

Jan Siuta

**KOMPOSTOWE UŻYTKOWANIE ROŚLIN
NA SKŁADOWISKU ODPADÓW POSODOWYCH
W JANIKOWIE**

**COMPOST USE OF PLANTS GROWN ON SODA
PRODUCTION WASTE LANDFILL AT JANIKOWO**

Słowa kluczowe: składowisko odpadów, osady ściekowe, uprawa roślin, kompostowanie masy roślinnej i osadów ściekowych.

Keywords: soda production waste landfill, sewage sludge, plant cultivation, composting of plant biomass and sewage sludge.

For an exploited portion of the soda production waste landfill site at Janikowo (108.6 ha) a scheme was elaborated for introducing vegetation cover with the use of sewage sludge for ground conditioning. Stocking of plant biomass and composting was also planned. Land reclamation and biomass composting have been done by the landfill owner since the year 2000. Study on the quality of waste applied, plant and compost chemical composition and on the reclaimed ground properties was initiated by the Institute of Environmental Protection (the author of the project) in the year 2004 (Tables 1–4).

The application of sewage sludge contributes to luxuriant growth of grass and herb plants. The mineral composition of such plants does not vary greatly from that of plants growing in urban areas. At the same time it does meet the requirements for a raw material to produce a high quality compost. The quality of compost produced from plant mass and sewage sludge containing excessive amounts of chromium does not qualify for agricultural application. Co-composting of that waste together with plant mass shall be abandoned and compost shall be produced using plant mass alone or with the addition other organic waste.

1. WPROWADZENIE

Zastosowanie osadów ściekowych powoduje intensywny wzrost roślinności trawiastej i zielnej. Skład mineralny roślin nie odbiega w sposób istotny od ich składu na terenach zurbanizowanych. Spełnia całkowicie wymogi surowca do produkcji wysokiej jakości kompostu. Kompost wyprodukowany z masy roślinnej i osadu zawierającego nadmierne ilości chromu, nie kwalifikuje się do rolniczego stosowania. Należy produkować kompost z samej masy roślinnej lub razem z innymi odpadami organicznymi.

Opracowano projekt ukształtowania szaty roślinnej z zastosowaniem osadów ściekowych na składowiska odpadów posodowych w Janikowie (108,6 ha). Przewidziano zbieranie masy roślinnej i przerabianie jej na kompost. Rekultywacja gruntu i kompostowanie masy roślinnej są realizowane od roku 2000.

W roku 2004 Instytut Ochrony Środowiska zapoczątkował na składowisku odpadów posodowych w Janikowie badania, których celem było opracowanie technologii produkcji kompostu na składowiskach odpadów zazielenianych (rekultywowanych) przy użyciu osadów ściekowych.

2. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAWCZEGO

Składowisko odpadów posodowych stanowi integralną część terenu przemysłowego Janikowskich Zakładów Sodowych. Zajmuje ok. 200 ha pomiędzy technologiczną strukturą Zakładów i Kanałem Noteckim. Składowisko odpadów wznosi się do ok. 16 m powyżej powierzchni terenu przyległego.

Teren wyeksploatowanych stawów osadowych podlegający rekultywacji technicznej i biologicznej ma 17 kwater, zwanych stawami osadowymi. Głównymi składnikami odpadów składowanych w Janikowie są węglan wapnia i krzemionka. Dla środowiska szczególnie uciążliwe są chlorki wapnia i sodu, które z nieuszczelnionych stawów są przemieszczane do wód podziemnych. Łatwo rozpuszczalne sole stanowią ok. 5% suchej masy (s.m.).

Bezroślinne powierzchnie składowiska były narażone na erozyjne działania wiatru. Pokrycie tych powierzchni szatą roślinną było niezbędne do zmniejszenia uciążliwości składowiska dla środowiska podziemnego i nadziemnego oraz w celu odnowy walorów krajobrazu. Nie bez znaczenia była też szybkość zazielenienia powierzchni oraz trwałość i intensywność wzrostu roślin, a także koszty wykonania rekultywacji i pokultywacyjnego użytkowania terenu.

