wynosi ok. 44. Uwzględniając ładowność bioreaktora (40 Mg) i ilość wsadów w ciągu roku (44), ilość odpadów organicznych, która może zostać poddana procesowi intensywnego rozkładu w jednym bioreaktorze to 1760 Mg.

Dla miasta Sopotu w celu prowadzenia pierwszego etapu procesu kompostowania dwuetapowego konieczne są 4 sztuki bioreaktorów o ładowności 40 Mg i czasie przebywania odpadów w bioreaktorze 8 dni.

W wyniku pierwszego etapu kompostowania nastąpi redukcja biomasy w bioreaktorach i ilość kompostu świeżego (po rozładunku bioreaktorów) wyniesie ok. 5000 Mg/rok. Taka też ilość kompostu świeżego zostanie skierowana do dojrzewania na pryzmach kompostowych.

### 3.4. Etap dojrzewania kompostu na pryzmach kompostowych

Kompostowanie dwuetapowe wymaga przeprowadzenia dojrzewania kompostu na pryzmach. W zależności od składu chemicznego kompostu świeżego czas dojrzewania na pryzmach wyniesie od 3 do 4 miesięcy. W trakcie trwania procesu dojrzewania na pryzmach kompostowych mieszanki kompostowe należy napowietrzać i nawilżać w zależności od potrzeb. Napowietrzanie pryzm kompostowych może odbywać się przy pomocy przerwarki do pryzm (alternatywnie można zastosować ładowarkę – napowietrzanie mniej precyzyjne). Przerzucanie pryzm kompostowych będzie odbywało się jeden raz w ciągu tygodnia przez pierwsze dwa miesiące i jeden raz na dwa tygodnie w końcowym etapie dojrzewania.

Pierwszym wskazaniem pełnej dojrzałości kompostu będzie brak wzrostu temperatury wewnątrz pryzmy po przerzuceniu, wysokość temperatury na poziomie temperatury otoczenia.

---

\* Ładowność bioreaktora i czas kompostowania intensywnego w bioreaktorze są różne w zależności od zastosowanej technologii. Te dwa parametry decydują o łącznej ilości bioreaktorów koniecznych do zagospodarowania odpadów biodegradowalnych z terenu miasta Sopotu.



Do pomiaru temperatur w przyzmię należy stosować termometry elektroniczne z sondami o długości do 2 m i z zakresem temperatur od  $-20$  do  $+100^{\circ}\text{C}$ . Pomiar temperatury powinny odbywać się w miarę stałych punktach pomiarowych przyzmy i obejmować różne wysokości materiału kompostowego. Pomiar temperatury przyzmy kompostowych należy przeprowadzać raz dziennie przez cały czas dojrzewania kompostu na przyzmach. Przez cały okres dojrzewania przyzmy należy utrzymywać wilgotność mieszanek na poziomie ok. 60%.

Parametry przyzmy:

- |                                                             |                                                                |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| – ilość kompostu przeznaczona do kompostowania              | – ok. 5000 Mg/rok,                                             |
| – czas dojrzewania kompostu na przyzmach                    | – ok. 4 miesiące,                                              |
| – przekrój przyzmy                                          | – trójkątny,                                                   |
| – wysokość przyzmy                                          | – ok. 2,1 m,                                                   |
| – szerokość przyzmy                                         | – ok. 4,3 m,                                                   |
| – pole przekroju przyzmy                                    | – ok. 4,6 m <sup>2</sup> ,                                     |
| – odstęp między przyzmy                                     | – 1 m,                                                         |
| – odległość od granicy placu przyzmy                        | – 5 m,                                                         |
| – preferowana długość jednej przyzmy                        | – 20 m (efekt rozładunku dwóch bioreaktorów w ciągu tygodnia), |
| – łączna długość przyzmy (dla 4 miesięcy)                   | – 605 m,                                                       |
| – powierzchnia placu przyzmy bez powierzchni manipulacyjnej | – 2795 m <sup>2</sup> ,                                        |
| – powierzchnia placu przyzmy z powierzchnią manipulacyjną   | – 4175 m <sup>2</sup> .                                        |

#### 4. Wykorzystanie dojrzałego kompostu

W warunkach krajowych według regulacji prawnych, o których była mowa we wstępie, aktualnie kompost może być wykorzystywany jako nawóz organiczny lub środek wspomagający uprawę roślin (jako środek poprawiający właściwości gleby, stymulator wzrostu lub podłoże do upraw). W każdym jednak przypadku dozwolona zawartość metali ciężkich jest na takim samym poziomie, a brak zanieczyszczeń sanitarnych umożliwia jakiegokolwiek wykorzystanie.

