



## Badania nad wermikompostowaniem odpadów organicznych

Joanna Kostecka

Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej im. Hugona Kołłątaja w Krakowie  
Rozprawy, z. 268, Kraków 2000, ss. 88, ISSN 1233-4189

Nakładem wydawnictwa Akademii Rolniczej im. Hugona Kołłątaja w Krakowie ukazało się pierwsze w polskiej literaturze obszerne opracowanie poświęcone zagadnieniom biologicznej utylizacji odpadów organicznych przy zastosowaniu dżdżownic (*Annelida, Oligochaeta: Lumbricidae*). Technologia ta pozwala na stymulację mikrobiologicznych procesów rozkładu materii organicznej w warunkach podobnych do istniejących w glebie.

Biologiczne przetwarzanie odpadów organicznych polega na celowym wykorzystaniu mikrobiologicznych procesów przemiany materii dla uzyskania rozkładu lub przekształcenia zawartych w odpadach substancji organicznych w produkty (najczęściej tzw. kompost), które można ponownie wprowadzić do naturalnego obiegu materii. Przetwarzanie to może być prowadzone w warunkach tlenowych (kompostowanie), beztlenowych (fermentacja metanowa) lub w procesach będących kombinacją obu tych technologii. Nie wszystkie odpady nadające się do kompostowania można poddawać beztlenowej fermentacji. Odpady zawierające ligniny (np. odpady drewna, kora) korzystniej jest kompostować, natomiast znacznie uwodnione odpady kuchenne lub odpady roślinne i odpady z przemysłu spożywczego nadają się bardziej do fermentacji. Łatwo rozkładane biologicznie odpady o dużej zawartości wody mogą jednak utrudniać przebieg procesu kompostowania, ponieważ powodują powstawanie stref bez-

tlenowych wewnątrz złoża kompostowego. Ocenia się, że z ogólnej masy odpadów organicznych około 30-50% odpadów nadaje się bardziej do rozkładu poprzez fermentację niż poprzez kompostowanie.

Kompostowanie jest procesem praktycznie stosowanym przez człowieka w różnych strefach klimatycznych w uprawach roślin od tysiącleci. Doświadczenia związane z praktycznym wykorzystaniem tej biotechnologii są zatem wyjątkowo bogate. Kompostowanie odpadów komunalnych na skalę techniczną rozpoczęło się jednak dopiero w latach trzydziestych ubiegłego stulecia. Gwałtowny rozwój tej technologii nastąpił dopiero po 1950 r., w związku z rozwojem miast i przemysłu oraz powstawaniem coraz większych ilości odpadów komunalnych. Początkowo kompostowaniu poddawano tylko odpady z gospodarstw domowych, niekiedy z domieszką osadów ściekowych z mechaniczno-biologicznych oczyszczalni ścieków. Produkowane z tego typu mieszaniny odpadów komunalnych komposty zawierały duże ilości niepożądanych składników, głównie odłamków szkła i tworzyw sztucznych oraz znaczące ilości różnego typu szkodliwych substancji, w tym metali ciężkich. Kompost powstały ze zmieszanych odpadów komunalnych może zawierać (w  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m.): chrom (70), cynk (1300), kadm (4,0), miedź (270), nikiel (50), ołów (400) i rtęć (2,5). Produkowane tego typu komposty nie nadawały się do wprowadzenia do gleby i najczęściej, wobec braku rynku zbytu, usuwane były łącznie z nie rozdrobionym balastem, na składowiska. W latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku w krajach Europy Zachodniej nastąpił rozwój systemów selektywnej zbiórki bioodpadów i odpadów zielonych, dla których zaprojektowano i wybudowano nowe kompostownie. Wiele przestarzałych instalacji służących do kompostowania zmieszanych odpadów, tam gdzie było to tylko możliwe, przebudowano i przystosowano do nowego składu wsadu kompostowego. Przykładowo w 1995 r. z około 60 mln Mg wytworzonych w krajach Europy Zachodniej selektywnie zebranych bioodpadów i odpadów zielonych odzyskano około 10 mln Mg (17%), z czego w kompostowniach przemysłowych i przydomowych wyprodukowano około 4 mln Mg kompostu. Komposty produkowane z selektywnie zbieranych bioodpadów zawierają od 5 do 10 razy mniej metali ciężkich niż komposty ze zmieszanych odpadów komunalnych i osiągają pod względem zawartości metali ciężkich podobną jakość jak komposty produkowane w przydomowych ogrodach (np. chrom 40, cynk 250, kadm 0,5, miedź 30, nikiel 20, ołów 100, rtęć  $0,2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m.). Podkreślić należy, że odchodzi się obecnie od produkcji kompostu ze zmieszanych odpadów komunalnych. W Europie ta przestarzała już obecnie technologia spotykana jest tylko w krajach południowej i wschodniej części kontynentu, w tym także w Polsce. Stan selektywnej zbiórki bioodpadów w krajach Unii Europejskiej jest obecnie jednak nadal zróżnicowany. Najlepiej rozwinięty jest w Austrii, Belgii (Flandria), Danii, Niemczech i Holandii, gdzie selektywna zbiórka bioodpadów prowadzona jest powszechnie, co umożliwia odzyskanie około 85% całej ilości zbieranych i przetwarzanych, głównie przez kompostowanie, bioodpadów. W innych krajach (Belgia [Wallonia], Finlandia, Francja, Włochy, Szwecja, Wielka Brytania) tworzone są prawne i organizacyjne podstawy dla kompostowania biood-

