

## CHEMIZM ROŚLIN I ZREKULTYWOWANEGO GRUNTU NA SKŁADOWISKU ODPADÓW POSODOWYCH W JANIKOWIE

Jan Siuta<sup>1</sup>, Jadwiga Sienkiewicz<sup>1</sup>

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

### STRESZCZENIE

Przedstawiono przedrekultywacyjny stan składowiska odpadów posodowych, w tym inicjalną roślinność i właściwości podłoża oraz chemizm gatunków kolonizujących alkaliczne grunty, a także porównanie zawartości składników mineralnych w liściach samosiewnych drzew w latach 2000 i 2013. Treść niniejszego artykułu stanowi integralną część opracowania wyników badań dotyczących bioremediacji silnie zasolonych i alkalicznych odpadów posodowych Zakładów Sodowych w Janikowie. Składowisko w 2000 r. pokrywała uboga spontaniczna roślinność skupiona w płatach i kępach, przy czym jej rozwój był uzależniony od mikrorzeźby powierzchni, przede wszystkim od wody zbierającej się w lokalnych obniżeniach. Główne gatunki kolonizujące powierzchnię składowiska to trawy (*Lolium perenne*, *Calamagrostis epigeios*) i takie rośliny zielne, jak: *Reseda lutea*, *Tussilago farfara* i *Picris hieracioides*. Stwierdzono znaczne pionowe i przestrzenne zróżnicowanie fizykochemicznych właściwości gruntu składowiskowego, w tym miejscami, występowanie zeskalonej warstwy. W 2013 r. warstwa powierzchniowa (0–5 cm) zawierała 9,2–13,9% Ca i 15–161 mg Cl/kg, przy pH 7,6–7,8. Warstwa 10–20 cm zawierała 21,1–63,3% Ca i 204–3110 mg Cl/kg, przy pH 7,93–9,04. W warstwie 40–60 cm stwierdzono 30,0–37,5% Ca i 9920–16320 mg Cl/kg, przy pH 11,5–12,1. Roślinność w otoczeniu odkrywek glebowych zawierała: 1,65–3,36% N; 0,25–0,43% P; 1,38–2,95% K; 0,33–1,10% Ca i 0,13–0,54% Mg. Zawartości metali ciężkich były analogiczne do tych, które stwierdzano w runi łąkowej z terenu Polski. Zawartości głównych składników mineralnych w liściach drzew na składowisku były znacznie większe w roku 2013 (2,70–3,21% N; 0,25–0,34% P i 0,98–1,75% K) niż w roku 2000 (1,70–2,04% N; 0,11–0,21% P i 0,54–0,80% K). Rekultywacyjne użyźnienie gruntu osadem ściekowym oraz następcze nawożenie roślin wyraźnie poprawiło warunki zaopatrzenia roślin w składniki pokarmowe.

**Słowa kluczowe:** składowisko odpadów, rekultywacja gruntu, chemizm roślin, chemizm gleby, osady ściekowe.

## CHEMISTRY OF PLANTS AND RECLAIMED GROUNDS ON SODA WASTE SITE AT JANIKOWO

### ABSTRACT

The paper presents the state of soda waste dumping site prior to reclamation, including the initial vegetation and properties of local grounds, the chemistry of plants colonizing the

