

REKULTYWACYJNA EFEKTYWNOŚĆ OSADÓW ŚCIEKOWYCH NA SKŁADOWISKU ODPADÓW POSODOWYCH W JANIKOWIE

Jan Siuta¹

¹ Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Krucza 5/11, 00-548 Warszawa, e-mail: siuta@ios.edu.pl

STRESZCZENIE

Wśród różnych sposobów przyrodniczego użytkowania osadów ściekowych najbardziej zasadne jest stosowanie ich do zazieleniania (roślinnej rekultywacji) składowisk drobnoziarnistych odpadów o dużym potencjale glebotwórczym, ale bardzo podatnych na erozyjne działanie wiatru i opadów atmosferycznych. Janikowskie odpady technologiczne mają ciekłą konsystencję, zawierają drobnoziarniste (pyłowe) i rozpuszczalne w wodzie związki wapnia, są bardzo alkaliczne i strome. Odpady te składowano i odwadniano w wielkopowierzchniowych nadpoziomowych basenach gruntowych. Łączna powierzchnia wszystkich wyeksploatowanych stawów osadowych (wraz z drogami i skarpami) wynosi ponad 105 ha. Gruntowo-atmosferyczne odwadnianie odpadów skutkowało intensywnym pyleniem przesycających (w tym suchych) powierzchni składowiska. Bardzo duża pyłowa uciążliwość dla okolicznej ludności, funkcjonowania infrastruktury technicznej i motoryzacji, sprawiła konieczność niezwłocznej jej likwidacji. Uznano, że ukształtowanie zwartej i stabilnej szaty roślinnej będzie najskuteczniejszym sposobem ochrony składowiska przed pyleniem. Szata roślinna ograniczy ponadto infiltrację soli ze składowiska do wód podziemnych i przyległych użytków gruntowych oraz odnowi ekologiczne walory krajobrazu. Stosując odpowiednio duże (rekultywacyjne) dawki osadów ściekowych oraz wysiewając rośliny o dużym potencjale wzrostu i zapotrzebowania na składniki pokarmowe szybko zazieleniono powierzchnię składowiska. Począwszy od roku 2000 do 2012 analizowano zawartości składników mineralnych i roślinach oraz w wierzchniej warstwie rekultywowanego gruntu. Systematycznie badano też skład chemiczny osadów ściekowych. Nie stwierdzono nadmiernych zawartości głównych składników i metali ciężkich w roślinach i w gruncie. Rośliny koszone dwukrotnie w sezonie wegetacyjnym. Zbiory roślin przyzmowano, a po ich informacji wysiewano je jako nawóz organiczny. Zaawansowany rozwój szaty roślinnej i gleby tworzy możliwości uprawy roli na cele gospodarcze (nawozowe, energetyczne, przemysłowe).

Słowa kluczowe: składowisko odpadów, rekultywacja gruntu, osady ściekowe, szata roślinna, rozwój gleby.

EFFECTIVENESS OF RECLAMATION OF SODA WASTE DISPOSAL SITE AT JANIKOWO USING SEWAGE SLUDGE

ABSTRACT

There are numerous reclamation technologies based on sewage sludge treatment, however, one that is most purposeful consists in applying the sludge in order to achieve green cover

(bioremediation with plants) on fine-grained waste disposal sites which have a high potential for soil formation on the one hand, but on the other, are highly vulnerable to erosive action of wind and atmospheric precipitation. The technological waste at the Janikowo Soda Plant has liquid consistence, contains fine-grained (dust-like) and water soluble calcium compounds, and is highly alkaline and saline. The waste was disposed and dehydrated in the large-area earthen ponds elevated beyond the ground level. The combined surface of all the exploited settling ponds (with roads and escarpments jointly) exceeds 105 ha. Dehydration by infiltration and evaporation was a source of unrestricted dust emissions from the drying and dry surfaces of the waste site. Urgent action was then deemed necessary to manage the high risk of nuisance dust to the local population, technical infrastructure, engines and cars. Consequently, it was decided that the best way to manage nuisance dust would be to create a thick and permanent vegetal cover on the waste site. The vegetal cover would also limit salt infiltration from the disposal site to groundwater and to adjacent agricultural land, and contribute to improving the local landscape values. Treatment with adequately high (appropriate for reclamation purposes) doses of sewage sludge and sowing of plants which have a high growth potential and nutrient demand resulted in the quick establishment of green cover on the waste disposal site. The contents of mineral elements in plants and in the top layer of the ground reclaimed were analyzed starting from the year 2000 onwards until the year 2013. The chemical composition of sewage sludge was systematically analyzed as well. No excessive contents were found of main elements neither of heavy metals in both plants and grounds. The vegetation was mown twice during the vegetation season and clippings were stacked in prisms. The biomass after humification was spread as an organic fertilizer throughout the area under reclamation. The present advanced stage of development of vegetal cover and soils on the waste site provides opportunities for cultivation of economic crops that may be used for fertilizer and energy production or for other industrial purposes.

Key words: waste disposal site, reclamation of grounds, sewage sludge, vegetal cover, soil development.

WSTĘP

Osady z oczyszczania ścieków miejskich obfitują w koloidalną substancję organiczną i składniki pokarmowe, które są niezbędne do życia organizmów glebowych i roślin. Glebotwórczy i plonotwórczy potencjał osadów ściekowych jest bliski próchnicy glebowej. Może on być wykorzystany do zachowania i powiększenia żyzności gleb uprawnych, pod warunkiem spełnienia sanitarnych, chemicznych, agrotechnicznych wymogów, ze szczególnym uwzględnieniem ochrony środowiska i jakości roślin jadalnych i paszowych. Plonotwórcze wartości osadów ściekowych czynią je bardzo użytecznymi w biologicznej (roślinnej) rekultywacji gruntów bezglebowych, zwłaszcza na składowiskach: odpadów paleniskowych energetyki węglowej, odpadów z flotacyjnego wzbogacania kopalin, mineralnych odpadów przemysłu chemicznego, odpadów górnictwa podziemnego oraz na gruntach usypiskowych w górnictwie odkrywkowym i w budownictwie lądowym. Ukształtowanie zwartej, stabilnej szaty roślinnej na składowiskach niespójnych odpadów droбноziarnistych (zwłaszcza

nadpoziomowych) przeciwdziała erozyjnemu działaniu wiatru (pyleniu) i opadów atmosferycznych oraz przemieszczaniu się składników do wód podziemnych i przyległych użytków gruntowych. Wiadomo, że rośliny pobierają bardzo duże ilości wody oraz znaczne ilości składników mineralnych.

Wprowadzenie odpowiednio dużej (rekultywacyjnej) dawki osadu ściekowego do wierzchniej warstwy bezglebowego gruntu (potencjalnie glebotwórczego) czyni korzystne warunki do prawidłowego wzrostu roślin o dużym zapotrzebowaniu na składniki pokarmowe i wodę.