3. OSADOWA REKULTYWACJA TERENU SKŁADOWISKA ODPADÓW POSODOWYCH

Koncepcja. Koncepcję osadowej rekultywacji terenu składowiska opracowano w roku 1999 [Siuta 1999]. Następnie przeprowadzono badania uzupełniające i pilotowo-wdrożeniowe doświadczenie na składowisku [Siuta, Sienkiewicz 2000], które potwierdziły zasadność i dużą efektywność rekultywacyjną osadów ściekowych. Mając na względzie nadmierne zasolenie i alkaliczność gruntu z jednej strony oraz potrzebę skutecznego zazieleniania powierzchni z drugiej strony, zaproponowano stosowanie rekultywacyjnych dawek osadów ściekowych.

Opracowanie projektu. Projekt rekultywacji terenu składowiska odpadów posodowych opracowano w roku 2001, stosownie do podjętej koncepcji i wyników badań uzupełniających [Siuta 2001]. Stwierdzono, że 60 ton s.m. osadu na hektar zapewnia intensywną vegetację w miejscach pokrytych częściowo samosiewną roślinnością. Na powierzchniach zupełnie bezroślinnych wystarcza dawka 100 ton s.m. na hektar.

W projekcie rekultywacji przewidziano kompostowanie masy roślinnej. Stwierdzono, że zachowanie ciągłości intensywnego wzrostu roślin będzie wymagało:

- 1) uzupełniającego stosowania osadów ściekowych w dwu-, trzyletnich odstępach czasu,
- 2) uzupełniającego nawożenia potasem,
- 3) sukcesywnego koszenia roślin,
- 4) korygowania składu gatunkowego roślin przez uzupełniające wysiewanie nasion.

Przewidziano też program doświadczalnego kompostowania masy roślinnej z osadem ściekowym.

Realizacja projektu rekultywacji. Rekultywacja terenu składowania odpadów jest realizowana sukcesywnie począwszy od roku 2000 [Siuta, Sienkiewicz 2000]. Zrekultywowano już ponad 80% powierzchni. Stosowano osady (odwodnione mechanicznie) z oczyszczalni ścieków Włocławka, Bydgoszczy (Kapuściska) i Inowrocławia. Od roku 2004 stosuje się tylko osad z Włocławka.

Do końca roku 2002 ukształtowano bujną szatę roślinną w 10 stawach zapełnionych wapnem posodowym o powierzchniach płaskich. Stawy niezapełnione w całości wapnem posodowym, o dużych deniwelacjach powierzchni, postanowiono dopełnić odpadem paleniskowym z miejscowej elektrociepłowni.

W roku 2001 zapoczątkowano kompostowanie zbiorów masy roślinnej z osadami ściekowymi w przyzmacach, na nieutwardzonej powierzchni składowiska. Nie badano jednak składu chemicznego kompostowanych osadów i masy roślinnej. Nie określono też proporcji ilościowych obu komponentów.

4. CHARAKTERYSTYKA OSADÓW ŚCIEKOWYCH STOSOWANYCH W REKULTYWACJI

Niezależnie od wyników oznaczeń składu chemicznego osadów, dostarczonych przez odpowiednie oczyszczalnie ścieków we Włocławku i w Kapuściskach, w Laboratorium Monitoringu Środowiska IOŚ analizowano trzy razy osad

Tabela 1. Zawartość składników w osadach ściekowych

Table 1. Element contents in sewage sludge

Wyszczególnienie	Osad z oczyszczalni ścieków			
	we Włocławku		w Bydgoszczy Kapuściskach	
	w latach			
	2003	2004	2004	2003
% s.m.				
Substancja organiczna	41,3	52,3	38,0	51,3
Substancja mineralna	58,7	47,7	62,0	48,7
C organiczny	22,9	27,5	22,0	23,2
N ogólny	1,97	2,66	2,82	2,61
P	1,00	0,77	1,08	2,95
Ca	13,4	11,2	8,0	4,8
Mg	0,33	0,25	0,32	0,52
K	0,15	0,15	0,20	0,17
Na	0,05	0,12	0,19	0,06
Fe	1,94	1,09	1,73	7,29
C:N	11,7	10,3	7,1	8,1
mg · kg ⁻¹ s.m.				
Pb	46	31	44	65
Cd	1,65	1,10	1,5	15,0
Cr	100	70	443	189
Cu	131	80	144	215
Ni	15,5	11	17,5	61,6
Zn	606	426	745	1187
Hg	2,389	1,227	1,86	2,254
Mn	488	410	737	259
pH				
	7,2	10,2	7,6	7,3

z oczyszczalni ścieków we Włocławku i jeden raz (2003 r.) osad dostarczony przez oczyszczalnię ścieków Kapuściska (tab. 1).