alkaline grounds in 2013 as well as the comparison of mineral element contents in leaves of trees spontaneously growing on the soda waste site in the years 2000 and 2013. The paper consists an integral part of a wider work concerning the effectiveness of sewage sludge application for bioremediation of highly saline and alkaline waste at the Janikowo Soda Plant. The spontaneous vegetation on soda waste in 2000 was scarce and patchy, its development conditioned by local microrelief where depressions provided water for plant establishment. The main species entering the site included grasses (*Lolium perenne*, *Calamagrostis epigeios*) and herbs (*Reseda lutea*, *Tussilago farfara* and *Picris hieracioides*). The physico-chemical properties of waste grounds varied widely both horizontally and spatially. In 2013, the reclaimed dumping site was covered by a well-established meadow-like vegetation and the soil top layer (0–5 cm) contained 9.2–13.9% Ca and 15–161 mg Cl/kg, at pH 7.6–7.8. The underlying 10–20 cm layer contained 21.1–63.3% Ca and 204–3110 mg Cl/kg, at pH 7.93–9.04. In the deeper 40–60 cm layer there was found 30.0–37.5% Ca and 9 920–16 320 mg Cl/kg, at pH 11.5–12.1. The vegetation growing in the vicinity of soil profiles contained: 1.65–3.36% N; 0.25–0.43% P; 1.38–2.95% K; 0.33–1.10 % Ca and 0.13–0.54% Mg. The contents of heavy metals in plants approximated the average amounts found in meadow clippings in Poland. The contents of main nutrients in leaves of trees spontaneously growing on the waste site were significantly higher in 2013 (2.70–3.21% N; 0.25–0.34% P and 0.98–1.75% K) than in the year 2000 (1.70–2.04% N; 0.11–0.21% P and 0.54–0.80% K). The application of sewage sludge and subsequent fertilization of vegetation on waste dumping site has considerably improved the status of nutrient supply in plants.

**Keywords:** landfill, remediation, plant chemistry, soil chemistry, sewage sludge.

## WSTĘP

Pod koniec lat dziewięćdziesiątych ub. stulecia Janikowskie Zakłady Sodowe „Janikosoda” podjęły działania na rzecz rekultywacji terenu wyeksploatowanych stawów osadowych, na podstawie ustawy z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych (Dz.U. Nr 16, poz. 78). Koncepcję rekultywacji opracowano w 1999 r. [Siuta 1999]. Według jej założeń najskuteczniejszym i najtańszym sposobem zazielenienia składowiska odpadów posodowych było zastosowanie rekultywacyjnych (odpowiednio dużych) dawek osadów z oczyszczania ścieków miejskich.

Stosownie do założeń tej koncepcji, w 2000 r. zinwentaryzowano występowanie i strukturę przestrzenną roślinności samosiewnej (spontanicznej) na składowisku oraz przetestowano rekultywacyjną efektywność osadu ściekowego w skali poletkowej. Zabiegi rekultywacyjne wdrożono w skali pilotażowej na powierzchni 6,15 ha w stawie nr 3. Wyniki tych działań potwierdziły bardzo dużą skuteczność osadu ściekowego w zazielenieniu powierzchni składowiska odpadów posodowych [Siuta i Sienkiewicz 2000]. Rozpoznano też fizykochemiczne właściwości złoża odpadów posodowych i oznaczono zawartości składników mineralnych w roślinach.

Projekt rekultywacji składowiskowego gruntu opracowano w 2001 r. [Siuta i Kutla 2001]. Wyniki badań wstępnych oraz rekultywacji pilotażowo-wdrożeniowej

zaprezentowano i przedyskutowano podczas krajowej konferencji: „Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych”, która odbyła się w Bydgoszczy i w Janikowie w 2001 r. [Siuta i Sienkiewicz 2001].

Rekultywację gruntu składowiska prowadzono etapami: w 2001 r. zrekultywowano stawy osadowe 1, 2, 4 i 5 o łącznej powierzchni 29,94 ha, w roku następnym – stawy nr 6,7,8 i 10 o łącznej powierzchni 19,11 ha, a w 2003 r. – staw nr 12 o powierzchni 4,85 ha. Stawy o nr 11–17 wymagały dodatkowej technicznej rekultywacji polegającej na dopełnieniu ich popiołem z miejscowej elektrociepłowni.

W 2013 r. przeprowadzono kompleksowe badania rozwoju szaty roślinnej i gleby na całej zrekultywowanej powierzchni składowiska odpadów posodowych od czasu zapoczątkowania rekultywacji w 2000 r., przy czym wykorzystano wyniki wcześniejszych badań i dokumentację źródłową (Siuta, Sienkiewicz, Dyguś 2013). Przebieg i efektywność rekultywacji gruntu wapiennego oraz porekultywacyjnych zabiegów agrotechnicznych w latach 2000–2013 podsumowano w publikacjach: „Rekultywacyjna efektywność osadów ściekowych na składowisku odpadów posodowych w Janikowie” [Siuta 2014] oraz „Roślinność na składowisku odpadów posodowych w Janikowie po 13 latach rekultywacji [Dyguś i Sienkiewicz 2014].