Bez względu na to jak zaklasyfikujemy kompost, jego wprowadzenie do obrotu, czyli według ustawy o nawozach i nawożeniu (Dz.U. z 2007 r. nr 147, poz. 1033): „oferowanie w celu zbycia, sprzedaż oraz inną odpłatną albo nieodpłatną

formę zbycia nawozu lub środka wspomagającego uprawę roślin” wymaga zezwolenia Ministra Rolnictwa. Dokumentacja niezbędna do uzyskania zezwolenia zawarta została w tabeli 2.

T a b e l a 2

*Wymagana dokumentacja do uzyskania zezwolenia na wprowadzenie kompostu z odpadów biodegradowalnych do obrotu handlowego\**

Zastosowanie kompostu	Jednostka opiniująca	Pozostałe opinie bez względu na zastosowanie	Jednostka opiniująca
Do upraw polowych i rekultywacji gleb	Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach	1) w zakresie oddziaływania na zdrowie ludzi 2) w zakresie oddziaływania na zdrowie zwierząt 3) w zakresie oddziaływania na środowisko 4) w zakresie spełnienia wymagań weterynaryjnych Rozporządzenia 1069/2009**	Instytut Medycyny Wsi w Lublinie
Do upraw roślin warzywnych	Instytut Warzywnictwa im. Emila Chroboczka w Skierniewicach		Państwowy Instytut Weterynaryjny – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach
Do upraw sadowniczych, roślin ozdobnych i trawników	Instytut Sadownictwa i Kwiaciarstwa w Skierniewicach		Instytut Ochrony Środowiska w Warszawie
Do stosowania w lasach	Instytut Badawczy Leśnictwa w Warszawie		Państwowy Instytut Weterynaryjny – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach
Do stosowania na użytkach zielonych	Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach		opinie z punktów 1, 2 i 3

\* Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu, Dz.U. z 2008 r. nr 119, poz. 765.

\*\* Dotyczy kompostu wytworzonego lub zawierającego w swoim składzie uboczne produkty pochodzenia zwierzęcego wg Rozporządzenia WE 1069/2009.

W celu uzyskania poszczególnych opinii konieczne jest przedłożenie informacji zawierającej nazwę nawozu lub środka wspomagającego uprawę roślin, opis technologii produkcji, deklarację producenta o spełnieniu wymagań jakościowych, projekt instrukcji stosowania oraz wyniki badań wykonanych przez jednostki akredytowane w tym zakresie. Biorąc pod uwagę krajowe, specyficzne warunki wprowadzania kompostu do obrotu w porównaniu z innymi krajami Unii Europejskiej, należy stwierdzić, że procedura jest skomplikowana i długotrwała.

## 5. Podsumowanie

Glony usuwane z plaż turystycznych jako odpady organiczne we wstępnej ocenie mogą być poddawane recyklingowi organicznemu w procesie kompostowania.

Bardzo ważnym aspektem przy wyborze technologii zagospodarowania odpadów biodegradowalnych w procesie kompostowania jest zarówno określenie potencjału takich odpadów na danym obszarze, jak i ich podstawowego składu chemicznego. Ze względu na to, że produktem finalnym procesu kompostowania jest nawóz organiczny lub środek wspomagający uprawę roślin, dobór komponentów do kompostowania zdecyduje o jego przeznaczeniu. Jeżeli ten dobór będzie nieodpowiedni, to długotrwały i kosztowny proces kompostowania może prowadzić do produkcji następnego odpadu. Z kolei brak analizy potencjału odpadów organicznych na danym terenie może prowadzić do wyboru technologii kompostowania, która nie będzie spełniała wymogów formalnoprawnych obowiązujących w Polsce. Ten aspekt jest szczególnie istotny przy zakupie przez inwestorów technologii z innych krajów, w których recykling organiczny odpadów biodegradowalnych jest znacznie prostszy aniżeli w warunkach polskich\*.

---

\* Cytowaną literaturę zamieszczono po tłumaczeniu artykułu w języku niemieckim.