Osad z Włocławka wyróżniały (w latach 2003 i 2004) bardzo duże zawartości wapnia (8,0–13,4%) i bardzo duża zmienność zawartości substancji organicznej (38,0–52,3%). Stwierdzono też duże wahania zawartości chromu (70–443 mg/kg s.m.).

W analizowanych próbkach osadu stwierdzono 22,0–27,5% węgla organicznego oraz 1,97 do 2,82% azotu. Wartość stosunku węgla organicznego do azotu (C : N) wahała się w granicach 7,1–11,7, czyli, stosunek ten był podobny jak w glebach żywnych. Zawartości wszystkich metali ciężkich były ponad dwukrotnie mniejsze niż dopuszczalne w osadach do rekultywacji gruntów na cele nierolnicze.

Osad z oczyszczalni Kapuściska (rok 2003) wyróżniła duża zawartość kadmu (15 mg/kg s.m.), która nie osiągnęła jednak wartości dopuszczalnej (25 mg/kg s.m.). Na uwagę zasługuje wielokrotnie mniejsza zawartość rtęci (2,25 mg/kg s.m.) niż dopuszczalna (10 mg/kg s.m.) w osadach stosowanych w rekultywacji gruntów na cele nierolnicze.

5. CHARAKTERYSTYKA SKŁADU CHEMICZNEGO ROŚLIN Z POWIERZCHNI REKULTYWOWANYCH

Analizowano skład chemiczny roślin pobranych z powierzchni zrekultywowanych w latach 2000–2003. W miesiącu lipcu pobrano uśrednione próbki porostu trawiastego z udziałem roślin dwuliściennych (tab. 2). Oznaczone zawartości węgla organicznego wynosiły od 39,4 do 43,6% s.m., a azotu ogólnego 1,82 do 2,03% s.m.

Tabela 2. Zawartość składników w roślinach z powierzchni zrekultywowanych w latach 2000–2003. Porost roślin dojrzały do zbioru

Table 2. Element contents in plants harvested on plots treated in the years 2000–2003. Vegetation ready for harvest

Wyszczególnienie	Powierzchnia zrekultywowana w latach				
	2000 ¹	2001 ¹	2002 ¹	2003 ¹	2000–2003 ²
1	2	3	4	5	6
% s.m.					
Substancja organiczna	85,8	86,8	85,8	91,3	90,4
Substancja mineralna	14,2	13,2	14,2	8,7	9,6

Tabela 2 – c.d.

1	2	3	4	5	6
% s.m.					
C organiczny	39,4	42,8	40,1	43,2	43,6
N ogólny	1,95	1,84	2,03	1,89	1,82
P	0,17	0,15	0,23	0,16	0,16
Ca	0,74	0,59	0,69	0,37	0,74
Mg	0,15	0,22	0,21	0,21	0,22
K	1,38	1,56	1,12	1,59	1,23
Na	0,10	0,18	0,14	0,08	0,12
Fe	0,26	0,12	0,18	0,05	0,18
C:N	20,0	23,0	20,0	22,3	24,0
mg · kg ⁻¹ s.m.					
Pb	3	2	6	1	2
Cd	0,4	0,5	0,7	0,4	0,2
Cr	17	7	20	6	4,2
Cu	10	10	19	8	6,7
Ni	6	4	6	2	1
Zn	103	43	125	33	36
Hg	0,055	0,032	0,032	0,039	0,021
Mn	62	61	115	46	95

Objaśnienie: ¹ próbki pobrano 09.07.2004 r. bezpośrednio z pola. ² próbki pobrano 13.09.2004 r. z pryzmy masy uśrednionej.

Wartość stosunku zawartego w roślinach węgla organicznego do azotu (C : N) wahał się w przedziale 20,0–24,0. Stwierdzone zawartości azotu nie świadczą o zasobności środowiska w ten pierwiastek, mimo dość intensywnego użytkowania gruntu osadem ściekowym.

Zawartość potasu w roślinach wynosiła 1,12 do 1,59% s.m. Świadczy to o niedoborze tego składnika dla roślin oraz o potrzebie nawożenia ich potasem.

Zawartości metali ciężkich w roślinach są nieduże, ale stwierdzono znaczne ich wahania. Dotyczy to zwłaszcza chromu (4,2–20,0 mg/kg s.m.), niklu (1–6 mg/kg s.m.), ołowiu (1–6 mg/kg s.m.) i cynku (36–125 mg/kg s.m.). Nawet największe stwierdzone zawartości metali ciężkich spełniają zupełnie wymogi surowca do produkcji kompostu o wysokiej jakości nawozowej.

