

SYSTEM UPRAWY I KOMPOSTOWANIA ROŚLIN NA SKŁADOWISKU ODPADÓW POSODOWYCH W JANIKOWIE Z ZASTOSOWANIEM OSADÓW ŚCIEKOWYCH

Wprowadzenie

Osady z biologicznego oczyszczania ścieków komunalnych i przemysłowych obfitują w próchnicotwórczą substancję organiczną i składniki pokarmowe roślin. Z tego względu osady ściekowe mają największe zastosowanie w rekultywacji gruntów bezglebowych i gleb ubogich w próchnicę.

Wprowadzając do gruntu bezglebowego odpowiednio dużą (rekultywacyjną) dawkę osadu ściekowego tworzymy od zaraz warunki do intensywnego wzrostu roślin wymagających gleb dobrej jakości. Na składowiskach odpadów mineralnych pochodzenia geologicznego (np. pokopalnianych) i przemysłowego nadrzędnym celem stosowania osadów ściekowych jest przeciwoerozyjne utrwalenie powierzchni oraz przywrócenie jej ekologicznych funkcji w krajobrazie.

Ciągłość intensywnego wzrostu i rozwoju szaty roślinnej wymaga odpowiednich zabiegów agrotechnicznych i użytkowania biomasy. Jednym ze sposobów racjonalnego użytkowania masy roślinnej pozyskiwanej z gruntów rekultywowanych osadami ściekowymi jest produkcja kompostu. Taki system osadowej rekultywacji gruntu i użytkowanie masy roślinnej jest realizowany na składowisku odpadów posodowych w Janikowie.

Rekultywacja składowiskowego gruntu jest realizowana sukcesywnie od roku 2000, według projektu Instytutu Ochrony Środowiska [Siuta 1999 i 2001]. Rekultywowana część terenu składowiska odpadów ma 108,6 ha. Głównym składnikiem odpadów jest węgiel wapniowy. Chemizm odpadów oraz stan samosiewnej roślinności na składowisku rozpoznano na etapie pilotowo-wdrożeniowych doświadczeń rekultywacji [Siuta, Sienkiewicz 2001].

Rekultywacyjne dawki osadu ściekowego wynoszą 100-150 t s.m./ha zależnie od stanu samosiewnej roślinności.

W projekcie rekultywacji przewidziano sukcesywne koszenie trawy i przerabianie jej na kompost.

Do rekultywacji gruntu stosowano osady ściekowe z Inowrocławia (2001 r.), Bydgoszczy (2001 – 2003 r.) i z Włocławka (2001 – 2005 r.). Głównym dostawcą osadu była i jest oczyszczalnia we Włocławku.

Efektywność osadowej rekultywacji składowiskowego gruntu ilustrują fotografie 1-4. Intensywny wzrost i obfite plony roślin na 108 ha zrekultywowanym terenie składowiska to duża baza surowca do produkcji kompostu.

Charakterystyka składowiska odpadów posodowych

Składowisko odpadów stanowi integralną część terenu Zakładów Sodowych „Janikosoda” S.A. Zajmuje ono około 200 ha pomiędzy technologiczną strukturą „Janikosody” i Kanalem Noteckim. Wyeksploatowana część składowiska ma 108,6 ha. Podlega ono rekultywacji i porekultywacyjnemu zagospodarowaniu.

Wysokość składowiska dochodzi do 16 m powyżej terenu przyległego. Technicznej i biologicznej rekultywacji podlegają stawy osadowe 1 – 17 oraz niecki: 1, 2A i 2B (zał. 1).

Głównymi częściami nadpoziomowej bryły składowiska są:

- stawy zapełnione o powierzchniach płaskich,
- stawy niedopełnione o powierzchniach nieregularnych,
- niecki głębokie nieregularne,
- skarpy obwałowań,
- groble dzielące stawy osadowe,
- drogi dojazdowe,
- wyrobiska po wydobyciu wapna posodowego,
- zapadliska i rozwarcia w złożach depozytu.

Wapno posodowe zawiera około 80% węgla wapnia (CaCO_3). Pozostałe składniki to krzemionka, magnez, glin i chlorki.

Zawartości soli rozpuszczalnych (głównie chlorków) i odczyn (pH) zależą od wieku depozytu i głębokości. Wysoka alkaliczność (pH do 9) i zasolenie (do ponad 9% s.m.) przypowierzchniowej warstwy depozytu ograniczają (nawet uniemożliwiają) samosiewne wkraczanie roślin. W miarę upływu czasu oraz malejącego zasolenia i alkaliczności środowiska wkraczają słonolubne gatunki roślin.

Fizyczne i chemiczne właściwości powierzchniowych warstw depozytu, wzrost samosiewnej roślinności i chemizm roślin rozpoznano na etapie opracowywania projektu rekultywacji terenu składowiska [Siuta, Sienkiewicz 2000, 2001].

Projekt rekultywacji terenu składowiska

Koncepcję osadowej rekultywacji terenu składowania odpadów opracowano w 1999 r. [Siuta 1999]. Omówiono w niej następujące zagadnienia: 1) charakterystykę składowiska, 2) techniczną rekultywację gruntu składowiskowego, 3) sposoby rekultywacyjnego użytkowania gruntu osadem ściekowym, 4) uzdatnienie osadów ściekowych do rekultywacyjnego stosowania, 5) prawne podstawy przyrodniczego wykorzystania osadów ściekowych, 6) roślinne zagospodarowanie gruntu rekultywowanego, 7) sposoby porekultywacyjnego zagospodarowania gruntu, 8) ekologiczną efektywność rekultywacji i porekultywacyjnego użytkowania gruntu składowiskowego, 9) program badań uzupełniających i pilotowego wdrożenia rekultywacji.

W roku 2000 przeprowadzono badania uzupełniające i pilotowo-wdrożeniowe doświadczenia na składowisku odpadów posodowych w następujących zakresach [Siuta, Sienkiewicz 2000]:

1. Doświadczenia wegetacyjne z zastosowaniem osadu ściekowego.
2. Inwentaryzacja roślinności samosiewnej na terenie stawów wyznaczonych do rekultywacji.
3. Analizy laboratoryjne gruntu i roślin na zawartości składników mineralnych.

Projekt rekultywacji terenu składowania odpadów posodowych opracowano w roku 2001, stosownie do koncepcji i pozytywnych wyników badań uzupełniających.

Techniczną i biologiczną rekultywację zapoczątkowano już w roku 2000 w ramach pilotowo-wdrożeniowego doświadczenia. W całości zazieleniono staw osadowy 3.

Wyniki badań uzupełniających potwierdziły zasadność i dużą efektywność rekultywacyjnego stosowania osadów ściekowych, w tym na powierzchniach zupełnie bezroślinnych. Stwierdzono, że 60 ton s.m. osadu na hektar wystarcza dla intensywnej wegetacji w miejscach pokrytych częściowo samosiewną roślinnością. Na powierzchniach zupełnie bezroślinnych wystarcza dawka 100 t s.m. na hektar.

Większe dawki osadów ściekowych na jednostkę powierzchni zapewniają dostępność składników pokarmowych w dłuższym czasie.

W projekcie rekultywacji [Siuta, Kutla 2001] dopuszczono do 200 t s.m. osadu na ha, ale zalecono stosowanie 60 do 100 t/ha w pierwszym roku rekultywacji oraz uzupełniające (nawozowe) dawkowanie osadu w 2-3 letnich odstępach.

W projekcie przedstawiono:

- Sposoby technicznej i biologicznej rekultywacji gruntu.
- Porekultywacyjne zagospodarowanie terenu.
- Harmonogram rekultywacji i zagospodarowania terenu składowiska.
- Monitoring rekultywacji gruntu.
- Kompostowanie masy roślinnej, w tym program doświadczalnego kompostowania.

Techniczna rekultywacja gruntu nie narusza budowy składowiska, w tym głównie skarp zewnętrznych i dróg dojazdowych.

Rekultywacja techniczna sprowadza się do likwidacji grobli dzielących poszczególne stawy osadowe oraz do wyrównania powierzchni. Rekultywacja biologiczna polega na pokryciu powierzchni gruntu osadem ściekowym i wysianiu nasion mieszanki traw łąkowych oraz perka jako rośliny nasilającej wegetację do czasu intensywnego wzrostu traw.

