

Jan SIUTA

Instytut Ochrony Środowiska Warszawa

ODPADY DO KOMPOSTOWANIA I UŻYTECZNOŚĆ KOMPOSTU

WPROWADZENIE

W warunkach naturalnych cała masa roślinna gromadzi się w miejscu jej powstawania, stanowiąc pożywienie dla zwierząt i mikroorganizmów, a następnie glebotwórczy zasób próchnicy i pożywienie dla roślin w kolejnych cyklach wegetacji.

Rolnictwo zniekształciło naturalne krążenie składników, warunkujące zrównoważone funkcjonowanie i prawidłowy rozwój ekosystemów. Zniekształcenie to nasila się w miarę postępu specjalizacji, technizacji i chemizacji produkcji roślinnej i zwierzęcej z jednej strony oraz przetwórstwa rolno-spożywczego z drugiej.

Tradycyjne gospodarstwa rolne prowadzące równorzędnie produkcję roślinną i zwierzęcą tylko niewielką część masy roślinnej wyprowadzają poza areal własnych gruntów. W postaci obornika (ostatnio także gnojowicy) wraca ona do ziemi aby pełnić swe próchniczotwórcze i pokarmowe funkcje.

Koncentracja i mechanizacja oraz specjalizacja produkcji roślinnej i zwierzęcej, koncentracja przetwórstwa płodów rolnych, postępujący rozwój aglomeracji miejskich, wzrastające wymogi sanitarne sprawiają, że coraz więcej biomasy przemieszcza się z ekosystemów rolnych do zurbanizowanych, gdzie gromadzą się w postaci odpadów użytkowych. Także w specjalistycznych gospodarstwach rolnych powstaje coraz więcej odpadów poprodukcyjnych. Próchniczotwórcze i pokarmowe zasoby nie wracają do gleby, lecz stają się odpadami degradującymi środowisko we wszystkich jego elementach. Większość odpadów biologicznych wraca z miast i zakładów przemysłowych na tereny wiejskie w postaci niechcianych wysypisk i zanieczyszczenia wód powierzchniowych. Nie można przywrócić naturalnego krążenia składników w środowisku na terenach rolnych, miejskich i przemysłowych. Można jednak gospodarować poprodukcyjnymi i użytkowymi odpadami biologicznego pochodzenia w sposób przywracający glebie życiodajne zasoby.

Kompostowanie nie spożytkowanych mas roślinnych (stanowiących różnego rodzaju odpady) jest najlepszym sposobem uczynienia z nich surowca do produkcji koncentratu próchnicy – niezbędnej do zachowania lub przywracania żyzności gleby.

Proces kompostowania masy roślinnej jest podobny do próchniczotwórczej przemiany w środowisku glebowym. W obu przypadkach mamy do czynienia z tlenową mineralizacją i humifikacją materii organicznej. Różnica zasadnicza polega na bardzo dużej koncentracji biomasy w procesie kompostowania oraz małej jej zawartości w glebie.

Intensywny biochemiczny rozkład masy kompostowanej w warunkach tlenowych wyzwała bardzo dużo ciepła. W odpowiednich warunkach, temperatura kompostowanej masy osiąga 70 – 75°C.

Tlenowy rozkład masy roślinnej w glebie nie ma znaczącego wpływu na jej temperaturę.

Małe skupiska masy roślinnej kompostowanej na powierzchni ziemi lub w pojemnikach podwyższają swą temperaturę względem otoczenia, ale nie w stopniu warunkującym intensywny proces mineralizacji i humifikacji. Tradycyjne kompostowanie biomasy w gospodarstwach ogrodniczych stanowi ogniwo pośrednie pomiędzy jej glebową humifikacją z jednej strony i przemysłowymi technologiami z drugiej.

Godzi się podkreślić, że mezofilna faza mineralizacji i humifikacji biomasy w przyzmacz stanowi bardzo ważne ogniwo przemysłowych technologii kompostowania. Przemysłowe i tradycyjne technologie kompostowania, podobnie jak glebowe procesy mineralizacji i humifikacji polegają na biochemicznych przemianach masy roślinnej w odpowiednich warunkach tlenowych, wodnych i termicznych. Różne jest tylko tempo procesu mineralizacji i humifikacji biomasy.

Produktami humifikacji biomasy są:

- ✓ próchnica i próchniczotwórcze składniki,
- ✓ składniki pokarmowe roślin,
- ✓ mikroflora i fauna glebowa,
- ✓ różnego rodzaju związki biologicznie czynne,
- ✓ gazy wydzielane do atmosfery.

Zależnie od stopnia dojrzałości kompostu zawiera on przewagę próchnicy nad próchniczotwórczymi składnikami i odwrotnie.

W kompoście młodym (mało dojrzałym) dominują składniki próchniczotwórcze, które dopiero po wprowadzeniu do gleby są przekształcane w próchnicę. Skład chemiczny organicznej części kompostu dojrzałego jest bliski substancji organicznej w glebach uprawnych.

ZASOBY SUROWCÓW DO KOMPOSTOWANIA

Próchniczotwórcza masa roślinna stanowi główny zasób surowca do produkcji kompostu, stosowanego do zachowania i ulepszenia ekologicznych właściwości gleby.

Wszystkie poprodukcyjne i poużytkowe zasoby biomasy zawierające znaczne ilości składników pokarmowych (dla roślin) są cennymi surowcami do produkcji kompostu.

Wyróżnia się następujące źródła mas biologicznych do kompostowania:

- ✓ gospodarstwa rolne (w tym ogrodnicze),
- ✓ zieleń miejska, rekreacyjna, przemysłowa,
- ✓ nieprodukcyjna roślinność o ekologicznych funkcjach na terenach otwartych (zadrzewienia, zakrzewienia, zarośla naturalne),
- ✓ przetwórstwo rolno-spożywcze,
- ✓ przetwórstwo drewna,
- ✓ przetwórstwo włókien naturalnych,
- ✓ zdyskwalifikowane surowce i produkty biologicznego pochodzenia,
- ✓ odpady biologiczne gromadzone selektywnie w miastach,
- ✓ osady z biologicznego oczyszczania ścieków.

Wiejskie zasoby masy roślinnej do kompostowania. Największe zasoby stanowią niespożytkowane części roślin uprawianych na dużą skalę. Zalicza się do nich głównie:

- ✓ słomę i plewy żyta, pszenicy, jęczmienia, owsa,
- ✓ słomę i łuszczyzny rzepaku oraz pozostałych roślin krzyżowych oleistych,
- ✓ słomę kukurydzy nasiennej,
- ✓ liście buraków, kapusty, marchwi,
- ✓ łęty ziemniaczane.

W gospodarstwach warzywnych dominują liście różnych gatunków roślin z łętami pomidorowymi włącznie.

W gospodarstwach sadowniczych główny zasób stanowią liście i gałęzie z pielęgnacji drzew i krzewów oraz całe drzewa i krzewy usuwane w czasie użytkowania i likwidowania plantacji. Spady owocowe to także znaczne zasoby odpadów sadowniczych.

We wszystkich rodzajach gospodarstw rolnych powstają odpady z odchwaszczania plantacji.

W gospodarstwach rolnych prowadzących chów zwierząt słoma zbóż może być w pełni wykorzystywana jako ściółka, a następnie w postaci obornika jako nawóz. Zdarza się jednak często, że nadmiar obornika staje się odpadem. Wtedy jest on potencjalnym zasobem do kompostowania.

Obornik może być zresztą celowo kompostowany na potrzeby własnego gospodarstwa, zwłaszcza produkującego warzywa lub rośliny ozdobne.

Zasadne jest kompostowanie wszystkich nie spożytkowanych części roślin i użytkowanie kompostu w obrębie własnego gospodarstwa. Realia czynią, że słoma oraz inne poprodukcyjne masy roślin lub ich stogi i zwalę zalegają latami w polu oraz na wysypiskach. Oszacowanie nie spożytkowanych mas roślinnych jest trudne, ponieważ zależą one od wielu czynników lokalnych. Można jednak przyjąć, że około 15% wegetacyjnej masy roślin uprawnych stanowi odpady rolnicze, które mogą być przerabiane na kompost. W niektórych obszarach udział ich wynosi co najmniej 30%.

Jeżeli jeden hektar ziemi uprawnej daje średnio w kraju około 4 tony niejadalnej i niepaszowej suchej masy roślin, a jej wykorzystanie w gospodarstwach rolnych wynosi 85%, to do kompostowania jest w kraju około 82 mln ton suchej masy rocznie.

