*Acta Agrophysica, 2002, 73, 17-34*

# ZASOBY I GOSPODARKA ODPADAMI ORGANICZNYMI W POLSCE

*S. Baran, P. Oleszczuk, G. Żukowska*

Instytut Gleboznawstwa i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego, Akademia Rolnicza
ul. Leszczyńskiego 7, 20-069 Lublin
e-mail:patol@consus.ar.lublin.pl

Streszczenie. W pracy analizowano źródła, zasoby i gospodarkę odpadami organicznymi w Polsce. Stwierdzono, że dominującym sposobem postępowania z odpadami organicznymi jest ich deponowanie na wysypiskach, co w relacji z ich składem chemicznym, stanowi zagrożenie dla środowiska. Racjonalnym sposobem zagospodarowania odpadów organicznych jest ich nawozowe wykorzystanie. Sposób ten winien uwzględniać poziom zanieczyszczeń, w tym specyficznych, w odpadach, a także kształtowanie ich właściwości w procesie kompostowania.

Słowa kluczowe: odpady organiczne, gospodarka odpadami, produkcja odpadów, kompostowanie.

## WSTĘP

Odpadami określa się wszystkie produkty gospodarczej i bytowej działalności człowieka, nieprzydatne w miejscu i czasie w którym powstały i uciążliwe dla środowiska. Z definicji wynika, że odpad jest nieprzydatny w danym miejscu i czasie, natomiast zmiana tych parametrów, np. opracowanie nowych technologii, czyni z odpadu surowiec lub produkt użyteczny.

Funkcjonuje wiele klasyfikacji odpadów. Jednym z podziałów jest ich podział ze względu na zawartość substancji organicznej, który wyróżnia odpady organiczne (zawierające powyżej 50% składników organicznych w suchej masie) oraz odpady mineralno-organiczne (udział substancji organicznej w granicach 5-50% s.m.).

Odpady organiczne stanowią znaczne zasoby nawozowe, co wiąże się z ich biologicznym, głównie roślinnym pochodzeniem. Wartość nawozowa odpadów

organicznych wynika ze znacznej zawartości składników pokarmowych oraz substancji organicznej. Próchnicotwórczy potencjał substancji organicznej zawartej w odpadach pochodzenia biologicznego ma szczególne znaczenie dla zachowania i zwiększania żyzności gleb lekkich, a także w procesach odtwarzania gleb na zdewastowanych gruntach nieglebowych.

Odpady organiczne powstają w każdym miejscu bytowania człowieka, w ilościach uzależnionych od koncentracji urbanizacji, poziomu i kultury konsumpcji dóbr materialnych. Ich ilości uzależnione są także od stosowanych technologii produkcji oraz ochrony środowiska i zasobów naturalnych.

Koncentracja produkcji rolnej i przetwórstwa jej płodów oraz postępujący rozwój aglomeracji miejskich sprawiają, że coraz więcej biomasy przemieszcza się z ekosystemów rolnych do zurbanizowanych, stając się w tych obszarach odpadami degradującymi środowisko we wszystkich jego elementach. Szczególnej degradacji podlegają ekosystemy rolne, gdyż ubożeją w nich próchnicotwórcze i pokarmowe zasoby, przy jednoczesnym powstawaniu na tych terenach uciążliwych wysypisk.

Znaczący deficyt nawozów organicznych prowadzić będzie nieuchronnie do zmniejszania zasobów próchnicy w glebach i pogorszenia ich żyzności. Przyniesie to spadek wielkości plonu oraz pogorszenie jego jakości, co ma wymierny wpływ na zdrowie społeczeństwa. Sytuacja ta zmusza do optymalizacji gospodarki odpadami organicznymi, w tym także wykorzystanie ich do celów nawozowych i rekultywacyjnych w rolnictwie, leśnictwie oraz na terenach przemysłowych i zurbanizowanych.

## ŹRÓDŁA, ZASOBY I GOSPODARKA ODPADAMI W POLSCE

Eksploatacja i przetwarzanie surowców wprowadza do środowiska olbrzymie ilości zróżnicowanych jakościowo odpadów, określanych mianem przemysłowych (Tab.1, 2). W obrębie tych odpadów dominują (ponad 50%) odpady przeróbcze ze wzbogacania węgla i odpady z flotacyjnego wzbogacania rud metali nieżelaznych.

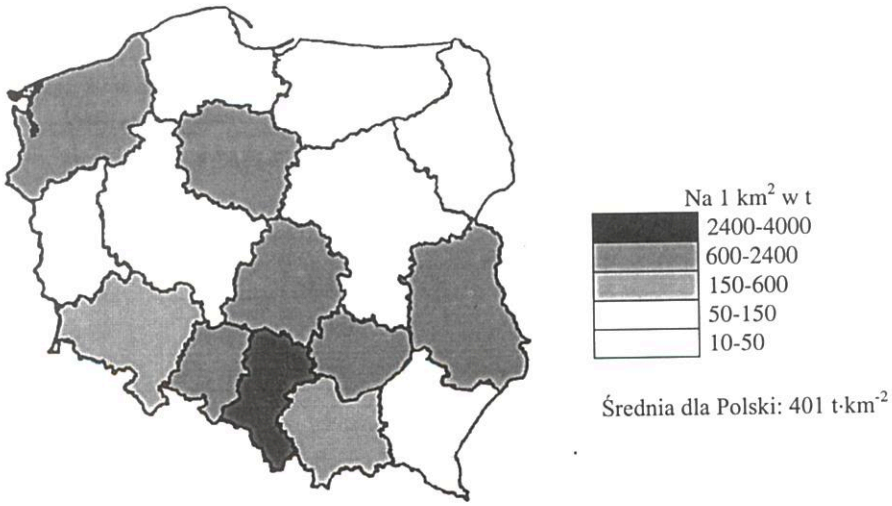
Problem ilości odpadów przemysłowych jaskrawo obrazują aktualne wskaźniki, na 1 mieszkańca - 3,2 t/rok i na 1 $km^2$ - 401 t, wyraźnie zróżnicowane na terenie Polski (Rys.1). W ostatnim dwudziestoleciu, w wyniku przebudowy (restrukturyzacja, modernizacja, recesja) tej gałęzi gospodarki obserwuje się systematyczne zmniejszenie ilości wytwarzanych odpadów przemysłowych.