Wykonawstwo rekultywacji

W latach 2000 – 2002 wykonano rekultywację techniczną i biologiczną w stawach osadowych 1 do 10 – zapełnionych wapnem posodowym. Szatę roślinną ukształtowano na depozycie wapna posodowego, pokrytego osadem ściekowym o konsystencji mazistej.

Pozostałych stawów (11 – 17) nie zapełniono całkowicie wapnem posodowym. Ponadto świeży stan depozytu stanowił o nadmiernej koncentracji soli i wysokiej alkaliczności odczynu.

W czasie opracowywania projektu rekultywacji proponowano „Janikosodzie” dopełnienie niektórych stawów osadowych odpadami paleniskowymi z przemysłowej kotłowni w celu wyrównania powierzchni na całym terenie zrekultywowanym oraz pokrycia depozy-

tu wapna posodowego o bardzo dużej koncentracji soli. Do rozważenia tej kwestii powrócono w roku 2002.

Na zlecenie „Janikosody” opracowano [Siuta 2002] Aneks do Projektu rekultywacji składowiska odpadów posodowych Janikowskich Zakładów Sodowych „Janikosoda” S.A.

Procentowe zawartości (średnie) głównych składników w suchej masie janikowskich odpadów paleniskowych (wg Janikosody) są następujące: SiO_2 47,2, Al_2O_3 21,8, CaO 4,1, Fe_2O_3 7,3, MgO 1,9, SO_3 0,39, Na_2O 0,67 i K_2O 2,6%.

Na potrzeby opracowywanego aneksu Laboratorium Monitoringu IOŚ stwierdziło następujące zawartości składników w suchej masie odnośnych odpadów paleniskowych:

- 92,1 – 93,4% substancji mineralnej.
- 6,5 – 7,9% substancji organicznej,
- 1,6 – 2,9% CaO ,
- 3,4 – 5,1% Fe_2O_3 ,
- 1,5 – 1,6% MgO ,
- 481 – 562 mg Mn/kg ,
- 75 – 144 mg Zn/kg ,
- 96 – 110 mg Cr/kg ,
- 29 – 69 mg Pb/kg ,
- 50 – 57 mg Ni/kg ,
- < 0,4 – 0,4 mg Cd/kg ,
- 0,198 – 0,358 mg Hg/kg .

W 1 dm^3 wyciągu wodnego (1:1) stwierdzono następujące zawartości składników rozpuszczalnych:

- 20 – 306 mg Cl/dm^3 ,
- 104 – 806 mg SO_4/dm^3 ,
- 2,2 – 62,6 mg NO_3/dm^3 ,
- 30 – 160 mg Na/dm^3 ,
- 36 – 64 mg K/dm^3 ,
- 46 – 397 Ca/dm^3 ,
- 0,5 – 6,0 Mg/dm^3 ,
- 323 – 1804 mg suchej pozostałości/ dm^3 ,
- pH 9,4 – 11,4.

Najmniejsze wartości stwierdzono w próbce pobranej z powierzchni porośniętej mchem. Największe zawartości składników rozpuszczalnych wykazała próbka pobrana z kwatery bieżącego składowania odpadów paleniskowych.

Do technicznej rekultywacji stawów osadowych osad paleniskowy pobiera się z osadnika odwodnionego, w którym stwierdzono 1220 mg suchej pozostałości w dm^3 roztworu wodnego.

Począwszy od roku 2002 dopełnia się odpadem paleniskowym stawy 11 – 17. Biologiczną rekultywację gruntów prowadzi się w taki sam sposób, jak na złożu wapna posodowego.

Do końca roku 2006 rekultywacje gruntu wykonano w stawach osadowych 1 – 15.

Masa roślinna jest zbierana i kompostowana dwukrotnie w sezonie wegetacyjnym.

Pochodzenie i skład chemiczny osadów ściekowych

Do rekultywacji stosowano osady ściekowe z następujących oczyszczalni ścieków:

- Włocławka w latach 2001 – 2006,
- Bydgoszcz – Kapuściska w latach 2001 – 2003,
- Inowrocławia w roku 2001.

Skład chemiczny osadów ściekowych stosowanych w rekultywacji gruntu składowiskowego był analizowany przez dostawców osadów (tab. 1) oraz w Laboratorium Monitoringu Środowiska IOŚ (tab. 2).

Osad z Włocławka wykazał bardzo duże wahania zawartości wapnia (0,6 do 25,7%), co wynika z intensywnego wapnowania niektórych partii osadu. W roku 2005 zmniejszono wydatnie zawartość wapna, poprawiając jego rekultywacyjną efektywność.

Osad z Włocławka zawierał duże ilości chromu:

- 128 – 582 mg/kg s.m. – według dostawcy osadu (tab. 1),
- 70 – 685 mg/kg s.m. – według IOŚ (tab. 2).

Powyższe dane są jednak mniejsze od wielkości dopuszczalnej (1000 mg/kg s.m.) według rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie komunalnych osadów ściekowych z roku 2002.

Osad z Bydgoszczy wykazał bardzo duże wahania zawartości rtęci (Hg) 2,0 – 15,47 mg/kg s.m. oraz cynku (Zn) 754 – 2313 mg/kg s.m. Zawartość rtęci jeden raz przekroczyła dopuszczalny poziom (10 mg) w osadach do rekultywacji gruntów na cele nierolnicze. Zawartości substancji organicznej w osadach z Włocławka wahały się w przedziale 38 – 62%, zawartości azotu 1,97 – 2,82%, stosunek węgla organicznego do azotu (C:N) 7,1 – 11,3 (tab. 2).

Wegetacja

Nałożenie kilkucentymetrowej warstwy osadu ściekowego na złożo wapna posodowego (także odpadu paleniskowego) oraz wysianie nasion traw i perka powoduje intensywne zazielenienie powierzchni w krótkim czasie (fot. 1-4). Wymieszanie osadu z wierzchnią warstwą złoża nie tworzy już tak korzystnych warunków do wzrostu roślin. Intensywny wzrost roślin stwierdzono na wszystkich powierzchniach wapna posodowego z osadem ściekowym – nawet w suchych porach sezonu wegetacyjnego. Fenomen ten zadziwia, ponieważ do intensywnego wzrostu roślin niezbędna jest nie tylko odpowiednio duża dostępność składników pokarmowych lecz także dostatek wody. Wiadomo, że alkaliczny odczyn i duże zasolenie wapna posodowego utrudniają rozwój systemu korzeniowego i pobieranie wody. Tymczasem wzrost i plonowanie roślin świadczą o dużej dostępności wody.

Fenomen ten można wyjaśnić specyficznym krążeniem wody w gruncie składowiska pokrytym warstwą osadu ściekowego. Ciekłą postacią wapna posodowego deponowano w bardzo głębokich stawach osadowych. Odwodnienie tego depozytu postępuje wskutek wstępnej infiltracji. Wierzchnia warstwa depozytu jest bardziej odwodniona niż pozostała część. Drobnziarnistość wapna posodowego sprawia, że głębsze warstwy depozytu są rezerwu-

arem bardzo dużego zasobu wody. Podsiąk tej zasolonej i alkalicznej wody nie sprzyja jednak wegetacji roślin.

Niewątpliwe zaopatrzenie roślin w wodę można objaśnić w sposób następujący:

- parowanie wody gruntowej i skraplanie jej w warstwie powierzchniowej dostarcza roślinom wody niezasolonej i niealkalicznej,
- wahania temperatur dobowych w sezonie wegetacyjnym powoduje ciągłe skraplanie pary wodnej w płytkiej strefie systemu korzeniowego,
- pokrywowa warstwa osadu ściekowego tworzy korzystne warunki do skraplania pary wodnej i retencji wody,
- zwarta szata roślinności darniowej chroni wierzchnią warstwę gruntu przed nagrzewaniem w dni słoneczne oraz wychładza ją w porze nocnej – skutek transpiracji wody.

Zawartości składników w roślinach

Skład chemiczny roślin analizowano w akredytowanym Laboratorium Monitoringu Środowiska Instytutu Ochrony Środowiska.

W roku 2004 analizowano:

- uśrednione próbki trawy z udziałem roślin dwuliściennych pobrane z powierzchni zrehabilitowanych w latach 2000 – 2003,
- uśrednioną próbkę masy roślinnej pobranej z przyzmy ułożonej do kompostowania,
- uśrednione próbki kupkówki pospolitej pobrane ze stawów osadowych 1, 2, 3, 4, 5, 10, 13,
- uśrednione próbki perka, pobrane ze stawów osadowych 11 i 13.

