



## Biotechnologia rozkładu materii organicznej z udziałem dżdżownic (*Oligochaeta:* *Lumbricidae*)

III krajowa konferencja  
„Ekologiczne i gospodarcze znaczenie  
dżdżownic”  
(Rzeszów, 21-22 maja 1998)  
J. Kostecka (red.)  
Zeszyty Naukowe  
Akademii Rolniczej im. H. Kołłątaja  
334, sesja naukowa 58  
Rzeszów, 1998, ss. 200.

Nakładem Wydawnictwa Akademii Rolniczej im. H. Kołłątaja w Krakowie wydany został kolejny zbiór prac i artykułów prezentowanych podczas obrad trzeciej krajowej konferencji „Ekologiczne i gospodarcze znaczenie dżdżownic”. Podobnie jak dwie poprzednie konferencje\* także i obecne spotkanie zorganizowane zostało przez Zakład Przyrodniczych Podstaw Produkcji Rolniczej Wydziału Ekonomii Akademii Rolniczej w Krakowie Filia w Rzeszowie. Przedstawione zostały na nim m.in. wyniki kolejnych badań doświadczalnych i prac wdrożeniowych dotyczących zastosowania dżdżownic (*Annelida, Oligochaeta: Lumbricidae*) w biotechnologii rozkładu materii organicznej, zwłaszcza utylizacji organicznych odpadów komunalnych i rolni-

czych oraz właściwości i wykorzystania kompostu produkowanego przy udziale dżdżownic *Eisenia fetida* (tzw. wermikompostu).

Przedstawiono analizę porównawczą właściwości wermikompostu produkowanego z różnego rodzaju odpadów organicznych. Skarmianie dżdżownicami odpadów organicznych z gospodarstwa rolniczego i domowego pozwala obniżyć koszty prowadzenia wermikultury, ogranicza ilość i uciążliwość odpadów. Odpady pokonsumpcyjne są przerabiane przez dżdżownice bardzo szybko, natomiast utylizacja odpadów pochodzących z gospodarstwa rolniczego wymaga dłuższego czasu. W stosunku do podłoża wyjściowego, którego pH wynosiło 9,0 nastąpił spadek odczynu na korzystny dla roślin pH 6,5. Stwierdzono wyraźną mineralizację podłoża (C : N = 9,5) i zmianę struktury odpadu, która stała się wyraźnie granulowana i sypka. Zanikł także nieprzyjemny zapach rozkładających się organicznych odpadów pokonsumpcyjnych. Skład chemiczny otrzymanego wermikompostu był także korzystny dla uprawy roślin. Odznaczał się zwłaszcza znaczną zasobnością fosforu i potasu. Wykazano, że udział suchej masy w wermikompoście z obornika trzody chlewnej był wyraźnie większy (40,8%) w porównaniu z wermikompostem otrzymanym z obornika owczego (35,6%) i bydłowego (32,8%). Obserwowano także występowanie znacznych zmian w zawartości w wermikompostach popiołu i azotu ogólnego.

Jakość kompostu otrzymywanego z odpadów komunalnych jest najczęściej stale nie zadowalająca wskutek ponadnormatywnych zawartości metali ciężkich i małej skuteczności wprowadzanej segregacji odpadów. Zanieczyszczenie gleby metalami może zakłócać prawidłowe jej funkcjonowanie przez wpływ na strukturę zoocenozy i zmiany populacyjne poszczególnych gatunków glebowych bezkręgowców. Także dżdżownice są wrażliwe na podwyższone poziomy metali. Mogą one powodować ich śmierć, wpływać na wolniejsze przyrosty biomasy osobników lub ich liczbę i biomasę składanych kokonów. Stwierdzono najwyższą dla dżdżownic toksyczność jonów miedzi, następnie cynku i ołowiu. Ujemne oddziaływanie metali ciężkich na rozrodczość populacji dżdżownic związane było głównie z obniżeniem ich liczebności przez eliminację z populacji osobników dorosłych, zdolnych do składania kokonów. Letalne stężenia metali wywołują charakterystyczne zmiany na ciałach dżdżownic (Cu — zgrubienia i przekrwione pęcherze na worze skórno-mięśniowym, Zn — sztywnienie ciała, zmniejszanie się biomasy, przewężenia ciała, Pb — przekrwienia wora skórno-mięśniowego, zgrubienia i przewężenia powodujące rozpad ciała na fragmenty). Brak natomiast wyraźnej regularności w oddziaływaniu metali na liczbę składanych kokonów.