Miejskie zasoby masy roślinnej do kompostowania. Masa roślinna z terenów zieleni miejskiej, rekreacyjnej i przemysłowej jest przeważnie usuwana na składowiska jako odpad bardzo uciążliwy dla środowiska. Jest to przejaw daleko idącej niegospodarności, ponieważ może być spożytkowana w całości na cele ekologiczno-gospodarcze, energetyczne, do wyrobu różnorodnych produktów.

Zielen miejska i osiedlowa zajmuje około 65 000 ha na terenie całego kraju. Przyjmując 5 ton rocznej produkcji masy roślinnej z ha otrzymujemy około 325 000 ton suchego surowca o zawartości $0,5 \div 2,0$ % azotu.

W strukturze miast i osiedli mieszkaniowych znajdują się inne biologicznie czynne powierzchnie ziemi nie zaliczane do terenów zieleni miejskiej. Ich produktywność masy roślinnej jest przeważnie bardzo duża, zwłaszcza na plantacjach warzyw w ogrodach przydomowych i działkowych.

Tereny zieleni przemysłowej i komunikacyjnej wraz ze strefami ochronnymi i pasami izolacyjnymi, podobnie jak zieleni miejskiej, produkują bardzo dużo masy roślinnej, która jest usuwana na wysypiska, a nierzadko palona. Bardzo duże kombinaty

przemysłowe wraz z obszarami chemicznego zanieczyszczenia środowiska zajmują do 1000 i więcej ha gruntów pokrytych szatą roślinną, w której plony lub wegetatywne części roślin nie kwalifikują się na paszę. Teren Zakładów Azotowych w Puławach wraz ze strefą wymarłego lasu wymaga intensywnej uprawy roślin trawiastych, pełniących funkcje biologicznej oczyszczalni atmosfery i gleby oraz przeciwozyjnego utrwalenia piasków wydmowych. Produkowana masa traw jest przerabiana na kompost o bardzo dużych walorach ekonomicznych i handlowych. Mamy tu więc doskonały model kojarzenia ekologicznych i produkcyjnych funkcji szaty roślinnej w warunkach silnie zdegradowanego środowiska.

Miasta generują też bytowo-gospodarcze odpady organiczne pochodzenia biologicznego, które mogą być dobrym surowcem do produkcji kompostu. Usuwa się je jednak razem ze wszystkimi poużytkowymi odpadami gospodarstw domowych, gastronomii, handlu, zakładów usługowych, biur. Kompostowanie odpadów zbiorowych zwanych komunalnymi nie daje nawozu użytecznego w produkcji roślin jadalnych i paszowych. Według GUS w 1998 roku wywieziono 12,27 mln ton odpadów komunalnych. Zawierają one średnio około 35÷50 % części organicznych pochodzenia biologicznego. Odpady organiczne łatwe do selektywnego gromadzenia i kompostowania stanowią około 50 % wszystkich odpadów biologicznego pochodzenia, czyli 15÷25 % masy odpadów komunalnych zbiorczych. Stanowi to 2,4 mln ton o zawartości około 25 % suchej masy. Daje to 600 000 ton suchej masy odpadów zawierających 1,5÷2,5 % azotu.

Przemysłowe zasoby masy roślinnej do kompostowania. Przemysły: rolno-spożywczy, paszowy, drzewny, celulozowo-papierniczy, włókienniczy, zielarski i tytoniowy wytwarzają bardzo duże ilości odpadów, które ze względu na znaczne rozdrobnienie masy roślinnej stanowią doskonały surowiec do produkcji kompostu. Większość tych odpadów jest utylizowana jako surowce wtórne i pasze. Znaczna ich część jest usuwana na składowiska odpadów lub nieprawidłowo wprowadzana do ziemi. Najcenniejszymi surowcami kompostowymi są:

- ✓ trociny, kora i wiór drzewne,
- ✓ odpady z przetwórstwa warzyw,
- ✓ odpady z przemysłu włókienniczego,
- ✓ odpady z przemysłu zielarskiego,
- ✓ masa łapana z przemysłu celulozowo-papierniczego.

Do przemysłowych zasobów kompostowego surowca zalicza się również zdyskwalifikowaną żywność i paszę na etapach produkcji, przechowania i dystrybucji. Dotyczy to wszystkich produktów roślinnych pochodzenia krajowego i zagranicznego. Oszacowanie mas odpadów roślinnych możliwych do pozyskania z zakładów przemysłowych jest trudne ze względu na stale postępujące ich wykorzystanie. Wiadomo jednak, że są to bardzo duże zasoby lokalne, które mogą być wykorzystane do produkcji kompostu, wspólnie z innymi odpadami organicznymi pochodzenia biologicznego. Tylko nowoczesne, duże zakłady przemysłowe mogą we własnym zakresie utylizować (w tym przerabiać) odpady roślinne.

Osady z biologicznego oczyszczania ścieków do kompostowania. Głównymi źródłami osadów są oczyszczalnie ścieków miejskich. Ich liczba i przepustowość wykazuje bardzo dużą dynamikę wzrostu. Zwiększa się też efektywność oczyszczania ścieków, a tym samym rośnie masa wytwarzanych osadów.

Liczne zakłady przemysłu rolno-spożywczego, chemicznego i drzewnego (głównie celulozowo- papierniczego) mają biologiczne oczyszczalnie ścieków. Chemiczne i biologiczne właściwości ścieków z tych oczyszczalni są zbliżone do osadów z miejskich oczyszczalni ścieków. Do nawożenia gleb i roślin najkorzystniejsze są osady ze ścieków przemysłu rolno-spożywczego.

Od kilku lat dynamicznie postępuje budowa oczyszczalni ścieków w małych miastach i ośrodkach wiejskich. Nawozowe walory osadów z tych oczyszczalni są znacznie większe niż ze ścieków dużych miast.

Dostępne dane pozwalają na oszacowanie i prognozowanie osadów powstających w miejskich oczyszczalniach. Według Bernackiej i Pawłowskiej w 1992 roku wytworzono około 13 mln m³ osadów płynnych o zawartości 2% s.m. W przeliczeniu na suchą masę stanowi to 260 000 ton. Szacowana na 2000 rok sucha masa osadów z oczyszczalni miejskich wynosi około 400 000 ton.

Przeciętna zawartość azotu w s.m. osadu wynosi około 3%, co stanowi 7800 t N, w 1992 r. i 12 000 t N w 2000 r.

Powyższe dane nie ujmują bardzo dużych mas osadów z przemysłowych i wiejskich oczyszczalni ścieków.

Osady ściekowe mogą być używane przyrodniczo bez konieczności odwadniania i kompostowania, ale zawarte w nich chorobotwórcze organizmy i technika aplikacji ograniczają poważnie zakres tej możliwości. Kompostowanie osadów z odpadami roślinnymi niszczy chorobotwórcze organizmy i daje ziemisty nawóz organiczny łatwy do stosowania dla każdej techniki.

Użyteczność kompostu może być jednak ograniczona przez zawartość metali ciężkich. Z tego względu zawartość metali ciężkich w osadach ściekowych stanowi istotne kryterium oceny przydatności ich do produkcji kompostu. Zawartość metali ciężkich w osadach przeznaczonych do kompostowania nie może przekroczyć dopuszczalnych poziomów ich zawartości w osadach przeznaczonych do użytkowania rolniczego.

Geologiczne zasoby surowców do kompostowania. Zalicza się do nich: torfy, muły organiczne i mineralno-organiczne, węgle brunatne. Wyróżnia się torfy niskie, wysokie i przejściowe o różnym udziale części mineralnych i stopniu rozkładu masy roślinnej.

Torfy niskie silnie zmurszałe są swego rodzaju kompostem torfowym. Wszystkie rodzaje torfów są bardzo dobrym komponentem surowca kompostowego, zwłaszcza gdy inne komponenty obfitują w części łatwo rozkładalne, dobrze rozpuszczalne, odorowe. Wynika to z dużej chłonności torfu.

Zasoby torfu w Polsce są jeszcze bardzo duże, ale do kompostowania mogą być stosowane te zasoby, które muszą być usuwane z miejsc ich zalegania, względnie stanowią odpady pokopalniane i poużytkowe.

Muły organiczne i mineralno-organiczne są doskonałym surowcem do produkcji kompostu, ale podobnie jak zasoby torfu nie powinny być pozyskiwane na ten cel bez konieczności usuwania ich z miejsca naturalnego zalegania.