padów lub rozpoczęło się już ich wdrażanie (np. we Włoszech 35% poziom odzysku bioodpadów planuje się osiągnąć w 2004 r.). Zbiórka bioodpadów nie jest jeszcze rozwinięta w dostatecznym zakresie w Grecji, Irlandii, Hiszpanii i Portugalii.

Zastosowanie fermentacji metanowej do przeróbki odpadów ma kilkusetletnią tradycję, głównie w krajach azjatyckich. Prymitywne fermentatory używano tam do otrzymywania biogazu z odchodów zwierzęcych i ludzkich, wykorzystywanego następnie do gotowania i oświetlenia. W Europie fermentację metanową osadów ściekowych zastosowano na skalę przemysłową po raz pierwszy w 1890 r. w jednej z oczyszczalni ścieków w Anglii. Szersze, praktyczne zastosowanie fermentacja metanowa znalazła, wraz z rozwojem technologii oczyszczania ścieków, w latach trzydziestych ubiegłego wieku. Zainteresowanie zastosowaniem fermentacji do przetwarzania organicznej frakcji odpadów komunalnych rozwinęło się pod wpływem kryzysu energetycznego i pilnej konieczności rozwiązania rosnącej ilości odpadów domowych w końcu lat siedemdziesiątych ubiegłego stulecia.

Proces kompostowania przebiega w dwóch etapach:

a) kompostowanie intensywne – powstawanie z odpadów organicznych tzw. kompostu świeżego; rozkładany materiał organiczny ulega higienizacji, łatwo rozkładalne substancje zostają praktycznie rozłożone, maleje potencjalna zdolność emisji substancji zapachowych,

b) dojrzewanie – z kompostu świeżego uzyskuje się kompost dojrzały; rozkładane są substancje trudno rozkładalne (np. ligniny) i powstają stabilne struktury próchnicze z wbudowanymi substancjami odżywczymi, odporne na działanie czynników zewnętrznych.

Technologie kompostowania odpadów organicznych stosowane obecnie w Europie (systemy kompostowania statyczne, quasi-dynamiczne i dynamiczne) różnią się zasadniczo sposobem prowadzenia etapu kompostowania intensywnego, a zwłaszcza sposobem formowania i kształtem pryzm, systemem napowietrzania mieszaniny kompostowej oraz czasem trwania rozkładu. Dojrzewanie kompostu w większości technologii prowadzone jest w pryzmach z wymuszonym napowietrzaniem lub pryzmach przerzucanych.