Metale ciężkie zawarte w pokarmie wpływają na obniżenie jego konsumpcji przez dżdżownice, co może mieć znaczne konsekwencje dla populacji tych zwierząt zamieszkujących tereny o glebie skażonej tymi pierwiastkami. Unikanie zjadania skażonego pokarmu może być u dżdżownic mechanizmem adaptacji do zanieczyszczonego środowiska glebowego. Doświadczalnie wykazano, że najsilniejsza wybiórczość nieskażonych liści występuje w stosunku do liści skażonych chlorkiem miedzi i kadmu. Obserwuje się także wyraźne różnice w ilości konsumpcji pokarmu skażonego metalami oraz obniżenie

masy ciała dżdżownic. Unikanie skażonego siedliska i pokarmu przez dżdżownice traktować należy jako przystosowanie na poziomie behawioralnym, a nie fizjologicznym (regulacja pobierania i usuwania metali, detoksykacja) lub zmiany cyklu życiowego.

Dżdżownice uważane są za dobre bioindykatory stanu środowiska, np. skażenia gleb metalami ciężkimi, pestycydami, związkami syntetycznymi, chemicznymi i substancjami ropopochodnymi. Testy oparte są zwykle na określeniu procentu śmiertelności, wpływu na biomasę oraz reprodukcję osobników dojrzałych umieszczonych na sztucznym podłożu o określonym składzie zawierającym toksyczne substancje w różnych stężeniach. W warunkach doświadczalnych dodatek kadmu, ołowiu i niklu na ogół obniżał lub eliminował wzrost i rozwój *E. fetida*. Istotne obniżenie średniej biomasy tych dżdżownic w porównaniu z obiektem kontrolnym stwierdzono dla następujących stężeń: Cd — 100, Pb — 5000 i Ni — 250 mg/kg s.m. podłoża. Istotny spadek liczby kokonów do obiektu kontrolnego stwierdzono przy następujących stężeniach: Cd — 25, Pb — 5000, Ni — 100 mg/kg s.m. podłoża. Stwierdzono także różną intensywność ograniczania rozpuszczalności metali przez wermikompost, co uzależnione było od rodzaju pierwiastka [Pb>Cd>Cu>Zn (średnio 8,85%)]. Skuteczność wermikompostu w ograniczaniu zawartości metali w roślinach uzależniona jest od ich rodzaju, gatunku i organu rośliny oraz rodzaju metalu. Osady z biologicznej oczyszczalni ścieków garbarskich mogą być wykorzystane do produkcji wermikompostu pod warunkiem zmniejszenia w nich zawartości chromu poniżej 1000 ppm w suchej masie. Osady tego typu przekompostowane z dodatkiem słomy, torfu, liści drzew lub trocin mogą być przetwarzane przez *E. fetida* na nawóz o dobrych właściwościach fizycznych i składzie chemicznym, zależnym w znacznym stopniu od składu chemicznego tych dodatków.

Kompost otrzymywany przy udziale *E. fetida* uważany jest za nawóz uniwersalny, mający wyraźnie dodatni wpływ na zdrowotność uprawianych roślin (warzywa, kwiaty) oraz wysokość i jakość plonów. Wermikompost był nawozem zapewniającym lepszy smak i wartość pokarmową uzyskanych produktów charakteryzujących się niższą zawartością azotanów i metali ciężkich. W doświadczeniach polowych wermikompost działał skuteczniej niż obornik na wzrost plonów zarówno świeżej, jak i suchej masy korzeni i liści buraków pastewnych. W porównaniu do nawożenia mineralnego zapewnił on uzyskanie plonów ogórków i pomidorów o niskich zawartościach azotanów i metali ciężkich, podnosząc tym samym ich wartość biochemiczną.