Pył węgla brunatnego nadaje się do produkcji kompostu z udziałem odpadów zasobnych w łatwo rozkładalne części organiczne i rozpuszczalne składniki nawozowe. Węgiel brunatny może być pozyskiwany na kompost tylko w rejonach jego wydobywania i energetycznego spalania.

Uzupełniające surowce do kompostowania. Wiele rodzajów odpadów organicznych, nie wymienionych wyżej, oraz mineralnych, zawierających składniki nawozowe może być wykorzystane do produkcji kompostu lub korygowania jego składu chemicznego. Zalicza się do nich między innymi:

- ✓ stałe pozostałości w beztlenowej fermentacji masy roślinnej i gnojowicy,
- ✓ użytkowe podłoża z pieczarkarni,
- ✓ użytkowe borowiny,
- ✓ użytkowe płyty wiórowe i trocinowe,
- ✓ fusy z produkcji kawy rozpuszczalnej,
- ✓ odchody zwierząt z ogrodów zoologicznych i osiedli miejskich,
- ✓ treść pokarmowa zwierząt rzeźnych,
- ✓ wywary z utylizacji odpadów poubojowych,
- ✓ rozdrobnione i łatwo rozkładalne kości, szczerzina, pierze itp.
- ✓ zdyskwalifikowane mączki paszowe,
- ✓ wysoko kaloryczne odpady przemysłu rolno-spożywczego (obfitujące w węglowodany lub tłuszcze), stosowane w celu uzyskiwania wysokich temperatur kompostowanej masy,
- ✓ odpady stałe i płynne obfitujące w związki azotu i fosforu.

ZAWARTOŚĆ CZĘŚCI ORGANICZNYCH, WĘGLA I AZOTU

Słoma zbóż. Zawartość składników w słomie zbóż jest dość stabilna. Głównymi jej składnikami są węgiel, tlen, wodór, azot, fosfor, potas, wapń i magnez. Próchnicotwórczymi i nawozowymi składnikami są głównie związki węgla, azotu, fosforu i potasu.

Węgiel stanowi około 45 % suchej masy słomy; azot 0,40÷0,70 %; P_2O_5 0,2÷0,35 %; K_2O 1,0÷2,0 %.

Według Chojnackiego i Boguszewskiego (1971) słomy zbóż zawierają średnio:

	N [%]	P_2O_5 [%]	K_2O [%]
żytnia	0,46 (0,53)*	0,25 (0,19)*	1,12 (1,25)*
pszenna	0,56 (0,68)	0,22 (0,24)	1,12 (1,42)
jęczmienna	0,65 (0,65)	0,24 (0,27)	1,68 (2,05)
owsiana	0,56 (0,78)	0,34 (0,34)	2,07 (2,75)

(0,53)* według Kamińskiej, Kardasza, Strahla, Szymańskiej 1976

Procentowy udział głównych składników mineralnych w wegetatywnych częściach roślin dojrzałych przedstawia tabela 1.

Zawartość azotu w słomie stanowi o ilościowym stosunku C:N, który jest wskaźnikiem jakości surowca kompostowego. Zależy ona nie tylko od gatunku i odmiany rośliny, lecz także od żyzności gleby oraz intensywności nawożenia azotowego. C:N w słomach wynosi najczęściej 80÷100 (Czuba 1996).

Rzeczniczka ma zbliżoną zawartość azotu, fosforu i potasu do słomy zbóż z gleb żyznych.

Łęty ziemniaczane są znacznie zasobniejsze od słomy zbóż w azot, potas, wapń i magnez. Łęty zawierające znaczną część liści mogą mieć do około 2,5 % N oraz ponad 4 % K_2O . Wtedy wskaźnik C:N wynosi 20÷30.

Słoma kukurydzy zawiera przeciętnie 1,0÷1,2 % N, P_2O_5 – 0,6 % i K_2O 1 %. Wskaźnik C:N w słomie kukurydzy dojrzałej wynosi 35÷45. Jest więc znacznie korzystniejszy niż w słomie czterech zbóż.

Liście buraczane w fazie dojrzałości technicznej (zbieranie plonów) zawierają przeważnie 1,5÷2,0 % N, 0,35÷0,45 P_2O_5 i 2,5 ÷ 3,0 % K_2O w s.m. Wskaźnik C:N wynosi przeważnie 25÷30. Liście buraka cukrowego są znacznie zasobniejsze w azot od pozostałych, toteż ich wskaźnik C:N może wynosić 20÷25.

Rośliny motylkowe uprawiane są na nawóz zielony, obfitują w azot, toteż ich C:N wynosi przeważnie 18÷20 wg Batalina (za Czubą i Siutą 1976).

Trawy odznaczają się bardzo dużymi wahaniami zawartości azotu i potasu, zależnie od gatunku, jakości gleby, nawożenia i fazy wzrostu (rozwoju). Godkiewicz (1974) w trawach łąkowych stwierdził 1,1÷3,1 % azotu (średnio 1,9 %) w przedziale 1,2÷2,4 % N znalazło się 86,8 % analizowanych próbek traw łąkowych. Trawy zbierane na siano zawierają dużo więcej azotu, fosforu i potasu niż słoma traw zbieranych w stanie dojrzałości nasiennej. Masy roślinne usuwane z trawników pielęgnowanych są na ogół zasobniejsze w azot i pozostałe składniki od siana paszowego. Trawniki koszone jeden lub dwa razy w sezonie wegetacyjnym dają masę roślinną o składzie chemicznym zbliżonym do siana paszowego.

Do kompostowania można pozyskiwać:

- ✓ masę roślinną z trawników dobrze pielęgnowanych o zawartości 2÷3 % N,
- ✓ masę roślinną z trawników koszonych 1÷2 razy oraz zdyskwalifikowane siano o zawartości 1,2÷2,0 % N,
- ✓ słomę z nasiennej produkcji traw o zawartości 0,8÷1,2 % N.

W poroście trawników zieleni nie pielęgnowanej, podobnie jak w runi łąkowej, duży udział mają rośliny dwuliścienne (ziola), które zawierają zwykle więcej azotu niż trawy. Masa roślinna usuwana z trawników Warszawy zawierała 1,4÷1,8 % N i 1,4÷1,8 % K_2O . Wskaźnik C:N w masie roślinnej z trawników wynosił przeważnie 25÷30.

Wiele gatunków traw zebranych z różnych składowisk odpadów zawierało 0,76÷4,1 % N (Porębska, Ostrowska 1999). Podobne zawartości azotu stwierdzono w trawach łąk i pastwisk uprawianych na gruntach ornych.

Rośliny dwuliścienne siedlisk ruderalnych i chwasty w fazie intensywnej wegetacji obfitują w azot i pozostałe składniki pokarmowe. Zależnie od gatunku i fazy rozwoju oraz żyzności podłoża rośliny te zawierają 1,5÷5,0 (przeważnie 2,0÷4,0) % N. Przy zawartości węgla organicznego około 45%, wskaźnik C:N wynosi 15÷20 w roślinach młodych i 25÷40 w roślinach starszych. Niektóre gatunki roślin zawierają bardzo dużo potasu, zwłaszcza na podłożach obfitujących w ten składnik.

Liście warzyw kapustnych (krzyżowych) stanowiące odpady ze zbioru, obrotu i przetwórstwa plonów zawierają przeważnie około 3 (2÷4) N i 40÷45 % C. Wskaźnik C:N wynosi więc 15÷25 (średnio 20).

Liście warzyw korzeniowych (buraki, marchew, pietruszka) zbierane w okresie wegetacyjnym zawierają więcej azotu i pozostałych składników niż zbierane w stanie

dojrzałości technicznej. Przeciętna zawartość azotu w okresie wegetacyjnym wynosi około 3 %, a w stanie dojrzałości technicznej około 2 %.

Obornik. Wyróżnia się obornik bydłowy, trzody chlewnej, stajenny (koński), pomiot ptasi, owczy. Pod pojęciem obornika rozumie się głównie odchody bydłowe i trzody chlewnej wraz ze ściółką słomy roślin zbożowych. Obornik może być świeży (słomiasty) i w różnym stopniu rozłożony (przefermentowany), co decyduje w znacznym stopniu o jego składzie chemicznym, zwłaszcza o stosunku węgla do azotu (C:N).