**Tabela 1.** Odpady przemysłowe wytworzone w ciągu roku
**Table 1.** Industry wastes produced per year

| Wyszczególnienie | 1980 | 1990 | 2000 |
|---|---|---|---|
| Wytworzone w [mln ton] | 165,1 | 143,9 | 125,5 |
| Na 1 mieszkańca w tonach | 4,6 | 3,8 | 3,2 |
| Na 1 $km^2$ w tonach | 528 | 460 | 401 |
| Wytworzone w [%] | 100,0 | 87,1 | 76,0 |
| Na 1 mieszkańca | 100,0 | 82,6 | 69,6 |
| Na 1 $km^2$ | 100,0 | 87,1 | 75,9 |

**Tabela 2.** Gospodarcze wykorzystanie odpadów przemysłowych w Polsce w roku 2000
**Table 2.** Economical utilization of industrial wastes in Poland in year 2000

| Wyszczególnienie | Ogółem (mln ton) | Wykorzystanie (%) | Nagromadzenie (mln ton) |
|---|---|---|---|
| Ogółem | 125,5 | 76,9 | 2011,0 |
| w tym | | | |
| Odpady przeróbcze ze wzbogacania węgla | 35,4 | 85,8 | 723,3 |
| Odpady z flotacyjnego wzbogacania rud metali nieżelaznych | 28,3 | 74,6 | 551.8 |
| Mieszanki popiołowo-żużlowe z mokrego odprowadzania odpadów paleniskowych | 9,1 | 53,2 | 244,3 |
| Popioły lotne z węgla kamiennego | 4,6 | 93,3 | 46,4 |
| Żużle z procesów wytapiania | 3,3 | 83,6 | 31,7 |
| Odpady z wapniowych metod odsiarczania spalin | 3,1 | 97,7 | 2,1 |
| Skruszone skały | 2,6 | 97.6 | 39,4 |
| Żużle ze spalania | 2,5 | 86,0 | 18.3 |
| Odpady z flotacji węgla | 2,1 | 82,2 | 39,5 |
| Fosfogipsy | 1,9 | 0,4 | 62,2 |




**Rys. 1.** Odpady przemysłowe wytworzone (t·km$^{-2}$) według województw w roku 2000.
**Fig. 1.** Industrial wastes (t·km$^{-2}$) produced by provinces in year 2000.

Odpady przemysłowe zaliczane są głównie do mineralnych i charakteryzują się w miarę jednorodnymi właściwościami w obrębie poszczególnych rodzajów, co decyduje o znaczącym (76,9%) ich wykorzystaniu gospodarczym. Mimo dość wysokiego stopnia zagospodarowania, nagromadzenie odpadów przemysłowych tylko na składowiskach zakładowych wynosi 2011,0 mln ton [13]. Problem w tym, że nagromadzane są odpady o niekorzystnych właściwościach, np. fosfogipsy, co przyczynia się do degradacji, a często dewastacji środowiska w miejscu ich składowania.

W strumieniu odpadów powstających w Polsce specyficzną grupę stanowią odpady organiczne. Źródłem tych odpadów są:

- tereny zurbanizowane,
- tereny przemysłowe i komunikacyjne,
- przemysł rolno-spożywczy,
- przemysł drzewny,
- oczyszczalnie ścieków,
- obrót płodami rolnymi i żywnością.

Tereny zurbanizowane generują odpady z gospodarstw domowych oraz z zakładów pracy i obiektów użyteczności publicznej. Odpady te określa się mianem odpadów komunalnych. Odpady te charakteryzują się bardzo zróżnicowanym składem morfologicznym, w którym dominują (około 50%) składniki

organiczne [3]. Pozostałą część stanowią różnorodne odpady mineralne i tworzywa sztuczne. W składzie chemicznym odpadów komunalnych występują, w zróżnicowanych ilościach, składniki nawozowe jak również zanieczyszczenia, w tym szczególnie groźne, takie jak metale ciężkie (Tab. 3).

**Tabela 3.** Nagromadzenie składników w odpadach komunalnych i na 1 ha wysypiska (w roku 2000)
**Table 3.** Elements accumulation in municipal wastes and on 1ha of dumping ground (in 2000 year)

| Składnik | Roczne nagromadzenie w odpadach (ton) | Nagromadzenie na 1 ha powierzchni wysypiska (kg) |
|---|---|---|
| Odpady ogółem | 6288210 | 2012000 |
| Substancja organiczna | 3144105 | 1006000 |
| N ogólny | 94323 | 30000 |
| $P_2O_5$ | 50306 | 16000 |
| $K_2O$ | 12576 | 4000 |
| CaO | 31441 | 10000 |
| MgO | 1258 | 400 |
| Pb | 1006 | 322 |
| Zn | 6288 | 2012 |
| Cu | 1258 | 400 |
| Cd | 63 | 20 |
| Cr | 377 | 121 |
| Ni | 314 | 101 |

Akumulacja tych składników w strumieniu odpadów niesie za sobą poważne skutki ekologiczne. Traktowanie deponowania na wysypiskach jako podstawowego sposobu ich unieszkodliwiania stanowi, że stają się one poważnym źródłem zanieczyszczenia środowiska (Tab. 3, 4). Systematycznemu ubożeniu ulegają jednocześnie tereny rolne z których składniki te zostały przemieszczone do odpadów.