W miesiącu wrześniu pobrano i analizowano 7 próbek kupkówki pospolitej i 2 próbki perka (tab. 3). Rośliny znajdowały się w stadium krzewienia (młodocianym). Sucha masa kupkówki zawierała: od 41,6 do 43,6% węgla organicznego.

go oraz od 2,09 do 3,05% azotu. Sucha masa perka zawierała: 42,3 i 44,5 węgla organicznego, 4,61 i 5,01% azotu.

Stosunek węgla organicznego do azotu (C:N) charakteryzowały wartości od 14,3 do 20,0 w kupkówce oraz 8,9 i 9,2 w perku.

Procentowe zawartości azotu w młodej masie kupkówki i perka są wystarczające, ale nie świadczą o nadmiernej dostępności tego składnika dla roślin. Większe zawartości azotu stwierdzono w roślinach z powierzchni zrekułtywo-

Tabela 3. Zawartości składników w kupkówce pospolitej i w perku (próbki pobrano 13.09.2005 r.)

Table 3. Element contents in cocksfoot and in Perko (samples were taken on 13.09.2005)

Wyszczególnienie	Kupkówka pospolita							Perko		
	nr stawu (pola)									
	1	2	3	4	5	10	13	11	13	
% s.m.										
Substancja organiczna	89,8	90,5	83,6	88,8	88,3	86,1	89,8	82,6	83,3	
Substancja mineralna	10,2	9,5	16,4	11,2	11,7	13,9	10,2	17,4	16,7	
C organiczny	43,2	43,2	41,6	42,3	42,1	43,1	43,6	42,3	44,5	
N ogólny	2,29	2,25	2,09	2,50	2,82	2,36	3,05	4,61	5,01	
P	0,20	0,22	0,22	0,21	0,21	0,19	0,15	0,33	0,33	
Ca	0,61	0,58	0,57	0,61	0,53	0,34	0,57	1,55	1,67	
Mg	0,25	0,24	0,27	0,26	0,27	0,25	0,46	0,70	0,70	
K	2,07	1,34	2,03	2,54	3,86	3,22	2,95	3,47	3,42	
Na	0,65	0,77	0,37	0,67	0,19	0,17	0,16	0,58	0,540	
Fe	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,016	0,015	
C:N	14,5	14,6	20,0	16,9	15,0	18,2	14,3	9,2	8,9	
mg · kg ⁻¹ s.m.										
Pb	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	
Cd	0,1	0,2	0,1	0,1	0,5	0,3	0,1	0,3	0,3	
Cr	1,8	1,2	1,1	0,9	1,4	1,2	0,6	1,0	1,0	
Cu	8,2	9,2	7,2	8,8	10,8	9,1	11,0	8,4	8,3	
Ni	3,0	<1	<1	<1	2,0	2,0	2,0	<1	<1	
Zn	32	26	22	32	54	31	37	63	70	
Hg	0,014	0,02	0,045	0,19	0,013	0,008	0,02	0,027	0,029	
Mn	45	46	68	61	66	37	84	58	60	

wanych osadem w roku 2003, a mniejsze z powierzchni zrehabilitowanych wcześniej. Próbkę perka pobrano z powierzchni zrehabilitowanej w roku 2003.

Zawartości potasu w kupkowie wahały się w przedziale od 1,34 do 3,86% s.m., a w perku wynosiły 3,42 i 3,47%. Rośliny z powierzchni zrehabilitowanych w roku 2003 zawierały znacznie więcej potasu (2,95–3,47%) niż z powierzchni zrehabilitowanych wcześniej (1,34–2,07%).

Zawartości metali ciężkich w kupkowie i w perku są porównywalne do ich zawartości w roślinach gleb niezanieczyszczonych (tab. 3).

6. ZAWARTOŚCI SKŁADNIKÓW W KOMPOŚCIE OSADOWO-ROŚLINNYM

Analizowane komposty wyprodukowano z masy roślinnej i osadu ściekowego wapnowanego. Pryzmy kompostowe formowano i przekładano bez przestrzegania reżimu technologicznego. Dotyczy to także proporcji wagowej suchej i mokrej masy roślin do osadu ściekowego. Komposty analizowano w stanie dojrzałym i niedojrzałym.