Obornik zawiera przeciętnie 25 % suchej masy i 75 % wody. Zawartość azotu, fosforu i potasu wykazuje bardzo duże wahania. Przyjmuje się, że przeciętne zawartości w oborniku o 25 % suchej masie wynoszą (Maćkowiak 1986):

- ✓ 0,5 (0,04÷2,99) % N; w suchej masie średnio około 2,0 % N,
- ✓ 0,3 (0,03÷1,88) % P₂O₅; w suchej masie średnio około 1,2 % P₂O₅,
- ✓ 0,7 (0,06÷3,42) % K₂O; w suchej masie średnio około 2,8 % K₂O.

Wskaźnik C:N w oborniku świeżym wynosi 25÷30 lub więcej, a w oborniku przefermentowanym 15÷20.

Pomiot ptasi, zwłaszcza kury, jest znacznie zasobniejszy w azot i fosfor. Według Maćkowiaka (1986) pomiot kury o 56 % zawartości wody wykazał 1,6 % N; 1,5 % P₂O₅; 0,8 % K₂O; 2,4 % CaO i 0,7 % MgO. Pomiot gęsi i kaczki (o 70:77 % zawartości wody) zawierał 0,5÷1,0 % N; 0,5÷1,4 % P₂O₅; 0,6÷0,9 % K₂O; 0,8÷1,6 % CaO i 0,2÷0,3 % MgO.

Mazur i Wojtas (1983) określili zawartości węgla i azotu w pomiole kurzym, kaczym, gęsim i indyckim. Wyliczone na tej podstawie stosunki C:N wynoszą odpowiednio 9,0 – 15,3 – 13,7 – 10,0.

Drewno większości gatunków roślin zawiera 47÷50 % węgla i poniżej 0,1 % azotu. Wskaźnik C:N wynosi więc około 500.

Wróblewska (1998) w trocinach sosny stwierdziła 50,5 % C i 0,16 % N (C:N = 308).

Według Prosińskiego (1984) drewno 30 letniej gruszy zawierało 47,4 ÷ 49,9 % C.

Badane przez Wróblewską (1998) płyty wiórowe sklejone żywicą mocznikowo-formaldehydową, zawierały 39,2 % C i 3,42 % N (C:N=11).

Kora drzewna zawiera zbliżone do drewna ilości węgla i azotu. W korze trzydziestoletniej gruszy stwierdzono 46,3÷52,5 % C (Prosiński 1984)

Liście gruszy zawierały 45 % C.

Masa łapana z przemysłu celulozowo-papierniczego stanowi około 1 mln ton rocznie na składowiskach zalega jej ponad 3 mln ton. Wskaźnik C:N w masie łapanej jest podobny jak w drewnie.

Odpady tytoniowe (Piecuch i in. 1997) zawierają: 35,4 ÷ 37,1 % C i 1,9 ÷ 2,2 % N. Wskaźnik C:N wynosi 15,5÷18,9.

Torfy i namuły organiczne (mułowe właściwe) zależnie od gatunku i stopnia rozkładu (mineralizacji) zawierają do 99 % części organicznych i do 5 % azotu (Gleboznawstwo 1981):

- ✓ torfy niskie 66÷93 % części organicznych i 1,6÷3,7 % N
- ✓ torfy wysokie 92÷99 % części organicznych i 0,4÷0,9 % N
- ✓ torfy niskie zmurszałe (gleby torfowo-murszowe) 55÷64 % części organicznych i 3,1÷4,5 % N (C:N=13÷20)

- ✓ gytie zmurszałe 60÷70 % części organicznych i 4,5÷5,0 % N (C:N około 7)
- ✓ utwory mułowe właściwe 43÷85 % części organicznych i 1,6÷3,7 % N.

Stosunek C:N w kilku warstwach gleby torfowo-murszowej wynosi 12,9÷19,8 (Album 1986)

Węgle brunatne zawierają od kilkudziesięciu do ponad 90 % części organicznych (zwanymi węglem) i od około 6 do ponad 50 % części mineralnych (popielnych) (Ney i in. 1982). Podobnie jak drewno węgiel brunatny zawiera znikome ilości azotu.

ZAWARTOŚĆ METALI CIĘŻKICH W SUROWCACH DO KOMPOSTOWANIA

Głównym celem przerobu masy roślinnej jest produkcja kompostu o dużej wartości nawozowej i glebotwórczej. O tym decyduje przede wszystkim duży udział próchnicotwórczej substancji organicznej i składników pokarmowych dla roślin. O wartości użytkowej kompostu stanowi także zawartość w nim metali ciężkich, których nadmiar może zanieczyszczać glebę i jej płody. Kompostom dopuszczonym do powszechnego użytkowania w uprawie roślin jadalnych i paszowych stawia się bardzo duże wymagania. Według Mayera (RFN) mogą one zawierać w kilogramie suchej masy tylko do:

- 1,5 mg kadmu (Cd),
- 100 mg miedzi (Cu),
- 400 mg cynku (Zn),
- 100 mg chromu (Cr),
- 150 mg ołowiu (Pb),
- 50 mg niklu (Ni).

Takie same wymagania należy postawić producentom kompostu w Polsce.

W procesie kompostowania znaczna część masy roślinnej ulega mineralizacji. Powoduje to wzrost koncentracji składników mineralnych, w tym metali ciężkich. Zależnie od podatności masy organicznej na mineralizację i stan dojrzałości kompostu ubytek suchej masy wyniesie 25÷50 %. Jeżeli ubytek masy organicznej w procesie kompostowania wyniesie 50 %, to w stanie wyjściowym nie powinna zawierać więcej niż 0,75 mg Cd, 50 mg Cu, 200 mg Zn, 50 mg Cr i 25 mg Ni w kg suchej masy. Według powyższego kryterium należy oceniać przydatność surowca roślinnego do produkcji wysokiej jakości kompostu. Nie wszystkie składowe części masy kompostowanej muszą spełniać powyższe wskaźniki, jeżeli inne jej komponenty zawierają dużo mniejsze ilości metali ciężkich. W obrębie wielogatunkowej masy roślinnej zebranej z jednej powierzchni mogą występować skupiska o nadmiernych ilościach metali ciężkich, a przeciętna ich zawartość nie przekroczy dopuszczalnego poziomu.

Niektóre gatunki roślin, zwłaszcza dwuliściennych, pobierają wielokrotnie więcej metali ciężkich od innych. Ponadto w młodocianym stadium życia wszystkie gatunki roślin zawierają więcej metali ciężkich niż w stanie dojrzałym.

Rośliny ze środowisk wodnych o naturalnych koncentracjach metali ciężkich zawierają znikome ilości tych składników. Mogą one być, więc kompostowane bez obawy o jakość produktu. W miejscach o nadmiernych koncentracjach metali ciężkich w glebie (względnie innym podłożu) lub w powietrzu masa roślinna zawiera ich wielokrotnie

więcej od zawartości przeciętnych. Na obszarach dużego zapylenia powietrza przeważa zewnętrzne (powierzchniowe zanieczyszczenie roślin) nad wewnętrznym (fizjologicznym). Dla jakości kompostu mają jednakowe znaczenie oba rodzaje zanieczyszczenia masy roślinnej. Spośród metali ciężkich tylko kadm i cynk są kumulowane przez rośliny w ilościach przekraczających 50 % dopuszczalnej ich zawartości w kompostach kwalifikowanych do powszechnego stosowania. Ilustrują to zawartości metali ciężkich w:

- roślinach z podłoża osadowych w komunalnych oczyszczalniach ścieków (tabela 2),
- roślinach ze składowisk odpadów i gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi (tabela 2),
- roślinach z podłoża osadowych w oczyszczalni ścieków Hajdów (tabela 3),
- roślinach z podłoża kompostowego w Radiowie (tabela 3),
- roślinach uprawianych na terenach miejskich i przemysłowych o dużym zanieczyszczeniu,
- roślinach doświadczenia rekultywacyjnego z zastosowaniem osadu ściekowego i kompostu z Radiowa (tabela 5),
- w masach roślinnych z pielęgnacji zieleni miejskiej w Warszawie,
- masie roślinnej selektywnie gromadzonej z odpadów gospodarstw domowych Warszawy (tabela 3),
- w odpadach tytoniowych przeznaczonych do kompostowania (tabela 3).

Rośliny (głównie dwuliścienne) z osadowych podłoża zawierały ponad:

- 200 mg Zn/kg s.m. w 43 na 80 próbek analizowanych,
- 1 mg Cd/kg s.m. w 34 na 74 próbek analizowanych (tabela 2).

W roślinach ze składowisk odpadów i gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi stwierdzono ponad:

- 200 mg Zn/kg s.m. - 2 przypadki na 73 próbek analizowanych,
- 1 mg Cd/kg s.m. - 17 przypadków na 78 próbek analizowanych.