Rekultywacyjną efektywność osadów ściekowych stwierdzono między innymi:

- 1) w wielowariantowym doświadczeniu lizymetrycznym z modelowymi gruntami: popiołu energetyki węglowej, wapna z flotacyjnego wzbogacania rudy siarkowej, piasku gliniastego lekkiego bezpróchniczego [Siuta, Wasiak, Chłopecki i in. 1996; Siuta, Dyguś 2013].
- 2) w wielowariantowym doświadczeniu mikropoletkowym z modelowymi gruntami [Siuta, Pasińska, Wasiak, Pawłowska i in. 1988];
- 3) na składowisku odpadów paleniskowych w Puławach [Siuta, Wasiak, Chłopecki i in. 1996] i w Łodzi [Siuta, Wasiak, Kozłowska 1993; Kozłowska 1995, 1997];
- 4) na złożu (około 100 ha) ukształtowanym w trybie technicznej rekultywacji zawodnionych niecek osiadania na terenie kopalni siarki „Jeziórko” [Siuta, Jońca 1997; Siuta, Wasiak, Chłopecki 1996];
- 5) w KWB „Bełchatów” [Siuta, Pasińska, Wasiak, Pawłowska i in. 1988; Siuta, Żukowski 2012];
- 6) na antropogenicznym gruncie zbudowanym z piasku dna morskiego w gdańskim Porcie Północnym [IUNG 1973, Siuta 1974].

Odpady Janikowskich Zakładów Sodowych (technologii Solvay) mają ciekłą konsystencję, są bardzo alkaliczne i zasolone. Głównymi ich składnikami są związki wapnia (wodorotlenki, węglany, chlorki). Wielokrotnie mniejsze udziały mają: krzemionka (SiO_2), związki żelaza i magnezu. Olbrzymie objętości, ciekła postać, bardzo duża koncentracja soli i alkaliczności odpadów czynią problemy techniczno-ekonomiczne i ekologiczne.

Do odwadniania odpadów zbudowano wielkopowierzchniowe bardzo głębokie baseny gruntowe. Gruntowo-atmosferyczne odwadnianie odpadów skutkowało zasoleniem i alkalizacją wód podziemnych oraz przyległych użytków gruntowych.

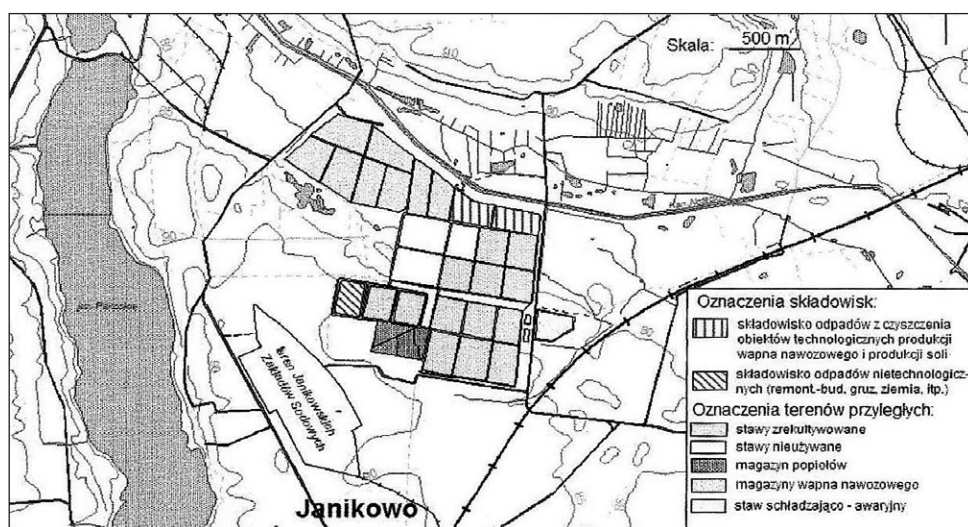
Postępujące (w tym krótkotrwałe) przesychnienie powierzchni drobnoziarnistego osadu, czyniło go bardzo podatnym na erozyjne działanie wiatru. Pyłowa uciążliwość składowiska była dotkliwa nie tylko dla pracowników Janikosody i okolicznych mieszkańców, ale także dla przemysłowych instalacji, motoryzacji, jakości płodów roślinnych.

Masowe wytwarzanie odpadów ciekłych gruntowo-atmosferyczne ich odwadnianie, intensywne pylenie przesychnających wielkoobszarowych powierzchni (zwanymi białym morzem) oraz presja opinii społecznej czyniły koniecznością ustanowienia obsza-

ru ekologicznego zagrożenia. Znalazło to wyraz w uchwałę Nr 21/83 Rady Ministrów z dnia 4 marca 1983 r. w sprawie Narodowego Planu Społeczno-Gospodarczego na lata 1983–1985. Zniesienie tego obszaru uwarunkowano (między innymi) zlikwidowaniem pyłowej uciążliwości wyeksploatowanej części składowiska.

LOKALIZACJA I CHARAKTERYSTYKA SKŁADOWISKA ODPADÓW

Składowisko odpadów zlokalizowano w dolinie Kanału Noteckiego (rys. 1). Posadowiono je na gruncie piasku wodnolodowcowego o miąższości około 20 m. Głębiej zalegają słabo przepuszczalne utwory trzeciorzędowe, które chronią wgłębne wody podziemne przed infiltracją zanieczyszczeń ze składowiska odpadów.



Rys. 1. Lokalizacja składowiska odpadów Janikowskich Zakładów Sodowych [Polańska 2006]

Fig. 1. Situation of soda waste disposal site at the Janikowo Soda Plant [Polańska 2006]

Teren składowiska odpadów dzieli się na:

- 17 stawów osadowych i 2 niecki wyeksploatowane,
- 10 stawów czynnych (użytkowanych).

W obrębie składowiska znajdują się też 3 stawy odpadów paleniskowych energetyki węglowej. Stawy osadowe to nadpoziomowe baseny zbudowane z mas ziemnych (głównie gliny i piasku) oraz różnych (stałych) odpadów technologicznych.

Wysokość skarp zewnętrznych wynosi 15 do 16 m nad przyległy teren (fot. 1). Groble wewnętrzne, dzielące składowisko na stawy osadowe zbudowano głównie z wapna posodowego.

Stawy osadowe przekazano do eksploatacji w latach 1957–1982, a niecki 1 i 2 w latach 1986 i 1991. Eksploatację stawów osadowych zakończono w roku 1989, a niecek w roku 1995. Teren składowiska ma 108,55 ha, w tym: płaskie powierzchnie, skarpy obwałowania, groble dzielące stawy osadowe, drogi dojazdowe, wyrobiska po eksploatacji złóż wapna posodowego.



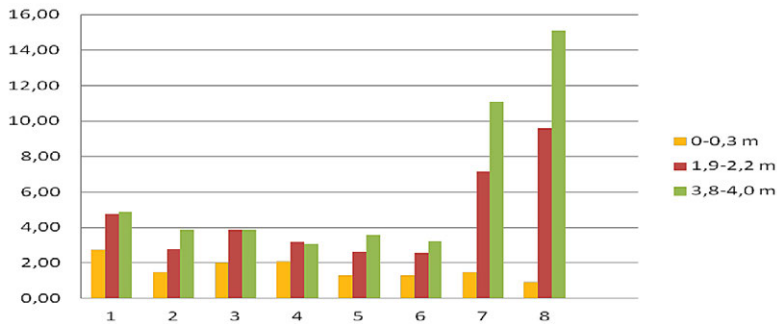
Rys. 2. Numery stawów wyeksploatowanej części składowiska
Fig. 2. Numbers of ponds within the exploited part of waste site

W latach 1994–1996 wykonano po 9 odwiertów w stawach 1–8 i 10–17 do głębokości 4 m oraz pobrano z nich próbki z głębokości depozytu, w których oznaczono procentowe zawartości wody oraz chloru w suchej masie [Protokół 1999].