Przedmiotem niniejszego doniesienia jest przedstawienie 1) przedrekultywacyjnego stanu składowiskowego gruntu i samosiewnej roślinności, 2) chemizmu roślin kolonizujących grunty wapienne, wg stanu w 2013 r., 3) zawartości składników mineralnych w liściach drzew samosiewnych w latach 2000 i 2013.

## **SAMOSIEWNA ROŚLINNOŚĆ NA SKŁADOWISKU ODPADÓW – STAN W 2000 R.**

Skład gatunkowy roślinności i jej struktura przestrzenna odzwierciedlają lokalne warunki siedliskowe, ukształtowane przez fizyczne i chemiczne właściwości gruntu, mikrorzeźbę powierzchni i jej nasłonecznienie – łącznie warunkujące mikroklimat. Widoczne jest to w zróżnicowaniu spontanicznej roślinności na skarpach (groblach) okalających stawy osadowe i tej, która zajmowała płaskie powierzchnie składowiskowego gruntu w obrębie samych stawów [Siuta i Sienkiewicz 2001, Siuta i in. 2013]. Groble stawów osadowych zbudowane z różnorodnych mas ziemnych były zasiedlone przez gatunki o różnych wymaganiach pokarmowych i mikroklimatycznych w zależności od ekspozycji skarpy względem słońca. Natomiast warunki siedliskowe na alkalicznych i zasolonych złożach składowiska wyeliminowały ze składu flory gatunki acidofilne i nitrofilne [Wilkoń-Michalska i Sokół 1968, Siuta i Sienkiewicz 2001].

Roślinność inicjalna na skarpach składała się głównie z pionierskich gatunków ciepłolubnych i nitrofilnych z rzędów *Onopordetalia* (klasa *Artemisietea vulgaris*) i *Sisymbrietalia* (klasa *Stellarietea mediae*). Wśród nich najczęstsze to: stulisz lekarski *Sisymbrium officinale*, stulisz Loesela *Sisymbrium loeselii*, ostrożeń polny *Cirsium arvense*, nostrzyk biały *Melilotus albus*, pieprzyca gruzowa *Lepidium ruderales*,

wrzosowiec cienkoskrzydłkowy *Corispermum leptopterum*, oset zwisły *Carduus nutans*, cykoria podróżnik *Cichorium intybus*, marchew zwyczajna *Daucus carota*, goryczel jastrzębcowaty *Picris hieracioides* i żmijowiec pospolity *Echium vulgare*. Na skarpach występowały też kępy i płaty traw, takich jak: perz właściwy *Elymus repens*, kupkówka pospolita *Dactylis glomerata*, kostrzewa czerwona *Festuca rubra*, stokłosa dachowa *Bromus tectorum*, stokłosa miękka *Bromus hordaceus*, wiechlina zwyczajna *Poa trivialis* i wiechlina łąkowa *Poa pratensis*. Wśród gatunków nitrofilnych są: starzec pospolity *Senecio vulgaris*, wilczomleczeń lancetowaty *Euphorbia esula*, stulicha psia *Descurainia sophia*, bylica piołun *Artemisia absinthium*, sałata kompasowa *Lactuca seriola*, babka lancetowata *Plantago lanceolata*, koniczyna rozesełana *Trifolium repens* i pasternak zwyczajny *Pastinaca sativa*. Na utrwalonych powierzchniach skarp rosły także krzewy i drzewa, takie jak: bez czarny *Sambucus racemosa*, brzoza brodawkowata *Betula pendula*, klon jesionolistny *Acer negundo*, róża pospolita *Rosa canina* i głóg *Crataegus* sp. Gatunki te stopniowo wchodziły także na płaskie powierzchni wapiennego gruntu w stawach osadowych. Jednak procesy naturalnej sukcesji roślinności na gruntach w stawach były kilkakrotnie przerywane przez stopniowe dopełnianie stawów zasolonymi szlamami oraz przez późniejszą eksploatację suchych osadów wapiennych.