Zawartość metali ciężkich w kilku gatunków roślin z podłoża obfitujących w te składniki przedstawia tabela 3.

Salata kompasowa wyróżnia się największą kumulacją cynku. Z podłoża kompostowego zawierała 926÷1030 mg Zn/kg s.m. a z osadowego 392÷738 mg.

Największą kumulację kadmu stwierdzono u bylicy pospolitej (do 36,4 mg w kg s.m.), w sałacie kompasowej (do 20,6 mg) i komosie białej (8,6 mg) z podłoża osadowego w Hajdowie. Trawy z tego podłoża zawierały 0,50÷4,86 mg Cd/kg s.m. (tabela 4).

Zielone części warzyw z rejonu Krakowa zawierały 32÷382 mg Zn i 0,26÷2,45 mg Cd/kg s.m. (tabela 4). W liściach buraka pastewnego stwierdzono natomiast 88÷722 mg Zn i 0,78÷3,15 mg Cd/kg s.m.

W strefie ochronnej Huty Głogów rośliny zawierały:

- 0,10÷0,40 mg Cd,
- 13,6÷47,3 mg Cu,
- 27,0÷68,0 mg Zn,
- 4,0÷17,0 mg Pb,

- 0,5÷1,0 mg Ni,
- 1,0÷50 mg Cr/kg s.m.

Stanowią, więc doskonały surowiec do produkcji kompostu na potrzeby użytkowników spoza obszaru strefy oddziaływania Huty na środowisko.

Rośliny z doświadczenia rekultywacyjnego, w którym zastosowano osad ściekowy i kompost z Radiowa zawierały 34÷183 mg Zn i 0,05÷0,47 mg Cd/kg s.m. (tabela 5). W wariantach z 15 i 30 cm warstwą kompostu nałożonych na podłoże wapna poflotacyjnego, rośliny zawierały 183÷307 mg Zn i 0,18÷0,48 mg Cd/kg s.m. Rośliny z analogicznych wariantów podłoża osadowego zawierały 117÷193 mg Zn i 0,25÷0,39 mg Cd/kg s.m.

Wynika z powyższego, że intensywne użyczenie osadem ściekowym i kompostem z Radiowa nie dyskwalifikuje płonów trawy jako surowca do produkcji wysokiej jakości kompostu.

Masa roślinna z pielęgnowania zieleni warszawskiej zawierała 38,8÷184 mg Zn i 0,1÷1,1 mg Cd/kg s.m. Zawartości pozostałych metali ciężkich są nadmierne dla paszowego użytkowania roślin ale wielokrotnie mniejsze od przedziałów optymalnych dla kompostu.

Odpad roślinny z przemysłu tytoniowego (Piecuch i in. 1997) zawierał 1,38÷1,90 mg Cd/kg s.m., czyli nadmierne ilości dla surowca kompostowego. W mieszaninie z masą roślinną o małej zawartości kadmu odpady tytoniowe mogą być jednak kompostowane. Zawartości pozostałych metali ciężkich w odpadzie tytoniowym są również duże, ale wielokrotnie mniejsze od dopuszczalnych w kompoście (tabela 3).

Zawartości mikroelementów w wegetatywnych częściach roślin uprawnych stanowiących podstawowe zasoby surowców do produkcji kompostu i obornika przedstawia tabela 6. Spośród jej danych na uwagę zasługują zawartości cynku i miedzi. Mówią one o przedziałach naturalnych zawartości tych metali w roślinach i o zapotrzebowaniu roślin na te składniki. Wszystkie gatunki roślin wykazały duże wahania zawartości cynku i miedzi. Średnie zawartości w słomie czterech zbóż i rzepaku są zbliżone do siebie. Liście buraków zawierają ponad dwukrotnie więcej cynku i miedzi niż słoma zbóż (tabela 6).

Pozostałe mikroelementy (B, Mn, Mo, Fe) nie stanowią o jakości surowca do kompostowania, ale mogą być przydatne w ocenie zasobności kompostu w te mikroskładniki nawozowe.

UŻYTKOWANIE KOMPOSTU

Użyteczność kompostu zależy głównie od jakości surowca, technologii produkcji i stanu dojrzałości produktu.

Jakość kompostu ocenia się na podstawie zawartości substancji organicznej i składników pokarmowych dla roślin, przy dopuszczalnej zawartości metali ciężkich i chorobotwórczych organizmów.

Czynnikami pomniejszającymi lub dyskwalifikującymi wartość użytkową kompostu są:

- ✓ znaczący udział szkła, ceramiki i innych nierozkładalnych części,
- ✓ znaczna zawartość nasion roślin zachwaszczających ziemię i uprawne rośliny.

Optymalna zawartość substancji organicznej w kompoście wynosi $40 \div 50$ % suchej masy. W kompostach bardzo dojrzałych (silnie zmineralizowanych) substancja organiczna może stanowić około 30 %, a w kompostach młodych z masy roślinnej lub torfu może wynosić ponad 60 %.

Stan dojrzałości (mineralizacji biomasy) kompostu znajduje swoje odbicie w przewodzie zawartości węgla organicznego nad azotem (C : N). Wskaźnik C : N zmniejsza się z około $25 \div 20$ do $15 \div 10$ w miarę dojrzewania kompostu.

Przewaga węgla nad azotem w kompoście zależy także w bardzo dużym stopniu od wskaźnika C : N w surowcu kompostowym. Zakłada się jednak, że C : N w surowcu kompostowym będzie korygowany w przedziale $25 \div 40$. Zawartość azotu w suchej masie kompostu dojrzałego wynosi przeważnie $0,9 \div 1,3$ %.

Udziały fosforu, potasu, wapnia i magnezu w kompostach zależą od wielu czynników, toteż wykazują bardzo duże rozpiętości zawartości tych składników.

Odmienność składu mineralnego poszczególnych surowców roślinnych jest wystarczającym powodem zróżnicowanego chemizmu kompostów. Wspólne kompostowanie masy roślinnej z osadami ściekowymi oraz z innymi odpadami organicznymi jeszcze bardziej różnicuje chemizm produktu. Korekta zawartości składników mineralnych powinna uwzględniać agrochemiczne wymogi użytkowników. Wiadomo, że są one odmienne, tak jak różne są cele i sposoby użytkowania kompostów:

- ✓ nawożenie gleb i roślin,
- ✓ melioracyjne użyźnianie gleb,
- ✓ rekultywacja gruntów bezglebowych,
- ✓ produkcja podłoży do niegruntowej uprawy roślin,
- ✓ produkcja preparatów nawozowych.

Nawozowe użytkowanie kompostu polega na stosowaniu go w sposób analogiczny do obornika, czyli zamiast obornika. Głównym celem nawozowego użytkowania kompostu jest zachowanie próchniczności gleby z możliwością jej poprawy. Warunkuje ona aktywność biologiczną i agrotechniczną sprawność gleby. Dostarczanie makroskładników pokarmowych jest istotne, ale nie pierwszoplanowe. Inaczej jest wtedy, gdy nawożenie gleby sprowadza się do stosowania wyłącznie kompostu.

Dawka nawozowa kompostu nie powinna zawierać nadmiernej ilości azotu dostępnego dla roślin. Projekt „Polskiego kodeksu dobrej praktyki rolniczej” zakłada, że dawka roczna azotu na hektar nie może przekraczać 170 kg. Taką ilość azotu można wprowadzić do gleby corocznie pod warunkiem nie stosowania innych nawozów zawierających azot.

Ponieważ kompost jest nawozem organicznym, to podobnie jak obornik może być stosowany raz na 3 lub 4 lata. Wtedy mnożymy 170 kg N przez ilość lat (3 lub 4) otrzymując 510 lub 680 kg N/ha. Przy 1 % zawartości N możemy zastosować 17 t s.m. kompostu na hektar rocznie. Maksymalna dawka trzyletnia wyniesie ponad 51 ton s.m./ha. Mając na względzie około 50 % udział wody w kompoście świeżym całkowita masa wyniesie około 100 t/ha w ciągu trzech lat. Tak duże ilości kompostu trudno będzie pozyskać do nawożenia upraw polowych. Mogą one być jednak stosowane w uprawie warzyw.

Oprócz kryterium azotowego barierę stanowi zawartość metali ciężkich. Według normy zachodnioeuropejskiej kompost może zawierać do (Mayer):

- ✓ 150 mg Pb/kg s.m.,
- ✓ 1,5 mg Cd/kg s.m.,
- ✓ 100 mg Cr/kg s.m.,
- ✓ 50 mg Ni/kg s.m.,
- ✓ 1,0 mg Hg/kg s.m.,
- ✓ 400 mg Zn/kg s.m.

