
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

TOMASZ CIESIELCZUK*
CZESŁAWA ROSIK-DULEWSKA**

Wady i zalety rekultywacyjnego wykorzystania kompostów z odpadów

Słowa kluczowe: rekultywacja, kompost, stałe odpady komunalne, zagrożenia.

Obecnie coraz większy nacisk kładzie się na stopniowe ograniczanie składowania stałych odpadów komunalnych (SOK), które nadal jest najszerzej wykorzystywanym sposobem ich unieszkodliwiania. Frakcja biodegradowalna, po wydzieleniu jej ze strumienia odpadów komunalnych, może stanowić ważne źródło materii organicznej, która wykorzystywana w recyklingu organicznym mogłaby być cennym nawozem lub środkiem poprawiającym własności gleb zdegradowanych lub gruntów bezglebowych. Aby kompost wytwarzany z odpadów komunalnych był wysokiej jakości, istotnym elementem w procesie jego powstawania jest rodzaj wsadu oraz właściwe prowadzenie procesu technologicznego. Gotowy produkt (kompost) musi spełniać wysokie wymagania jakościowe. Jednym z najistotniejszych parametrów wyznaczających tę jakość jest zawartość metali ciężkich, normowana zawartość biogenów oraz wymogi sanitarne i parazytologiczne. W przypadku kompostów wytwarzanych ze zmieszanych (niesegregowanych) odpadów komunalnych zawartość metali ciężkich (szczególnie cynku i miedzi), a także zanieczyszczenia mechaniczne, mogą eliminować kompost z użycia jako nawozu, ale może on nadal stanowić cenny materiał do celów rekultywacyjnych. Gdy zastosujemy kompost złej jakości, spowodujemy zagrożenia dla gleb i wód w związku z migracją w głąb profilu rozpuszczalnej materii organicznej oraz mobilnej frakcji metali ciężkich.

1. Wstęp

Stale odpady komunalne (SOK), które powstają w każdym gospodarstwie domowym, są w przeważającej części unieszkodliwiane poprzez deponowanie na składowiskach odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne. Jednak z uwagi na

* Dr inż., Uniwersytet Opolski.

** Prof. zw. dr hab. inż., Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk w Zabrzu.

szybkie wypełnianie się istniejących obiektów służących do składowania oraz trudności z wyznaczeniem miejsc umożliwiających lokalizację nowych, a przede wszystkim ze względu na wymogi prawne wymuszające ograniczanie składowania, należy wdrażać nowe rozwiązania mające na celu minimalizację masy wytwarzanych odpadów, które są poddawane składowaniu. W skład odpadów komunalnych, pochodzących z obszarów zarówno wiejskich, jak i miejskich, wchodzi frakcja biodegradowalna, która (po procesie kompostowania) może stanowić dobrej jakości nawóz lub środek poprawiający własności gleb i rekultywacji gruntów bezglebowych.

Z racji wymogów stawianych odzyskowi odpadów, kompostowanie jest coraz bardziej powszechnym sposobem odzysku i recyklingu odpadów, a programy selektywnej zbiórki odpadów biodegradowalnych wdraża się w coraz szerszym zakresie [10, 12]. Procesowi temu poddawane są nawet odpady zaolejone, pochodzące z przemysłu spożywczego [2]. Jednak kompost grzejny może wykazywać własności fitotoksyczne [3], a dojrzały zastosowany w niewłaściwy sposób może stwarzać zagrożenia pogorszenia jakości wód podziemnych. Jakość produktu końcowego w postaci kompostu zależy od prawidłowo prowadzonego procesu technologicznego kompostowania, a przede wszystkim od składu materiału przeznaczonego do procesu kompostowania. Odpady komunalne zmieszane – pochodzące ze zbiórki nieselektywnej – zawierają znaczne ilości zanieczyszczeń, zarówno mineralnych (szkło, ceramika, gruz, elementy z metalu), jak i organicznych (np. oleje, elementy z tworzyw sztucznych), nienadających się do kompostowania, które po procesie kompostowania obniżają jakość gotowego produktu [9, 12]. W efekcie kompost taki będzie stanowić zagrożenie ze względu na negatywne oddziaływanie na chemizm gleb i wód. W wielu przypadkach do kompostowania kieruje się także osady ściekowe, których dodatek do masy kompostowej może powodować wzrost zawartości rtęci i innych metali ciężkich w gotowym produkcie [5, 10, 24]. Zawartość metali ciężkich (z wyłączeniem cynku i miedzi) jest jednym z wymogów określających jakość kompostów [17].