Zawartość substancji organicznej w kompostach dojrzałych wynosiła 27,3–35,1% s.m., a węgla organicznego 15,8–16,8% s.m. Małe zawartości substancji organicznej to skutek nadmiernego udziału osadu intensywnie wapnowanego. Komposty dojrzałe zawierają 15,0–18,3% wapnia w s.m. (tab. 4). Osad przeznaczony do kompostowania z masą roślinną w czerwcu 2004 r. zawierał tylko 38% substancji organicznej (tab. 4).

Kompost niedojrzały zawierał 55,6% substancji organicznej i 6,2% wapnia, a zatem udział osadu ściekowego w masie kompostowanej był dużo mniejszy. Ponadto, osad ściekowy użyty do formowania odnośnej przymy kompostowej zawierał tylko 8% wapnia (tab. 4).

Zawartości azotu w kompostach dojrzałych wynosiły 1,43–1,76% s.m., a w kompoście niedojrzałym 2,71% s.m. Stosunek węgla organicznego do azotu w kompostach dojrzałych charakteryzowała wartość mieszcząca się w przedziale 9,5–11,7, a w kompoście niedojrzałym – wynosząca 16,4%.

Zawartość metali ciężkich w kompostach dojrzałych i w kompoście niedojrzałym spełniająca wymogi jakościowe dotyczące nawozów organicznych i organiczno-mineralnych według rozporządzenia Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 19 października 2004 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu (DzU nr 236, poz. 2369). Wyjątek stanowi nadmierna zawartość chromu wprowadzonego wraz z osadem ściekowym z Włocławka. Wynika stąd, że tego osadu ściekowego nie należy używać do produkcji kompostu przeznaczonego do nawożenia gleb i roślin uprawnych.

Tabela 4. Zawartości składników w masie roślinnej, osadzie ściekowym i w kompoście osadowo-ściekowym w Janikowie**Table 4.** Element contents in plant mass, sewage sludge and in plant sludge compost at Janikowo

Wyszczególnienie	Do kompostowania		Kompost osadowo-roślinny			
	masa roślinna – zbiór 13.09.2004	Osad ściekowy z Włocławka 2004 r.	dojrzały			niedojrzały
			2003 r.	2004 r.		2004 r. listopad
				lipiec	listopad	
% s.m.						
Substancja organiczna	90,4	38,0	27,3	35,1	28,9	55,6
Substancja mineralna	9,6	62,0	72,7	64,9	71,1	44,4
C organiczny	43,6	22,0	16,8	16,8	15,8	27,8
N ogólny	1,82	2,82	1,43	17,6	1,57	2,71
P	0,16	1,08	0,75	1,01	1,01	0,92
Ca	0,74	8,0	15,4	15,1	18,3	6,2
Mg	0,22	0,32	0,46	0,56	0,55	0,40
K	1,23	0,20	0,39	0,94	0,77	0,69
Na	0,12	0,19	0,09	0,26	0,23	0,22
Fe	0,018	1,73	1,36	1,72	1,72	1,31
C:N	24,0	7,1	11,7	9,5	10,1	16,4
mg · kg ⁻¹ s.m.						
Pb	<2	44	68	40	51	30
Cd	0,2	1,5	1,45	1,9	1,70	1,20
Cr	4,2	443	59	331	338	365
Cu	6,7	144	99	115	108	102
Ni	<1	17,5	20	21,3	20	14,3
Zn	36	745	403	553	521	531
Hg	0,021	1,86	1,36	1,6	1,6	1,53
Mn	95	737	430	498	552	669
N _{NH₄}	–	1000	529	467	393	715

Masa roślinna zebrana we wrześniu 2004 r. z różnych powierzchni zrekrutowanych osadami ściekowymi zawierała znikome ilości metali ciężkich. Nie obfitowała też w makroskładniki nawozowe (w tym N i K). Wartość stosunku węgla organicznego do azotu wynosiła 24,0. Był on więc bardzo korzystny ze

względem na kompostowanie biomasy. Masa roślinna pozyskiwana na zrehabilitowanym terenie składowiska odpadów posodowych stanowi doskonały surowiec do produkcji kompostu.

7. DYSKUSJA ZAGADNIENIA

Szata roślinna każdej powierzchni ziemi wolnej od zabudowy technicznej powinna spełniać funkcje ekologiczne i krajobrazowe niezależnie od sposobu jej użytkowania. Dotyczy to szczególnie powierzchni narażonych na erozyjne działanie wody i wiatru, w tym składowisk odpadów obfitujących w składniki szkodliwe dla środowiska.