Nadmienia się, że wymienione progi ustalono dla kompostów zawierających 30 % substancji organicznej w suchej masie. Oznacza to, że kompost o 45 % zawartości substancji organicznej może mieć o 50 % więcej metali ciężkich od podanych wyżej. W nawozowym i melioracyjnym użytkowaniu kompostu liczy się najbardziej próchnicotwórcza substancja organiczna.

W kompostowniach roślinnych tylko zawartość kadmu przekracza niekiedy poziom dopuszczalny. 1,5 mg/s.m. (tabela 7).

Melioracyjne użyczenie gleby kompostem ma poprawić znacząco warunki życia roślin, przez zwiększenie zawartości próchnicy i składników pokarmowych oraz retencji wody.

Zależnie od jakości gleby oraz jej przeznaczenia stosuje się różne sposoby melioracyjnego użyczenia kompostem. Dopuszcza się też stosowanie różnej jakości kompostu.

Melioracyjne użyczenie gleby kompostem stosuje się najczęściej:

- ✓ na terenach zieleni miejskiej, rekreacyjnej, przemysłowej w czasie jej urządzania, konsekwencji i odnawiania,
- ✓ w ogrodach przydomowych i działkowych,
- ✓ w produkcji warzyw, krzewów i roślin ozdobnych,
- ✓ w szkółkach produkujących sadzonki drzew i krzewów różnego przeznaczenia,
- ✓ na gruntach ornych, łąkach i pastwiskach słabej jakości,
- ✓ w leśnym i nieleśnym zadrzewianiu gleb jałowych (zaprawianie dołków).

Wielkość dawki kompostu na jednostkę powierzchni należy dostosować do jej melioracyjnej funkcji. Zależy ona więc od stanu gleby, potrzeby ulepszenia, żyzności środowiska, jakości kompostu. Miernikiem melioracyjnej jakości kompostu jest zawartość w nim substancji organicznej i wskaźnik C : N.

Kompost stosowany do użyczenia gleb produkujących żywność powinien spełniać te same progi dopuszczalnych zawartości metali ciężkich, jak w użytkowaniu nawozowym. Na terenach zieleni miejskiej, rekreacyjnej, przemysłowej, w szkółkach drzew i krzewów, do sadzenia drzew i krzewów nieowocowych dopuszcza się znacznie większe zawartości metali ciężkich.

Minimalna melioracyjna dawka kompostu powinna zawierać co najmniej 25 t on suchej masy organicznej na hektar. Przy 50 % zawartości substancji organicznej stanowi to około 50 t s.m. kompostu na hektar (około 100 t świeżej masy).

Łączna dawka zastosowanego kompostu, podobnie jak osadu ściekowego, nie powinna spowodować przekroczenia dopuszczalnych zawartości metali ciężkich w wierzchniej (25 cm) warstwie gleby (tabele 8 i 9).

Rekultywacyjne użytkowanie kompostu różni się od użytkowania melioracyjnego, tym, że dotyczy gruntów bezglebowych, które trzeba przysposobić (użyźnić) do zagospodarowania roślinnego.

Rekultywacyjna dawka kompostu na jednostkę powierzchni zależy od wielu czynników. Głównie od jakości i przeznaczenia gruntu zrekultywowanego oraz od dostępności i jakości kompostu.

Minimalna dawka kompostu powinna stworzyć warunki do życia roślin na zrekultywowanym gruncie. W tym celu trzeba wprowadzić do gruntu, co najmniej 25 ton substancji organicznej. Gdy kompost zawiera jej 50 % substancji organicznej to należy zastosować go, co najmniej 50 t suchej masy na hektar (około 100 m³).

Dopuszczalne poziomy zawartości metali ciężkich w gruntach rekultywowanych i w kompostach są takie same jak przy melioracyjnym użyźnianiu gleb.

Podłoża do niegruntowej uprawy roślin mają coraz większe zastosowanie w produkcji sadzonek, warzyw, kwiatów. Kompost jest doskonałym składnikiem takich podłoży w mieszankach z mineralnymi (szkieletowymi) tworzywami (komponentami). Musi on być jednak dobrze dojrzały oraz spełniać chemiczne, biologiczne i odczynowe wymogi tych roślin, dla których przeznacza się podłoża. W uprawie roślin jadalnych zawartość metali ciężkich i chorobotwórczych organizmów powinny być kontrolowane w sposób zapewniający sanitarną i pokarmową jakość plonów.

Kompost do produkcji preparatów nawozowych jest stosowany przez różne firmy według własnych receptur. Preparaty nawozowe to wieloskładnikowe nawozy organiczno-mineralne o stałej lub płynnej konsystencji.

Zawierają one przeważnie określone (regulowane) kompleksy makro i mikroskładników oraz nieokreślone kompleksy biologicznie czynnych związków organicznych.

Do produkcji preparatów nawozowych szczególnego przeznaczenia mogą być stosowane komposty zawierające duże ilości mikroelementów (metali ciężkich) pokarmowych (np. cynk i miedź). Dotyczy to również osadów ściekowych oraz innych odpadów obfitujących w mikroelementy pokarmowe.

Płynne preparaty nawozowe mogą mieć szczególnie duże zastosowanie w uprawie warzyw i roślin ozdobnych.

Należy oczekiwać znacznego postępu w badaniach i technologiach produkcji organiczno-mineralnych preparatów nawozowych oraz ich użytkowania.

WNIOSKI

1. Kompost jest koncentratem próchnicy glebowej, wyprodukowanym bez udziału gleby, ale z zastosowaniem biotechnologii naśladującej procesy rozkładu i humifikacji masy roślinnej w środowisku glebowym.
2. Kompost jest nawozem organicznym. Glebotwórcza i agrotechniczna wartość kompostu przewyższa pozostałe nawozy organiczne. Uzasadnia to celowość kompostowania mas biologicznych przeznaczonych do nawożenia.
3. Do produkcji kompostu nadają się wszystkie rodzaje masy roślinnej (po odpowiednim przygotowaniu), większość osadów z biologicznego oczyszczania ścieków, torf, miał węgla brunatnego, różne przemysłowe odpady organiczne

pochodzenia biologicznego. Ze względu na bardzo duże wahania zawartości azotu i pozostałych składników mineralnych w poszczególnych roślinach oraz innych surowcach, korzystne jest wspólne kompostowanie mas biologicznych o odmiennym chemizmie.

4. Stosunek ilościowy węgla organicznego do azotu (C : N) w biomacie ma zasadnicze znaczenie dla prawidłowego przebiegu procesu kompostowania oraz wartości użytkowej kompostu. Należy dążyć aby wskaźnik C : N w kompostowanej masie wynosił $25 \div 40$.
5. O wartości użytkowej kompostu decydują głównie jakość surowca, technologia produkcji i stan dojrzałości. Zawartość substancji organicznej i stosunek ilościowy C : N to najważniejsze wskaźniki glebotwórczej i nawozowej wartości kompostu. Czynniki ograniczającymi wartość użytkową kompostu są nadmierne zawartości metali ciężkich, chorobotwórczych organizmów i obecność nasion roślin – zachwaszczających glebę i uprawiane rośliny.
6. Wielorakość sposobów użytkowania kompostu daje możliwości zagospodarowania, także jego gorszych asortymentów.
7. Wobec potencjalnie dużych możliwości kompostowania biomasy i użytkowania kompostu, niezbędne jest nasilenie badań technologicznych i aplikacyjnych oraz prowadzenie edukacji w tym zakresie na wszystkich szczeblach nauczania i wychowania.