W 2000 r., przed rozpoczęciem rekultywacji, płaskie powierzchnie gruntu w stawach były miejscami zasiedlone przez skupienia pionierskich roślin (fot. 1–7), lub całkiem pozbawione roślinności (fot. 8). W obrębie jednego stawu osadowego spotykano fragmenty zwartej szaty roślinnej i powierzchnie bezroślinne (fot. 7, 9 i 10). O potencjalnej możliwości życia roślin na zasolonych gruntach wapiennych w stawie nr 8 świadczyły pojedyncze siewki traw, np. życicy trwałej *Lolium perenne*, w mikrozagłębieniach powierzchni gromadzących wodę opadową (fot. 1). Wkraczanie roślinności na grunty składowiska ułatwiał mikrorelief powierzchni, co ilustrują fotografie (fot. 1–7). Do pionierskich gatunków, kolonizujących pozbawione roślin podłoża, należały podbiał *Tussilago farfara* i goryczel jastrzębcowaty (fot. 2) Jak wskazują obserwacje, zagłębienia szczelinowe nawet na całkiem bezroślinnych powierzchniach tworzyły warunki korzystne do spontanicznego rozwoju roślinności (fot. 2, 3, 4). Wśród gatunków jednoliściennych roślinności inicjalnej szczególnie ekspansywny okazał się trzcinnik piaskowy *Calamagrostis epigeios*, który intensywnie opanowywał tereny zupełnie pozbawione roślinności dzięki rozłogom penetrującym przypowierzchniową warstwę gruntu (fot. 3, 4 i 7). Innym ekspansywnym gatunkiem była rezeda żółta *Reseda lutea* tworząca kępy i małe skupienia na pozbawionych roślin podłożach (fot. 6 i 7). Do częściej spotykanych gatunków należały też starzec pospolity *Senecio vernalis* i podbiał pospolity *Tussilago farfara*. Większe skupienia roślinności tworzyły miejscami trawy perz *Elymus repens*, kupkówka pospolita *Dactylis glomerata*, kostrzewa łąkowa *Festuca pratensis*, wiechlina łąkowa *Poa pratensis*, wiechlina zwyczajna *Poa trivialis*, wiechlina błotna *Poa palustris*, wiechlina spłaszczona *Poa compressa*, mietlica pospolita *Agrostis capillaris*, mietlica olbrzymia *Agrostis alba*, rzadziej występował rajgras wyniosły *Arrhenatherum elatius*. Pozostałe gatunki, w

tym: mniszek lekarski *Taraxacum officinale*, wiechlina błotna *Poa palustris*, mlecz kolczasty *Sonchus asper*, starzec jakubek *Senecio jacobea*, występowały stosunkowo nielicznie. Ogółem flora na składowisku liczyła około 35 gatunków. Mimo ogólnie niekorzystnych warunków rozwoju szaty roślinnej na składowisku, sukcesja spontanicznej roślinności nie ograniczała się do gatunków zielnych, w roku 2000 obserwowano tam również gatunki drzewiaste, takie jak: brzoza brodawkowata *Betula pendula*, topola biała *Populus alba*, topola osika *Populus tremula*, wierzba szara *Salix cinerea* i wierzba krucha *Salix fragilis*. Tworzyły one lokalne zakrzewienia w miejscach, w których mikrorelief powierzchni składowiskowego gruntu umożliwiał ich normalny wzrost (fot. 7, 9 i 10).

### Zawartości składników mineralnych w roślinach naturalnej sukcesji

Zawartości azotu, fosforu, potasu, wapnia, magnezu, sodu i popiołu (tab.1) oraz kadmu, chromu, miedzi, niklu, ołowiu, cynku i rtęci (tab. 2) oznaczono w suchej masie gatunków roślin pobranych ze stawów osadowych, w tym takich jak: trzcinnik piaskowy *Calamagrostis epigeios*, rezeda żółta *Reseda lutea*, mlecz kolczasty *Sonchus asper*, rogownica lepka *Cerastium viscosum*, mniszek pospolity *Taraxacum officinale*, żmijowiec zwyczajny *Echium vulgare*, lepnik zwyczajny *Lappula squarrosa* i starzec jakubek *Senecio jacobea*.