Wykazano, że nawożenie wermikompostem nie obniża wartości jadalnej ziemniaków. Zawartość azotanów, ołowiu, kadmu i niklu w bulwach uzyskanych z wermikompostu była niższa niż przy nawożeniu mineralnym. Zaznacza się większa zdrowotność bulw oraz zwiększenie udziału w plonie bulw frakcji konsumpcyjnej, zarówno w trakcie zbioru, jak i po okresie ich przechowywania (np. porażenie przez *Phytothora infestans*). Wermikomposty wyprodukowane na bazie różnych odpadów i przez różnych producentów charakteryzują się różnymi właściwościami, co potwierdziła przeprowadzona ocena wschodów warzyw (burak ćwikłowy, fasola szparagowa, ogórek, sałata).

Stwierdzono wyraźne zróżnicowanie wschodów w zależności od stosowanego wermikompostu i wybranego warzywa. Wermikomposty wykazują ograniczający wpływ zwłaszcza na wschody sałaty i ogórka. Nie wykazywały one także właściwości grzybobójczych i nie pełniły funkcji ochronnej dla siewek buraka i ogórka, często porażanych przez zgorzel siewek. Obserwowano natomiast istotny wzrost biomasy pora nawożonego wermikompostem.

Wykorzystywanie wermikompostu w walce z fitopatogenami wzbudza coraz większe zainteresowanie w biologicznej ochronie roślin. Zagadnienie to wymaga jednak nadal wielu wyjaśnień dotyczących właściwości grzybobójczych tego nawozu. Wykazano, że dodatek wermikompostu do podłoża nie sterylizowanych ograniczał porażenie pomidorów przez *Phytophthora nicotianae* var. *nicotianae*. Efekt ochronny wzrastał w miarę zwiększania udziału tego substratu w podłożu. Rośliny rosnące na samym wermikompoście nie były w ogóle porażone.

Jakość wermikompostu w dużym stopniu zależy od zasiedlającej go mikroflory. Takie czynniki jak długotrwałe przechowywanie, sterylizacja, czy dodatek świeżej materii organicznej, które oddziałują na populacje mikroorganizmów, wpływają również na odporność tego substratu. Długotrwałe przechowywanie wermikompostu, powoduje obniżenie liczebności występującej w nim mikroflory i zmianę składu mikrobiologicznego. Długo przechowywany wermikompost znacznie ogranicza np. jego wpływ na *P. nicotianae*. Wykazano, że dodatek takiego substratu do podłoża nawet stymulował porażenie roślin przez grzyb. Niektóre procesy wpływające na mikroflorę mogą w znacznym stopniu zmniejszać ochronne właściwości wermikompostu, np. niewykazywanie właściwości biologicznej ochrony przed fitopatogenami wywołującymi choroby siewek fasoli szparagowej (odmiana Laura), a w przypadku wysokiej dawki (500 ml) występowanie działania stymulującego porażenie siewek i rozwój grzybów chorobotwórczych (gatunki z rodzaju *Fusarium*: *F. oxysporum* f. sp. *phaseoli* i *F. solani* f. sp. *phaseoli*).

Istnieje potrzeba rozszerzenia działań inwestycyjnych na terenach wiejskich w zakresie gospodarki odpadami. Główna uwaga winna być skoncentrowana na utylizacji organicznych odpadów rolniczych i osadów ściekowych, które stanowią, obok odpadów komunalnych, nie tylko poważny ładunek zanieczyszczeń dla środowiska, ale wyraźną już barierę prawidłowego rozwoju jednostek osadniczych. Technologia skojarzonego kompostowania odpadów rolniczych z uwodnionymi osadami ściekowymi jest optymalnym rozwiązaniem problemu organicznych odpadów z terenów wiejskich. Ocenia się, że metoda ta jest szczególnie przydatna dla małych i średnich jednostek osadniczych i to nie tylko jako kompostownie pryzmowe, ale także z zastosowaniem innych urządzeń technicznych (komory reakcyjne, bioreaktory).