Ukształtowanie zwartej i trwałej szaty roślinnej o dużej dynamice wegetacji jest głównym celem ekologicznym rekultywacji terenów składowania odpadów pylistych i reaktywnych chemicznie. Osady z biologicznego oczyszczania ścieków są bardzo efektywne w zazielenianiu gruntów bezglebowych [Kozłowska 1997; Siuta, Wasiak, Chłopecki 1996; Siuta, Wasiak, Chłopecki, Mamełka 1996], w tym składowisk odpadów reaktywnych chemicznie (np. odpady paleniskowe, różnego rodzaju odpady wapniowe, fosfogipsy, osady z chemicznego oczyszczania ścieków).

Do zachowania ciągłości funkcjonowania szaty roślinnej niezbędne są stosowne zabiegi agrotechniczne, w tym sukcesywne nawożenie i zbieranie masy roślinnej. Bez nich zrehabilitowany teren ulega degradacji wtórnej. Porekultywacyjne zagospodarowanie terenu jest powinnością prawnie usankcjonowaną. Zbiory roślin uprawianych na gruntach rekultywowanych osadami ściekowymi mogą być kompostowane lub stosowane jako paliwo odnawialne. Znajduje to wyraz w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (DzU nr 134, poz. 1140). Kojarzenie rekultywacyjnego stosowania osadów ściekowych z kompostowaniem pozyskiwanej masy roślinnej nazwano „agrotechnicznym przetwarzaniem osadów ściekowych na kompost” [Siuta 1996; Siuta, Wasiak, Kozłowska 1993], a następnie „przyrodniczo-technicznym przetwarzaniem osadów ściekowych na kompost” [Siuta, Wasiak, Chłopecki 1996].

Skład chemiczny roślin trawiastych z terenów zrehabilitowanych osadami ściekowymi. Badania składu chemicznego roślin trawiastych uprawianych na gruntach zrehabilitowanych osadami ściekowymi wykazały, że pozyskiwane plony stanowią pełnowartościowy surowiec do produkcji kompostu o wszechstronnym użytkowaniu. Różne gatunki trawy wyrosłe na podłożu osadu oczyszczalni ścieków Hajdów (Lublin) obfitującego w kadm zawierały 0,10–1,66 mg Cd/kg s.m. (średnio 0,79 mg Cd/kg s.m.), a rośliny dwuliścienne

zawierały: perko 12,1, komosa biała 14,2, topinambur 10,1, ślaziowiec pensylwański 4,1 mg Cd/kg s.m. [Siuta, Sienkiewicz, Kaźmierczuk, Puszkarski 1997]. Rośliny dwuliścienne pobierają dużo więcej metali ciężkich niż trawy.

Pomysł kojarzenia rekultywacyjnego użytkowania osadów ściekowych z kompostowaniem masy roślinnej studiowano od 1989 r. w doświadczeniach modelowych, poletkowych i pilotowo-wdrożeniowych [Kozłowska 1997; Siuta 1996; Siuta, Wasiak, Chłopecki 1996; Siuta, Wasiak, Kozłowska 1993]. Mimo opracowania stosownych technologii, tego rodzaju działalność na skalę gospodarczą zapoczątkowano dopiero na składowisku odpadów posodowych w Janikowie w roku 2001.

W roślinach zebranych z powierzchni zrekultywowanych osadami ściekowymi oznaczono zawartości tych składników (głównych i metali ciężkich), które stanowią o jakości surowca do produkcji kompostu (tab. 3).

Zawartości węgla organicznego mieściły się w przedziale 40,1–44,5% s.m. Kupkówka zawierała 42,1–43,6%, a perko 42,3 i 44,5% C w s.m.

Zawartość azotu wyniosła 1,82–2,03% w runi trawiastej, 2,09–3,06% w kupkówce oraz 4,61 i 5,01% w s.m. perka. Analogiczne zawartości azotu (1,94–2,40%) stwierdzono w trawie doświadczenia lizymetrycznego z zastosowaniem osadu ściekowego na złożach: wapna poflotacyjnego, popiołu i piasku gliniastego. Więcej azotu zawierała (2,60–3,18%) run trawy z lucerną [Siuta, Wasiak, Chłopecki 1996]. Zdecydowały o tym: udział azotolubnej lucerny i przemysłowe zanieczyszczenie środowiska związkami azotu.