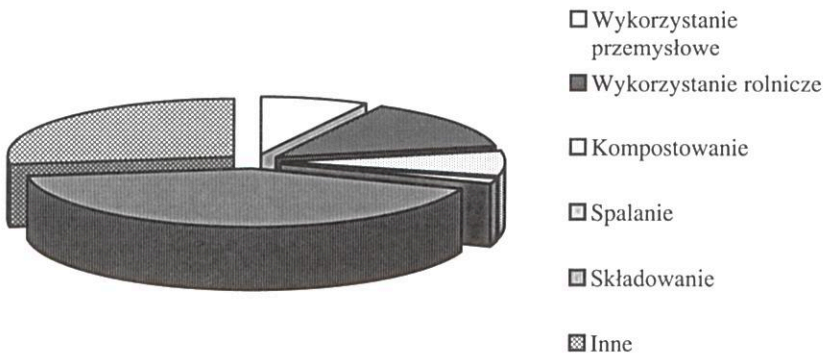
Znaczącą grupę odpadów organicznych stanowią osady ściekowe, które powstają w procesie oczyszczania ścieków. Ilości ich są znaczące: 359819 t s.m. osadów komunalnych i 703258 t s.m. osadów przemysłowych (Tab. 5) i przewiduje się dalszy systematyczny wzrost ich ilości.

**Tabela 4.** Postępowanie z odpadami komunalnymi w Polsce w roku 2000
**Table 4.** Municipal wastes treatment in Poland in year 2000

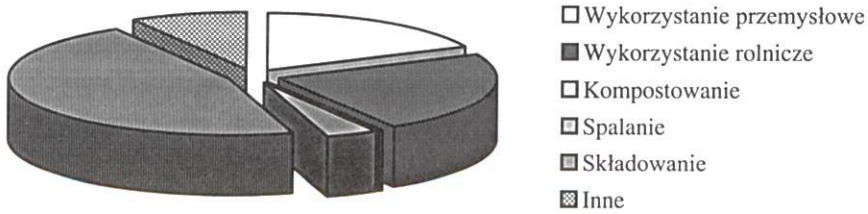
| Wyszczególnienie | ton | % |
|---|---|---|
| Ogółem | 12953200 | 100,00 |
| W tym: | | |
| Odzysk makulatury | 125060 | 0,97 |
| Odzysk szkła | 69680 | 0,54 |
| Odzysk tworzyw sztucznych | 94640 | 0,73 |
| Odzysk metali | 84500 | 0,65 |
| Spalanie | 2900 | 0,02 |
| Kompostowanie | 248300 | 1,92 |

**Tabela 5.** Nagromadzenie składników w osadach ściekowych w Polsce w roku 2000
**Table 5.** Accumulation of elements in sewage sludge in Poland in year 2000

| Składnik | Nagromadzenie w suchej masie osadów komunalnych (ton) | Nagromadzenie w suchej masie osadów przemysłowych (ton) |
|---|---|---|
| Osady ogółem | 359819 | 703258 |
| Substancja organiczna | 179910 | 351629 |
| N ogólny | 16192 | 31647 |
| $P_2O_5$ | 17990 | 35163 |
| $K_2O$ | 1079 | 2110 |
| CaO | 28786 | 56261 |
| MgO | 2339 | 4571 |
| Pb | 108 | 211 |
| Zn | 720 | 1407 |
| Cu | 126 | 246 |
| Cd | 22 | 42 |
| Cr | 180 | 352 |
| Ni | 72 | 141 |
| WWA | 3,6 | 35,2 |




**Rys. 2a.** Gospodarka komunalnymi osadami ściekowymi w Polsce w roku 2000.
**Fig. 2a.** Municipal sewage sludge management in Poland in year 2000.




**Rys. 2b.** Gospodarka przemysłowymi osadami ściekowymi w Polsce w roku 2000.
**Fig. 2b.** Industrial sewage sludge management in Poland in year 2000.

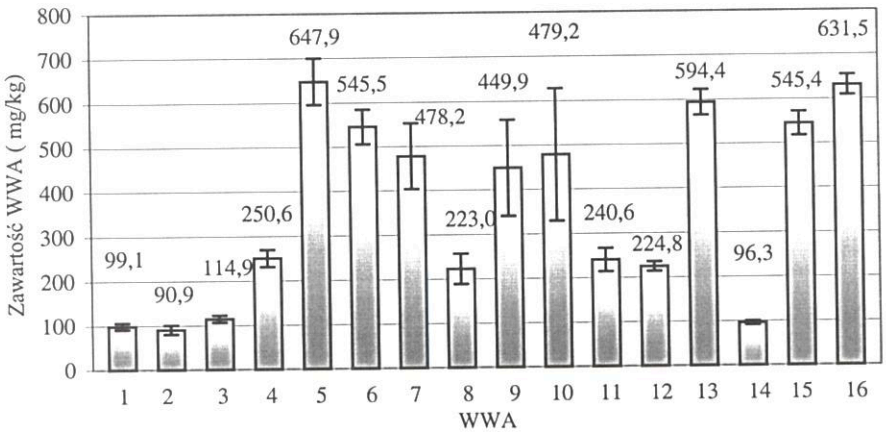
Osady ściekowe to ogromny potencjał substancji organicznej oraz składników pokarmowych dla roślin, co kwalifikuje je do wykorzystania nawozowego. Taki sposób wykorzystania może być ograniczany wskutek niekorzystnych ich właściwości chemicznych i biologicznych. Powoduje to, że poziom rolniczego wykorzystania osadów jest, w porównaniu do krajów UE, dość niski (Rys. 2a, 2b). Niepokojącym jest znaczący udział składowania w gospodarce osadami, co ma duży wpływ na wzrost kosztów produkcji i „życia miejskiego", a także na wskaźniki ekologiczne.