W roku 2005 analizowano:

- uśrednione próbki mas roślinnych (pobrane z przyzm ułożonych do kompostowania):
 - 1 plon ze stawów 1, 2 i 3,
 - 2 plon ze stawów 4 i 5,
 - 3 plon ze stawów 6, 7 i 8,
 - 4 plon ze stawów 10, 11, 12, 13 i 14,
- uśrednione próbki kupkówki pospolitej pobrane ze stawów osadowych 13, 14 i 15,
- uśrednione próbki perka pobrane ze stawów osadowych 13 i 14.

W roku 2006 analizowano uśrednione próbki kupkówki pospolitej pobrane z dwóch obszarów podłoża wapna posodowego i jednego obszaru podłoża odpadów paleniskowych.

Próbki pobrane bezpośrednio w polu oraz pobrane z przyzm masy roślinnej do kompostowania (tab. 3) reprezentują porost traw z udziałem samosiewnych roślin dwuliściennych – stadium dojrzałości technicznej (do koszenia). Kupkówkę pospolitą i perko analizowano w początkowej fazie wzrostu (stadium rozety). W ten sposób testowano stan zaopatrzenia roślin w składniki pokarmowe (tab. 4).

Próbki porostu w roku 2004 oraz plony masy roślinnej w latach 2004 i 2005 (tab. 3) wykazały analogiczne zawartości: węgla organicznego, azotu, fosforu, potasu.

Stwierdzone zawartości azotu (1,5 – 2,0%) świadczą o umiarkowanej dostępności tego składnika do roślin.

Tabela 1. Zawartości składników w osadach ściekowych stosowanych do rekultywacji gruntu na składowisku odpadów posodowych w Janikowie w latach 2001–2006. Dane dostarczone przez dostawców odpadów

Składnik	Osad z oczyszczalni ścieków:										Zawartości dopuszczalne w osadach do rekultywacji gruntów na cele nierolnicze	
	Inowrocław	Bydgoszcz - Kapuściska		Włocławek						2006		
		lata										
	2001	2001 – 2003	2002	2003	2004	2005	2006	% s. m.				
Substancja organiczna	45 – 60	62 – 72	42 – 59	40 – 49	40 – 52	55 – 70	40 – 79	mg/kg s. m.				40 – 79
Substancja mineralna	40 – 55	25 – 38	41 – 58	51 – 60	48 – 60	30 – 45	21 – 60					21 – 60
Azot ogólny	2,9 – 5,6	2,2 – 9,0	2,5 – 3,2	2,6 – 3,4	3,0 – 4,05	3,5 – 5,1	2,4 – 5,5					2,4 – 5,5
Azot amonowy	0,1 – 2,0	0,1 – 2,0	0,09 – 0,36	0,05 – 0,1	0,05 – 0,09	0,15 – 1,83	0,8 – 2,0					0,8 – 2,0
Wapń	0,3 – 7,2	0,5 – 5,0	0,6 – 25,7	13 – 15,9	10,8 – 16,8	4,4 – 6,4	3,1 – 3,3					3,1 – 3,3
Magnez	0,5 – 2,9	0,3 – 0,6	0,1 – 0,4	0,3 – 0,4	0,22 – 0,38	0,28 – 0,30	0,34 – 0,41					0,34 – 0,41
Fosfor	0,07 – 0,2	0,1 – 1,2	0,5 – 0,9	0,9 – 1,0	0,85 – 0,91	1,10 – 1,23	0,87 – 1,33					0,87 – 1,33
Ołów (Pb)	164 – 316	30 – 68	41 – 68	31 – 44	20 – 30	24 – 64	5 – 45					1000
Kadm (Cd)	1,6 – 2,3	5,9 – 26,8	3,0	1,9 – 2,0	1 – 3	2,3 – 2,4	0,001 – 2,6					25
Chrom (Cr)	29,2 – 31,2	47 – 155	318 – 371	241 – 294	128 – 194	159 – 240	109 – 224					1000
Miedź (Cu)	133 – 165	84 – 302	131 – 520	116 – 134	69 – 80	117 – 159	85 – 228					1200
Nikiel (Ni)	15,9 – 16,7	25 – 70	22 – 72	21 – 29	8 – 112	59 – 149	7 – 29					200
Cynk (Zn)	1861 – 2467	754 – 2313	763 – 1150	430 – 663	325 – 406	638 – 913	575 – 1100					3500
Rtęć (Hg)	1,6 – 1,8	2,0 – 15,47	n.o.	n.o.	0,86 – 2,29	0,71 – 1,32	0,85 – 1,73					10
pH	7,3 – 81	6,5 – 7,8	6,8 – 12,4	8,1 – 8,5	7,6 – 8,7	6,6 – 9,0	6,2 – 12,2					

n.o. – nie oznaczono

Tabela 2. Zawartości składników w osadach ściekowych oznaczonych w laboratorium IOŚ

Składnik	Osad z oczyszczalni ścieków					
	Włocławek					Bydgoszcz-Kapuściska
	rok					
	2003	2004	2004	2005x	2005xx	2003
	% s.m.					
Substancja organiczna	41,3	52,3	38,0	62,3	41,2	51,3
Substancja mineralna	58,7	47,7	62,0	32,7	58,8	48,7
Węgiel organiczny	22,9	27,5	22,0	37,1	30,5	23,2
Azot ogólny	1,97	2,66	2,82	3,31	2,3	2,61
Fosfor	1,00	0,77	1,08	3,47	3,0	2,95
Wapń	13,4	11,2	8,0	6,0	5,5	4,8
Magnez	0,33	0,25	0,32	0,28	0,25	0,52
Potas	0,15	0,15	0,20	0,13	0,15	0,17
Sód	0,05	0,12	0,19	0,09	0,07	0,06
Żelazo	1,94	1,09	1,73	2,9	1,48	7,29
C:N	11,7	10,3	7,1	11,2	13,3	8,1
	mg/kg s.m.					
Ołów	46	31	44	29,2	37,0	65
Kadm	1,65	1,10	1,5	0,10	1,00	15,0
Chrom	100	70	443	685,5	537,0	189
Miedź	131	80	144	133,1	117,9	215
Nikiel	15,5	11,0	17,5	14,7	15,2	61,6
Cynk	606	426	745	846,8	687,0	1187
Rtęć	2,389	1,227	1,86	1,44	0,82	2,254
Mangan	488	410	737	584,7	413,0	259
	pH					
	7,2	10,2	7,6	7,4	6,8	7,3

2005x – sierpień
2005xx – październik

Zawartość potasu wahała się w przedziale 0,71 – 2,0% (przeważnie 0,71 – 1,59%). Świadczy to o wyraźnym niedostatku składników, co jest oczywiste ze względu na jego ubóstwo w osadzie ściekowym i w gruncie rekultywowanym. Zawartości wapnia wyniosły 0,37 – 1,36% Ca, a w poroście 0,37 – 0,54%. Znaczący wzrost zawartości Ca w plonach masy roślinnej jest spowodowany zanieczyszczeniem jej wapnem podłoża w toku koszenia porostu.

Wielokrotny wzrost zawartości wapnia (do 4,82%) stwierdzono w masie kompostowej z drugiego zbioru roślin w 2006 r. (tab. 3). Jest to skumulowany wynik gruntowego zanieczyszczenia i częściowej mineralizacji substancji organicznej. Stwierdzono też wyraźny wzrost potasu (do 2,69%) i azotu (do 3,79%) oraz metali ciężkich.