Zastosowanie płynnego osadu ściekowego na składowisku odpadów paleniskowych w Łodzi spowodowało intensywny wzrost kupkówki pospolitej. W pierwszej fazie (1987 r.) doświadczenia zawierała 4,5% N, a w fazie końcowej (1990 r.) 2,14% N [Kozłowska 1997]. Według Andruszczak [1975] trawy łąkowe zawierają 1,14–1,87% (średnio 1,47%) azotu w stanie dojrzałości kośnej.

Stosunek węgla organicznego do azotu (C:N) charakteryzowała wartość mieszcząca się w przedziałach: 20,0–24,0 w runi; 14,3–20,0 w kupkówce oraz 8,2 i 9,2 w perku.

Zawartości pozostałych składników mineralnych w analizowanych roślinach nie odbiegają od normy.

Zawartości ołowiu, kadmu, chromu, miedzi, niklu, cynku i rtęci w roślinach uznaje się za podwyższone w stosunku do ich zawartości w roślinach z terenów niezanieczyszczonych. Znaczne rozpiętości udziału metali ciężkich stwierdzono w próbkach runi pobranych z powierzchni zrekultywowanych w latach 2000–2003, kiedy to stosowano osady z trzech oczyszczalni ścieków. Osad z oczyszczalni Kapuściska obfitował w rtęć (2001 r.) i kadm (2002 r.), a osad z Włocławka – w chrom i miedź. Masa roślinna zebrana do kompostowania

z dużych powierzchni zawierała stosunkowo małe ilości metali ciężkich (tab. 2). Dotyczy to również metali ciężkich w kupkówce i w perku (tab. 3). Kompost wyprodukowany z tych roślin, przy ubytku do 50% suchej masy, zawierałby maksymalnie do: 4 mg Pb, 1 mg Cd, 3,6 mg Cr, 22 g Cu, 6 mg Ni, 140 mg Zn i 0,09 mg Hg na kilogram s.m. Wielkości te są wielokrotnie mniejsze niż zawartości maksymalne w kompoście dopuszczonym do obrotu rynkowego.

Zawartości składników w kompostach osadowo-roślinnych. Analizowane komposty wyprodukowano z rozdrobnionej masy roślinnej i osadów ściekowych bez określenia składu chemicznego oraz proporcji komponentów, dlatego wartość poznawcza danych analitycznych jest niepełna (tab. 4). Ponadto, osad z Włocławka był wapnowany intensywnie oraz zawierał duże ilości chromu. Nadmierny udział osadu ściekowego w masie kompostowanej sprawił, że komposty dojrzałe miały niedostateczne ilości (27,3–35,1%) substancji organicznej oraz bardzo dużo wapnia (15,1–18,3%) i chromu (59–338 mg/kg s.m.).

Kompost niedojrzały zawierał nadmiar chromu (365 mg/kg s.m.) oraz 55,6% substancji organicznej i 6,2% wapnia. Powodem tego była mniejsza zawartość wapnia (8%) w osadzie, stanowiącym komponent masy kompostowanej (tab. 4).

Komposty dojrzałe zawierały 1,43–1,76% azotu, a kompost niedojrzały 2,71%. Wartość wskaźnika C:N wynosiła odpowiednio 9,5–11,7 i 16,4 (tab. 4).

Wapnowanie osadu ściekowego stosowanego w rekultywacji gruntu wapiennego i do produkcji kompostu osadowo-roślinnego jest niezasadne ekologicznie i ekonomicznie. Oczyszczalnia ścieków czyni to w celu sanitacji i zagęszczenia osadu niedostatecznie odwodnionego. Stwierdzenie negatywnych skutków wapnowania osadu stosowanego w rekultywacji gruntu wapiennego sprawiło, że ostatnio osad jest wapnowany mniej intensywnie.

Duże zawartości chromu w osadzie ściekowym z Włocławka (tab. 4) dyskwalifikują jego przydatność do produkcji kompostu. Zawartości wszystkich pozostałych metali ciężkich w analizowanych kompostach spełniają wymogi jakości określone dla nawozów organicznych i mineralno-organicznych.

8. WNIOSKI

1. Należy odstąpić od kompostowania masy roślinnej z osadem ściekowym Włocławka, z powodu nadmiernej ilości chromu w tym osadzie, dyskwalifikującej wartość użytkową kompostu i zwiększającej zarazem koszty kompostowania.
2. Należy rozważyć możliwość kompostowania plonów roślin z odpadami roślinnymi z miasta i okolic Janikowa.