Kompostowanie osadów może być skutecznym rozwiązaniem gospodarki osadowej małych oczyszczalni zastępującym procesy fermentacji metanowej i końcowego odwadniania osadów. Surowy osad o zawartości 60-70% substancji organicznej oraz 3-5% azotu w suchej masie jest materiałem aktywnym biologicznie i zasobnym energetycznie, co umożliwia uzyskanie wysokich temperatur w procesie kompostowania (ponad 338°K). Aby jednak zapewnić

długi okres utrzymywania wysokich temperatur bez nadmiernych strat azotu niezbędne jest wzbogacenie osadu w dodatkowe źródło węgla organicznego, najczęściej przez dodatek trocin, pyłów drzewnych lub odpadów komunalnych. Dla osadu o uwodnieniu 75% objętościowy stosunek składników osad : trociny : recyrkulat wynosi 1 : 0,25 : 12,5, a w przypadku wykorzystania wyłącznie odpadów drzewnych stosunek osad : trociny wynosi 1 : 1,5. Kompostować można również osad przefermentowany, jednak jest on uboższy w substancje organiczną, która jest ponadto trudniej rozkładalna niż w osadzie surowym. Zaletą kompostowania osadów przefermentowanych jest natomiast mniejsza uciążliwość zapachowa osadów oraz mniejsze zagrożenie sanitarne dla obsługi kompostowni.

Agrotechniczne przetwarzanie osadów ściekowych na kompost roślinny, tj. stosowanie osadów ściekowych do intensywnej produkcji zielonej masy przerabianej na kompost polegać może na roślinnym odwadnianiu i kompostowaniu osadu w użytkowych lagunach, roślinnym odwadnianiu i kompostowaniu osadu w użytkowych lagunach, roślinnym odwadnianiu i kompostowaniu osadu na poletkach, roślinnym odwadnianiu i kompostowaniu osadu mazistego, roślinnym kompostowaniu osadu na mineralnym gruncie, roślinnym kompostowaniu osadu na poletkach lub na roślinnym kompostowaniu na urządzonym placu z kontrolowanym odprowadzaniem odpadowych ścieków. Uprawę roślin przeznaczonych na kompost prowadzi się przez wiele lat na wyznaczonym gruncie, do którego lub na jego powierzchnię, wprowadza się corocznie lub rzadziej osad ściekowy. Odpowiednie do tego celu są poeksploatacyjne składowiska odpadów mineralnych wymagające biologicznego zagospodarowania (np. paleniskowe, górnicze, poflotacyjne, chemiczne).

Możliwość wykorzystania osadów ściekowych do nawożenia gleb użytkowanych rolniczo, zwłaszcza osadów pochodzących z dużych i średniej wielkości oczyszczalni ścieków, obecnie jest ograniczona, co jest spowodowane przede wszystkim nadmierną zawartością w tych osadach metali ciężkich i znacznym skażeniem biologicznym. Nie wyklucza to jednak innych sposobów wykorzystania osadów, np. do rekultywacji gruntów, do użyźnienia gleb przeznaczonych do użytkowania nierolniczego, czy agrotechnicznego przetwarzania osadów ściekowych na kompost. Osady z oczyszczalni mechaniczno-biologicznych w naszym kraju charakteryzuje następująca zawartość substancji nawozowych: azot ogólny ( $N_{og}$ ) 0,8 – 16,9% s.m., fosfor ( $P_2O_5$ ) 0,5 – 7,0% s.m. potas ( $K_2O$ ) 0,05 – 0,7% s.m.