Wzrost zawartości potasu nastąpił nie tylko wskutek mineralizacji substancji organicznej, lecz głównie wskutek zastosowania w roku 2006 120 kg K₂O/ha. Nie bez znaczenia były też obfite opady atmosferyczne, które nastąpiły po wyjątkowej suszy w pierwszej poł-

Tabela 3. Zawartości składników w roślinach pobranych z porostu w polu i ze zbiorów (plonów) do kompostowania

Składnik	Porost rok 2004	Zbiory (plony) w latach		Zbiór (plon) roku 2006 – zaawansowana faza kompostowania
		2004	2005	
% s.m.				
Substancja organiczna	85,8 – 91,3	90,4	89,7 – 92,4	66,4 i 71,5
Substancja mineralna	8,7 – 14,2	9,6	7,6 – 10,3	33,6 i 28,5
Węgiel organiczny	39,4 – 43,2	43,6	38,8 – 40,0	33,0 i 35,2
Azot	1,84 – 2,03	1,82	1,50 – 2,00	3,6 i 3,79
Fosfor	0,15 – 0,23	0,16	0,16 – 0,30	0,63 i 0,58
Potas	1,12 – 1,59	1,23	0,71 – 2,00	2,35 i 2,69
Wapń	0,37 – 0,54	0,74	0,88 – 1,36	4,82 i 4,06
Magnez	0,15 – 0,22	0,22	0,21 – 0,37	0,53 i 0,64
Sód	0,08 – 0,18	0,12	0,11 – 0,24	0,31 i 0,47
Żelazo	0,05 – 0,28	0,18	0,01 – 0,07	0,34 i 0,22
C:N	20,0 – 23,0	24,0	19,4 – 26,3	9,1 i 9,3
mg/kg s.m.				
Ołów	1 – 2	2	2,1 – 3,8	17,7 i 8,6
Kadm	0,4 – 0,7	0,2	0,2 – 0,6	0,48 i 0,51
Chrom	3,0 – 5,0	4,2	12,0 – 27,0	36,0 i 49,0
Miedź	8 – 9	6,7	5,7 – 14,0	27,0 i 26,0
Nikiel	2 – 6	1,0	2,8 – 4,6	23,0 i 5,9
Cynk	25 – 33	36	33,0 – 52,0	113,0 i 132,0
Rtęć	0,032 – 0,055	0,021	0,02 – 0,07	0,146 i 0,159
Mangan	40 – 55	95	40,0 – 101,0	260,0 i 216,0

wie sezonu wegetacyjnego. Rośliny zbioru drugiego korzystały więc z niespożytkowanych zasobów pokarmowych w pierwszej połowie sezonu wegetacyjnego.

Kupkówka pospolita zawierała 2,09 – 3,05% N w roku 2004 i 3,36 – 4,51% N w latach 2005/2006 oraz 1,34 – 3,86% K i 0,15 – 0,38% P w latach 2004 – 2006. Niedobór potasu był oczywisty. Rośliny pobrały więc znaczne ilości sodu – do 0,71 – 0,77% s.m. (tab. 4). Kupkówka pospolita zawierająca około 3,3% K w roku 2005 wykazała tylko 0,11 – 0,17% Na.

Stosunek C:N w kupkówce pospolitej wahał się w przedziale 8,9 – 20,0; podczas gdy w poroście i w jego zbiorach wynosił 19,4 – 26,3 (tab. 3 i 5).

Perko zawierało 4,61 – 6,21% azotu; 3,13 – 3,64% potasu; 0,33 – 0,61% P; 1,55 – 2,08% wapnia; 0,40 – 0,70% magnezu. C:N wahał się w przedziale 6,3 – 9,2.

Wahania zawartości składników w obrębie analizowanych zbiorowości (porost, plony, kupkówka pospolita, perko) przedstawia tabela 5.

Minimalne i maksymalne zawartości węgla organicznego są zbliżone do siebie w analizowanych grupach mas roślinnych. Wyjątek stanowi perko w roku 2005, charakteryzujące się mniejszymi zawartościami węgla organicznego, a znacznie większymi zawartościami azotu (tab. 4).

Tabela 4. Zawartości składników w kupkówce pospolitej i w perku

Składnik	Kupkówka pospolita w latach			Perko w latach	
	2004	2005	2006	2004	2005
	% s.m.				
Substancja organiczna	83,6 – 90,5	85,2 – 90,2	88,0 – 89,5	82,6 – 83,3	84,0 – 90,5
Substancja mineralna	9,5 – 16,4	9,8 – 14,8	12,0 – 10,5	16,7 – 17,4	9,5 – 16,0
Węgiel organiczny	41,6 – 43,6	38,9 – 40,0	41,5 – 42,7	42,3 – 44,5	35,5 – 38,9
Azot	2,09 – 3,05	3,36 – 4,51	3,57 – 4,05	4,61 – 5,01	5,35 – 6,21
Fosfor	0,15 – 0,22	0,33 – 0,38	0,25 – 0,31	0,33	0,35 – 0,61
Potas	1,34 – 3,86	3,29 – 3,37	1,74 – 2,81	3,42 – 3,47	3,13 – 3,64
Wapń	0,34 – 0,61	0,44 – 0,67	0,55 – 0,86	1,55 – 1,67	1,69 – 2,08
Magnez	0,24 – 0,46	0,31 – 0,37	0,18 – 0,24	0,70	0,40 – 0,61
Sód	0,16 – 0,77	0,11 – 0,17	0,36 – 0,71	0,54 – 0,58	0,38 – 0,49
Żelazo	0,01 – 0,02	0,01 – 0,02	0,01 – 0,02	0,02	0,02 – 0,03
C:N	14,3 – 20,0	8,9 – 11,6	10,5 – 12,0	8,9 – 9,2	6,3 – 6,6
	mg/kg s.m.				
Ołów	< 2	2,0 – 3,3	0,3 – 1,0	< 2	2,0 – 2,8
Kadm	0,1 – 0,5	0,1	0,06 – 0,10	0,3	0,1
Chrom	0,6 – 1,8	3,9 – 4,8	3,0 – 4,0	1,0	3,9 – 6,8
Miedź	7,2 – 11,0	10,8 – 9,5	10,0 – 15,0	8,3 – 8,4	8,8 – 10,8
Nikiel	< 1,0 – 3,0	1,3 – 9,7	0,8 – 1,8	< 1	1,3 – 2,6
Cynk	22 – 54	35 – 76	24 – 42	63 – 70	68 – 76
Rtęć	0,008 – 0,045	0,03 – 0,16	0,001 – 0,002	0,027 – 0,029	0,03 – 0,04
Mangan	37 – 84	46 – 116	54 – 65	58 – 60	62 – 73

Najmniejsze zawartości azotu (1,5 – 2,0%) stwierdzono w plonie porostu, średnie wielkości (2,09 – 4,51%) w kupkówce, a największe ilości 4,61 – 6,25% w perku.

Taką samą prawidłowość wykazały zawartości potasu: 0,71 – 2,0%; 1,34 – 3,86%; 3,13 – 3,64% s.m.

Wahania zawartości metali ciężkich w poroście, kupkówce pospolitej, perku i w zbiorach porostu przedstawia tabela 5. W żadnej z tych zbiorowości nie stwierdzono nadmierne dużych zawartości metali ciężkich. Zbiory (plony) porostu wykazały więcej ołowiu, chromu, miedzi, cynku, rtęci i manganu niż porost pobrany bezpośrednio z pola. Różnice te są spowodowane gruntowym zanieczyszczeniem masy roślinnej w czasie koszenia. Kupkówka pospolita wykazała nieco większe niż porost maksymalne zawartości metali ciężkich (Ni, Zn, Mn).

Największe, stabilne zawartości cynku (63 – 76 mg) stwierdzono w perku, a największą rozpiętość (22 – 76 mg) w kupkówce. Wiadomo, że cynk jest bardzo ważnym składnikiem pokarmowym, a rośliny krzyżowe pobierają większe ilości tego składnika niż trawy.