Technologia fermentacji metanowej odpadów komunalnych, którego cechą charakterystyczną jest m.in. produkcja biogazu (mieszanina głównie metanu i dwutlenku węgla) nie odbiega od technologii stosowanych do stabilizacji osadów ściekowych, oczyszczania wysoko stężonych ścieków czy też przeróbki odpadów z produkcji zwierzęcej. Rozwiązania technologiczne fermentacji charakteryzują się czterema podstawowymi parametrami, wynikającymi z mechanizmu procesu powstawania metanu oraz z wymogów prowadzenia procesów biologicznych w skali technicznej. Są to głównie: wilgotność substratu (fermentacja „mokra” – zawartość suchej masy we wsadzie < 15%, fermentacja „sucha” – zawartość suchej masy we wsadzie od 15 do 40%), temperatura fermentacji (około 35°C przy fermentacji mezofilowej i około 55°C przy fermentacji termofilowej), przepływ substancji (ciągły lub okresowy), stopień fermentacji (technologie jedno- i wielostopniowa). Ogólnie wyróżnia

się trzy podstawowe systemy fermentacji, w ramach których dokonuje się kombinacji wymienionych parametrów procesowych (technologie: jednostopniowe, wielostopniowe, dwufazowe).

Rola oraz miejsce kompostowania w systemie gospodarki odpadami i ochrony środowiska ulegają stopniowym zmianom. Udoskonalane są istniejące technologie, w których stara się z jednej strony odtworzyć, a z drugiej przyspieszyć procesy mikrobiologiczne występujące w glebie.

Autorka prezentowanego opracowania podkreśla, że do unieszkodliwiania różnych odpadów organicznych z powodzeniem stosowane mogą być zagęszczone populacje dżdżownic (tzw. wermikultury). Funkcje życiowe i procesy metaboliczne dżdżownic doskonale dają się wykorzystać do tlenowego kompostowania takich właśnie odpadów, które dla tych zwierząt są atrakcyjnym pokarmem. Termin „wermikultura” oznacza hodowlę zagęszczonych populacji dżdżownic w warunkach utworzonych i kontrolowanych przez człowieka. Takie odrębne określenie specyficznej biotechnologii prowadzonej w celu rozkładu materii organicznej przy udziale dżdżownic jest uzasadnione, bowiem podkreśla występowanie ścisłej kontroli nad tym procesem. Prowadzone obecnie w różnych krajach badania nad wermikulturami oraz szeroka działalność aplikacyjna mają dwa główne cele:

a) poznanie procesów przekształcania odpadów zwierzęcych i roślinnych w kompost, który może być wprowadzony do gleb w celu poprawy ich struktury i żyzności lub mieć zastosowanie ogrodnicze jako podłoże wzrostu roślin lub składnik mieszanek nawozowych,

b) produkcję bogatej w białko biomasy dżdżownic, wykorzystywanej jako dodatek do pasz dla ryb, drobiu i trzody chlewnej.

Rozwiązanie tych problemów możliwe jest przez badania:

a) przydatności różnych gatunków dżdżownic do unieszkodliwiania odpadów poprzez określanie ich biologii i ekologii w różnych podłożach,

b) sposobów odżywiania się dżdżownic żyjących w odpadach organicznych, w tym także symbiozy z bakteriami, grzybami, pierwotniakami i nicieniami,

c) tempa przekształcania różnych odpadów organicznych w biomasę dżdżownic w zależności od składu odpadów i czynników środowiskowych,

d) metod zbierania i przekształcania dżdżownic w białko paszowe, jego zastosowanie w karmieniu zwierząt gospodarskich,

e) rozwój technologii i systemów produkcji nawozów i białka dżdżownic,

f) produkcja podłoży ogrodniczych z odpadów przekształcanych przez dżdżownice w wermikomposty i próby maksymalizacji plonów uprawianych na nich roślin.

Wśród znanych obecnie prawie 250 gatunków dżdżownic *sensu stricto* z rodziny *Lumbricidae* w przypadku zaledwie kilku opracowano efektywne metody hodowli. Wykazano, że korzystne dla wermikultury właściwości mają dżdżownice z rodzajów: *Eisenia*, *Dendrobaena*, *Dendrodrilus*, *Lumbricus*. Prowadzone są także hodowle gatunków dżdżownic *sensu lato* należących do innych rodzin, np. z rodzaju *Eudrilus* (*Eudrilidae*) i *Perionyx* (*Megascolecidae*). Autorka podkreśla konieczność dokładniejszego

poznania biologii i ekologii *Dendrobaena octaedra* i *Dendrodrilus rubidus*, których hodowle w warunkach klimatycznych naszego kraju mogą okazać się bardzo efektywne. Szczególnie intensywnie na świecie rozwinęły się badania zastosowania do unieszkodliwiania odpadów organicznych gatunku *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) (*Oligochaeta, Lumbricidae: Eiseniinae* Omodeo, 1956).