Doświadczalnie wykazano, że komunalne osady ściekowe można stosunkowo łatwo uzdatnić do kompostowania przy udziale *E. fetida*, obniżając w nich zawartość amoniaku i poprawiając ich strukturę przez dodatek trocin. Kompostowanie osadów pościekowych przy udziale *E. fetida* jest możliwe tylko po dodaniu do nich węglowodanów (trociny, słoma) ułatwiających zbiałczanie amoniaku uszkadzającego nabłonek dżdżownic. Dżdżownice nie wpłynęły natomiast korzystnie na zmianę miana *Coli*. W hodowli na podłożu sporządzonym z osadu ściekowego (C : N = 10) oraz z mieszaniny osadu ściekowego i trocin największy przyrost biomasy *E. fetida* i największa liczba składanych kokonów występowała w podłożu o wartości stosunku C : N = 25 : 1 i przy

jego rozdrobnieniu do 0,25 mm (średnica cząstek). Uzyskane z komunalnych osadów ściekowych komposty różnią się nieznacznie właściwościami. Przemiany azotu amonowego w formę azotanową w osadach ściekowych kompostowanych przy udziale dżdżownic zachodzą szybciej niż w kompostowanych bez ich udziału. Udział dżdżownic w procesie kompostowania ma wpływ na zwiększenie przyswajalności składników, głównie fosforu i wapnia.

Chociaż uzyskane z komunalnych osadów ściekowych komposty i wermikomposty są zasobne w przyswajalne dla roślin makroskładniki, to jednak najważniejsza jest zawartość metali ciężkich. W badaniach osadów ściekowych pochodzących z kilku miast naszego kraju wykazano, że są one na ogół nieprzydatne do produkcji kompostu. Ich zmieszanie z korą sosnową w stosunku wagowym 1:1 poprawia warunki wzrostu *E. fetida*, ale nie stwarza warunków korzystnych dla ich rozmnażania. Istnieją znaczne różnice w zawartości dostępnych form składników mineralnych między różnymi podłożami, najwięcej jest cynku, wyraźnie natomiast mniej miedzi i ołowiu.

Przekompostowanie osadu ściekowego przy udziale *E. fetida* zwiększa pojemność sorpcyjną uzyskiwanego wermikompostu, ale jego oddziaływanie na pojemność sorpcyjną użyźnianej gleby lekkiej było istotnie mniejsze niż osadu przefermentowanego. Przekompostowanie osadu ściekowego powoduje natomiast, że jego oddziaływanie na stopień wysycenia kationami zasadowymi jest większe od osadu przefermentowanego.

Przedstawiono przebieg skojarzonego procesu kompostowania komunalnych i przemysłowych osadów ściekowych, który stwarza korzystne warunki bytowe dla dżdżownic. Pogarsza się jednak jakość wytworzonych wermikompostów. Optymalnym wariantem doświadczenia dla osiągnięcia zwiększenia biomasy dżdżownic i ich rozrodczości, co ma ogromny wpływ na prawidłowość przebiegu procesu kompostowania, jak się okazało, jest wariant z 10% dodatkiem osadów przemysłowych do komunalnych. Wyższe dodatki wpływały niekorzystnie na warunki bytowe dżdżownic, głównie powodowały wzrost zawartości cynku, ołowiu, manganu, kadmu i niklu w wermikompostach; zawartość cynku nawet dziesięciokrotnie przekraczała zawartość dopuszczalną tego pierwiastka w doglebowym wykorzystaniu kompostu.

Mimo korzystnych właściwości fizykochemicznych wermikomposty z osadów ściekowych dodawane do podłoża hamowały rozwój roślin pomidora. Ponadto osłabione rośliny były bardziej podatne na infekcję przez *P. nicotianae*, mimo że zagęszczenie grzyba w podłożu było znacznie niższe niż w kontroli. Ujemna korelacja między nasileniem porażenia roślin z zagęszczeniem patogena w podłożu sugeruje, że wermikomposty powstałe z osadów ściekowych wpływały również ujemnie na rozwój grzyba. Zjawisko to może być spowodowane niekorzystnym działaniem związków toksycznych pochodzących z osadów.