**Tabela 1.** Zawartości głównych składników mineralnych w roślinach samosiewnych w 2000 r.

Staw osadowy	Gatunek	Charakter szaty roślinnej	N	P	K	Ca	Mg	Na	Popiół
			procent suchej masy						
1	Trzcinnik piaskowy	roślinność zwarta – starsza	0,78	0,07	0,54	0,88	0,16	0,01	12,3
3	Trzcinnik piaskowy	roślinność zwarta – młodsza	1,26	0,08	0,81	0,64	0,11	0,07	11,0
1	Rezeda żółta	pojedyncze kępy roślin	3,01	0,13	2,30	2,14	0,31	0,08	12,9
6	Rezeda żółta	obok przyzmy osadu, dobrze wyrosnięta	3,35	0,18	2,88	1,96	0,57	0,04	13,6
4	Goryczel jastrzębcowaty	pojedyncze kępy roślin dwuliściennych	1,87	0,1	2,61	2,03	0,74	0,09	11,5
6	Goryczel jastrzębcowaty	obok przyzmy osadu, dobrze wyrosnięta	2,30	0,15	2,99	1,59	0,33	0,03	10,9
4	Rogownica lepka	pojedyncze kępy roślin dwuliściennych	2,09	0,10	1,63	1,64	1,00	0,13	10,0
10	Mniszek pospolity	skupienia pojedynczych roślin dwuliściennych	2,22	0,12	3,97	2,47	0,47	0,04	15,1
10	Żmijowiec zwyczajny	skupienia i pojedyncze rośliny dwuliścienne	1,26	0,09	2,44	2,38	0,12	0,03	14,9
10 i 15	Lepnik zwyczajny	skupienia i pojedyncze rośliny dwuliścienne	2,02	0,12	2,49	2,32	0,23	0,04	14,0
17	Starzec jakubek	skupienia roślin w rowie zapadliskowym	1,64	0,16	1,97	1,07	0,17	0,10	7,4

**Tabela 2.** Zawartości metali ciężkich w roślinach samosiewnych w 2000 r.

Staw osadowy	Gatunek	Charakter szaty roślinnej	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
			mg/kg suchej masy						
1	Trzcinnik piaskowy	roślinność zwarta – zwarta	0,08	0,85	2,74	3,73	1,31	9,9	0,015
3	Trzcinnik piaskowy	roślinność zwarta – młodsza	0,09	0,83	2,44	2,46	1,29	13,2	0,014
1	Rezeda żółta	pojedyncze kępy roślin	1,46	0,85	2,74	3,73	1,31	9,9	0,015
6	Rezeda żółta	obok przyzmy osadu, dobrze wyrosnięta	0,33	1,97	9,09	3,47	4,56	39,9	0,036
4	Goryczel jastrzębcowaty	pojedyncze kępy roślin dwuliściennych	0,19	1,24	5,62	1,25	3,40	14,1	0,034
6	Goryczel jastrzębcowaty	obok przyzmy osadu, dobrze wyrosnięta	0,14	0,83	2,44	2,46	1,24	13,2	0,014
4	Rogownica lepka	pojedyncze kępy roślin dwuliściennych	0,24	2,47	8,78	4,46	5,33	38,9	0,017
10	Mniszek pospolity	skupienia pojedynczych roślin dwuliściennych	0,49	1,30	9,28	1,39	3,64	39,9	0,035
10	Żmijowiec zwyczajny	skupienia i pojedyncze rośliny dwuliścienne	0,09	0,93	7,48	2,34	3,03	19,6	0,018
10 i 15	Lepnik zwyczajny	skupienia i pojedyncze rośliny dwuliścienne	0,08	0,81	7,38	1,33	2,16	23,6	0,018
17	Starzec jakubek	skupienia roślin w rowie zapadliskowym	0,14	0,74	6,7	1,70	4,33	28,9	0,017