Kwalifikacja osadu do wykorzystania przyrodniczego jest prawnie uwarunkowana i opiera się na ocenie zawartości metali ciężkich i właściwości sanitarnych. Istnieje jednak niebezpieczeństwo, że w wyniku nawożenia osadami do gleby mogą zostać wprowadzone trwałe zanieczyszczenia organiczne. Zwraca się uwagę na duże obciążenie osadów ściekowych – w zależności od pochodzenia – przez polichlorowane bifenyle (PCB), dioksyny i furany (PCDD/F), pestycydy oraz wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) i ich pochodne.

Jednym z trwałych zanieczyszczeń organicznych, których obecność bardzo często stwierdza się w osadach ściekowych są wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (Rys. 3). Ich niska rozpuszczalność w wodzie i wysokie powinowactwo do tłuszczów sprzyjają trwałości w środowisku.

Wprowadzanie do gleby osadu ściekowego bez kompleksowego rozpoznania jego właściwości stwarza poważne zagrożenie dla środowiska. Zdolność do akumulacji wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych stwarza niebezpieczeństwo wniknięcia ich do łańcucha pokarmowego człowieka, co biorąc pod uwagę silne właściwości mutagenne i/lub kancerogenne tych związków może istotnie zagrażać zdrowiu ludzi.

Ponad 90 % WWA zawartych w ściekach przechodzi ostatecznie do osadów ściekowych. Wynika to przede wszystkim z takich właściwości WWA jak niska rozpuszczalność w wodzie i wysoka zdolność sorpcji na cząstkach stałych.




**Rys. 3.** Zawartość poszczególnych rodzajów WWA w osadzie ściekowym.

**Fig. 3.** The concentration of individual PAHs in sewage sludge.

WWA w osadach ściekowych pochodzą głównie z:

- oczyszczanych ścieków przemysłowych i komunalnych,
- opadów atmosferycznych,
- osiadania cząstek atmosferycznych na drodze depozycji mokrej lub suchej.

Istnieje również możliwość – w przypadku WWA – samoistnego tworzenia się ich w wyniku biotransformacji (np. procesów gnilnych materii organicznej o zróżnicowanym składzie). Na fakt ten wskazują wyższe stężenia WWA w osadzie przefermentowanym niż surowym.

W krajach Unii Europejskiej ustalone zostały normy dotyczące ilości wprowadzanych do gleby wraz z odpadami organicznymi niektórych trwałych zanieczyszczeń organicznych. W przypadku WWA dotyczą one: fluorantenu (5 $mg \cdot kg^{-1}$), benzo[b]fluorantenu (2,5 $mg \cdot kg^{-1}$) i benzo[a]pirenu (2 $mg \cdot kg^{-1}$) [2].

Na terenach zurbanizowanych powstają również odpady roślinne z pielęgnacji zieleni miejskiej. Odpady z terenów zieleni miejskiej i przemysłowej są przeważnie usuwane na wysypiska komunalne. Zieleń miejska i osiedlowa zajmuje około 68000 ha na terenie całego kraju. Przyjmując roczną produkcję masy roślinnej na poziomie 5 ton z hektara z terenów tych pozyskuje się około 340 tys. ton surowca o znacznej zawartości substancji organicznej i składników pokarmowych.

Dużo masy roślinnej powstaje na terenach zieleni przemysłowej i komunikacyjnej. Pozyskana biomasa roślin jest wywożona na wysypiska lub użytkowana jako pasza. Przykładem może być rekultywowany teren wokół Kopalni Siarki „Jeziórko" gdzie z pielęgnacji terenów z roślinnością trawiastą pozyskuje się znaczne zasoby biomasy, która może być wykorzystywana wielokierunkowo. Również na terenie wokół Zakładów Azotowych „Puławy" prowadzona jest intensywna uprawa roślin trawiastych z przeznaczeniem do produkcji kompostu.

Zakłady przetwórstwa rolno-spożywczego generują odpady o różnej uciążliwości i użyteczności. Większość jest przydatna do wykorzystania gospodarczego, w tym produkcji kompostu.

Znaczącą grupę stanowią odpady organiczne powstające w rolnictwie i w zakładach zajmujących się przetwarzaniem płodów rolnych.

W przetwórstwie owoców i warzyw powstają różnorodne odpady, w większości przydatne do skarmiania w postaci świeżej lub kiszonek. Mogą być również wykorzystane w celu pozyskiwania pektyn, aromatów i barwników.

W przemyśle cukrowniczym do wykorzystania na cele paszowe mogą być przydatne: wysłodki, melasa, odcieki rafinadowe, woda poprasowa i dyfuzyjna,

zdyskwalifikowane buraki. Znaczącym problemem są natomiast osady z płukania buraków - osady spławiakowe. Są one gromadzone w stawach osadowych celem osuszenia, a następnie w stanie ziemistym umieszczane są w różnego rodzaju wyrobiskach w otoczeniu cukrowni. Niewielka ich ilość jest kierowana do zagospodarowania rolniczego.

W przemyśle ziemniaczanym powstają: obierzyny (do 30% masy surowca), wycierka (42-54% masy) i woda sokowa (10-krotnie rozcieńczona). Brak jest sprawdzonych metod wykorzystania tych odpadów. Podjęto próby wykorzystania obierzyn do fermentacji alkoholowej, wycierki do celów paszowych, zaś wody sokowej do nawozowego wykorzystania.

Powstające w przemyśle spirytusowo-fermentacyjnym wywary i drożdże używane są jako pasza i surowiec w przemyśle spożywczym, zaś ziemia okrzemkowa jest deponowana na wysypiskach.

W przemyśle olejarsko-tłuszczowym powstaje śruta, która stanowi 55 - 58% masy przerabianych nasion. Częściowo jest ona wykorzystywana w żywieniu zwierząt. Powstają również szlamy pohydratacyjne oraz zaolejona ziemia bieląca, stwarzające znaczące problemy z zagospodarowaniem. W określonych warunkach odpady te można kompostować.