Na podstawie obrad konferencji nasuwa się szereg uwag dotyczących utylizacji frakcji organicznej odpadów komunalnych w naszym kraju. Potencjał unieszkodliwiania odpadów komunalnych jest w Polsce bardzo niski; obecnie tylko nie więcej niż 1,5% odpadów jest degradowanych termicznie lub poprzez kompostowanie. Powoduje to konieczność rozbudowy składowisk od-

padów. Do roku 2010 właściwości technologiczne odpadów w naszym kraju nie zmieniają się istotnie, chociaż obserwuje się stały wzrost zawartości tworzyw sztucznych i związany z tym pewien wzrost wartości opałowej odpadów. W porównaniu do odpadów komunalnych gromadzonych w krajach zachodnich odpady komunalne w Polsce charakteryzują się zwiększoną zawartością części organicznych, wyższą wilgotnością i gorszymi właściwościami paliwowymi. Wysoka zawartość stopniowo rozkładalnych składników organicznych oraz niska wartość opałowa sprawiają, że odpady te nadają się bardziej do unieszkodliwiania metodami biologicznymi niż termicznymi. Największą grupę (80-90%) wśród odpadów komunalnych stanowią pokonsumpcyjne odpady domowe, które ze względu na swój skład chemiczny (uwodnienie 56,9-80,2%, związki mineralne 6,7-35,3%, tłuszcze 2,2-25,7% białka 7,8-26,7%, węglowodany 12,7-48,8%) wraz z odpadami pochodzącymi z infrastruktury miejskiej stwarzają największe zagrożenie dla środowiska.

Proces kompostowania odpadów komunalnych może odbywać się w warunkach naturalnych na przymie z okresowym przerzucaniem w celu napowietrzania lub w specjalnie do tego celu przystosowanych zakładach utylizacji. Kompostowanie w warunkach naturalnych możliwe jest jedynie w przypadku niewielkiej ilości odpadów komunalnych. Coraz powszechniejsze systemy kompostowania oparte na kompostowniach kontenerowych sprowadzają się do odbierania odpadów organicznych od mieszkańców, które selektywnie zbierane są na osiedlach i składane do specjalnych pojemników. Drugim komponentem niezbędnym do kompostowania jest materiał strukturalny, na który składają się odpady drewna (w tym fragmenty mebli, gałęzie), opakowania, trawa i słoma.

Kompostowanie w kompostowniach kontenerowych jest przydatne zwłaszcza dla mniejszych aglomeracji, gdzie możliwa jest wysoka dyscyplina społeczna w zbiórce odpadów, decydująca o możliwości wprowadzania tej technologii. Techniki kompostowania dla małych aglomeracji oparte na kompostowniach kontenerowych mają różne zalety, z których wymienić można zwłaszcza minimalizację robót budowlanych i niewielką liczbę robót instalacyjnych (głównie odprowadzanie odcieków), higienizację produktu wychodzącego z kontenera, możliwość dość swobodnego regulowania przez dodawanie kolejnych kontenerów kompostujących wydajności, łatwość przemieszczania i transportu kontenerów, zautomatyzowanie bieżącej kontroli procesu fermentacji oraz minimalizację powierzchni kompostowni. Istnieją także wady, z których najważniejsza to mała gwarancja pełnego napowietrzania masy kompostowej w czasie procesu (brak spalchniania) i stąd konieczność tworzenia odpowiedniej struktury w czasie dozowania i homogenizacji, która jest właściwie jedynym gwarantem przeprowadzenia procesu tlenowej fermentacji.

Wspólne, wstępne procesy przygotowania w technikach kontenerowych odpadów organicznych składają się z rozdrobnienia materiału strukturalnego (gałęzie, drewno, słoma, opakowania) i domowych odpadów organicznych (resztki i odpady warzyw, owoców, odpady pochodzenia zwierzęcego, roślinność z miejskich terenów zielonych i cmentarzy), dozowania w odpowiednich proporcjach wszystkich składników tak aby uzyskać spalchnienie masy oraz jej homoge-

nizacji. Cechą wspólną tej technologii, niezależnie od odmiany, jest czas trwania procesu intensywnej fermentacji (12-14 dni), dojrzewanie w przyzmacz na odkrytym terenie przez 6-8 tygodni oraz przesianie kompostu na frakcje.