2. Podstawy prawne

Podstawą prawną regulującą gospodarkę odpadami w Polsce jest Ustawa o odpadach z 21 kwietnia 2001 r. z późn. zm. (Dz.U. z 2001 r. nr 62, poz. 628 ze zm.). Ponadto Ustawa o utrzymaniu czystości i porządku w gminach z 13 września 1996 r. z późn. zm. (Dz.U. z 2011 r. nr 230, poz. 1373) wyznacza przedziały czasowe, w jakich należy ograniczać masę składowanych odpadów biodegradowalnych do 75, 50 i 35% odpowiednio do końca 2010, 2013 i 2020 r. w stosunku do ilości tych odpadów w roku bazowym 1995. Podmioty zajmujące się gospodarką odpadami muszą więc poszukiwać metod umożliwiających odzysk oraz inne sposoby ich unieszkodliwiania. Kary za niedotrzymanie terminu

mogą być naliczane za każdy dzień opóźnienia i wynoszą od 4332 euro/dzień do 259 920 euro/dzień. Europejski Trybunał Sprawiedliwości może także nałożyć na państwo członkowskie jednorazową (ryczałtową) karę pieniężną [31].

Jedną z możliwości jest wykorzystanie frakcji biodegradowalnej jako substratu do wytwarzania biogazu do celów energetycznych lub kompostu, który może zostać wykorzystany jako cenny nawóz. Obecnie wykorzystanie kompostów jako środków nawozowych reguluje Ustawa o nawozach i nawożeniu z 10 lipca 2007 r. (Dz.U. z 2007 r. nr 147, poz. 1033) oraz Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonywania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu (Dz.U. z 2008 r. nr 119, poz. 765). Przepisy te określają nie tylko jakość kompostu, ale przede wszystkim definiują kompost jako nawóz organiczny oraz mówią o możliwości jego wykorzystania. Ograniczenia, jakim podlegają odpady organiczne pozyskiwane z produkcji zwierzęcej to np. gatunek zwierząt, od których uzyskiwany jest obornik. Obecne przepisy dotyczące parametrów jakościowych nawozów organicznych zawarte w rozporządzeniu z 18 czerwca 2008 r. określają tylko kilka najważniejszych parametrów, w tym: minimalną zawartość materii organicznej, biogenów (NPK) oraz maksymalne poziomy stężeń metali ciężkich, z pominięciem cynku i miedzi. Wykorzystanie kompostu gorszej jakości (nienadającego się do nawożenia) umożliwiają zapisy Rozporządzenia w sprawie procesu odzysku R10 z 22 kwietnia 2011 r. (Dz.U. z 2011 r. nr 86, poz. 476).

Oprócz obowiązujących regulacji prawnych istnieje także zbiór zaleceń, znany pod nazwą „Kodeks dobrej praktyki rolniczej”, opublikowany przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi oraz Ministerstwo Środowiska w 2004 r. oraz „Wytyczne dotyczące wymagań dla procesów kompostowania, fermentacji i mechaniczno-biologicznego przekształcania odpadów”. Kodeks zawiera m.in. szczegółowe stosowania nawozów organicznych i nieorganicznych z uwzględnieniem rodzaju nawozu, pory roku oraz typu gleb, na jakich nawozy te mają być stosowane.