Głównym produktem odpadowym w przemyśle mleczarskim jest serwatka. Szacuje się, że rocznie powstaje jej ok. 2400 $mln \cdot dm^{-3}$, z czego 15-18% jest przetwarzana, część wykorzystuje się w tuczu trzody chlewnej. Jako ściek jest bardzo uciążliwa, gdyż jej $BZT_5$ wynosi 30-50 tys. mg $O_2 \cdot dm^{-3}$. Odpad ten może służyć do produkcji: laktozy, proszku lub koncentratów białek.

W przemyśle mięsnym wyróżnia się odpady: kolagenowe (skóra, błony i narządy błonotwórcze), keratynowe (rogi, kopyta, szczecina, włosie), osseinowe (kości), białkowe (mięso z konfiskat weterynaryjnych, narządy wewnętrzne), tłuszczowe i trawieniowe. Pierwsze trzy grupy wykorzystywane są do produkcji kolagenu, żelatyny i drobnej galanterii, zaś pozostałe wykorzystuje się na cele paszowe.

W przemyśle drobiarskim 19-27% masy ubojowej stanowią miękkie i twarde odpady, z których wytwarza się mączki mięsne i mięsno-kostne. Skorupy jaj, chalazy i jaja odpadowe służą do produkcji mączki.

W zakładach przetwórstwa drewna powstają duże ilości trocin, kory, wiórów, i zmiotków. Znaczne ich ilości są użytkowane energetycznie, natomiast ich wykorzystanie przyrodnicze jest bardzo małe w stosunku do potencjalnych możliwości. Odpady te mogą być wykorzystywane w procesie kompostowania z innymi substancjami jako materiał strukturalny i optymalizujący właściwości kompostu lub do mulczowania powierzchni ziemi pod koronami drzew itp.

## KOMPOSTOWANIE ODPADÓW

W literaturze coraz częściej obserwuje się zainteresowanie możliwościami wykorzystania metod kompostowania, jako sposobem optymalizacji właściwości chemicznych i biologicznych odpadów organicznych.

Podczas procesu kompostowania tworzą się specyficzne warunki związane z podwyższoną aktywnością mikrobiologiczną oraz wysoką temperaturą co przyczynia się do likwidacji zagrożeń sanitarnych kompostowanych materiałów. Proces ten można wykorzystywać również do optymalizacji składu chemicznego poprzez dodatek materiałów strukturalnych, intensyfikujących jednocześnie tempo zachodzących przemian (Tab. 6).

W procesie kompostowania następuje intensywniejszy rozkład trwałych zanieczyszczeń organicznych (TZO) [4], jednak wysoka zawartość materii organicznej ogranicza ich degradację w wyniku tworzenia się tzw. pozostałości związanej, niedostępnej lub bardzo trudno dostępnej dla mikroorganizmów. Może to być również metoda unieszkodliwienia zanieczyszczeń, polegająca na ich trwałej stabilizacji w materiale.

**Tabela 6.** Zmiany zawartości metali ciężkich w osadzie ściekowym w procesie kompostowania z dodatkami strukturalnymi (w $mg \cdot kg^{-1}$)

**Table 6.** Influence of process of composting sewage sludge with different structural addictions on amount of heavy metals contained in them (in $mg \cdot kg^{-1}$)

| Wyszczególnienie | Pb | Zn | Cu | Cd |
|---|---|---|---|---|
| Osad ściekowy | 131 | 2131 | 244 | 102 |
| Trawy uprawiane na osadzie | 40 | 1050 | 100 | 51 |
| Trawy + trociny (1:1) | 21 | 450 | 60 | 15 |

Zwiększenie dostępności zanieczyszczeń można uzyskać poprzez dodanie odpowiednich związków, tzw. surfaktantów, wytworzonych syntetycznie bądź przez same mikroorganizmy [12].

Pierwsze próby likwidacji zanieczyszczeń w procesie kompostowania prowadzone były już w latach osiemdziesiątych podczas usuwania z gleb i osadów dennych pozostałości materiałów wybuchowych [7,8]. Isbister i wsp. [7] w badaniach nad unieszkodliwianiem gleb zanieczyszczonych przez trinitrotoluen (TNT) oraz heksahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazynę (RDX) uzyskali w ciągu sześciotygodniowego okresu inkubacji całkowitą redukcję obydwu zanieczyszczeń. Podczas kompostowania TNT ulega trzem głównym mechanizmom [16]:

- sorpcji przez składniki kompostu,
- włączeniu w stabilne struktury cząstek takich jak substancja humusowa,
- degradacji do $CO_2$, $H_2O$ i innych nieorganicznych form.

Najbardziej korzystną jest przemiana związku do $CO_2$ i $H_2O$. Jednak jak wskazują badania prowadzone przy zastosowaniu $^{14}C$, tylko niewielka część TNT ulega tym przemianom. Badania prowadzone przez Catona i in. [5] wykazały, że po 90 dniowym okresie kompostowania, obecny pierwotnie w TNT węgiel znajdował się w przekompostowanym materiale w następujących formach: 1,2% - frakcja labilna; 17,9% - frakcja połączona z nierozpuszczalnymi cząstkami; 56,8% frakcja połączona z nierozpuszczalnymi cząstkami ale ulegającymi procesowi hydrolizy, 4,7% stanowiła pozostałość związana - niedostępna (Rys. 4). W procesie przemian TNT ulega transformacji w różne formy materii organicznej: 32% $^{14}C$ zostało włączone celulozę, 22% związane przez kwasy huminowe), natomiast 18% przez kwasy fulwowe (Rys. 4) [14].