Tabela 5. Wahania zawartości składników w poroście i w zbiorach (plonach) roślin oraz w kupkówce pospolitej i w perku

Składnik	Porost	Zbiory (plony)	Kupkówka pospolita	Perko
	% suchej masy			
Substancja organiczna	85,8 – 91,4	89,7 – 92,4	83,6 – 90,5	82,6 – 90,5
Substancja mineralna	8,7 – 14,2	7,6 – 10,3	9,5 – 16,4	9,5 – 17,4
Węgiel organiczny	39,4 – 43,6	38,8 – 43,6	38,9 – 43,6	35,5 – 44,5
Azot	1,81 – 2,03	1,50 – 2,00	2,09 – 4,51	4,61 – 6,21
Fosfor	0,15 – 0,23	0,16 – 0,30	0,15 – 0,38	0,33 – 0,61
Potas	1,12 – 1,59	0,71 – 2,00	1,34 – 3,86	3,13 – 3,64
Wapń	0,37 – 0,54	0,74 – 1,36	0,34 – 0,86	1,55 – 2,08
Magnez	0,15 – 0,22	0,22 – 0,37	0,18 – 0,46	0,40 – 0,70
Sód	0,08 – 0,18	0,11 – 0,24	0,11 – 0,71	0,38 – 0,58
C:N	20,0 – 24,0	19,4 – 26,3	8,9 – 20,0	6,3 – 9,2
	mg/kg s.m.			
Ołów	1 – 2	2,0 – 3,8	0,3 – 3,3	<2,0 – 2,8
Kadm	0,4 – 0,7	0,2 – 0,6	0,1 – 0,5	0,1 – 0,3
Chrom	3,0 – 5,0	4,2 – 27,0	0,6 – 4,8	1,0 – 6,8
Miedź	8,0 – 9,0	5,7 – 14,0	7,2 – 9,5	8,3 – 10,8
Nikiel	2,0 – 6,0	1,0 – 4,6	0,8 – 9,7	< 1,0 – 2,6
Cynk	25 – 33	33,0 – 52,0	22,0 – 76,0	63,0 – 76,0
Rtęć	0,032 – 0,055	0,02 – 0,07	0,001 – 0,045	0,027 – 0,04
Mangan	40 – 55	40,0 – 101,0	37 – 116,0	58,0 – 73,0

Kompostowanie masy roślinnej

Kompostowanie masy roślinnej, zbieranej dwa razy w sezonie wegetacyjnym, zapoczątkowano w roku 2001. Rośliny zbierano kombajnem do cięcia i rozdrabniania zielonki Orkan Z340 oraz transportowano do miejsc kompostowania. Rozdrobnioną masę roślinną (fot. 5) kompostowano z udziałem osadu ściekowego po mechanicznym odwodnieniu. Zielona (mokra) masa roślin (zwłaszcza zbioru pierwszego) oraz mała konsystencja osadu ściekowego, układane warstwowo, nie tworzyły korzystnych warunków powietrzno-wodnych i termicznych do prawidłowego przebiegu procesu kompostowania. Ponadto kompost osadowo-roślinny zawierał nadmierne ilości niektórych metali ciężkich, co wykazały analizy laboratoryjne wykonane w roku 2004. Postanowiono więc odstąpić od wspólnego kompostowania masy roślinnej i osadów ściekowych. Pierwszy plon masy roślinnej w roku 2005 ułożono w przyzmy bez udziału materii obcej (fot. 6). Jednocześnie założono 4 przyzmy doświadczalne o objętości 10 m³ każda. Jedną z nich ukształtowano z samej masy roślinnej (tak samo jak przyzmy produkcyjną) a 3 pozostałe z udziałem wapna posodowego o naturalnej (polowej) wilgotności:

- przyzma I 100% masy roślinnej,
- przyzma II 90% masy roślinnej i 10% wapna posodowego,

- przyzma III 80% masy roślinnej i 20% wapna posodowego,
- przyzma IV 70% masy roślinnej i 30% wapna posodowego.

Wymienione proporcje dotyczą objętości obu komponentów. Doświadczalne przyzmy kompostowe założono 28.06.2005 r. Przełożono je dwukrotnie (03.08.05 i 03.10.05). Dynamikę temperatury mierzono od 29 czerwca do 14 listopada. Najwyższe temperatury wykazała przyzma (40 do 66 °C) 100% masy roślinnej.

Zbliżone temperatury stwierdzono (39 – 62°C) w przyzmy 90% masy roślinnej z 10% udziałem wapna posodowego. W przyzmy z 20% udziałem wapna posodowego temperatura maksymalna osiągnęła 62°C, ale wahała się od 30 do 62°C.

Wzrost udziału wapna posodowego do 30% objętości masy kompostowanej spowodował wyraźny spadek temperatury (26 – 49°C) w porównaniu z pozostałymi wariantami doświadczenia.

Najwyższe temperatury (43 – 72°C) stwierdzono w przyzmy produkcyjnej.

Zawartości składników w kompostach

Zawartości składników podstawowych i metali ciężkich oznaczono w masie roślinnej i w wapnie posodowym, stanowiących komponenty (surowce) masy kompostowanej. Doświadczalne przyzmy kompostowe ukształtowano z masy roślinnej pobranej z przyzmy produkcyjnej, w której był już zapoczątkowany proces kompostowania oraz z miejscowego złoża wapna posodowego.

Chemizm masy roślinnej i wapna posodowego przedstawiono w tabeli 6. Oba komponenty (surowce) wykazały bardzo dużą wartość nawozową oraz znikome ilości metali ciężkich. Wyprodukowane z nich komposty doświadczalne zawierały:

- 41 do 71% substancji organicznej,
- 14,2 do 31,1% węgla organicznego,
- 1,16 do 2,63% azotu,
- 1,15 do 2,23% fosforu,
- 0,95 do 17,8% wapnia,
- 0,35 do 1,37% magnezu,
- 0,96 do 2,65% potasu.

Stosunek węgla organicznego (C) do azotu (N) w kompostach dojrzałych wahał się od 10,4 do 12,2. Zawartości metali ciężkich we wszystkich analizowanych próbkach kompostu wynosiły:

- 1,9 do 4,0 mg Pb/kg s.m.,
- do 0,1 mg Cd/kg s.m.,
- 9,8 do 17,2 mg Cr/kg s.m.,
- 7,8 do 11,8% mg Cu/kg s.m.,
- 2,5 do 5,8 mg Ni/kg s.m.,
- 32,0 do 37,9 mg Zn/kg s.m.,
- do 0,03 mg Hg/kg s.m.

Tabela 6. Zawartości składników w kompoście roślinnym i kompostach z udziałem wapna posodowego 10%→20→30% objętości

Składnik	Masa roślinna 100%			Udział masy roślinnej objętościowo						Wapno posodowe	
				90%		80%		70%			
	Data pobrania próbek w roku 2005										
	30.06	17.08	12.10	17.08	12.10	17.08	12.10	17.08	12.10		
	g·kg ⁻¹ s.m.; DM										
Substancja organiczna	90,0	80,2	71,0	62,6	52,7	64,7	52,0	41,1	41,0	n.o.	
Substancja mineralna	10,0	19,8	69,0	37,4	47,3	35,3	48,0	58,9	59,0	n.o.	
Węgiel organiczny	38,7	34,0	31,1	31,6	24,6	22,0	19,3	18,7	14,2	3,4	
Azot ogólny	2,0	2,35	2,63	2,56	2,18	1,65	1,70	1,43	1,16	0,01	
Fosfor ogólny	0,35	0,38	0,39	0,32	0,35	0,32	0,34	0,32	0,31	0,06	
Wapń	0,85	0,90	0,95	7,90	11,2	13,8	15,0	16,2	17,8	24,8	
Magnez	0,20	0,30	0,35	0,72	1,04	1,18	1,15	1,29	1,37	1,86	
Potas	1,99	2,18	2,50	2,63	2,15	1,61	2,03	0,96	1,03	0,12	
C:N	19,3	14,5	12,0	12,3	10,4	12,7	11,3	13,1	12,2	n.o.	
	mg·kg ⁻¹ s.m.; DM										
Ołów	2,4	1,9	2,0	2,8	3,0	3,2	3,7	3,9	4,0	6,8	
Kadm	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Chrom	9,7	9,8	11,0	13,0	14,0	15,5	16,0	17,1	18,0	31,1	
Miedź	7,8	7,8	8,0	9,0	9,7	10,2	10,7	11,0	11,8	14,1	
Nikiel	2,4	2,5	2,7	3,1	3,2	4,0	4,5	5,2	5,8	24,3	
Cynk	31,0	32,0	33,2	34,0	35,1	36,2	36,8	37,5	37,9	50,8	
Rtęć	0,02	0,03	0,03	0,09	0,03	0,03	0,03	0,03	0,039	0,005	

Według rozporządzenia Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 19 października 2004 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu (Dz. U. Nr 236, poz. 2369) dopuszczalne wartości zanieczyszczeń w nawozach organicznych i organiczno-mineralnych nie może przekraczać:

- chromu (Cr) 100 mg w kg suchej masy,
- cynku (Zn) 1500 mg w kg suchej masy,
- kadmu (Cd) 3 mg mg w kg suchej masy,
- miedzi (Cu) 400 mg w kg suchej masy,
- niklu (Ni) 30 mg w kg suchej masy,
- ołowiu (Pb) 100 mg w kg suchej masy,
- rtęci (Hg) 2 mg w kg suchej masy.