Nie stwierdzono ewidentnych zależności pomiędzy procentowymi zawartościami wody a głębokościami. W stawach osadowych 10–17, uśrednione (z 9 oznaczeń) zawartości wody wahały się w przedziałach (rok 1995):

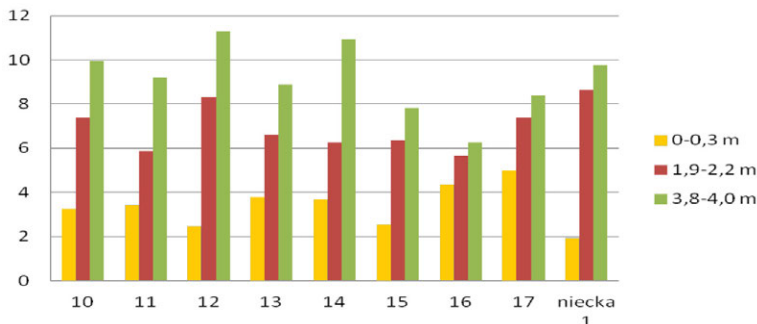
- 60,6 do 66,3% na głębokości 0 – 0,3 m,
- 58,5 do 66,9% na głębokości 0,9 – 1,2 m,
- 57,2 do 67,0% na głębokości 1,9 – 2,2 m,
- 60,2 do 66,2% na głębokości 2,9 – 3,2 m,
- 61,1 do 66,5% na głębokości 3,9 – 4,0 m.

Odmienną strukturę procentowej zawartości chloru stwierdzono od powierzchni gruntu do 4,0 m głębokości (rys. 3). Stan zasolenia złoża jest ewidentnie najmniejszy w warstwie 0–0,3 m oraz największy na głębokości 3,8–4,0 m. Szczególnie duży gradient wzrostu zawartości chloru (z 0,93 do 15,10%) stwierdzono w stawie 8. Wynika on z późniejszego dopełnienia stawu mniej zasolonym odpadem.



Rys. 3a. Uśrednione, procentowe zawartości chloru w stawach osadowych 1–8 według danych Janikosody z lat 1994–1996

Fig. 3a. Averaged, percent contents of chloride in settling ponds 1–8 from the years 1994–1996, according to the information by „Janikosoda”



Rys. 3b. Uśrednione, procentowe zawartości chloru w stawach osadowych 10–17 i niecka 1 według danych Janikosody z lat 1994–1996

Fig. 3b. Averaged, percent contents of chloride in settling ponds 10–17 and in basin 1 from the years 1994–1996, according to the information by „Janikosoda”

W najstarszych stawach osadowych (1–6) średnie arytmetyczne zawartości chloru mieściły się w przedziale od 1,28 do 5,01% suchej masy. Na uwagę zasługuje stosunkowo mała różnica zawartości chloru na głębokościach: 0–0,3 m (1,29–2,74%) i 3,9–4,0 m (3,21–4,85%).

W stawach osadowych 10–17 średnie arytmetyczne zawartości Cl wyniosły od 2,47 do 11,30%:

- 2,47 – 4,98% na głębokości 0 – 0,3 m,
- 4,90 – 7,33% na głębokości 0,9 – 1,2 m,
- 5,65 – 8,33% na głębokości 1,9 – 2,2 m
- 5,40 – 10,00% na głębokości 2,9 – 3,2 m,
- 6,26 – 11,30% na głębokości 3,8 – 4,0 m.

KONCEPCJA BIOLOGICZNEJ REKULTYWACJI SKŁADOWISKOWEGO GRUNTU

Koncepcję rekultywacji opracowano w Zakładzie Ochrony Ziemi Instytutu Ochrony Środowiska [Siuta 1999] na zlecenie Janikowskich Zakładów Sodowych „Janiko-soda”. Głównym celem i zadaniem rekultywacji było ukształtowanie stabilnej szaty roślinnej, niezbędnej do likwidacji pyłowej uciążliwości dla środowiska i społeczności lokalnej, czyli do ekologicznej i krajobrazowej odnowy zdegradowanego terenu.

W koncepcji założono, że najszybciej i najmniejszym kosztem teren składowiska można zazielenić, stosując rekultywacyjne dawki osadów z oczyszczania ścieków miejskich. W koncepcji przedstawiono technikę osadowej rekultywacji oraz sposób prorekultywacyjnego zagospodarowania terenu składowiska odpadów

Opracowanie projektu rekultywacji poprzedzono dokładniejszym rozpoznaniem stanu samosiewnej (spontanicznej) roślinności oraz pilotowo-wdrożeniową rekultywacją na stawie osadowym 3 [Siuta, Sienkiewicz 2000]. Stan szaty roślinnej oraz efekty osadowej rekultywacji gruntów udokumentowano fotograficznie, prezentując je uczestnikom krajowej konferencji naukowo-technicznej odbytej w Bydgoszczy i Janikowie [Siuta, Sienkiewicz 2001].

Wyniki badań uzupełniających i pilotowo-wdrożeniowej rekultywacji potwierdziły możliwość i dużą efektywność osadów ściekowych w zazielenieniu składowiska odpadów posodowych (fot. 2, 3, 4, 5). Projekt biologicznej rekultywacji składowiskowego gruntu opracowano w roku 2001 [Siuta, Kutla]. Zawarto w nim następujące treści:

1. Podstawa opracowania projektu
2. Charakterystyka składowiska odpadów posodowych
3. Rekultywacyjne działanie osadów ściekowych w doświadczeniach wegetacyjnych i pilotowej rekultywacji na składowisku odpadów posodowych.
4. Chemizm roślin samosiewnych i doświadczalnych
5. Techniczną i biologiczną rekultywację gruntu na składowisku odpadów posodowych

6. Harmonogram rekultywacji i zagospodarowania gruntu
7. Koszt rekultywacji gruntu w roku 2001
8. Monitoring rekultywacji gruntu
9. Kompostowanie masy roślinnej
10. Wnioski
11. Materiały źródłowe.

WYKONANIE REKULTYWACJI

Techniczna rekultywacja polegała na zlikwidowaniu nadpoziomowych części grobli wewnętrznych i wyrównaniu powierzchni gruntu oraz na aplikacji rekultywacyjnych dawek osadu ściekowego odwodnionego mechanicznie. Wielkości dawek osadu ściekowego wahały się w przedziale 80–120 ton s.m./ha, zależnie od obecności i stanu samosiewnych roślin. Według rozporządzenia Ministra OŚZNiL z dnia 11 sierpnia 1999 r. maksymalna rekultywacyjna dawka osadu ściekowego wynosiła 200 t/ha.

Osad ściekowy mieszano z wierzchnią warstwą gruntu tylko na bezroślinnych powierzchniach. Mieszanek nasion traw łąkowych wysokich i nasiona perko (rośliny krzyżowej) wysiewano bez bronowania powierzchni.