3. Rekultywacja gruntów

Rekultywacja gruntów ma na celu przywrócenie właściwości użytkowych gleby na obszarach zdegradowanych i zdewastowanych. Dotyczy to w szczególności ograniczenia negatywnych efektów działalności ludzkiej. Zastosowanie do tego celu kompostu z odpadów niesie ze sobą wiele zalet. Przede wszystkim wysoka zawartość materii organicznej (tab. 1) w takim produkcie podnosi zawartość materii organicznej w glebach mineralnych. Przyczynia się to do zmian podstawowych fizykochemicznych właściwości gleby nawiezionej kompostem [14, 16]. Ważnym aspektem tych zmian jest podwyższenie odczynu, a tym samym zmniejszenie podatności gruntu na zakwaszenie. Odczyn kompostu i zawartość

materii organicznej zależy od składu odpadów poddawanych kompostowaniu, tj. od sprawnie działającego i poddawanego ciągłej kontroli systemu selektywnego ich gromadzenia [8, 11, 19]. Ponadto, jakość wytwarzanych kompostów może być modyfikowana przez zastosowanie dodatków specjalnych (np. zrębków drzewnych) do wsadu [27, 30].

T a b e l a 1

*Charakterystyka podstawowych parametrów kompostów wytworzonych w kompostowni zawodowej i gospodarstwie indywidualnym**

Typ kompostu	TZ	Bio	K	KO
Odczyn (pH)	8,62	8,80	7,43	7,70
Przewodność elektrolityczna [mS/cm]	0,673	0,850	1,25	1,27
Substancje organiczne [%]	33,10	37,60	36,90	40,90
Azot Kiejdahla $N_{(Kiejd)}$ [%]	0,85	0,92	0,97	1,33
Fosfor P_2O_5 [%]	0,63	1,04	0,65	0,54
Potas K_2O [%]	0,62	0,78	0,12	0,10
Sód Na_2O [%]	0,10	0,09	0,11	0,10
Wapń CaO [%]	2,84	1,95	1,09	3,17

* TZ – kompost wytworzony w kompostowni zawodowej z wydzielonej frakcji biodegradowalnej, pochodzącej z prac pielęgnacyjnych na terenach zieleni; Bio – kompost wytworzony z odpadów biodegradowalnych z selektywnej zbiórki prowadzonej na terenie miasta. Próby K i KO wytworzono z frakcji biodegradowalnej odpadów komunalnych w gospodarstwie indywidualnym (KO z dodatkiem osadu ściekowego 1:10 v/v).

Ź r ó ł o: Opracowanie własne.

Co istotne, w przypadku gleb lekkich oraz gruntów przepuszczalnych, zwiększa się także retencja wody dostępnej dla roślin. Doświadczalnie wykazano, że po zastosowaniu kompostu nastąpiło także zwiększenie ilości wody dostępnej dla roślin z $0,085 \text{ m}^3/\text{m}^3$ do $0,124 \text{ m}^3/\text{m}^3$. Może to w znacznym stopniu poprawiać procent wschodów nasion lub przyjęć roślin wprowadzanych na rekultywowane tereny [32]. Ponadto, kompost zawiera spore ilości makroelementów w znacznej mierze występujących w formach biodostępnych. W badaniach zanotowano statystycznie istotne różnice w ilości biodostępnych form wapnia, magnezu, fosforu i potasu w glebie po nawożeniu kompostem w dawkach 60 i 120 Mg/ha, w porównaniu do zastosowanego nawożenia mineralnego [32]. Wynikać to może z tego, że składniki dostarczane z nawożeniem mineralnym mogą być łatwiej wymywane w głąb profilu glebowego, natomiast składniki pokarmowe dostarczane wraz z kompostem są silniej związane w kompleksie sorpcyjnym, a tym samym ich straty na

drodze wymycia są minimalizowane. W efekcie zastosowanie kompostów jako nawozów zmniejsza negatywne oddziaływanie rolnictwa na środowisko, zapewniając równocześnie wysoką jakość uzyskiwanych plonów [20].