Nawóz organiczny powinien zawierać co najmniej:

- 40% substancji organicznej,
- 0,5% azotu,
- 0,3% fosforu (P₂O₅),
- 0,3% potasu (K₂O).

Nawóz organiczno-mineralny powinien zawierać co najmniej:

- 30% substancji organicznej,
- 1% azotu,
- 0,5% (P_2O_5),
- 1% potasu (K_2O).

Wszystkie komposty doświadczalne spełniają kryterium nawozu organicznego (ponad 40% substancji organicznej). Warianty z udziałem wapna posodowego zawierają ponadto duże ilości wapnia (11,2 do 17,8%) stanowiącego cenny składnik nawozu mineralnego, zwłaszcza dla gleb kwaśnych.

Produkcja kompostu roślinno-wapniowego zwanego wapnohumem, na zreultywowanym terenie składowiska wapna posodowego jest zasadna nie tylko ze względu na możliwości nawozowego użytkowania zasobu wapniowego lecz także ze względu na potrzebę:

- 1) zmniejszenia zawartości wody w kompostowanej zielonej masie roślin,
- 2) pełniejsze wykorzystanie związków azotu, obfitującego w kompostowanej masie roślinnej.

Komposty roślinny i roślinno-wapniowy będą mieć wielorakie (uniwersalne) zastosowanie w rolnictwie oraz w kształtowaniu i pielęgnowaniu zieleni na terenach o funkcjach ekologicznych i krajobrazowych.

Technologia produkcji kompostu na składowisku odpadów posodowych

Rekultywacja biologiczna (zazielenienie) terenu składowania odpadów posodowych w Janikowie jest wykonana już na 14 spośród 17 stawów, co stanowi około 85% całej powierzchni do rekultywacji. Do końca 2007 roku powierzchnia zreultywowana wyniesie 95 ha. Całość prac rekultywacyjnych ma być wykonana do końca roku 2008.

Stosownie do projektu rekultywacji masa roślinna jest systematycznie (dwa razy w sezonie wegetacyjnym) koszona, rozdrabniana i kompostowana (fot. 5 i 6). Pielęgnacja i koszenie roślin oraz kompostowanie masy roślinnej mają być kontynuowane po zakończeniu rekultywacji na całym 108 ha terenie.

Dotychczasowy sposób kompostowania masy roślinnej nie spełnia technicznych wymogów produkcji kompostu, stosownie do możliwości. Rośliny są prawidłowo koszone i rozdrabniane, ale prymitywna technika formowania i przekładania (mieszania i regulowania wilgoci) nie zapewnia prawidłowego przebiegu procesu kompostowania.

Nie ma też utwardzonej nawierzchni (placu) do formowania i przekładania przyzmi kompostowych. Sprzęt techniczny (transportowy, koparko-ładowarki) deformują powierzchnie gruntu, czyniąc warunki do zastoiskowego gromadzenia się wody opadowej. Chcąc realizować produkcję kompostu rynkowego (dopuszczonego do obrotu) należy:

- 1) wyznaczyć plac kompostowania i utwardzić jego nawierzchnię,
- 2) zapewnić spływ wód opadowych i odcieków z utwardzonej nawierzchni placu kompostowania do zbiornika retencyjnego,
- 3) zapewnić sprzęt techniczny do formowania i przekładania (w tym napowietrzania) przyzmi kompostowych,

- 4) zakupić sito do mechanicznego wydzielenia (w tym rozdrabniania) kompostu i nieprzekompostowanej jeszcze pozostałości,
- 5) zbudować wiatę do przechowywania sprzętu technicznego i kondycjonowania kompostu.

Do czasu wyposażenia kompostowni należy odstąpić od przemieszczania całej zbieranej masy roślinnej na dotychczasowy lub inny nieutwardzony plac. Trzeba natomiast formować kilka (np. 4) pryzm kompostowych w bliskim sąsiedztwie pozyskiwania biomasy. Nie powinny to być place stałego użytkowania lecz dla zbiorów roślin w jednym sezonie wegetacyjnym. W ten sposób uniknie się deformacji powierzchni gruntu zrekułtywowanego. Po usunięciu kompostu powierzchnie należy ponownie zazielenić (wysiać trawę).

Kompost może być produkowany: 1) z samej masy roślinnej (kompost roślinny), 2) z masy roślinnej i wapna posodowego (kompost roślinno-wapniowy).

Kompostowanie masy roślinnej

W kompostowaniu masy roślinnej niezbędna jest odpowiednia (co najmniej 30%) zawartość w niej suchej masy. Pożądane jest koszenie roślin w okresie suchej pogody, nie wcześniej niż od godziny 10, w celu wydatnego zmniejszenia wody w masie roślinnej. Celowo jest koszenie roślin przed fazie dojrzewaniem nasion trawy. Wtedy sucha masa trawy jest bliska niezbędnej do kompostowania.

Jeżeli masa roślinna jest nadmiernie wilgotna, to należy ją odpowiednio przesuszyć (przed ułożeniem pryzmy) na powierzchni ziemi. Kompostową pryzmę formuje się o wymiarach 3 – 5 m szerokości; 1,5 – 2 m wysokości, dowolnej długości, z przeschniętej masy roślinnej. Tak ukształtowana pryzma tworzy warunki do dynamicznego wzrostu temperatury, która może wynosić nawet 70 - 75°C.

Po upływie 3 – 5 tygodni temperatura wnętrza pryzmy będzie malała. Gdy spadnie do 50 - 40°C należy przełożyć masę kompostowaną w nową pryzmę o zbliżonej szerokości i wysokości. Zmalałe natomiast jej długość, ponieważ zmniejszy się objętość masy kompostowanej. Po przełożeniu pryzmy temperatura będzie wzrastała ponownie do poziomu 60 - 70°C (nawet do 75°C), a następnie malała. Gdy temperatura zmalała do około 40°C, pryzmę należy przełożyć ponownie. Należy oczekiwać wzrostu temperatury do około 60°C.

Dwa lub trzy przełożenia pryzmy powinny wystarczyć do rozkładu masy roślinnej na kompost w sezonie letnim i letnio-jesiennym.

Warunkiem prawidłowego przebiegu kompostowania są jednak optymalne uwilgotnienie i napowietrzenie. Obfite i długotrwałe opady atmosferyczne oraz niska temperatura otoczenia mogą poważnie spowolnić proces kompostowania.

W długotrwałych okresach suszy atmosferycznej zebrana masa roślinna może być nadmiernie sucha, a brak opadów atmosferycznych nie stworzy warunków do nawilżenia masy kompostowanej. Przykładem tego jest drugi zbiór masy roślinnej w roku 2005, kiedy to proces kompostowania był niemal zerowy do czasu nastania opadów atmosferycznych, dopiero w drugiej połowie jesieni. W takiej sytuacji nawodnienie kompostowanej masy było niezbędne. Wymienione wyżej wymiary pryzmy kompostowej dotyczą technologii bez wyposażania kompostowni w specjalistyczny sprzęt techniczny (areator) do przekłada-

nia (napowietrzania i mieszania) pryzm kompostowych. Wyposażenie kompostowni w taki sprzęt określa szerokość i wysokość pryzm kompostowych oraz pozwala na częstsze przekładanie pryzm.

Wspólne kompostowanie masy roślinnej z wapnem posodowym

Wspólne kompostowanie masy roślinnej z wapnem posodowym ma następujące zalety:

- 1) pozwala na pełniejsze zagospodarowanie (wykorzystanie) organicznych i mineralnych składników nawozowych, zawartych w masie roślinnej,
- 2) nawozowe użytkowanie miejscowego zasobu wapna posodowego,
- 3) zmniejszenie zawartości wody (wilgotności) w masie kompostowanej do niezbędnego poziomu; dotyczy to głównie pierwszego zbioru roślin o nadmiernej zawartości wody.

Optymalny udział wapna posodowego wynosi 10 – 20% objętości w mieszance z masą roślinną. Wagowo udział wapna posodowego będzie co najmniej dwukrotnie większy.

Sucha masa kompostu roślinno-wapniowego (przy użyciu 10 – 20% wapna) będzie zawierała odpowiednio około 50 – 55% i 40 – 45% oraz 8 i 12% wapnia. Będzie też odpowiednio zasobna w azot, fosfor, potas, magnez. Zawartości metali ciężkich będą wielokrotnie mniejsze od wielkości limitowanych w kompoście dopuszczonym do obrotu rynkowego.