3. Nie wyklucza się możliwości stosowania innych osadów ściekowych wolnych od nadmiernych zawartości metali ciężkich.

Komposty wyprodukowane z osadów ściekowych Nowogardu i Starogardu Szczecińskiego z udziałem liści, trocin i słomy [Krzywy, Wołoszyk, Iżewska 2000] spełniają w całej rozciągłości prawne wymogi nawozu organicznego, a większość małych i średnich oczyszczalni ścieków wytwarza tego rodzaju osady. Komposty z odpadów roślinnych terenów zieleni warszawskiej zawierały: 34,5–58,2% substancji organicznej; 0,8–2,2% azotu; 190–290 mg/kg s.m. cynku; 37–62 mg/kg s.m. ołowiu; 0,4–1,0 mg/kg s.m. kadmu; 38–93 mg/kg s.m. miedzi; 10–21 mg/kg s.m. chromu; 6–13 mg/kg s.m. niklu [Siuta, Wasiak 2002]. Kompost wyprodukowany z masy roślinnej (bez udziału osadu ściekowego) zawierałby około 50% substancji organicznej, około 2% azotu oraz bardzo małe ilości metali ciężkich.

PIŚMIENNICTWO

- Andruszczak E. 1975: Zawartości mikro- i makroelementów w glebach i roślinach użytków rolnych Kotliny Kłodzkiej. *Rocz. Gleb.* XXVI; 3, 81–119.
- Kozłowska B. 1997: Zastosowanie osadów ściekowych do roślinnego zagospodarowania składowiska odpadów paleniskowych (praca doktorska). Politechnika Łódzka.
- Krzywy E., Wołoszyk Cz., Iżewska A. 2000: Wartość nawozowa komunalnych osadów ściekowych. PTIE Oddział Szczeciński. Szczecin.
- Siuta J. 1996: Agrotechniczne przetwarzanie osadów ściekowych na kompost. W: Materiały na konferencję: „Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych”. Puławy-Lublin-Jeziórko, IOŚ, 11–25.
- Siuta J. 1999: Koncepcja rekultywacji składowisk odpadów posodowych Janikowskich Zakładów Sodowych. IOŚ Warszawa (maszynopis).
- Siuta J. 2001: Projekt rekultywacji składowisk odpadów posodowych Janikowskich Zakładów Sodowych „Janikosoda” S.A. IOŚ. Warszawa (maszynopis).
- Siuta J. 2003: Uwarunkowania i sposoby przyrodniczego użytkowania osadów ściekowych. *Inż. Ekol.* 9, 7–42.
- Siuta J., Sienkiewicz R., Kaźmierczuk M., Puszkarski L. 1997: Roślinne odwadnianie lagun i uzdatnianie osadu w oczyszczalni „Hajdów”. Materiały na II konferencję „Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych” Puławy-Lublin-Jeziórko, 23–38.
- Siuta J., Sienkiewicz R. 2000: Badania uzupełniające i pilotowo-wdrożeniowe doświadczenia rekultywacji gruntu na składowisku odpadów posodowych. IOŚ. Warszawa (maszynopis).
- Siuta J., Sienkiewicz R. 2001: Rekultywacja terenu składowania odpadów posodowych w Janikowie. *Inżynieria Ekologiczna* 3, 43–59.
- Siuta J., Wasiak G. 2002: Kompostowanie odpadów i użytkowanie kompostu. IOŚ. Warszawa.

- Siuta J., Wasiak G., Chłopecki K. i in. 1996: Przyrodniczo-techniczne przetwarzanie osadów ściekowych na kompost. IOŚ. Warszawa.
- Siuta J., Wasiak G., Chłopecki K., Mamełka D. 1997: Rekultywacyjna efektywność osadu ściekowego na bezglebowych podłożach w doświadczeniu lizymetrycznym. Materiały na II konferencję „Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych” Puławy-Lublin-Jeziórko, 135–154.
- Siuta J., Wasiak G., Kozłowska B. 1993: Agrotechniczne przetwarzanie osadów ściekowych na kompost. Cz. 4. Kompostowanie masy roślinnej. Ekologia i Technika 6, 13–15.

Prof. dr hab. Jan Siuta

*Instytut Ochrony Środowiska, Zakład Ochrony Ziemi
ul. Krucza 5/11, 00-548 Warszawa*