Autorka podkreśla, że obecnie w coraz większej liczbie krajów występuje wzrost zainteresowania unieszkodliwianiem odpadów z udziałem dżdżownic jako sposobem naturalnym. Na kontynencie amerykańskim hodowle zagęszczonych populacji *E. fetida* prowadzone są w różnych celach już od ponad pół wieku. Głównie stosowane są przy utylizowaniu odpadów organicznych, z których dżdżownice produkują wermikompost. Wykazano m.in. możliwość wermikompostowania następujących odpadów: osadów z oczyszczalni ścieków, odpadów z browaru i papierni, odpadów z supermarketów i restauracji, odchodów drobiowych, świńskich, bydłowych, owczych, króliczych i końskich oraz resztek poźniowych. Celem wieloletnich badań Autorki było określenie:

1) przeżywalności i rozwoju populacji dżdżownic gatunku *E. fetida* na wybranych odpadach organicznych w różnych warunkach, z uwzględnieniem niektórych problemów technologicznych:

- możliwości zastosowania różnych typów odpadów organicznych (obornik bydłowy i koński, odpad popieczarkowy, osady ściekowe, odpady organiczne z gospodarstwa rolniczego i z gospodarstw domowych) do rozwoju populacji dżdżownic przy jednoczesnym unieszkodliwieniu tych odpadów,

- wpływu typu stanowisk hodowlanych na stan populacji *E. fetida* i jakość podstawowych zabiegów pielęgnacyjno-technologicznych,

- wpływu objętości utylizowanego podłoża na stan populacji *E. fetida*,

- ustalenie atrakcyjności pokarmowej organicznych odpadów domowych dla *E. fetida*,

- wyjaśnienie problemu zanikania populacji *E. fetida* w małych pojemnikach, jakimi są tzw. „dżdżownicowe skrzynki ekologiczne”;

2) przydatności nawozowej wybranych wermikompostów na podstawie ich składu chemicznego;

3) możliwości zastosowania *E. fetida* do unieszkodliwiania odpadów organicznych z uwzględnieniem skali półtechnicznej, przydomowej i w „dżdżownicowych skrzynkach ekologicznych”.

W trakcie prowadzonych przez 9 lat doświadczeń w wermikulturach *E. fetida* w skali laboratoryjnej oraz w hodowlach przydomowych Autorka wykazała, że populacje *E. fetida* utrzymywały się w większości badanych podłoży, chociaż charakteryzowały się dość zróżnicowanym przyrostem biomasy i tempem rozwoju, w tym różnymi ilościami składanych kokonów jajowych. Autorka wykazała, że struktura wiekowa populacji *E. fetida* startujących od osobników dojrzałych płciowo i rozwijających się przez około sześć miesięcy w hodowli w warunkach laboratoryjnych (temperatura  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ , wilgotność podłoża – 70%) była następująca (wartości śred-

nie): osobniki dojrzałe płciowo (17%), osobniki niedojrzałe wybarwione (37%), osobniki wyklute z kokonów (46%). Wskazała także na jeden z ważnych mechanizmów regulujących liczebność populacji *E. fetida* w hodowlach (np. w warunkach głodu lub przegęszczenia), którym jest zanik u osobników o dużej biomasy i z wykształconymi wzgórkami dojrzałości (= wałeczki pubertalne, *tubercula pubertatis*) siodełka (*clitellum*). Osobniki takie nie składają już kokonów jajowych.