Sposób integrowania (mieszania) wapna posodowego z masą roślinną wymaga:

- 1) l wapna przeschniętego, podatnego na mechaniczne rozdrabnianie,
- 2) l wstępnego wymieszania wapna z masą roślinną przed uformowaniem pryzmy kompostowej,
- 3) mechanicznego rozdrabniania grudek wapna w czasie przekładania pryzm kompostowych,
- 4) wydzielenia na sicie pozostałości grudek wapna z masy kompostu dojrzałego.

W celu zapewnienia odpowiedniego stanu suchości wapna posodowego, należy wcześniej uformować z niego pryzmę podczas suchej pogody, najlepiej z powierzchniowej (suchej) warstwy złoża. Wysoka pryzma wapna o usypowych zboczach ma chronić od nadmiernego namakania, a jednocześnie nasilać parowanie wody.

Przed wprowadzeniem wapna do masy roślinnej należy je rozdrobnić przy użyciu dostępnego sprzętu. Można to wykonać:

- 1) ułożyć na przyległym terenie 20 cm warstwę wapna, a następnie rozdrobnić jej masę przy użyciu glebogryzarki,
- 2) ułożyć na terenie przyległym około 20 cm warstwę wapna, a następnie rozdrobnić jej masę ciągnikiem gąsienicowym,
- 3) zastosować inny sprzęt do rozdrobnienia wapna posodowego.

Mieszanie masy roślinnej z wapnem posodowym można realizować w dwojaki sposób:

- 1) przed ułożeniem pryzmy – na terenie przyległym,
- 2) układając pryzmę z kolejnych warstw masy roślinnej i wapna posodowego.

W drugim przypadku wstępne mieszanie obu komponentów wykonuje się w czasie pierwszego przełożenia pryzmy po upływie 2 – 3 tygodni.

Przekładanie przyzmy przy użyciu koparko-ładowarki nie zapewnia dobrego rozdrobnienia grudek wapna i wymieszania go z masą roślinną. O wiele skuteczniejszą integrację obu komponentów zapewnia specjalistyczny sprzęt do przekładania przyzm kompostowych. Należy więc dążyć do nabycia odpowiedniej przerucarki (aeratora) przyzm kompostowych.

Koncepcja urządzenia kompostowni dla miasta Janikowa

Rekultywowany teren składowiska odpadów posodowych ma 108 ha. W części zrekultywowanej daje obfite plony roślin o bardzo dużej wartości do produkcji kompostu. W projekcie rekultywacji, zaakceptowanym przez odpowiednie władze administracyjne i realizowanym przez Janikowskie Zakłady Sodowe „Janikosoda” S.A. przewidziano permanentną uprawę roślinności trawiastej z przeznaczeniem jej plonów do produkcji kompostu. Oznacza to, że po zakończeniu rekultywacji należy zorganizować jednostkę gospodarczą, którą nazwiemy roboczo „Kompostownia biomasy w Janikowie” (na składowisku odpadów posodowych).

Zadaniem odnośnej kompostowni będzie:

- 1) uprawa i pielęgnacja (użytkowanie) roślin na terenie składowiska odpadów posodowych,
- 2) produkcja kompostu ze zbiorów masy roślinnej.

W takim zakresie zadanie może być realizowane przez właściciela składowiska („Janikosodę” S.A.) lub inny podmiot działający na zlecenie „Janikosody” S.A.

Ekologicznie i gospodarczo zasadne będzie poszerzenie działalności gospodarczej w tym zakresie na potrzeby Miasta i Gminy Janikowo.

Rozległy teren składowiska odpadów, wyposażony odpowiednio w drogi dojazdowe, oddalony od miasta i osiedli wiejskich, jest idealnym do przerabiania różnych odpadów organicznych i własnej masy roślinnej na kompost o wszechstronnym zastosowaniu.

Zasadne będzie ustanowienie jednostki gospodarującej na zrekultywowanym terenie składowiska, świadczącej usługi dla miasta i gminy w zakresie kompostowania odpadów organicznych:

- 1) odpadów roślinnych z pielęgnacji terenów zieleni miejskiej i osiedlowej,
- 2) komunalnych odpadów organicznych gromadzonych selektywnie w gospodarstwach domowych i zakładach usługowych,
- 3) osadów z oczyszczania ścieków komunalnych,
- 4) odpadów roślinnej i leśnej produkcji,
- 5) odpadów przemysłu rolno-spożywczego,
- 6) przeterminowanej żywności i pasz pochodzenia roślinnego,
- 7) pozostałych odpadów roślinnych i pochodzenia roślinnego.

Zakład produkcji kompostu (kompostownia) powinien być wyposażony w nowoczesny sprzęt techniczny do:

- 1) odbioru (pozyskiwania) i transportowania surowców (odpadów),
- 2) uzdatniania surowców (odpadów) kompostowych,
- 3) prowadzenia procesu kompostowania,
- 4) kondycjonowania i dystrybucji kompostu.

Zakłada się, że kompostowanie będzie prowadzone w przyzmacz na placu utwardzonym i zadaszonym. Zadaszenie placu zabezpieczy przyzmacz kompostowe przed opadami atmosferycznymi i odciekami oraz zapewni regulowanie wilgotności masy kompostowanej. Wiata ma służyć także do wydzielania (wysiewania) kompostu oraz do przechowywania i kondycjonowania produktu.

Do niezbędnego sprzętu technologicznego należą:

- 1) kombajn do ścinania i rozdrabniania zielonki Orkan Z430,
- 2) rębarka do rozdrabniania gałęzi drzew i krzewów oraz innych zdrewniałych części roślin,
- 3) koparko-ladowarka do formowania przyzmacz i przemieszczania masy kompostowej,
- 4) urządzenie do przerzucania i napowietrzania (aerator) przyzmacz kompostowych,
- 5) sito obrotowe do wydzielania kompostu i nierozłożonych części masy kompostowej,
- 6) urządzenie do workowania (pakowania) kompostu.

Kompostownia powinna mieć ponadto:

- zaplecze socjalne i administracyjne,
- pomieszczenie dla sprzętu technicznego,
- ogrodzenie.

Możliwości produkcji kompostu na składowiskach odpadów zazielenianych przy użyciu osadów ściekowych

Duże składowiska odpadów mineralnych o płaskich wierzchołkach mogą być szybko i efektywnie zazieleniane (rekultywowane biologicznie) przy użyciu osadów z biologicznego oczyszczania ścieków komunalnych i przemysłu rolno-spożywczego. Osady te nadają się bardzo dobrze do nawożenia powierzchni zrekultywowanych w celu zachowania intensywnego wzrostu roślin. Duże składowiska odpadów mineralnych są zwykle położone z dala od terenów mieszkaniowych. Mają też odpowiednią infrastrukturę techniczną, w tym drogi transportu i systemy odprowadzania wód opadowych. Szybkie i trwałe zazielenienie takich obiektów jest niezbędne. Niezbędne jest też odpowiednie porekultywacyjne zagospodarowanie terenu składowiska.

Janikowskie składowisko odpadów posodowych jest dobrym przykładem możliwości stosowania osadów ściekowych do biologicznej rekultywacji złoża uciążliwych odpadów przemysłowych oraz do prowadzenia działalności gospodarczej w latach dalszych, w tym na potrzeby miasta i gminy Janikowo.

Składowisko odpadów posodowych w pobliskich Mątwach ma analogiczną powierzchnię i analogicznie może być zagospodarowane na potrzeby Inowrocławia.

Składowisko odpadów z energetycznego spalania węgla brunatnego w Elektrowni Bełchatów ma kilkaset hektarów powierzchni płaskiej. W jego bliskim sąsiedztwie znajdują się bardzo duże zasoby osadów ściekowych, które stanowią bardzo poważny problem ekologiczny i gospodarczy. Zazielenienie tego składowiska przy użyciu osadów ściekowych jest oczekiwane od dawna. Należy podkreślić, że bardzo duża zawartość wapnia w popiele ze spalania węgla bełchatowskiego czyni go cennym nawozem wapniowym. Podobnie jak w Janikowie popiół ten może być cennym komponentem w produkcji kompostu.