Zawartości azotu w suchej masie poszczególnych gatunków mieściły się w przedziale 0,78–3,35%. Młodsze pędy trzcinnika piaskowego zawierały 1,26%, a starsze tylko 0,78%. Żmijowiec pospolity zawierał 1,26% N. Najwięcej azotu stwierdzono w rezedzie żółtej – 3,01% rosnącej poza zasięgiem dodatkowego źródła N, a 3,35% w zasięgu oddziaływania przyzmy osadu ściekowego. Zawartości azotu w większości badanych gatunków wynosiły od 1,64 do 2,30%. Zawartości potasu wahały się od 0,54% w starszych pędach trzcinnika do 3,97% w mniszku pospolitym. Świadczy to o dobrej dostępności potasu dla roślin. Mniej niż 2,0% potasu zawierały: trzcinnik piaskowy (0,54 i 0,81%), rogownica lepka i starzec jakubek. Zawartości wapnia mieściły się w przedziałach 0,64–2,47%, przy czym młodsze pędy trzcinnika zawierały mniej Ca (0,64%) niż starsze (0,81%), odwrotne relacje stwierdzono w przypadku potasu i azotu. Zawartości magnezu wahały się od 0,11% w młodszych pędach trzcinnika do 1,01% w rogownicy lepkiej.

Zawartości kadmu w poszczególnych gatunkach roślin wahały się od 0,08 mg/kg s.m. (w trzcinniku piaskowym i lepniku zwyczajnym) do 1,46 mg/kg s.m. w rezedzie żółtej. Mniszek pospolity zawierał 0,49 mg Cd/kg s.m. Mniej niż 0,20 mg Cd/kg s.m. zawierały trzcinnik piaskowy, mlecz kolczasty, żmijowiec zwyczajny, lepnik zwyczajny i starzec jakubek. Zawartości chromu wynosiły 0,74–2,47 mg/kg s.m. Poniżej 1,0 mg Cr/kg s.m. zawierały rezeda żółta, mlecz kolczasty, rogownica lepka i mniszek pospolity.

Zawartości miedzi wynosiły od 2,44 mg/kg s.m. w mleczu kolczastym i trzcinniku piaskowym do 9,28 mg/kg s.m. w mniszku pospolitym. Zawartości niklu wahały się od 1,25 mg/kg s.m. w mleczu kolczastym do 4,46 mg/kg s.m. w rogownicy lepkiej. Zawartości ołowiu wahały się od 1,24 mg/kg s.m. w mleczu kolczastym do 4,33 mg/kg s.m. w starcu jakubku. Zawartości cynku wahały się od 9,9 mg/kg s.m. w trzcinniku piaskowym i rezedzie żółtej do 39,9 mg/kg s.m. w mniszku pospolitym. Zawartości rtęci mieściły się w przedziale od 0,014 do 0,036 mg/kg s.m. (tab. 2)

Rezeda żółta *Reseda lutea* rosnąca w bezpośrednim sąsiedztwie przyzmy osadu ściekowego zawierała więcej azotu, chromu, miedzi, ołowiu, cynku i rtęci niż rezeda poza zasięgiem oddziaływania tej przyzmy (tab. 2). Zawartości metali ciężkich w roślinach samosiewnych nie różnią się wyraźnie od ich zawartości w roślinach siedlisk naturalnych, jak wskazują wyniki badań metali ciężkich w roślinach łąkowych w Polsce zestawione poniżej [Kabata-Pendias i Pendias 1993]:

Rośliny	Zawartości niektórych metali ciężkich w mg/kg suchej masy				
	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
Trawy mieszane	23–38	2,2–2,1	0,7–3,2	0,02–1,68	0,9–4,7
Koniczyna ( <i>Trifolium</i> sp.)	–	4,2–20,9	1,6–4,0	0,02–3,56	0,5–5,0

## CHEMICZNE WŁAŚCIWOŚCI GLEB I ROŚLIN W WYTYPOWANYCH PUNKTACH BADAŃ – STAN W 2013 R.

Jak opisano powyżej, w 2000 r. obserwowano inicjalne stadia zarastania złóż wapna posodowego przez spontaniczną roślinność, natomiast skarpy i groble składowiska były pokryte przez dobrze rozwiniętą szatą roślinną. Techniczna i agrotechniczna rekultywacja składowiskowego gruntu w latach 2000–2013 doprowadziła do ukształtowania zwartej szaty roślinnej także na stawach osadowych. Efektywność rekultywacji może być oceniona już po wynikach pilotowo-wdrożeniowej rekultywacji w 2000 r. (fot. 12) oraz bujnej roślinności w stawach osadowych w 2003 r. (fot. 13).