Badania Autorki dotyczyły także bardzo ważnego z punktu widzenia ochrony środowiska problemu jakim jest utylizacja osadów ściekowych z mechaniczno-biologicznych oczyszczalni ścieków. Osady ściekowe są odpadem bardzo uciążliwym, m.in. ze względu na wodnistość, dużą objętość i dotychczasowe składowanie na hałdach w oczyszczalniach ścieków. Osady, które objętościowo stanowią zaledwie 3% ścieków, zawierają ponad połowę ładunku zanieczyszczeń dopływających w ściekach surowych. W typowej oczyszczalni ścieków, z biologicznym usuwaniem związków biogenych, o przepływie  $10 \text{ tys. m}^3 \times \text{d}^{-1}$  uzyskuje się dziennie około 2730 kg suchej masy osadu. Utylizacja osadów ściekowych to także bardzo istotny problem ekonomiczny, bowiem nakłady na przeróbkę osadów stanowią 30-40% kosztów inwestycyjnych i nawet do 50% kosztów eksploatacyjnych całej oczyszczalni. Jeszcze do 1994 r. żadna z dużych oczyszczalni ścieków komunalnych i przemysłowych w naszym kraju nie realizowała kompleksowego programu zagospodarowania osadów, obecnie przyrodniczemu zagospodarowaniu poświęca się sporo uwagi. Autorka wykazała, że populacje *E. fetida* nie tolerują podłoży po fermentacji metanowej (świeże osady ściekowe). Jeżeli jednak osady leżały odpowiednio długo, uległy natlenieniu i częściowo utraciły toksyczne dla dżdżownic metabolity beztlenowych mikroorganizmów, to mogą być wykorzystywane do utylizacji w wermikulturach. Populacje dżdżownic nie akceptowały podłoży z osadów ściekowych o zbyt wysokim poziomie metali ciężkich, a w podłożach o niskim stosunku C : N i zanieczyszczonych (np. środkami ochrony pieczarek) rozwijały się gorzej niż populacje hodowane w podłożach bardziej odpowiednich dla tego gatunku. Najlepsze parametry populacyjne otrzymywano przy rozcieńczaniu wszystkich rodzajów odpadów celulozą (np. rozdrobniona kora, siano, słoma, odpady z przemysłu owocowo-warzywnego, odpady z celulozowni). Liczebność składanych kokonów jajowych jest wyraźnie większa na podłożach o dużej zawartości celulozy. Dodatek słomy pszennej do kompostu popieczarkowego zwiększał o 300% liczbę kokonów złożonych przez *E. fetida* w pierwotnie mało przydatnym do hodowli kompoście po pieczarkach. W hodowlach laboratoryjnych założonych na komunalnych osadach ściekowych dodatek celulozy poprawiał istotnie ( $p < 0,001$ ) przyrost biomasy hodowanych osobników (o 66%). Także stan populacji *E. fetida* hodowanych w pojemnikach o małej objętości można poprawić, karmiąc dżdżownice mieszaniną odpadów kuchennych z rozdrobnioną celulozą. Wpływa to na wzrost liczebności i biomasy dżdżownic, a także zwiększa średnią biomasę osobników w pełni dojrzałych.

Efekty hodowli dżdżownic *E. fetida* prowadzone przez Autorkę na osadach ściekowych ogólnie były pozytywne, i to zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak

i w skali półtechnicznej w oczyszczalniach ścieków. Mimo że utylizowanie osadów ściekowych przez dżdżownice nigdy nie będzie metodą dominującą na dużych oczyszczalniach ścieków, to jednak możliwe jest do wprowadzenia w skali technicznej na oczyszczalniach średniej i małej wielkości. Zastosowanie tej metody pozwala na uzyskanie szeregu korzyści. W porównaniu z osadami ściekowymi, kompostowanymi w takim samym czasie bez dżdżownic, wermikomposty osadowe uzyskują strukturę gruzelkową. Osady bez dżdżownic leżakujące przez taki sam czas zajmowały większą przestrzeń, a struktura gruzelkowa ograniczała się w nich głównie do warstw powierzchniowych. Duże zmniejszenie się objętości osadów ściekowych i ich szybka mineralizacja w czasie wermikompostowania są korzystne ze względu na wzrost zasobności w składniki pokarmowe potrzebne roślinom i zmniejszenie zapotrzebowania na przestrzeń magazynową w oczyszczalniach ścieków. Osad ten przekształcony w wermikompost w całej objętości traci maziść, zbryloną strukturę i cuchnący zapach gnicia na rzecz struktury gruzelkowej i zapachu kompostu, przy równoczesnym napowietrzeniu i wzbogaceniu w życie biologiczne. Otwiera to przed oczyszczalniami ścieków znacznie szersze możliwości zbytu w ten sposób przerobionych osadów ściekowych, które mogą być np. rozsiewane na polach za pomocą maszyn rolniczych, być przydatne przy zagospodarowywaniu miejskich terenów zielonych, terenów zieleni przy drogach oraz służyć do rekultywacji terenów zdegradowanych. Gruzelkowa struktura wermikompostu osadowego jest trwała dzięki powleczeniu tworzących ją koprolitów dżdżownic śluzem bakterii, występujących licznie w ich przewodach pokarmowych, i przyczynia się do poprawy właściwości fizykochemicznych powstających nawozów. Tworzące wermikompost koprolity dżdżownic stanowią zatem ważny czynnik decydujący o dobrej żyzności i produktywności gleby i ułatwiają wzrost korzeni roślin, a także zwiększają natlenienie gleby. Niedostateczna wymiana gazów w podłożu wpływa bowiem bardzo niekorzystnie na przebieg mikrobiologicznych procesów tlenowych oraz na rozwój roślinności. Nie rozwijają się m.in. bakterie symbiotyczne (*Rhizobium*) i niesymbiotyczne (*Azotobacter*) wiążące wolny tlen z powietrza, a także bakterie utleniające azot i siarkę. Niedobór powietrza w glebie powoduje zmniejszenie pobierania przez rośliny składników pokarmowych i wody. W takich warunkach roślina może wykazywać objawy braku składników mimo ich dostatecznej zawartości w glebie w formie łatwo dostępnej.