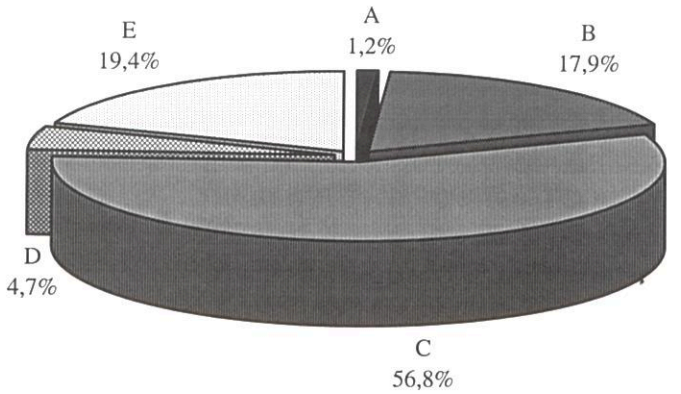
Inną grupą trwałych zanieczyszczeń organicznych obecnych w wielu elementach środowiska są chlorowane związki fenolowe tzw. chlorofenole. W roku 1985 światowa produkcja najpopularniejszego z nich pentachlorofenolu (PCP) sięgała około 100 tys. ton.

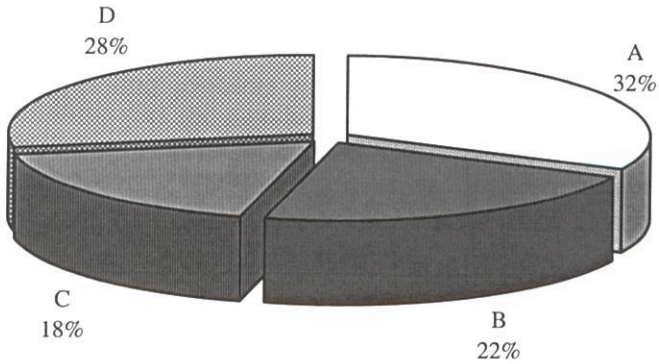
Likwidacja tych zanieczyszczeń w glebach może być realizowana przy wykorzystaniu różnych materiałów organicznych. Badania nad rozkładem pentachlorofenolu w glebie metodą współkompostowania z trocinami prowadzili Apajalahti i Salkinoja-Salonen [1] i udało się im skrócić czas połowicznego rozkładu PCP z dziesięciu miesięcy do trzech.

Lane i Jørgensen [10], po zastosowaniu różnych dodatków (trociny, słoma) do gleby, uzyskali w ciągu 1 tygodnia zmniejszenie PCP o 50%, w przeciągu 2 miesięcy nastąpił dalszy rozkład zanieczyszczeń do poziomu spełniającego normy zawartości PCP w glebach (Rys. 5). Głównym powodem wysokiej wydajności procesu jest obniżenie toksyczności zanieczyszczeń poprzez ich połączenia z substancją organiczną, co zmniejsza negatywne oddziaływanie na mikroorganizmy.

Zanieczyszczenia ropopochodne środowiska glebowego należą do jednych z najbardziej uciążliwych, trudnych i kosztownych w likwidacji. Poza znanymi licznymi technologiami unieszkodliwiania trwałych zanieczyszczeń organicznych opartych na metodach fizycznych i fizykochemicznych, od dawna zwraca się już uwagę na metody biologiczne. Tradycyjne metody biologiczne polegają na dodawaniu do zanieczyszczonego gruntu wyspecjalizowanych kultur bakterii lub grzybów oraz regulowanie niektórych parametrów lub warunków procesu. Obiecującą metodą w usuwaniu substancji ropopochodnych, jak wskazują liczne

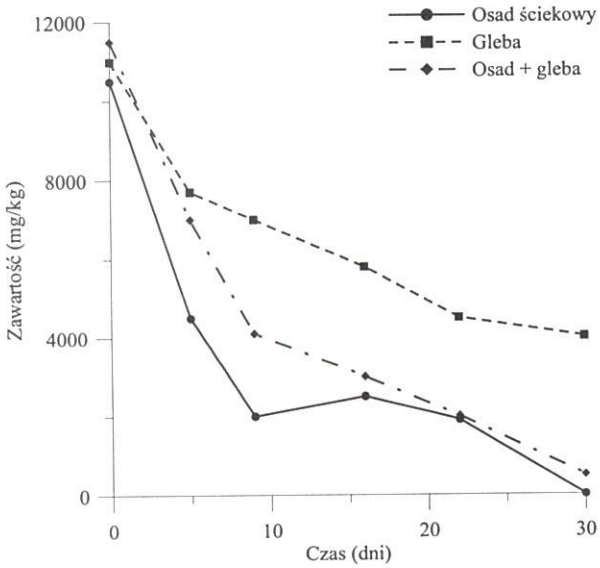
dane literaturowe [1,9,11], może być proces kompostowania z dodatkiem odpadów organicznych.



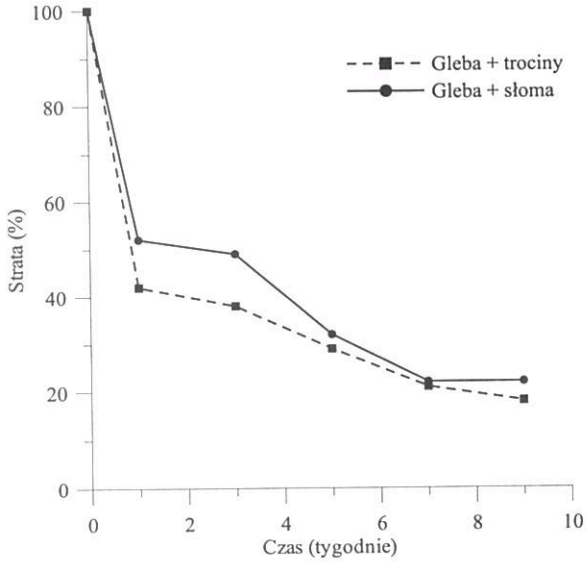

**Rys. 4**. Formy $^{14}C$ pochodzącego z TNT po procesie kompostowania. Rysunek na górze: A – frakcja labilna, B – frakcja połączona z cząstkami nierozpuszczalnymi, C - frakcja połączona z cząstkami nierozpuszczalnymi ulegającymi hydrolizie, D - pozostałość związana, E - inne. Rysunek na dole: A – celuloza, B – huminy, C – kwasy fulwowe, D – inne.