Główną rolą materiału strukturalnego jest spulchnianie masy pozostałych odpadów, co pozwala na dostęp tlenu do fermentującej, przerabianej masy. Ilość materiału strukturalnego dodawana do pozostałej masy wynosi 30-35%. Pozwala to na uzyskanie odpowiedniej porowatości mieszaniny, umożliwiającej dostęp powietrza. Jedną z ważnych czynności przygotowawczych jest skuteczne wymieszanie obu składników tak, aby otrzymać w miarę jednolitą masę. Kompostownie takie nadają się także do kompostowania osadów z oczyszczalni ścieków, łączonych z materiałem strukturalnym.

Obecnie na szeroką skalę stosowane są głównie następujące podstawowe systemy kompostowania odpadów komunalnych: NEUHOLD lub VOESTALPINE, HERHOF, BRIKOLARRE i DANO.

Przeróbka biochemiczna w formie kompostowania oraz w mniejszym zakresie jako fermentacja metanowa odpadów należy do metod o intensywnej technologii znajdujących coraz szersze zastosowanie w technice unieszkodliwiania odpadów. Metoda kompostowania stawia jednak ostre kryteria dotyczące jakości odpadów oraz wymaga rozwiązania problemu zagospodarowania wytworzonego kompostu, a w przypadku fermentacji metanowej również biogazu. Zastosowanie tego typu biotechnologii wiąże się również z koniecznością unieszkodliwiania pozostałości po przygotowaniu kompostowanej biomasy i dlatego niezbędne jest uzupełnienie tej metody składowiskiem lub połączenie ze spalaniem odsiewów oraz składowaniem popiołów i żuźla.

Kompostowanie jako proces biochemiczny wymaga zapewnienia mikroorganizmom prowadzącym rozkład materii organicznej odpowiednich ilości substratów do ich reakcji metabolicznych. Bilansowaniem w kompostowanej masie objęte są głównie następujące elementy: węgiel, azot, fosfor, mikroelementy, ilość tlenu, zawartość wody, ilość ciepła wydzielanego w procesie, substancje balastowe nie podlegające biochemicznemu rozkładowi. Istotnym i koniecznym warunkiem kompostowania jest odpowiednia wilgotność masy kompostowej, bowiem mikroorganizmy procesu kompostowania metabolizują substraty głównie w postaci zhydrolizowanych związków pokarmowych. Dla prawidłowego przebiegu procesu kompostowania istotny jest odpowiedni stosunek zawartości węgla (materiał energetyczny dla mikroorganizmów) do zawartości azotu oraz fosforu i potasu. Optymalne stosunki pomiędzy węglem, azotem i fosforem, zapewniające właściwy przebieg kompostowania wynoszą  $C : N = 17-30 : 12$  oraz  $C : P = 100 : 1$ . Większe odstępstwa od tych stosunków powodują znaczne zahamowanie procesu.

W kompostowaniu niezbędna jest profilaktyka zapobiegająca wprowadzaniu materiałów, które nie nadają się do przerobu przez kompostowanie i nie mogą być ponownie wykorzystane, nawet na surowce wtórne (np. opakowania wielowarstwowe). Niezbędne jest także zapobieganie używaniu szkodliwych substancji (polichlorowane bifenyle, policykliczne węglowodory aromatyczne), które później stają się odpadami. Likwiduje to problem zagrożenia dla środowiska stwarzanego przez te materiały.



W zależności od zastosowania metod kompostowania odpadów komunalnych otrzymuje się zmienne właściwości sanitarne kompostu, a w zależności od rodzaju przetwarzanych odpadów powstają komposty o różnych właściwościach nawozowych i różnej zawartości metali ciężkich.

Zastosowanie dżdżownic *E. fetida* w różnych systemach kompostowania odpadów komunalnych ma znaczenie zwłaszcza w podnoszeniu jakości (uszlachetnianiu) otrzymywanego kompostu. Możliwe to jest nie tylko poprzez stosowanie metod technicznych w celu usunięcia zanieczyszczeń twardych, ale także poprzez wprowadzane dżdżownice wpływające na zmiany chemiczne i biochemiczne kompostu.