### Właściwości gruntów w odkrywkach glebowych

W celu rozpoznania zależności między fizykochemicznymi właściwościami gleb na składowisku (zrekultywowanych gruntów), a rozwojem i chemizmem szaty roślinnej, wykonano odkrywki glebowe w miejscach charakterystycznego ukształtowania roślinności w stawach osadowych nr 2, 6 i 12. Maksymalna głębokość odkrywek, a jednocześnie pobrania próbek, wynosiła 60 cm, a minimalna 20 cm. Głębokość odkrywek była uzależniona od możliwości ich wykopania przy użyciu szpadla, czyli od występowania zeskalonej warstwy gruntu. Silne zeskalenie przypowierzchniowej warstwy stwierdzono w odkrywce W1/2 w stawie 2 oraz w odkrywkach W6 i W7 w

stawie 6. Odkrywki wykonane w gruntach wapiennych (W) otrzymały następujące symbole:

- w stawie 2 W1/2 i W2/2 – fot. 14 i 15;
- w stawie 12: W3/12, W4/12, W5/12 – fot. 16,17,18;
- na wyrobisku w stawie 6: W6/6, W7/6, W9/6 – fot. 19,20,21.

Głębokości, z których pobierano próbki oraz wyniki analiz zawartości składników przedstawia tabela 3. W próbkach oznaczono zawartości: wapnia, magnezu, żelaza, manganu, potasu, sodu, fosforu i chloru, a także węgla organicznego (TOC), azotu oraz pH.

**Tabela 3.** Zawartości składników w glebach wytworzonych z wapna posodowego w 2013 r.

Odkrywka		pH	Składniki										
symbol, fotografia nr	głębokość w cm		TOC	N	C/N	Ca	Mg	Fe	Mn	K	Na	P	Cl
procent suchej masy												mg/kg s.m.	
W 1/2 fot. 14	0 – 5	7,66	14,7	1,26	11,7	10,4	0,51	2,30	0,060	0,27	0,08	1,21	15
	10 – 20	8,52	4,7	0,12		30,0	1,01	0,70	0,065	0,01	0,06	0,07	204
W 2/2 fot. 15	0 - 10	8,11	9,0	0,46	19,0	29,7	0,98	0,68	0,082	0,11	0,16	0,19	348
	20 – 30	8,21	n.o.	n.o.		31,6	2,25	0,46	0,092	0,01	0,15	0,05	7680
	40 - 60	12,1	n.o.	n.o.		37,5	1,37	0,44	0,094	0,01	0,19	0,05	13600
W 3/12 fot. 16	0 – 5	7,6	17,9	1,32	13,5	22,2	0,78	2,40	0,087	0,21	0,07	0,91	161
	10 – 20	7,93	4,8	0,14		63,3	2,30	0,60	0,17	0,01	0,13	0,06	1560
	25 – 35	9,24	n.o.	n.o.		45,0	3,40	0,75	0,17	0,01	0,13	0,08	12040
	45 – 60	11,9	n.o.	n.o.		30,0	1,19	0,50	0,030	0,01	0,06	0,06	11600
W 4/12 fot. 17	0 – 5	7,74	17,0	1,24	13,0	13,7	0,79	2,35	0,093	0,23	0,08	0,88	43
	10 – 20	8,13	3,8	0,10		47,0	2,20	0,70	0,120	0,02	0,12	0,07	230
	20 – 35	8,38	n.o.	n.o.		31,4	1,88	0,50	0,095	0,01	0,12	0,06	2120
	45 – 60	11,9	n.o.	n.o.		35,0	1,75	0,45	0,010	0,01	0,13	0,06	9920
W 5/12 fot. 18	0 – 5	7,79	17,6	1,46	12,0	13,9	0,81	3,20	0,011	0,23	0,07	1,20	17
	10 – 20	8,08	3,5	0,03		50,7	1,85	0,60	0,015	0,01	0,19	0,05	3110
	20 – 35	12,1	n.o.	n.o.		52,6	2,09	0,50	0,012	0,01	0,16	0,06	11760
	45 - 60	11,5	n.o.	n.o.		33,5	2,42	0,55	0,012	0,01	0,22	0,06	16320
W 6/6 fot. 19	0 – 5	7,86	14,0	1,17	12,0	9,20	0,51	2,30	0,052	0,3	0,088	1,05	47
	10 – 20	9,04	8,60	0,17	50,0	21,1	1,40	0,91	0,048	0,13	0,060	0,15	1114
W 7/6 fot. 20	0 – 8	7,95	16,9	1,41	12,0	13,4	0,57	1,92	0,059	0,35	0,066	1,30	128
	10 – 20	8,54	6,52	0,22		21,5	1,42	0,74	0,068	0,10	0,18	0,18	2405
W 8/6 fot. 21	0 – 15	8,20	15,4	1,12	12,0	16,0	0,55	1,32	0,043	0,35	0,065	0,91	71
	20 – 30	9,96	n.o.	n.o.		19,0	0,67	1,05	0,038	0,22	0,11	0,62	2690
	35 - 45	8,68	n.o.	n.o.		26,6	1,45	0,65	0,063	0,09	0,20	0,07	5307