LITERATURA

- [1] Album gleb Polski. 1986. PTG Warszawa
- [2] BERNACKA J., Pawłowska L. 1994: *Zagospodarowanie i wykorzystanie osadów z miejskich oczyszczalni ścieków*. IOŚ Warszawa
- [3] CHOJNACKI A., Boguszewski W. 1971: *Zawartość azotu, fosforu i potasu w głównych roślinach uprawnych w Polsce*
- [4] CZUBA R., Andruszczak E. 1983: *Zawartość mikroelementów w roślinach uprawnych w krajowej sieci gospodarstw kontrolnych. Zeszyty problemowe postępu nauk rolniczych. Z.242*
- [5] CZUBA R., Siuta J. 1976: *Agroekologiczne podstawy nawożenia*. PWRiL Warszawa
- [6] CUZYDŁO J. 1986: *Akumulacja metali ciężkich w roślinach uprawianych w rejonie strefy ochronnej Kombinatu Huty im. Lenina. Zeszyty naukowe AGH. Sozologia i sozotechnika 1031 z.21*
- [7] Gleboznawstwo 1981 (pod red. B. Dobrzańskiego, S. Zawadzkiego) PWRiL Warszawa
- [8] GODZIK B., Grodzińska K., Szarek G. 1995: *Wegetables and soil contamination with heavy metals in allotment gardens in Kraków agglomeration – ten years studies*. Archiwum Ochrony Środowiska
- [9] GOTKIWICZ J., Brzezicki M., Czech W. 1974: *Zasobność gleb torfowiska Kuwasy w fosfor potas oraz zawartość składników pokarmowych w sianie*. Wiadomości IMUZ, t.12 z.1.
- [10] KAMIŃSKA W., Kardasz T., Strahl A., Szymborska H. 1976: *Skład chemiczny roślin uprawnych i niektórych pasz pochodzenia roślinnego*. IUNG 76. Puławy

- [11] MAYER A.: Die moderne kompostierung. Willibald GmbH. Wald-Sentenhart.
- [12] MAĆKOWIAK Cz. 1986: *Nawozy organiczne. Nawożenie* (pod red. R. Czuby). PWRiL Warszawa
- [13] MAZUR T., Woytas A. 1983: *Zawartość suchej masy i makroskładników w pomiole drobiowym*. Roczniki gleboznawcze 34.3
- [14] NEY R. i in. 1982: *Ocena warunków geologiczno-złożowych i zasobów perspektywicznych złóż węgla brunatnego w Polsce* (maszynopis) KGSM PAN Kraków
- [15] *Nawożenie mineralne roślin uprawnych* (pod red. R. Czuby) Police 1996
- [16] PIECUCH T. i in. 1997: *Możliwości i celowość dodatku pyłów tytoniowych do wsadu w procesie kompostowania odpadów komunalnych. Ochrona powietrza i problemy odpadów nr 6*.
- [17] POREBSKA G., Ostrowska A. 1999: *Chemizm roślin z terenów składowania odpadów. Ochrona środowiska i zasobów naturalnych 16*
- [18] PROSIŃSKI S. 1984: *Chemia drewna*. PWRiL. Warszawa
- [19] SIUTA J., Żukowska-Wieszczek D. 1990: *Przyrodniczo-techniczne podstawy oczyszczania atmosfery i gleby*. IOŚ Warszawa
- [20] SIUTA J. i in. 1996: *Przyrodniczo-techniczne przetwarzanie osadów ściekowych na kompost*. IOŚ Warszawa

Tabela 1. Średnie zawartości składników w roślinach (wg Kamińskiej, Kardasza i Strahla 1973, za Czubą i Siutą, 1976)

Nazwa rośliny lub odpadu roślinnego	Procent w suchej masie [% s.m.]				
	N	P	K	Ca	Mg
Słoma pszenna	0,68	0,10	1,18	0,27	0,10
Słoma żyt	0,53	0,08	1,04	0,21	0,07
Słoma jęczmienna	0,65	0,12	1,70	0,51	0,13
Słoma owsiana	0,78	0,15	2,28	0,48	0,12
Łęty ziemniaczane	2,53	0,17	3,56	2,27	0,36
Liście buraka cukrowego	3,30	0,31	4,96	1,56	0,66
Słoma rzepaku	0,68	0,13	1,69	1,67	0,13
Siano koniczyny	2,45	0,25	2,09	1,39	0,25
Siano lucerny	2,76	0,26	2,48	1,35	0,22
Siano łąkowe	1,89	0,27	1,90	0,71	0,22

Tabela 2. Zawartości metali ciężkich w różnych gatunkach roślin ze składowisk odpadów, osadów ściekowych i z gleb zanieczyszczonych

Metal	Przedziały zawartości metali w mg/kg s.m.											
	do 0,5	0,6 + 1,0	1,1 + 2,0	2,1 + 3,0	3,1 + 5,0	5,1 + 10,0	10,1 + 20,0	20,1 + 50,0	50,1 + 100,0	100,1 + 200,0	200,1 + 400,0	ponad 400
Ilości analizowanych próbek roślinnych												
Rośliny ze składowisk odpadów i gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi												
Miedź (Cu)	0	2	0	2	6	39	61	2				
Cynk (Zn)	0	0	0	0	0	1	1	39	24	8	2	
Chrom (Cr)	7	62	19	6	9	3	4	1				
Nikiel (Ni)	28	26	26	4								
Kadm (Cd)	61	15	1	1								
Ołów (Pb)	35	43	16	8	1	1						
Rośliny z podłoża osadów ściekowych komunalnych												
Miedź (Cu)	0	0	0	0	7	32	23	6	1			
Cynk (Zn)	0	0	0	0	0	0	0	3	16	18	24	19
Chrom (Cr)	38	14	15	0	0	2	1					
Nikiel (Ni)	0	8	2	8	8	4	3	4				
Kadm (Cd)	40	9	14	6	2	2	1					
Ołów (Pb)	7	18	15	6	15	12	3	0	1			

Tabela 3. Zawartości metali ciężkich w roślinach z podłoża obfitujących w te składniki oraz w odpadach roślinnych przeznaczonych do kompostowania

Rodzaj masy roślinnej	Cu	Pb	Zn	Cr	Cd	Ni
	mg/kg s.m.					
Rośliny z podłoża osadowego w oczyszczalni ścieków Hajdów						
Trawy	8,5 ÷ 16,7	0,5 ÷ 1,5	69 ÷ 354	1,0 ÷ 7,0	0,50 ÷ 4,86	2,0 ÷ 9,0
Bylica pospolita	9,8 ÷ 38,6	1,0 ÷ 1,5	163 ÷ 367	1,0 ÷ 3,0	1,70 ÷ 36,40	2,0 ÷ 7,0
Łoboda błyszcząca	9,7 ÷ 11,4	0,5 ÷ 1,0	50 ÷ 140	1,0 ÷ 2,0	0,47 ÷ 1,75	2,0
Komosa biała	9,9	0,5	247	2,0	8,65	3,0
Salata kompasowa	11,5 ÷ 17,4	1,0 ÷ 1,5	392 ÷ 738	1,0 ÷ 4,0	15,4 ÷ 20,60	3,0 ÷ 8,0
Rośliny z podłoża kompostowego w Radiowie						
Salata kompasowa	14,2 ÷ 17,9	2,0 ÷ 3,0	926 ÷ 1030	1,0 ÷ 3,0	2,90 ÷ 3,39	0,1 ÷ 0,2
Łoboda błyszcząca	12,1 ÷ 16,4	2,0	300 ÷ 431	1,0 ÷ 3,0	0,32 ÷ 0,77	1,0 ÷ 4,0
Komosa biała	12,0	1,5	658	1,0	1,54	0,5
Masa roślinna gromadzona selektywnie do kompostowania						
Odpady bio Warszawa	19,0 ÷ 87,0	2,4 66,0	42 ÷ 158	10,0 ÷ 64,0	0,50 ÷ 1,30	5,0 ÷ 10,0
Masa roślinna przywożona z terenów zieleni do kompostowania						
Odpady zieleni warszawskiej	5,1 ÷ 45,7	0,7 ÷ 9,6	42 ÷ 158	4,8 ÷ 8,2	0,10 ÷ 1,10	n.o.
Odpady tytoniowe przeznaczone do kompostowania						
Odpady tytoniowe	17,0 ÷ 23,1	6,3 ÷ 9,3	75 ÷ 82	7,3 ÷ 10,6	13,8 ÷ 19,0	6,8 ÷ 11,4

Tabela 4. Zawartości metali ciężkich w roślinach z terenów miejskich i przemysłowych o dużym zanieczyszczeniu