Nawozowe stosowanie kompostu zwiększa aktywność biologiczną gleb, która, z jednej strony, prowadzi do przyspieszonej mineralizacji materii organicznej zawartej pierwotnie w gruncie i we wprowadzanym materiale nawozowym, z drugiej jednak strony zapewnia rozkład ksenobiotyków (np. pestycydów oraz WWA) zawartych w podłożu, na którym zastosowano kompost, i przyczynia się do stworzenia siedlisk właściwych dla rozwoju roślinności. Kompost prowadzi do przyspieszonego rozkładu pestycydów oraz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych [27]. Eksperymenty prowadzone w klimacie chłodnym potwierdziły także możliwość biodegradacji zanieczyszczeń ropopochodnych poprzez aplikację kompostu do gleby. Przypisuje się to adaptacji mikroflory kompostowej, która wykorzystuje pochodzące z czynnika zanieczyszczającego węglowodory jako główne źródło węgla. Dane literaturowe wskazują na wysoki stopień degradacji węglowodorów wchodzących w skład oleju napędowego osiągający nawet 35% po zastosowaniu jako dodatku kompostu odpadów, jednak szczególne przyspieszenie rozkładu zanotowano pod wpływem wyższej temperatury podczas procesu kompostowania, kiedy stopień rozkładu osiągał nawet 85% [15, 21]. Jest to szczególnie istotne na terenach skażonych oraz gruntach zaolejonych, gdzie szybkie przywrócenie kultury gleby ma kluczowe znaczenie. Jednak dane literaturowe opisujące przyspieszenie rozkładu ksenobiotyków są zróżnicowane. Rozbieżności w wynikach mogą być rezultatem odmiennych warunków glebowych (dostępność tlenu i wody), czy też klimatycznych. Biodegradacja węglowodorów po zastosowaniu kompostu przebiega szczególnie efektywnie w glebach lekkich, co można tłumaczyć lepszą ich przewiewnością. Uogólniając, dodatek kompostu może w istotny sposób wpływać na przyspieszenie tempa rozkładu wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, a w szczególności pochodnych benzenu i rozgałęzionych alkanów o średniej długości łańcucha. Jednak degradacja WWA w nawożonej kompostem glebie może być niewielka i nie przekraczać 10% ogólnej masy WWA. Jednak gdy na nawożonej kompostem glebie dodatkowo zastosuje się obsiew nasionami roślin trawiastych, rozkład ulega istotnemu statystycznie przyspieszeniu, osiągając niemal 24% pierwotnej masy WWA [23].

4. Zagrożenia

Niewłaściwe stosowanie kompostu może nieść ze sobą także pewne zjawiska niekorzystne. Szczególnie groźne wydaje się stosowanie kompostu bez ograniczeń w celu szybkiego podniesienia kultury gleb o niskiej bonitacji. Ponadto, należy zwracać uwagę na typ gleby, na której ma być stosowany kompost. Zastosowanie

kompostu w dawce 65 Mg/ha do nawożenia gleb piaszczystych doprowadziło do podniesienia poziomu materii organicznej, azotanów oraz metali ciężkich w wodach gruntowych, co może stanowić pewne zagrożenie w przypadku wykorzystywania tych wód do celów pitnych [7, 12, 18]. Stosowanie kompostów z odpadów jako nawozu może prowadzić do intensywniejszego wzbogacania gleb wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi [28]. Prócz tego zawarte w kompoście metale ciężkie występujące w formach dostępnych dla roślin mogą migrować do kolejnych ogniw łańcucha troficznego [6, 25].

Tabela 2

Zawartość metali ciężkich w kompostach z odpadów komunalnych*

Typ kompostu	TZ	Bio	K	KO	Dz.U. z 2008 r. nr 119, poz. 765
Cynk (Zn)	330,99	1 337,30	120,61	162,55	–
Miedź (Cu)	28,84	160,02	20,13	26,56	–
Nikiel (Ni)	8,05	24,15	10,83	14,84	60
Chrom (Cr)	10,67	18,00	20,00	20,65	100
Ołów (Pb)	33,24	148,10	16,93	15,25	140
Kadm (Cd)	0,75	5,35	0,22	0,23	5
Rtęć (Hg)	0,107	0,090	na	na	2

na – nie analizowano.

* Oznaczenia kompostów odpowiadają symbolom stosowanym w tabeli 1 [mg/kg s.m.]