Rozwijane metody kompostowania segregowanych i frakcjonowanych odpadów komunalnych w bioreaktorach, wykorzystujących w rozkładzie mikrobiologicznym wspomaganie rozkładu przy udziale dżdżownic *E. fetida*, pozwala na uzyskanie wermikompostu o stosunkowo stałych właściwościach. Wprowadzanie *E. fetida* do technologii kompostowania odpadów komunalnych może mieć miejsce zwłaszcza w kompostowniach polowo-pryzmowych o różnym stopniu wstępnego przygotowania kompostowanych odpadów i sterowania procesem, w warunkach otwartych i sztucznych w bioreaktorach. We wszystkich tych metodach *E. fetida* nie może być jednak wprowadzana do tych etapów procesu technologicznego, w których w wyniku fermentacji powstaje wysoka temperatura kompostowanej masy (do 60-70°C). Przy kompostowaniu odpadów komunalnych decydujące znaczenie dla możliwości zastosowania *E. fetida* stwarza wprowadzenie ich do procesu technologicznego kompostowania odpadów sortowanych w fazie wstępnego przygotowania i przeróbki oraz w końcowej fazie dojrzewania, co pozwala na wzbogacenie kompostu w nowe właściwości biologiczne. Podstawą dla szerokiego wprowadzania *E. fetida* do technologii kompostowania odpadów komunalnych są czynniki ekonomiczne oraz jakość otrzymywanego kompostu, który musi być zgodnie z normą głównie bezpieczny pod względem sanitarnym, zawierać niewielkie ilości metali ciężkich, nie wydzielać zapachu oraz nie zawierać nie rozłożonych substancji obcych (szkło, plastik, papier).

Organizacja kompostowni musi opierać się na następujących założeniach:

a) celem jest otrzymanie kompostu atestowanego o jakości zgodnej z normą branżową,

b) surowcem do produkcji są odpady organiczne,

c) fermentacja odbywa się w pryzmach,

d) zakład kompostowania nie jest źródłem zanieczyszczenia środowiska.

Zalety systemu kompostowni zdecentralizowanych wynikają głównie z krótszych dróg transportu, co zmniejsza koszty transportu i lokalne obciążenie środowiska przez pojazdy transportowe. W Niemczech najlepiej sprawdzają się kompostownie o wydajności 5000-6500 Mg x rok<sup>-1</sup>, a największe znaczenie (głównie ze względów ekonomicznych) przywiązuje się także otwartemu kompostowaniu pryzmowemu. Minimalną wielkość obiektów zamkniętych przyjmuje się na 12 000 Mg x rok<sup>-1</sup>. Zalecaną przez wielu producentów górną granicą jest 30 000 Mg x rok<sup>-1</sup>.

Kompostowanie chociaż nie rozwiązuje oczywiście problemu unieszkodliwiania odpadów komunalnych, to jednak stymuluje wprowadzanie coraz bar-

dziej wyszukanych metod selekcji odpadów i to głównie w miejscu ich powstawania. Zmniejsza jednak wyraźnie ilość odpadów na składowisku i przedłuża jego okres eksploatacji, eliminuje powstawanie na wysypisku metanu oraz umożliwia odzyskanie substancji organicznych wykorzystywanych jako nawóz. Należy jednak zwrócić uwagę, że kompostownie, podobnie jak inne zakłady związane z gospodarczym wykorzystaniem, składowaniem lub unieszkodliwianiem odpadów, są traktowane także jako inwestycje zagrażające środowisku. Dotyczy to zwłaszcza kompostowni opartych na poletkach osadowych oczyszczalni ścieków lub położonych na terenach szczególnie chronionych.

*Krzysztof Kasprzak*

---

\* Informacje na temat poprzednich krajowych konferencji „Ekologiczne i gospodarcze znaczenie dżdżownic”, które odbyły się w Rzeszowie w 1994 r. i 1996 r., przedstawiono na łamach „Biotechnologii” w 1996 r. [nr 1 (32), ss. 183-186] i 1998 r. [nr 3 (42), ss. 164-171].