**Fig. 4**. Forms of $^{14}C$ from TNT after composting process. Picture on the top: A – labile fraction, B – fraction connected with insoluble particles, C – fraction connected with insoluble particles which are subject to hydrolysis, D – bounded remains, E – other. Picture on the bottom: A – cellulose, B – humans, C – fulvic acids, D – other.




**Rys. 5.** Usuwanie chlorofenoli podczas kompostowania gleby z odpadami organicznymi.
**Fig. 5.** Degradation of chlorophenols in process of composting soil with organic wastes.

W badaniach prowadzonych przez Namkoong i wsp. [11] oceniano wpływ różnych dawek osadu ściekowego i kompostu na rozkład oleju napędowego w glebie. Najefektywniejszy rozkład oleju zarówno w przypadku osadu ściekowego jak i kompostu zaobserwowano przy stosunku zanieczyszczona gleba : osad ściekowy lub kompost wynoszącym 1:0,5 (Rys. 6).



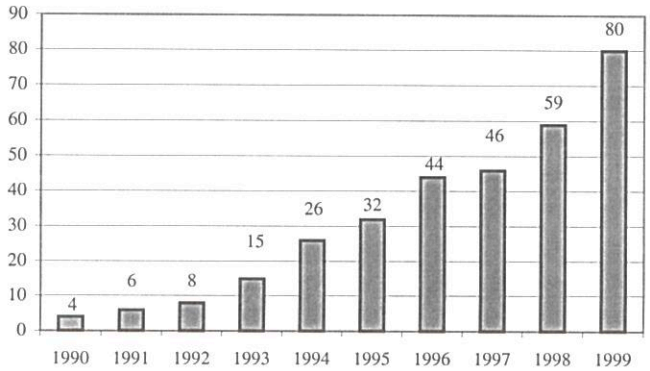

**Rys. 6.** Rozkład węglowodorów ropopochodnych w zależności od dodatku osadu ściekowego i kompostu.
**Fig. 6.** Degradation of crude oil depending on amount of sewage sludge and compost added.

Poza wymienionymi materiałami organicznych w celu likwidacji TZO i substancji ropopochodnych w procesie kompostowania stosowane są również: obornik, odpady ogrodnicze i żywnościowe.

Podsumowując przedstawione dane można stwierdzić, że proces współkompostowania zanieczyszczonego materiału wraz z substancją organiczną może być efektywną i szybką metodą likwidacji zanieczyszczeń, z jednoczesnym uzyskaniem przydatnego produktu znacznie poprawiającego właściwości gleb. Zaletą tego sposobu likwidacji zanieczyszczeń są: niskie koszty procesu, prostota metody, stosunkowo wysoka skuteczność oraz mała uciążliwość ekologiczna [11].

## KOMPOSTOWANIE W KRAJACH UNII EUROPEJSKIEJ

Każdego roku w krajach Unii Europejskiej powstaje około 60 mln ton odpadów organicznych przydatnych do kompostowania, z czego Francja produkuje 24%, Niemcy, Włochy i Wielka Brytania po 15%, Hiszpania 11%, Austria 4%, Belgia, Grecja i Holandia po 3%, Norwegia i Portugalia po 2%, natomiast Dania, Finlandia i Irlandia po około 1% [15]. Najlepszym sposobem utylizacji tego typu odpadów jest ich kompostowanie, a sposób ten jest preferowany w wielu krajach Europejskich. Świadczy o tym m.in. wzrost liczby kompostowni np. w Niemczech przed rokiem 1995 funkcjonowało ich 378, a w roku 1997 już 520. Podobny wzrost ilości zakładów kompostowych odnotowano w Wielkiej Brytanii, gdzie w ciągu 9 lat ilość kompostowni wzrosła z 4 do 80 (Rys.7).




**Rys. 7.** Wzrost ilości zakładów kompostowych w Wielkiej Brytanii [15].
**Fig. 7.** Increase of composting plants amount in Great Britain [15].

W ilości wykorzystywanych odpadów organicznych przoduje Holandia, która znacznie wyprzedza inne kraje UE [6]. Jednakże w kraju tym jedynie około 30% odpadów jest kompostowanych, pozostała część poddawana jest innym procesom zagospodarowania. W Danii, Austrii i Niemczech ilość odzyskiwanych odpadów organicznych waha się od 45 do 55% jednak, w tym około 50% odpadów jest kompostowanych, podobnie w Belgii, Wielkiej Brytanii i Finlandii (Tab. 7).

Systemy kompostowania odpadów w poszczególnych krajach są różne. Od bardzo prostych/prymitywnych metod opartych na kompostowaniu w pryzmach (oparte jedynie na mieszaniu i dotlenianie materiałów) do bardzo złożonych układów składających się z komputerowo kontrolowanych, zmechanizowanych tuneli z rozwiniętym systemem usuwania odorów i minimalizowania innych uciążliwości.