Źródło: Opracowanie własne.

Zawartość metali ciężkich (tab. 2) może być istotnym czynnikiem ograniczającym nawozowe i rekultywacyjne zastosowanie kompostów produkowanych z odpadów komunalnych [9, 26]. Jednak w przypadku wsadu wysokiej jakości (tj. strumienia odpadów ulegających biodegradacji z właściwie prowadzonej zbiórki selektywnej), nawet 10% dodatek komunalnych osadów ściekowych (tab. 2, próbki KO) nie powoduje znacznego wzrostu zawartości metali ciężkich i produkt taki nadaje się nadal do wykorzystania przyrodniczego. Zatem niezwykle istotne, także z punktu widzenia możliwości podniesienia zawartości metali w gruncie oraz wodach podziemnych, jest dokładne obliczenie dawki kompostu, jaka może być zastosowana na danym typie gleb [29]. Zastosowanie kompostu z odpadów na glebach zanieczyszczonych metalami może – pomimo wysokiego odczynu – prowadzić do nasilonego przechodzenia ich do roztworu glebowego, co powoduje ich migrację w profilu oraz wzrost stopnia pobierania ich przez rośliny uprawne [4, 13]. Istotnym z punktu widzenia rekultywacyjnej-

go jest także stopień dojrzałości kompostu, dlatego też rozwój metod służących określeniu jego dojrzałości jest niezwykle intensywny [2]. Badania prowadzone na rzeżusze wykazywały silną fitotoksyczność niedojrzałego (świeżego) kompostu prowadzącą do istotnego statystycznie spadku ilości wykiełkowanych nasion [3]. Fitotoksyczne oddziaływanie kompostu przypisuje się głównie krótkołańcuchowym kwasom organicznym, mniejszej ilości azotu dostępnego dla roślin oraz zmniejszonej ilości tlenu w strefie korzeniowej. W związku tym należy znaczną wagę przywiązywać do stopnia dojrzałości kompostu, kontrolując m.in. takie parametry, jak: kolor humusu, odczyn kompostu, ilość uwalnianego CO₂ [1]. Jednak parametry te mogą okazać się niewystarczające i w celu terminalnego określenia stopnia dojrzałości kompostu, należy wykonać testy kiełkowania na reprezentatywnej próbie roślin testowych [22].

5. Wnioski

W celu uniknięcia deponowania wyprodukowanego kompostu na składowiskach odpadów, należy dbać o właściwą jego jakość, tak by można było wykorzystywać go przyrodniczo. Szczególną uwagę należy zwrócić na zawartość metali ciężkich, która jest często przyczyną eliminującą kompost z użycia nawozowego. Dobry, niezanieczyszczony materiał wyjściowy jest podstawą do osiągnięcia wysokiej jakości kompostu. Komposty produkowane z wysegregowanych odpadów organicznych w większości nadają się do wykorzystania przyrodniczego, najczęściej w celach nawozowych, a także rekultywacyjnych. W kompostach wyprodukowanych ze zmieszanych odpadów komunalnych notuje się podwyższoną ilość metali, co jest najczęstszą przyczyną wyłączenia ich z wykorzystania nawozowego w świetle Rozporządzenia Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z 18 czerwca 2008 r. Ponadto, kompost zastosowany na glebach zanieczyszczonych substancjami ropopochodnymi przyspiesza ich rozkład, przyczyniając się do szybkiego powrotu gleby do wysokiej kultury, co jest podstawowym celem rekultywacji. Rozkład ksenobiotyków jest szczególnie istotny na glebach wykorzystywanych do produkcji żywności. Kompost zastosowany jako nawóz generuje także zagrożenie dla środowiska gruntowo-wodnego. W przypadku przenawożenia (w szczególności gleb lekkich) w głąb profilu wymywana jest materia organiczna, azot azotanowy oraz metale, które przedostając się do wód gruntowych mogą przyczynić się do ich eliminacji jako źródła wód pitnych*.

* Cytowaną literaturę zamieszczono po tłumaczeniu artykułu w języku niemieckim.