Perko jest rośliną dwuletnią o bardzo dużej dynamice wzrostu. Głównym jej zadaniem było szybkie zazielenienie powierzchni gruntu, tworząc korzystne warunki do wschodu i początkowej fazy wzrostu trawy (fot. 5). Nie bez istotnego znaczenia było dostarczenie znacznej ilości masy organicznej. Wiosną następnego sezonu wegetacyjnego bujny porost perka dominuje nad trawami (fot. 6), ale nie ograniczenia ich potencjału wegetacyjnego po pierwszym zbiorze roślin (fot. 7). Porost traw kontrastuje z niemal bezroślinną powierzchnią nieużytną osadem ściekowym (fot. 5).

Specyficzny przebieg sukcesji i rozwoju szaty roślinnej obserwowano w stawie osadowym 10, gdzie rekultywację gruntu zapoczątkowano w lipcu 2002 roku (fot. 8, 9). Rośliny wysiano we wrześniu, które ledwie zazieleniły powierzchnię (fot. 10) przed nastaniem zimy. Trawy dobrze przetrwały zimę, ale nie przetrwało jej perko, ponieważ było wysiane zbyt późno.

Użytna osadem ściekowym wierzchnia warstwa składowiskowego gruntu w stawie 10 stworzyła bardzo korzystne warunki do inwazji samosiewnych roślin dwuliściennych, które zasłoniły zupełnie obecność wysianych traw (fot. 11). Staw osadowy 10 graniczy bezpośrednio z użytkami rolniczymi (fot. 1), stanowiącymi źródło nasion przeróżnych gatunków roślin, przemieszczanych przez wiatr, ptaki i zwierzęta.

Panoramę szaty roślinnej w roku 2005 na tle Janikowskich Zakładów Sodowych przedstawia fotografia 13.

Według projektu zadania rekultywacji wykonano na stawach osadowych: nr 3 w roku 2000, nr 1, 2, 4, 5 w roku 2001, nr 6, 7, 8, 10 w roku 2002, nr 12 w roku 2003. Staw nr 9 został przeznaczony do składowania nietechnologicznych odpadów Janikosody. Z tego względu został on pominięty w rekultywacji.

W stawach osadowych 11 i 13–17 rekultywację gruntu wykonano według Aneksu do projektu rekultywacji składowiska odpadów posodowych Janikowskich Zakładów Sodowych „Janikosoda” S. A. Stawy nr 1–17 [Siuta 2002]. Stawy 11 i 13–17 dopełniono popiołem (miejscowej elektrociepłowni) o dużym potencjale glebotwórczym, a popiołowy grunt zrekultywowano z zastosowaniem osadu ściekowego – w taki sam sposób jak grunt wapienny w stawach 1–8, 9–10 i 12. Rekultywacja gruntu na stawach dopełnionych popiołem będzie przedmiotem oddzielnej publikacji.

Osady ściekowe stosowane w rekultywacji składowiskowego gruntu i do porekultywacyjnego nawożenia pochodziły z oczyszczalni ścieków Włocławka, Inowrocławia i Bydgoszczy-Kapuściska (tab. 1). Osad z Włocławka był sanitowany wapnem w roku 2004. Stąd tak duża zawartość Ca. W roku 2000 osad ten zawierał bardzo dużo chromu i niklu. W następnych latach nie zawierał nadmiernych ilości metali ciężkich.

CHEMIZM GRUNTU REKULTYWOWANEGO

Zawartości głównych składników mineralnych i metali ciężkich oraz pH oznaczono w wierzchniej warstwie (głębokości 0–10 cm) gruntu w stawach osadowych: 1, 3, 5, 6, 12, 13, 14, 15, 16 i 17 (stan w roku 2000). Stwierdzono następujące przedziały zawartości składników w suchej masie (tab. 2): 26,58 – 30,41% Ca; 1,40 – 6,84% Mg; 1,13 – 5,67 % Fe₂O₃; 0,02 – 9,01% SiO₂; 0,08 – 1,08% Na; 0,004 – 0,069 K oraz alkaliczny odczyn (pH 7,84 – 10,60). Zawartości metali ciężkich oznaczono w stawach osadowych 1, 3, 6, 13 i 17 (tab. 3).

Stwierdzono następujące zawartości metali ciężkich: 0,42 – 1,50 mg Cd/kg; 8,3 – 17,5 mg Cr/kg; 26,6 – 28,3 mg Cu/kg; 9,6 – 22,6 mg Ni/kg; 0,14 – 11,2 mg Pb/kg; 20,4 – 63,4 mg Zn/kg i 0,018 – 0,048 mg Hg/kg s.m. Zawartości wymienionych metali ciężkich są dużo mniejsze niż w glebach rolniczych na terenach wolnych od przemysłowych zanieczyszczeń. Zawartości chloru i wody w składowiskowym gruncie oraz występowanie samosiewnych roślin na stawach osadowych 1 i 8 w roku 2000 przedstawia tabela 1.

Stwierdzono wyraźne zależności występowania i rozwojem szaty roślinnej od procentowej zawartości chloru. W roku 2004 oznaczono zawartości: substancji organicznej, węgla organicznego, azotu, fosforu, wapnia, magnezu, potasu, sodu, żelaza, manganu, ołowiu, kadmu, chromu, miedzi, niklu, cynku, rtęci oraz pH w warstwach 0–5 i 6–10 cm gruntu zrekultywowanego w stawach osadowych 1, 3, 4, 6 i 10 (tab. 5). W warstwie 0–5 cm stwierdzono kilkakrotnie większe zawartości składników głównych i metali ciężkich niż nieco głębiej (6–10 cm).

Warstwa ta zawiera od 15,7 do 37,6% substancji organicznej wobec 6,0 do 8,8% w warstwie 6–10 cm głębokości. Analogicznie duże różnice wykazały zawartości azotu, fosforu, ołowiu, chromu, miedzi, cynku i rtęci. Stosunek węgla organicznego do azotu (C:N) w wierzchniej 90–5 cm) warstwie mieścił się w przedziale 10–15,

Tabela 1. Zawartości składników w osadach ściekowych stosowanych w rekultywacji składowiskowego gruntu. Dane według dostawców osadów ściekowych

Table 1. Mineral element contents in sewage sludge applied for reclamation of waste grounds, data as provided by the suppliers of sewage sludge