Rodzaj masy roślinnej	Cu	Pb	Zn	Cr	Cd	Ni	Źródło informacji
	mg/kg s.m.						
Kapusta, liście zewnętrzne	4,1 ÷ 10,4	2,4 ÷ 8,9	43 ÷ 128	n.o.	0,26 ÷ 0,76	n.o.	Cuzydło 1986
Kapusta, liście wewnętrzne	2,6 ÷ 7,1	0,6 ÷ 1,9	33 ÷ 72	n.o.	0,31 ÷ 0,80	n.o.	Cuzydło 1986
Salata*	10,2	4,6	80	2,5	1,50	2,5	Godzik i in. 1995
Pietruszka, liście*	8,4	4,3	73	1,9	0,54	2,5	Godzik i in. 1995
Kapusta*	4,7	1,5	36	1,7	0,47	2,4	Godzik i in. 1995
Salata	4,2 ÷ 11,8	4,1 ÷ 1,82	32 ÷ 93	n.o.	0,73 ÷ 1,64	n.o.	Cuzydło 1986
Pietruszka, liście	11,2 ÷ 14,8	8,4 ÷ 27,3	66 ÷ 298	n.o.	0,36 ÷ 1,18	n.o.	Cuzydło 1986
Burak ćwikłowy, liście	5,0 ÷ 11,2	8,2 ÷ 12,7	66 ÷ 128	n.o.	0,58 ÷ 1,23	n.o.	Cuzydło 1986
Burak pastewny, liście	n.o.	5,2 ÷ 12,7	88 ÷ 722	n.o.	0,78 ÷ 3,15	n.o.	Pacult 1994
Kapusta, liście zewnętrzne	n.o.	3,1 ÷ 22,7	40 ÷ 382	n.o.	0,42 ÷ 2,45	n.o.	Pacult 1994

* średnie zawartości metali

Tabela 5. Zawartość metali ciężkich w trawach z podłoży użyźnionych osadem ściekowym lub kompostu z Radiowa

Podłoże	Cu	Pb	Zn	Cr	Cd	Ni
	mg/kg s.m.					
Podłoża użyźnione kompostem z Radiowa						
wapno poflotacyjne	6,6 ÷ 13,3	1,2 ÷ 4,6	135 ÷ 183	0,6 ÷ 1,0	0,21 ÷ 0,47	1,8 ÷ 3,1
popiół	8,3 ÷ 13,0	1,1 ÷ 3,8	50 ÷ 86	0,7 ÷ 1,3	0,05 ÷ 0,18	1,1 ÷ 1,9
piasek	9,2 ÷ 12,2	1,5 ÷ 2,9	60 ÷ 109	1,0 ÷ 2,4	0,11 ÷ 0,18	0,5 ÷ 1,0
Podłoża użyźnione osadem ściekowym ze Stalowej Woli						
wapno poflotacyjne	10,0 ÷ 11,5	3,3 ÷ 4,2	94 ÷ 99	0,9 ÷ 1,0	0,24 ÷ 0,28	4,3 ÷ 4,9
popiół	9,2 ÷ 10,2	3,2 ÷ 3,5	39 ÷ 50	1,0 ÷ 1,5	0,06 ÷ 0,10	2,7 ÷ 3,3
piasek	9,7 ÷ 12,0	2,7 ÷ 5,1	34 ÷ 52	0,8 ÷ 1,4	0,09 ÷ 0,19	2,7 ÷ 4,2
Warstwa kompostu z Radiowa na wapnie poflotacyjnym						
kompost	8,7 ÷ 17,0	2,3 ÷ 5,6	183 ÷ 307	0,4 ÷ 0,8	0,18 ÷ 0,48	1,6 ÷ 2,2
Warstwa osadu z oczyszczalni ścieków w Stalowej Woli na wapnie poflotacyjnym						
osad	13,0 ÷ 19,5	4,5 ÷ 6,4	117 ÷ 193	0,9 ÷ 1,4	0,25 ÷ 0,39	8,4 ÷ 17,8

Tabela 6. Zawartości mikroelementów w roślinach w krajowej sieci gospodarstw kontrolnych (Czuba, Andruszczak 1983)

Wegetatywne części roślin	B	Cu	Mn	Mo	Zn	Fe	Ilość prób analizowanych
	mg/kg s.m.						
Słoma pszenna	0,6 ÷ 6,4	1,1 ÷ 9,2	9,8 ÷ 58,3	0,07 ÷ 0,65	4,4 ÷ 55,0	65,1 ÷ 37,02	121
	2,3 ÷ 2,9	2,0 ÷ 3,0	27,7 ÷ 34,7	0,16 ÷ 0,30	14,6 ÷ 19,1	115,0 ÷ 19,1	
Słoma jęczmienna	2,5 ÷ 6,3	1,2 ÷ 4,2	11,9 ÷ 73,6	0,07 ÷ 0,77	9,7 ÷ 96,3	49,3 ÷ 189,9	39
	4,4	2,9	41,1	0,27	25,5	124,8	
Słoma żytnia	1,1 ÷ 2,8	1,3 ÷ 3,0	8,7 ÷ 62,3	0,01 - 0,44	7,1 ÷ 31,9	42,5 ÷ 184,0	42
	2,5	2,1	42,7	0,25	19,9	98,4	
Słoma owsiana	1,4 ÷ 4,4	1,3 ÷ 4,3	25,6 ÷ 181,9	0,01 ÷ 0,48	8,7 ÷ 56,9	77,8 ÷ 270,5	35
	3,8	2,4	82,5	0,23	24,8	122,0	
Rzepakzanka	9,6 ÷ 23,1	1,4 ÷ 10,0	6,5 ÷ 79,1	0,04 ÷ 0,76	5,0 ÷ 24,2	54,0 ÷ 500,0	58
	14,1	3,7	32,7	0,25	16,4	132,6	
Liście buraka cukrowego	10,6 ÷ 48,1	5,5 ÷ 28,3	14,8 ÷ 275,0	0,15 ÷ 0,92	22,9 ÷ 93,6	105,0 ÷ 999,5	49
	35,2	8,1	131,4	0,52	49,3	404,2	
Liście buraka pastewnego	26,1 ÷ 44,6	5,5 ÷ 9,7	14,7 ÷ 358,5	0,22 ÷ 0,41	30,0 ÷ 80,0	416,0 ÷ 638,0	6
	33,6	7,5	229,1	0,44	65,7	526,9	

0,6 ÷ 64 wartości ekstremalne

2,3 ÷ 2,9 wartości średnie

Tabela 7. Zawartość metali ciężkich w kompostach roślinnych i z odpadów miejskich

Źródła surowca kompostowanego	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cd	Cr	Ni
[mg/kg s.m.]								
Komposty z roślin uprawnych na gruntach użyźnionych osadami ściekowymi								
Składowisko popiołu w Puławach	1444 – 1784	52 – 80	54 – 89	10 – 13	7 – 9	0,40 – 0,60	4,4 – 7,8	2,8 – 5,5
Składowisko popiołu w Łodzi	274	40	15	4	15	0,80	3,5	4,2
Grunt rekultywowany w Kopalni „Jeziórko”	2874	310	375	27	35	1,44	8,0	25,4
Grunt oczyszczalni w Łasku	150	161	456	6	11	0,88	3,3	20,2
Kompost z roślin zieleni miejskiej								
Zielen Warszawa	n.o	n.o	82-112	21-26	13-19	0,40-0,50	2-12	7,0-27,0
Kompost z odpadów organicznych miejskich gromadzonych selektywnie								
Osiedla Warszawy	n.o	n.o	200-340	48-62	28-64	0,60-1,00	18-22	10,0-12,0
Kompost z odpadów miejskich zbiorczych (nie selekcyonowanych)								
Warszawa	n.o.	n.o	660-2321	230-1040	100-505	1,0-13,9	28-389	10-189

Tabela 8. Dopuszczalne zawartości metali ciężkich w wierzchniej warstwie gleby (gruntu) przy stosowaniu kompostu na terenach przeznaczonych do użytkowania rolniczego

Metale	Zawartość metali ciężkich w mg/kg s.m. gleby (gruntu) nie większa niż		
	w glebach		
	lekich	średnich	ciężkich
Ołów (Pb)	40	60	80
Kadm (Cd)	1	2	3
Rtęć (Hg)	0,8	1,2	1,5
Nikiel (Ni)	20	35	50
Cynk (Zn)	80	120	180
Miedź (Cu)	25	50	75
Chrom (Cr)	50	75	100

Tabela 9. Dopuszczalne zawartości metali ciężkich w wierzchniej warstwie gleby (gruntu) przy stosowaniu kompostu na terenach przeznaczonych do użytkowania nierolniczego

Metale	Zawartość metali ciężkich w mg/kg s.m. gleby (gruntu) nie większa niż		
	w glebach		
	lekkich	średnich	ciężkich
Ołów (Pb)	50	75	100
Kadm (Cd)	3	4	5
Rtęć (Hg)	1	1,5	2
Nikiel (Ni)	30	45	60
Cynk (Zn)	150	220	300
Miedź (Cu)	50	75	100
Chrom (Cr)	100	150	200