**Tabela 7.** Komunalne odpady organiczne i ich zagospodarowanie w krajach UE (1997 rok) [6]
**Table 7.** Municipal organic waste and its manegement in UE countries (1997 year) [6]

| Kraj | Odzyskana ilość frakcji organicznej z odpadów komunalnych [tys. ton] | Ilość wyprodukowanego kompostu [tys. ton] |
|---|---|---|
| Holandia | 1800 | 650 |
| Dania | 500 | 250 |
| Austria | 1100 | 500 |
| Niemcy | 4000 | 2000 |
| Belgia | 320 | 160 |
| Szwecja | 250 | 100 |
| Luxemburg | 7 | 3 |
| Finlandia | 70 | 30 |
| Wielka Brytania | 317 | 159 |
| Francja | 400 | 150 |
| Włochy | 200 | 100 |
| Portugalia | 0 | 0 |
| Hiszpania | 0 | 0 |
| Grecja | 0 | 0 |
| Irlandia | 0 | 0 |
| Suma | 8964 | 4102 |

## PODSUMOWANIE

1. Odpady w Polsce stanowią znaczący problem gospodarczy i ekologiczny wynikający z dużych ich ilości i niedostatecznego wykorzystania gospodarczego.
2. Odpady przemysłowe stanowią ponad 90% ogólnej ilości wytwarzanych odpadów, a ich ilości systematycznie maleją, zaś wykorzystanie gospodarcze rośnie. Jednak w stosunku do wielu odpadów przemysłowych brak jest koncepcji zagospodarowania, a ich deponowanie na składowiskach przyczynia się do degradacji a często dewastacji środowiska.
3. Geneza odpadów organicznych związana jest z gospodarką komunalną oraz działalnością przemysłową, w tym głównie przemysłu rolno-spożywczego, co pozostaje w ścisłej korelacji z ich właściwościami.
4. Odpady organiczne, zawarta w nich substancja organiczna i składniki biogenne, stanowią olbrzymie zasoby nawozowe, które w warunkach nieodpowiedniej gospodarki (deponowanie) są przyczyną wielorakich form degradacji środowiska.
5. Kwalifikacja odpadów organicznych do nawozowego wykorzystania winna uwzględniać nie tylko prawnie określone kryteria, a także obecność zanieczyszczeń specyficznych, np. PCB, WWA.
6. Procesy kompostowania mogą być z powodzeniem wykorzystywane do optymalizacji właściwości odpadów organicznych przeznaczanych do wykorzystania na cele nawozowe.
7. Proces kompostowania i dodatek odpadów organicznych mogą być wykorzystywane do intensyfikacji biodegradacji zanieczyszczeń w innych materiałach np. w glebie.

## PIŚMIENNICTWO

1. **Al-Daher R., Al-Awadhi N., El-Nawawy A.:** Bioremediation of damaged desert environment using windrow soil pile system in Kuwait. Environ. Intern., 24, 175-180, 1998.
2. **Baran S., Oleszczuk P.:** Oznaczenie wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w glebach i odpadach organicznych metodą HPLC-UV. *Acta Agrophysica*, 48, 7-16, 2001.
3. **Baran S., Turski R.:** Wybrane zagadnienia z utylizacji i unieszkodliwiania odpadów. AR Lublin 1999.
4. **Büyüksönmez F., Rynk R., Hess T.F., Bechinski E.:** Occurrence, degradation and fate of pesticides during composting. Compost Sciences & Utilization, 8, 61-81, 2000.
5. **Catona J.E., Ho C.H., Williams R.T., Griest W.H.:** Characterization of insoluble fractions of TNT transformed by composting. J. Environ. Sci Healt A, 29, 659-670, 1994.

6. **Frick K., Bidlingmaier W., Muller W.:** Low cost pre-treatment of waste landfill emissions does mechanically biologically treated waste facilitate the operation of low environmental impact landfills. [in:] (Eds. Bidlingmaier W., de Bertoldi M., Diaz L., Papaddimitriou F.K.) Organic recovery and biological treatment. Berlin: Rhombos, 857-867, 1999.
7. **Isbister J.D., Anspach G.L., Kitchens J.F., Doyle R.C.:** Composting for decontamination of soils containing explosives. Microbiologica, 7, 47-73, 1984.
8. **Kaplan D.L., Kaplan A.M.:** Thermophilic biotransformations of 2,4,6-trinitrotoluene under simulated composting conditions. Appl. Environ. Microbiol., 44, 757-760, 1982.
9. **Kirchmann H., Ewnetu W.:** Biodegradation of petroleum-based oil wastes through composting. Biodegradation, 9, 151-156, 1998.
10. **Lane M.M., Jorgensen K.S.:** Effective and sage composting of chlorophenol-contaminated soil in pilot scale. Environ. Sci. Technol., 31, 371-378, 1997.
11. **Namkoong W., Hwang E.Y., Park J.S., Choi J.Y.:** Bioremediation of diesel-contaminated soil with composting. Environ. Pollut., 119, 23-31, 2002.
12. **Oleszczuk P.:** Zastosowanie surfaktantów i biosurfaktantów w usuwaniu trwałych zanieczyszczeń organicznych i ropopochodnych z gleby. Rocz. Glebozn, LIII, (1/2), 61-75, 2002.
13. Ochrona Środowiska GUS, 2001.
14. **Pennington J.C., Hayes C.A., Myers K.F., Ochman M., Gunnison D., Felt D.R., McCormick E.F.:** Fate of 2,4,6-trinitrotoluene in a simulated compost system. Chemosphere, 30, 1604-1608, 1995.
15. **Slater R.A., Frederickson J.:** Composting municipal waste in the UK: some lessons from Europe. Resour. Conserv. Recycl., 32, 359-374, 2001.
16. **Williams R.T., Ziegenfuss P.S., Sisk W.E.:** Composting of explosives and propellant contaminated soils under thermophilic and mesophilic conditions. J. Industr. Microbiol., 9, 137-144, 1992.

## ORGANIC WASTES IN POLAND – SUPPLY AND MANAGEMENT

*S. Baran, P. Oleszczuk, G. Żukowska*

Institute of Soil Science and Environmental Management, Agricultural University
Leszczyńskiego 7, 20-069 Lublin, Poland, patol@consus.ar.lublin.pl

Summary. In this paper sources, supply and management of organic wastes in Poland has been analyzed. Domination of waste deposition on dumping grounds has been noticed, what in relation to their chemical composition states a threat to the natural environment. Rational way of managing organic wastes is to use them as fertilizers. Level of specific waste contamination and forming of their properties in composting process should be taken into consideration.

Keywords: organic wastes, waste management, waste generation, composting.