Składnik	Osad z oczyszczalni ścieków							
	Włocławek						Inowrocław	Bydgoszcz-Kapuściska
	Lata							
	2000 ^x	2002	2003	2004	2005	2006	2001	2002-2003
% s.m.								
Substancja organiczna	61,2-69,9	42-59	40-49	40-52	55-70	40-79	45-60	62-72
Substancja mineralna	31,1-38,8	41-58	51-60	48-60	30-45	21-60	40-55	25-38
Azot ogólny	3,09-4,07	2,5-3,2	2,6-3,4	3,0-4,05	3,5-5,1	2,4-5,5	2,9-5,6	2,2-9,0
Azot amonowy	0,41-1,32	0,09-0,36	0,05-0,1	0,05-0,09	0,15-1,83	0,8-2,0	0,1-2,0	0,1-2,0
Wapń (CaO)	4,59-6,37	0,6-25,7	13-15,9	10,8-16,8	4,4-6,4	3,1-3,3	0,3-7,2	0,5-5,0
Magnez (Mg)	0,57-0,75	0,1-0,4	0,3-0,4	0,22-0,38	0,28-0,30	0,34-0,41	0,5-2,9	0,30-0,6
Fosfor (P ₂ O ₅)	2,19-3,05	0,5-0,9	0,9-1,0	0,85-0,91	1,10-1,23	0,87-1,33	0,07-0,2	0,1-1,2
mg/kg s.m.								
Ołów (Pb)	50-72	41-68	31-44	20-30	24-64	5-45	164-316	30-68
Kadm (Cd)	2,2-3,5	1,5-2,6	1,9-2,0	1,0-3,0	2,3-2,4	1,7-2,6	1,6-2,3	5,9-26,8
Chrom (Cr)	1073-1417	318-371	241-294	128-194	159-240	109-224	29,2-31,2	47-155
Miedź (Cu)	976-1497	131-520	116-134	69-80	117-159	85-228	133-165	84-302
Nikiel (Ni)	97-147	22-72	21-29	8-112	59-149	7-29	15,9-16,7	25-70
Cynk (Zn)	1069-1461	763-1150	430-663	325-406	638-913	575-1100	1861-2467	754-2313
Rtęć (Hg)	3,74-4,55	n.o.	n.o.	0,86-2,29	0,71-1,32	0,85-1,73	1,6-1,8	2,0-15,47
pH	7,7-8,2	6,8-12,4	8,5	7,6-8,7	6,6-9,0	6,2-12,2	7,3-8,1	6,5-7,8

^x – dane IOŚ.

a nieco głębiej aż od 28,3 do 65,7. Gdyby rekultywacyjna dawka osadu ściekowego została wymieszana z 20 cm warstwą gruntu (co stosuje się zwykle w rekultywacji bezglebowych gruntów naturalnego pochodzenia), to koncentracja składników wprowadzonych z osadem ściekowym byłaby około czterokrotnie mniejsza.

W latach 2011 i 2012 oznaczono zawartości węgla organicznego, azotu, rtęci, cynku, miedzi, chromu, ołowiu, niklu i kadmu oraz pH w 10 cm (0–10 cm) warstwie wapiennego gruntu w stawach osadowych 2, 3, 7 i 10. Wyliczono też stosunki ilościowe C:N (tab. 6).

Zawartości węgla organicznego wahały się od 3,99 do 10,02%; azotu od 0,16 do 0,62%. Stosunek C:N mieścił się w przedziale 12,3–24,9. Był on najszerszy na stawie 3, na którym rekultywację wykonano już w roku 2000. Świadczy to o bardzo

Tabela 2. Zawartości składników mineralnych oraz pH w wierzchniej (0–10 cm) warstwie składowiskowego gruntu (rok 2000)**Table 2.** Mineral element contents and pH in the top (0–10 cm) layer of ground at waste site (in 2000)

Staw osadowy	pH _{H₂O}	Składniki w % s.m.						
		P	K	Ca	Mg	Na	Fe ₂ O ₃	SiO ₂
1	9,27	0,016	0,009	29,81	5,13	0,28	2,71	2,03
1	9,70	0,016	0,004	30,52	5,69	0,29	1,28	0,76
3	8,46	0,043	0,050	30,21	2,08	0,13	5,40	8,66
3	10,46	0,041	0,005	28,80	2,57	0,23	4,86	4,91
5	8,36	0,048	0,007	27,49	2,75	0,09	5,67	3,84
6	8,35	0,046	0,034	30,11	2,26	0,26	4,13	6,94
6	8,20	0,048	0,011	28,00	2,57	0,64	4,82	6,10
6	8,63	0,043	0,025	26,58	1,83	0,99	4,18	6,81
12	8,26	0,043	0,002	30,52	2,01	0,10	4,93	7,29
12	10,60	0,040	0,011	28,50	1,40	0,31	4,98	9,01
13	7,84	0,042	0,069	29,40	1,71	0,62	5,00	6,97
14	8,08	0,033	0,013	27,90	1,64	0,78	3,78	4,68
15	9,79	0,013	0,004	30,41	6,84	0,31	1,13	0,02
16	8,55	0,038	0,024	26,58	1,65	1,08	3,68	0,91
17	8,32	0,047	0,014	29,85	2,66	0,08	5,26	8,30

Tabela 3. Zawartości metali ciężkich w wierzchniej (0–10 cm) warstwie składowiskowego gruntu (rok 2000)**Table 3.** Heavy metal contents in the top (0–10 cm) layer of ground at waste site

Staw osadowy	Metale ciężkie w mg/kg s.m.						
	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
1	0,42	8,3	26,6	9,6	3,3	20,4	0,018
3	1,06	17,5	28,2	20,6	11,2	51,3	0,048
6	1,50	14,6	27,2	22,6	3,5	55,2	0,020
13	1,17	16,0	27,2	20,1	1,4	52,9	0,034
17	1,36	17,0	28,3	22,6	6,0	63,4	0,046

dużym wyczerpaniu azotu (wprowadzonego z osadem ściekowym). Gdyby analizowano warstwę 0–20 cm gruntu, koncentracja analizowanych składników byłaby blisko dwukrotnie mniejsza, ponieważ złożo wapna posodowego zawiera znikome ilości metali ciężkich (tab. 3). Odczyn był słabo alkaliczny (pH 7,74–8,03) w każdej analizowanej próbce gruntu.

Tabela 4. Zawartość chloru (Cl) i wody w gruncie oraz samosiewna roślinność na składowisku odpadów w roku 2000**Table 4.** Relationship between the occurrence of spontaneous vegetation and the ground contents of chloride at the depth of 50 cm (status in the year 2000)

Głębokość w cm	Zawartość wody w gruncie (%)	Zawartość chloru w suchej masie (%)	Roślinność spontaniczna i doświadczalna	Uwagi
Staw osadowy 1				
0 – 10	56,7	0,07	Wkraczanie trzcinnika piaskowego	Małe, ale wzrastające zawartości Cl w głębi odkrywki
20 – 30	60,9	0,34		
40 – 50	66,6	1,50		
0 – 10	54,4	0,83	Wkraczanie trzcinnika piaskowego na bezroślinną powierzchnię	Znaczna zawartość Cl na głębokości 0-10 cm oraz duża na głębokości 20-30 cm
20 – 30	66,9	4,50		
40 – 50	66,6	1,50		
0 – 10	54,4	0,83	Wkraczanie roślin dwuliściennych	Znaczna zawartość Cl na głębokości 0-10 cm oraz silnie wzrastająca w warstwach głębszych
20 – 30	66,9	4,50		
40 – 50	74,5	7,90		
0 – 10	49,2	0,26	Wkraczanie roślin dwuliściennych	Nieznaczna zawartość Cl na głębokości 0-10 cm, która wzrasta wielokrotnie w warstwach głębszych
20 – 30	57,6	2,40		
40 – 50	59,4	3,50		
0 – 10	48,6	2,70	Powierzchnia bezroślinna	Bardzo duże zawartości chlorków od powierzchni gruntu
20 – 30	59,0	4,50		
40 – 50	69,6	7,9		
Staw osadowy 8				
0 – 10	31,3	0,10	Powierzchnia bezroślinna	Niewielkie zawartości Cl do 50 cm głębokości wynika z odmiennych właściwości świeżego depozytu pokrywającego stare silnie zasolone złożo
20 – 30	38,7	0,14		
40 – 50	37,4	0,22		

CHEMIZM ROŚLIN

Zawartości składników w roślinach zrekultywowanych powierzchni składowiska oznaczano w latach 2004–2006 oraz 2009–2013. W latach 2004–2005 oznaczano zawartości głównych składników i metali ciężkich w kupkówce pospolitej i w perku oraz poroście zbioru ręcznego i mechanicznego. Przedziały zawartości składników w roślinach z lat 2004–2005 przedstawia tabela 7.