Składowisko wapna poflotacyjnego byłej Kopalni Siarki w Machowie stanowi rozległy teren. Blisko 100 ha powierzchni zdeformowanej przez byłą Kopalnię Siarki Jeziórko pokryto (zrekultywowano technicznie) grubą warstwą wapna poflotacyjnego. Rekultywację biologiczną tego terenu wykonano przy użyciu osadów ściekowych. W zamyśle doświadczenia rekultywacyjnego IOS [Siuta, Wasiak, Chłopecki 1996] mieściła się koncepcja kompostowania masy roślinnej pozyskiwanej z terenu rekultywowanego osadem ściekowym. W praktyce ograniczono się do zazielenienia powierzchni.

Większość dużych elektrowni węglowych ma rozległe składowiska odpadów paleniskowych, które mogą (powinny) być zazielenione i odpowiednio użytkowane.

Największe składowiska odpadów mają zakłady górnicze. Znaczna ich część może być zazieleniona i użytkowana z zastosowaniem osadów ściekowych, w sposób analogiczny jak w Janikowie.

Każde składowisko odpadów ma swą specyfikę oraz różne przyrodnicze, społeczne i techniczne uwarunkowania, toteż wymaga szczegółowego rozpoznania uwarunkowań i możliwości rozwiązania.

Proponowany sposób (technologia) produkcji kompostu w Janikowie stanowi tylko przykład postępowania na terenie określonego składowiska odpadów.

Podsumowanie i wnioski

W pracy omówiono: 1) stan realizacji projektu rekultywacji składowiska odpadów posodowych Janikowskich Zakładów Sodowych „Janikosoda” S.A. opracowanego przez IOS w roku 2001, 2) charakterystykę obiektu i metodykę badań, 3) skład chemiczny osadów ściekowych stosowanych w rekultywacji składowiskowego gruntu, 4) zawartość składników w roślinach uprawianych na gruncie zrekultywowanym osadami ściekowymi, 5) zawartości składników w gruncie zrekultywowanym osadami ściekowymi, 6) sposób kompostowania masy roślinnej, 7) chemizm (wartość nawozową) kompostów doświadczalnych i produkcyjnych, 8) technologie produkcji kompostu na składowisku odpadów Janikowskich Zakładów Sodowych, 9) koncepcję urządzenia kompostowni odpadów roślinnych dla Janikowa na terenie składowiska odpadów posodowych, 10) możliwości produkcji kompostu na składowiskach odpadów zazielenianych przy użyciu osadów ściekowych.

1. Prace rekultywacyjne na składowisku odpadów posodowych prowadzone od roku 2000, potwierdziły w całej rozciągłości zasadność projektu rekultywacji. Intensywny wzrost roślin następował w krótkim czasie po zastosowaniu osadu ściekowego i wysianiu nasion oraz trwa w latach następnych, mimo występujących okresów suszy atmosferycznych. Ciągłe zaopatrzenie roślin w wodę stanowi fenomen przyrodniczy na podłożu o nadmiernym zasoleniu i alkaliczności środowiska.
2. Zawartość głównych składników mineralnych i metali ciężkich w roślinach nie odbiegają zasadniczo od ich zawartości w roślinach środowisk niezanieczyszczonych. Rośliny stanowią więc dobrą paszę dla zwierzyny dzikiej, której obecność jest liczna (w tym sarny).

3. Masa roślinna jest koszona dwa razy w sezonie wegetacyjnym i przetwarzana na kompost. W roku 2005 odstąpiono od kompostowania masy roślinnej z osadami ściekowymi ze względu na nadmierne zawartości chromu i miedzi w osadzie ściekowym z Włocławka.
4. Skład chemiczny kompostu wyprodukowanego z samej masy roślinnej oraz kompostów z masy roślinnej i wapna posodowego wykazały duże wartości nawozowe oraz znikome zawartości metali ciężkich. Komposty te wykazały wielokrotnie mniejsze zawartości metali ciężkich od wielkości limitowanych w kompoście dopuszczonym do obrotu rynkowego.
5. Wnioskuje się zorganizowanie kompostowni, wyposażonej w odpowiedni sprzęt technologiczny, na terenie składowiska odpadów posodowych, jako sposób porekultywacyjnego zagospodarowania terenu.
6. Istnieją przesłanki (podstawy) do urządzenia nowoczesnej kompostowni masy roślinnej z terenu miasta i gminy Janikowo. W tym celu należy zainicjować współdziałanie Kierownictwa „Janikosody” S.A. z Władzami Miasta i Gminy Janikowo.

Piśmiennictwo

1. Siuta J., Wasiak G., Kozłowska B. 1993: Agrotechniczne przetwarzanie osadów ściekowych na kompost. Cz. 4. Kompostowanie masy roślinnej. Ekol. i Tech. 6.
2. Siuta J. 1999: Agrotechniczne przetwarzanie osadów ściekowych na kompost. Mat. konf. n.-t. „Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych”. Puławy-Lublin-Jeziórko. IOŚ.
3. Siuta J., Wasiak G., Chłopecki K. i in. 1996: Przyrodniczo-techniczne przetwarzanie osadów ściekowych na kompost. IOŚ. Warszawa.
4. Siuta J. 2003: Uwarunkowania i sposoby przyrodniczego użytkowania osadów ściekowych. Inż. Ekol. 9.
5. Siuta J. 1999: Koncepcja rekultywacji składowisk odpadów posodowych Janikowskich Zakładów Sodowych (maszynopis). IOŚ Warszawa.
6. Siuta J., Sienkiewicz R. 2000: Badania uzupełniające i pilotowo-wdrożeniowe doświadczenia rekultywacji gruntu na składowisku odpadów posodowych (maszynopis). IOŚ. Warszawa.
7. Siuta J., Kutla G. 2001: Projekt rekultywacji składowisk odpadów posodowych Janikowskich Zakładów Sodowych „Janikosoda” S.A. (maszynopis). IOŚ. Warszawa.
8. Siuta J., Sienkiewicz R. 2001: Rekultywacja terenu składowania odpadów posodowych w Janikowie. Inż. Ekol. 3.
9. Siuta J. 2002: Przyrodnicze użytkowanie odpadów. IOŚ. Warszawa.
10. Siuta J. 2002: Aneks do projektu rekultywacji składowisk odpadów posodowych Janikowskich Zakładów Sodowych „Janikosoda” S.A. (maszynopis) IOŚ. Warszawa.

Streszczenie

Biologiczną rekultywację terenu składowiska prowadzi się z zastosowaniem intensywnego nawożenia ustabilizowanymi i mechanicznie odwodnionymi osadami ściekowymi. Duża dostępność składników pokarmowych tworzy warunki do intensywnego wzrostu traw i roślin dwuliściennych. Ruń tych roślin jest koszona dwukrotnie w sezonie wegetacyjnym i przerabiana na kompost.

Dodanie miejscowego wapna posodowego do kompostowanej biomasy zwiększa dostęp powietrza atmosferycznego i nasila proces kompostowania. Analizy laboratoryjne masy roślinnej i wyprodukowanych kompostów wykazały normatywne zawartości kompostów do stosowania w rolnictwie.

Intensywne plonowanie roślin na 108 ha powierzchni tworzy znaczący zasób biomasy do kompostowania. Planowana kompostownia może obsłużyć też miasto Janikowo i przyległe tereny.

Słowa kluczowe: składowisko odpadów posodowych, osady ściekowe, rekultywacja, kompostowanie, jakość kompostu.

SYSTEM OF PLANT CULTIVATION AND COMPOSTING WITH THE USE OF SEWAGE SLUDGE ON THE POST-SODA WASTE LANDFILL AT JANIKÓW.

Abstract

The biological reclamation of landfill site has been conducted using intensive fertilization with the stabilized and mechanically dewatered sewage sludge. A good accessibility of nutrients favours intensive growth of grasses and dicotyledonous plants. The biomass of these plants is mown twice during the vegetation season and processed to compost.

An addition of local post-soda lime to the biomass composted increases the access of the atmospheric air and enhances the composting process. The results of laboratory analyses of the plant mass and composts produces have indicated normative contents of composts suitable for agricultural application.

Due to the intensive plant growth on 108 ha surface there is a significant amount of biomass ready for composting. The compost plant based on the above biomass may provide services to the town of Janikowo and adjacent areas.

Prof. dr hab. Jan Siuta
Instytut Ochrony Środowiska
00-548 Warszawa, ul. Krucza 5/11 D