Inicjatywą propagowaną od wielu lat przez Autorkę prezentowanego opracowania jest użytkowanie tzw. „dżdżownicowych skrzynek ekologicznych” – niewielkich pojemników z hodowlami dżdżownic umożliwiającymi utylizację odpadów organicznych w warunkach indywidualnego gospodarstwa domowego. Te małe kompostniki wypełnione dżdżownicami *E. fetida* mogą stanowić jedno z rozwiązań o znaczeniu ekonomicznym i przyczynić się do unieszkodliwiania odpadów organicznych (np. z domowych kuchni, stołówek, restauracji, hoteli itp.) bezpośrednio na miejscu ich powstawania. Opisane w licznych publikacjach „dżdżownicowe skrzynki kompostowe” są rozwiązaniem popularnym np. w USA. W Polsce jak na razie rzadko są sto-

sowane i mało rozpowszechnione. Upowszechnienie w warunkach polskich wymaga pasji u wielu ludzi zaangażowanych w działania służb ochrony środowiska (np. proekologiczne organizacje pozarządowe) oraz nauczycieli na różnych poziomach edukacji młodzieży szkolnej, która może pielęgnowanie skrzynek ekologicznych – podobnie jak roślin w domu, czy akwarium – uznać za element swojego codziennego postępowania i obowiązku. Słusznie Autorka zwraca jednak uwagę na pewne trudności w utrzymaniu dobrze rozwijających się populacji *E. fetida* w małych pojemnikach. U dżdżownicy *E. fetida*, pomimo że jest obojnakiem, może dochodzić w niekorzystnych warunkach (np. przegęszczenie osobników w małym pojemniku, duże zasolenie) do przewagi liczbowej osobników „męskich”, nie składających jaj, lecz produkujących wyłącznie plemniki (*unisipary and hypopary effect of populations*). Nie przyczyniają się one bezpośrednio do wzrostu liczebności populacji, ale w konsekwencji powodujących jej zanik z powodu braku rozmnażania. Pojawienie się w populacji osobników „męskich” jest prawdopodobnie fizjologicznym, wewnątrzpopulacyjnym mechanizmem regulacji liczebności. W przeprowadzonych badaniach Autorka dowioda, że zanikanie populacji dżdżownic może jednak zostać przełamane przez odpowiedni sposób ich karmienia. Karmienie odpadkami zmieszanyymi z celulozą z kartonów w stosunku 1 : 1/2 poprawiało wszystkie parametry populacji (liczebność, biomasę, średnią biomasę osobników dojrzałych, liczbę składanych kokonów). Obniżało także niekorzystnie oddziałujące na dżdżownice, a potem utrudniające stosowanie wermikompostu, stężenie soli. Wskaźnikiem zmian właściwości środowiska w hodowli jest także wzrost liczebności populacji towarzyszącej dżdżownicom makrofauny (głównie wazonkowce [*Oligochaeta: Enchytraeidae*] i skoczogonki [*Insecta: Collembola*]), której obecność w hodowli dżdżownic jest efektem naturalnej sukcesji wielu gatunków zasiedlających odpady organiczne. Przy wzroście liczebności *Enchytraeidae* w podłożu stwierdzano wyraźny wzrost stężenia soli (o 3-9 jednostek). Można przypuszczać, że pociągało to za sobą osłabienie tempa rozwoju *E. fetida*, która nie wykazuje tak dobrej tolerancji na wymieniony czynnik.