Zawartości węgla organicznego mieściły się w przedziałach: 35,5–44,5% s.m. perka, 38,9–43,6% s. m. kupkówki pospolitej, 38,8–43,6% s. m. porostu. Zawartości azotu wahały się w przedziałach: 4,61–6,21% s. m. perka; 2,09–4,51% s. m. kupkówki pospolitej; 1,50–2,03% s. m. porostu. Stosunek C:N był najwyższy (8,9–9,2) w perku, szerszy (15,0–20,0) w kupkówce pospolitej oraz najszerszy w poroście (19,4–26,3).

Tabela 5. Zawartości składników w gruncie użyźnionym osadem ściekowym w roku 2004
Table 5. Mineral element contents in grounds treated with sewage sludge in the year 2004

Składniki	Głębokość w cm									
	0 – 5					6 – 10				
	Nr stawu osadowego									
	1	3	4	6	10	1	3	4	6	10
% suchej masy										
Substancja mineralna	84,3	73,7	78,2	62,4	76,1	92,0	91,2	94,3	94,0	93,8
Substancja organiczna	15,7	26,3	21,8	37,6	23,9	8,0	8,8	5,7	6,0	6,2
Węgiel organiczny	9,2	14,7	10,8	14,5	12,9	3,9	4,2	4,2	3,4	4,6
Azot	0,61	1,10	1,01	1,31	1,11	0,09	0,09	0,09	0,12	0,07
Fosfor	0,32	0,74	0,63	1,27	0,65	0,03	0,05	0,08	0,08	0,48
Wapń	20,6	14,1	15,3	15,4	200,8	25,9	26,6	22,8	31,1	26,4
Magnez	0,90	0,72	1,61	0,62	0,55	1,67	2,64	3,20	1,54	1,66
Potas	0,17	0,01	0,19	0,18	0,13	0,08	0,01	0,19	0,05	0,02
Sód	0,08	0,13	0,11	0,07	0,07	0,08	0,21	0,30	0,20	0,23
Żelazo	1,1	1,7	1,8	2,1	0,93	0,64	0,57	1,38	0,70	0,50
Mangan	0,61	0,80	1,37	0,53	0,63	0,66	0,90	2,19	0,89	0,82
C:N	15,0	13,4	10,0	10,7	11,6	43,3	46,6	46,6	28,3	65,7
mg/kg s.m.										
Ołów	3,5	63	90	26	38	5	3	38	6	6
Kadm	1,8	4,1	5,9	6,5	2,2	1,0	1,0	1,2	1,3	0,8
Chrom	167	347	104	209	415	21,8	15,6	24,8	19,2	16,7
Miedź	142	469	147	143	345	26	15	29	20	22
Nikiel	31	70	45	35	49	22	24	31	20	19
Cynk	344	867	880	1061	746	51	50	135	81	45
Rtęć	0,668	1,86	0,735	1,120	1,910	0,017	0,012	0,058	0,032	0,013
pH w H ₂ O	7,6	7,4	7,6	7,5	7,0	7,9	8,3	7,5	7,5	7,5

Perko zawierało najwięcej potasu (3,13–3,64%), a porost najmniej tego składnika (0,71–2,00% s. m.).

Zawartości składników mineralnych w roślinach zbioru pierwszego w roku 2013 przedstawia tabela 9. Zawartości fosforu mieściły się w przedziale 0,20–0,395, a potasu od 0,75 do 1,58%. Rośliny stawów 1 i 5 były najmniej zasobne w potas (0,75%). Zawartości metali ciężkich mieściły się w następujących przedziałach: Zn 19,6 – 40,8 mg/kg; Cu 2,9 – 8,3 mg; Cr 0,2 – 2,5 mg; Pb 0,5 – 1,7 mg; Ni 0,5 – 1,7 mg; Cd 0,03 – 0,15 mg; Hg 0,016 – 0,034 mg/kg s.m. Według A. Kabaty-Pendias i H. Pendias [1993] trawy przed kłoszeniem zawierają: 0,05 – 2,5 mg Cd/kg s.m.; 0,5 – 4 mg Cr; 2,2 – 21 mg Cu; 0,02 – 0,05 mg Hg; 0,5 – 1,5 mg Ni; 0,1 – 10 mg Pb i 15 – 80 mg Zn/kg s.m.

Tabela 6. Zawartość węgla organicznego, azotu i metali ciężkich oraz pH w wierzchniej warstwie (0–10 cm) gruntu zrehabilitowanego w latach 2011 i 2012**Table 6.** Contents of organic carbon, nitrogen and heavy metals as well as pH in sewage sludge in the top (0–10 cm) layer of ground reclaimed in the years 2011 and 2012

Staw osadowy	Składniki										pH
	C-organiczny	N	C:N	Hg	Zn	Cu	Cr	Pb	Ni	Cd	
	% suchej masy			mg/kg suchej masy							
Rok 2011											
2	5,14	0,35	14,7	0,20	167	31	38	33	21	2,18	8,07
6	7,63	0,62	12,3	0,78	326	106	129	19	27	3,19	7,94
Rok 2012											
3	3,99	0,16	24,9	0,12	72	45	27	8	28	1,15	8,03
7	5,87	0,26	22,6	0,12	87	34	36	13	26	1,28	7,93
10	10,02	0,56	17,9	6,68	259	97	107	23	29	2,26	7,74

Tabela 7. Przedziały zawartości składników w roślinach zbioru ręcznego i mechanicznego w latach 2004–2006**Table 7.** Ranges of element contents in plants harvested by hand and mechanically in the years 2004–2006

Składniki	Porost różnogatunkowych roślin		Kupkówka pospolita	Perko
	zbiór ręczny	zbiór mechaniczny	zbiór ręczny	
% s.m.				
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	15,0 – 20,0	8,9 – 9,2
mg/kg s.m.				
Ołów	1,0 – 2,0	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 – 8,8
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 – 0,040
Mangan	40 – 55	40,0 – 101,0	37,0 – 116	58,0 – 73,0

Tabela 8. Zawartości składników mineralnych w roślinach zbioru ręcznego oraz w kompostach zbioru mechanicznego
Table 8. Mineral element contents in plants harvested by hand and in composts made of plants mechanically harvested

Nr stawu	Składniki											
	N	P	K	Ca	Mg	Cd	Cr	Ni	Pb	Hg	Zn	Cu
	% s.m.					mg/kg s.m.						
Rok 2009												
1	3,20	0,38	1,80	0,51	0,18	0,14	0,14	3,20	0,28	0,012	47,4	10,10
4	2,71	0,32	1,91	0,45	0,16	0,17	0,17	2,71	0,33	0,009	29,0	6,86
8	3,42	0,39	2,79	0,35	0,18	0,18	0,18	3,42	0,36	0,009	37,0	7,86
Kompost	2,03	0,31	1,53	3,43	0,39	0,56	26,90	2,03	104,0	0,23	203,0	26,6
Rok 2010												
2	2,39	0,45	3,10	1,13	0,26	0,11	0,22	0,90	0,56	0,014	25,7	6,7
6	3,60	0,35	4,85	1,36	0,43	0,10	0,21	0,72	0,31	0,016	37,2	6,2
Kompost	2,15	0,37	2,20	1,07	0,38	0,25	10,90	3,24	3,72	0,049	5,39	9,7
Rok 2012												
3	1,65	0,29	2,20	1,70	0,34	0,22	1,23	5,40	0,22	0,013	27,7	0,8
6	2,09	0,23	1,95	1,10	0,15	0,14	0,98	3,80	0,24	0,015	25,7	7,6
10	1,95	0,22	1,27	0,78	0,17	0,11	0,54	3,40	0,22	0,008	22,7	9,2
Kompost	2,53	0,30	3,60	4,25	0,54	0,82	25,84	6,20	9,30	0,176	180,0	36,2

Tabela 9. Zawartości składników mineralnych w roślinach zbioru mechanicznego w roku 2013
Table 9. Mineral element contents in mechanically harvested plants in the year 2013

Staw osadowy	Składniki											
	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Cr	Pb	Ni	Cd	Hg
	% suchej masy					mg/kg suchej masy						
1	1,11	0,20	0,75	0,67	0,16	20,6	4,6	1,1	1,7	1,7	0,15	0,034
2	2,32	0,35	1,39	0,58	0,25	37,1	6,7	0,6	1,6	1,0	0,04	0,020
3	0,98	0,24	1,13	0,48	0,23	19,6	2,9	0,2	1,2	0,7	0,04	0,020
4	2,13	0,31	1,88	0,34	0,12	29,1	6,8	0,3	0,8	0,8	0,03	0,018
5	2,19	0,27	0,75	0,38	0,15	27,3	5,4	0,6	0,5	0,5	0,05	0,019
6	2,55	0,39	1,58	0,59	0,19	39,4	7,5	0,5	1,3	0,6	0,07	0,020
7	2,21	0,33	1,08	0,63	0,18	38,3	8,3	1,0	1,6	1,0	0,09	0,016
8	2,19	0,35	1,19	0,58	0,17	40,8	6,9	0,8	1,4	0,8	0,10	0,021
10	2,59	0,24	1,15	0,34	0,17	30,1	5,6	0,2	0,6	0,6	0,06	0,018
12	1,72	0,23	1,02	0,48	0,14	36,1	7,4	2,5	0,9	0,9	0,11	0,031



Fot. 1. Skarpa wschodnia i bezroślinna płaskizna składowiska odpadów, listopad 1999 r.



Fot. 2. Testowanie osadowej rekultywacji na stawie 8, stan w maju 2000 roku



Fot. 3. Efekt osadowej rekultywacji na stawie 8, stan w czerwcu 2001 r.

Pilotowo-wdrożeniowa rekultywacja gruntu na stawie 3 (fot. 4 i 5)



Fot. 4. Stan w kwietniu 2000 roku



Fot. 5. Trawa i perko w połowie lata 2000 roku



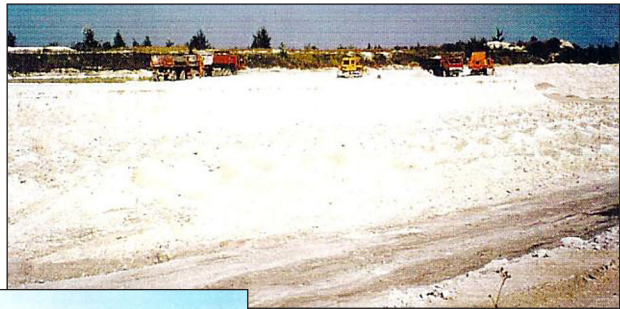
Fot. 6. Intensywny wzrost perka w maju drugiego roku zasłonił obecność trawy



Fot. 7. Bezroślinna powierzchnia gruntu kontrastuje z bujną roślinnością na gruncie użyźnionym osadem ściekowym

Rekultywacja gruntu na stawie 10 (fot. 8–11)

Fot. 8. Równanie powierzchni stawu



Fot. 9. Aplikacja osadu ściekowego

Fot. 10. Stan roślin w drugiej połowie października 2002 roku





Fot. 11. Roślinność samosiewna (głównie dwuliścienna) zdominowała rośliny wysiane, stan w roku 2003



Fot. 12. Panorama roślinności niskiej i drzewiastej z Janikosodą w tle



Fot. 13. Bujna roślinność łąkowa nie pogorszyła warunków wzrostu (kondycji) samosiewnych drzew, stan w lipcu 2013

Stwierdzone zawartości metali ciężkich w roślinach pierwszego (mechanicznego) zbioru roślin nie odbiegają od ich średnich zawartości w trawach według A. Kabaty-Pendias i H. Pendias [1993]

UZUPEŁNIAJĄCE ROZWAŻANIA I WNIOSKI

1. Fenomen spontanicznego wkraczania i dobrego wzrostu drzew liściastych na bardzo słone i alkaliczne złoża składowiska oraz bardzo duża efektywność rekultywacyjnego zazielenienia jego powierzchni wymaga wyjaśnienia. Nie stwierdzono bowiem żadnych przejawów więdnienia liści drzew. Obserwowano natomiast przypowierzchniową strukturę korzeni drzew, które wychodziły na powierzchnię składowiska.

Dobry wzrost drzew oraz bujna vegetacja traw i roślin dwuliściennych użyźnionych osadem ściekowym świadczy o dużej dostępności wody, a przecież woda złoża wapna posodowego powinna być trudnodostępna dla roślin ze względu na alkaliczny odczyn i bardzo duże zasolenie.

Fenomen dobrego zaopatrzenia roślin w wodę polega na jej dobowej cyrkulacji w postaci pary (z wodnistej złoża) skraplanej w przypowierzchniowej warstwie depozytu. W ten sposób rośliny są zasilane w wodę pozbawioną soli i alkaliczności. Powoduje to również sukcesywne odsalanie i pomniejszanie alkaliczności wierzchniej warstwy gruntu [Siuta 2013].

2. W sprawozdaniu z monitoringu wód przy składowisku odpadów Janikowskich Zakładów Sodowych w Janikowie (Soda Polska CIECH S.A.) [Polańska 2012] napisano (między innymi): *B – zmniejszenie ilości przesączających się (przez stawy) wodach opadowych pod wpływem rekultywacji stawów (zbieranie części wody przez szatę roślinną). Niskie stężenie chlorków występuje prawdopodobnie także w nieco dalej położonych stawach.*

Nadmienia się, że wpływanie roślinnej rekultywacji na pomniejszenie wymycia soli ze składowiska do wód gruntowych było oczywiste ze względu na dużą transpirację wody do atmosfery.

3. Stwierdzono, że sadzonki klonu jesionolistnego (rośliny bardzo ekspansywnej) są karłowate mimo, że poletko doświadczalne przylega do kępy samosiewnych drzew w dobrej kondycji.
4. Intensywna vegetacja wielogatunkowej szaty roślinnej świadczy o postępującym rozwoju gleby. Trwała szata roślinna jest niezbędna do ochrony drobnoziarnistego gruntu przez erozją wietrzną. Produkcyjny potencjał roślin należałoby spożytkować na cele gospodarcze. Na przykład do uprawy roślin energetycznych, przemysłowych lub produkcji kompostu. Wydzierżawienie składowiskowego gruntu specjalistycznej firmie byłoby korzystne dla Janikosody i dzierżawcy.