Prace własne Autorki jak i wyniki badań prezentowane w literaturze jednoznacznie wskazują, że wermikultura działała skutecznie na skalę półtechniczną na osadach ściekowych w oczyszczalni ścieków i odpadach organicznych z gospodarstwa rolniczego, a na skalę przydomową w „dżdżownicowych skrzynkach ekologicznych”. Rozwój populacji dżdżownic różnicuje objętość podłoża hodowlanego. W wazonach bardziej zagęszczonych dżdżownice złożyły trzykrotnie mniej kokonów niż w wazonach o mniejszym zagęszczeniu populacji. W związku z tym po sześciu miesiącach w podłożach mniej zagęszczonych liczba osobników wyklutych była trzy razy większa. Prowadząc wermikulturę, należy zatem często dokarmiać dżdżownice, co zwiększa objętość podłoża hodowlanego i pamiętać trzeba o okresowym rozrzedzaniu ich populacji. Biotransformacja osadów ściekowych w wermikulturze może sprawiać trudności, m.in. z powodu ich silnego zanieczyszczenia przez metale ciężkie, co osłabia wzrost i rozmnażanie dżdżownic. Efekt wermikompostowania można skutecznie poprawić, rozcieńczając osady ściekowe celulozą. Najbogatsze w skład-



niki pokarmowe były wermikomposty z odpadów kuchennych, znacznie mniej weń zasobne wermikomposty z obornika bydlęcego, a najmniej wermikomposty z komunalnych osadów ściekowych. Wermikomposty nie różniły się wartościami pH, które kształtowało się w przedziale 6,5-7,5, a zatem było odpowiednie dla roślin. Największe zasolenie charakteryzowało wermikomposty z resztek kuchennych, ale były one jednocześnie najbogatsze w azot azotanowy, fosfor, potas, wapń i magnez. Z tego względu przy stosowaniu takich nawozów należy brać pod uwagę ich rozcieńczenie, co zmniejsza ujemne oddziaływanie nadmiernego stężenia soli. Najmniej zasolone były wermikomposty obornikowe. Najmniejszą zawartością kadmu, chromu, ołowiu, cynku, miedzi i niklu charakteryzowały się wermikomposty z selekcyjowanych odpadów kuchennych. Natomiast największą koncentrację metali ciężkich stwierdzono w wermikompostach wyprodukowanych z komunalnych osadów ściekowych. Poziom metali w nich nie przekraczał jednak dopuszczalnych wartości granicznych umożliwiających przyrodnicze i rolnicze wykorzystanie nawozów. Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano możliwości i potrzebę rozkładu różnych materiałów odpadowych za pomocą dżdżownic i przydatność uzyskanych kompostów jako nawozów organicznych, co ma ogromne znaczenie w ochronie środowiska, zwłaszcza biologicznych zasobów gleby.

Istotne są uwagi Autorki wskazujące na konieczność uzupełnienia *Konwencji o bioróżnorodności* o zalecenia ochrony bogactwa żywych przedstawicieli fauny i mikroflory glebowej, jako niezwykle ważnej części ekosystemów wykorzystywanych przez człowieka. Wszystkie organizmy glebowe stanowią naturalne bogactwo, jakie należy chronić i ostrożnie wykorzystywać. Podkreśla ona konieczność dokładniejszych badań zależności ilościowych i jakościowych pomiędzy przedstawicielami łańcuchów troficznych w glebach, odpadach organicznych, a następnie w powstających kompostach lub wermikompostach. Istnieje wyraźna potrzeba bardziej intensywnego traktowania różnorodności biologicznej w glebach niż to, o którym mówi się w *Konwencji*. Skupiono się bowiem w niej głównie na bioróżnorodności ponad ziemią, chociaż istnieje ogromne bogactwo zasobów genowych roślin i zwierząt i pod ziemią oraz w ekosystemach glebowych.

Krzysztof Kasprzak