Krakowskie Zakłady Sodowe „Solvay” były prekursorem produkcji sody w Polsce wraz z ekologicznymi uciążliwościami dla środowiska przyrodniczego i społecznego. Ekologiczna odnowa (rekultywacja) terenu składowiska odpadów posodowych była konieczna. Problematyka ta była przedmiotem licznych badań naukowych oraz zapobiegawczych.

Technologia rekultywacji i porekultywacyjnego zagospodarowania terenu składowania odpadów posodowych krakowskiego „Solvay” nie była tak prosta i efektywna jak w Janikosodzie [Nagajewa, Boroń, Gałka, Lipka 1980; 1997; Boroń, Zając, Klatka 2000], ale stworzyła interesujące pole badań dla wielu specjalistów ochrony środowiska [Krzak 2005; Urbańska, Urbański 2012; Zając, Zarzycki 2012].

LITERATURA

1. Boroń K., Klatka Sł. 1999: Zastosowanie metody współczynnika produktywności gleb do oceny efektywności rekultywacji osadników Krakowskich Zakładów Sodowych „Solvay” w Krakowie. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 18: 477–489.
2. Boroń K., Zając E., Klatka Sł. 2000: Rekultywacja terenu składowania odpadów KZS „Solvay” w Krakowie. *Inż. Ekol.* 1: 58–64.
3. IUNG 1973: Projekt rekultywacji gruntu oraz urządzenia zieleni w Porcie Północnym.
4. Kabata-Pendias A., Pendias H. 1993: *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. PWN, Warszawa: 304 s.
5. Kozłowska B. 1997: Zastosowanie osadów ściekowych do roślinnego zagospodarowania składowisk odpadów paleniskowych (rozpr. doktorska obroniona w IPIŚ Zabrze) Łódź 1997: 80 s.
6. Kozłowska B. 1995: Zastosowanie osadów ściekowych do biologicznego zagospodarowania składowisk odpadów paleniskowych *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.* 418: 859–868.
7. Krzak I. 2005. *Zagospodarowanie terenów poprzemysłowych Krakowskich Zakładów Sodowych „Solvay”*. (W:) Szponar A., Horska-Schwarz S. (red.), *Problemy Ekologii Krajobrazu*, Vol. 17, *Struktura przestrzenno-funkcjonalna krajobrazu*, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław 2005, s. 283–287.
8. Leszczyński S. 1979: Przemysł sodowy a ochrona środowiska. *Chemicz.* nr 6, r. XXXII, 1979, pp. 169–172.
9. Poda R. 1999: *Solvay wczoraj i dziś – zagospodarowanie terenu po Krakowskich Zakładach Sodowych*. Agencja Rozwoju Regionu Krakowskiego S.A., Kraków 1999.
10. Polańska K. 2006: *Sprawozdanie z monitoringu wód przy składowiskach odpadów Janikowskich Zakładów Sodowych; rok 2005*.
11. Polańska K. 2007a: *Sprawozdanie z monitoringu wód przy składowiskach odpadów Janikowskich Zakładów Sodowych; rok 2006*.
12. Polańska K. 2007b: *Sprawozdanie z lokalnego monitoringu wód podziemnych w rejonie Janikowskich Zakładów Sodowych; rok 2006*.
13. *Protokół z okresowej kontroli stanu technicznego stawów osadowych w Janikowskich Zakładach Sodowych „Janikosoda” S.A., maszynopis*. Janikowo 1999.
14. Polańska K. 2012b: *Sprawozdanie z monitoringu wód przy składowiskach odpadów Janikowskich Zakładów Sodowych w Janikowie (Soda Polska CIECH S.A.); rok 2012*.

15. Rozporządzenie MOS, ZNiL z dnia 11 sierpnia 1999 r. w sprawie warunków jakie mają być spełnione przy wykorzystaniu osadów ściekowych na cele nieprzemysłowe (Dz. U. Nr 72, poz. 813)
16. Siuta J. 1974: Kształtowanie przyrodniczych warunków rolnictwa w Polsce. PWN Warszawa: 357 s.
17. Siuta J. 1999: Koncepcja rekultywacji składowiska odpadów posodowych w Janikowskich Zakładach Sodowych (maszynopis). IOŚ Warszawa.
18. Siuta J. 2002: Aneks do projektu rekultywacji składowiska odpadów posodowych Janikowskich Zakładów Sodowych „Janikosoda” S.A. (maszynopis). IOŚ Warszawa.
19. Siuta J. 2007. System uprawy i kompostowania roślin na składowisku odpadów posodowych w Janikowie z zastosowaniem osadów ściekowych. *Inż. Ekol.* 19: 38–58 + 6 fot.
20. Siuta J., Sienkiewicz R. 2000: Badania uzupełniające i pilotowo-wdrożeniowe rekultywacji gruntu na składowisku odpadów posodowych (maszynopis). IOŚ Warszawa.
21. Siuta J., Sienkiewicz R. 2001: Rekultywacja terenu składowania odpadów posodowych w Janikowie. *Inż. Ekol.* 3: 43–59.
22. Siuta J., Kutła G. 2001: Projekt rekultywacji składowiska odpadów posodowych Janikowskich Zakładów Sodowych „Janikosoda” S.A. (maszynopis). IOŚ Warszawa.
23. Siuta J., Dyguś K. H. 2013. Plony i chemizm roślin wielowariantowego doświadczenia na modelowym złożu odpadów paleniskowych energetyki węglowej. *Inżynieria Ekologiczna*, 2013, 35: 7–31.
24. Siuta J., Jońca M. 1997: Rekultywacyjne działanie osadu ściekowego na wapnie poflotacyjnym w Kopalni Siarki „Jeziórko”. *Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych*. Puławy-Lublin-Jeziórko: 38–45.
25. Siuta J., Pasińska Cz., Wasiak G. i in. 1988: *Przyrodnicze zagospodarowanie osadów ściekowych*. PWN Warszawa: 172 s.
26. Siuta J., Wasiak G., Chłopecki K. i in. 1996: *Przyrodniczo-techniczne przetwarzanie osadów ściekowych na kompost*. IOŚ Warszawa: 40 s.
27. Siuta J., Wasiak G., Kozłowska B. 1993: *Agrotechniczne przetwarzanie osadów ściekowych na kompost. Cz. II. Roślinne zagospodarowanie bezglebowych gruntów użytkownych osadem ściekowym*. *Ekol. i Techn.* 4: 10–14.
28. Siuta J., Żukowski B. 2012: *Rekultywacja i zagospodarowanie gruntów pogórnich w Polsce*. IOŚ – PIB Warszawa: 149 s.
29. Urbańska J., Urbański K. 2012. Selected aspects of reclamation of soda waste landfill sites. *Geomatics and Environmental Engineering*, 6(4): 83–90 (<http://dx.doi.org/10.7494/geom.2012.6.4.83>).
30. Zając E., Zarzycki J. 2012. Revegetation of reclaimed soda waste dumps: effects of topsoil parameters. *J. Elem.* 17(3): 525–536 (DOI 10.5601/jelem.2012.17.3.14).