**Fot. 1.** Roślinność inicjalna – kępki życicy wielokwiatowej *Lolium multiflorum* w zagłębieniu składowiskowego gruntu

**Fot. 2.** Skupienia goryczzela jastrzębcowatego *Picris hieracioides* w bruzdach bezroślinnej powierzchni



**Fot. 3.** Podbiał *Tussilago farfara* w bruzdzie w złożu osadów wapiennych

**Fot. 4.** Ekspansja trzcinnika piaskowego *Calamagrostis epigeios* wzdłuż bruzd w osadach wapiennych



**Fot. 5.** Skupienie goryczela jastrzębcowatego *Picris hieracioides* z marchwią zwyczajną *Daucus carota*



**Fot. 6.** Kępy rezedy żółtej *Reseda lutea*

**Fot. 7.** Agregacje rezedy żółtej *Reseda lutea*, na dalszym planie - łąny trzcinnika *Calamagrostis epigeios* i zadrzewienia z brzozą brodawkowatą *Betula pendula*, topolą osiką *Populus tremula* i topolą białą *Populus alba*



**Fot. 8.** Szczelinowo-poligonalna struktura powierzchni odwodnionego osadu wapna posodowego



**Fot. 9.** Strefowe wkraczanie trzcinnika piaskowego *Calamagrostis epigeios* na bezroślinną powierzchnię w stawie nr 8

**Fot. 10.** „Ostaniec” samosiewnych drzew w stawie nr 8 na tle powierzchni pozbawionej roślinności wskutek dopełniającego (wtórne) składowania płynnego wapna posodowego



**Fot. 11-13.** Przykłady rekultywacyjnej efektywności osadów ściekowych

**Fot. 11.** Poletkowy test osadowej rekultywacji gruntu w stawie nr 8

**Fot. 12.** Efektywność pilotowo-wdrożeniowej rekultywacji gruntu w stawie nr 3 w 2000 r.



**Fot. 13.** Bujna, intensywnie zielona roślinność na kilku stawach osadowych w 2003 r.



**Fot. 14-25.** Stan szaty roślinnej w wytypowanych punktach badań

**Fot. 14.** Odkrywka W1/2 w stawie nr 2

**Fot. 15.** Odkrywka W2/2 w stawie nr 2





**Fot. 16.** Odkrywka W3/12 w stawie nr 12

**Fot. 17.** Odkrywka W4/12 w stawie nr 12



**Fot. 18.** Odkrywka W5/12 w stawie nr 12

**Fot. 19.** Odkrywka W6/6 na wyrobisku w stawie nr 6



**Fot. 20.** Odkrywka W7/6 na wyrobisku w stawie nr 6



**Fot. 21.** Odkrywka 8/6 na wyrobisku w stawie nr 6, z bujnie rosnącą komosą białą *Chenopodium album*

**Fot. 22.** Wyrobisko w stawie nr 6, stan w 2000 r.



**Fot. 23.** Techniczna rekultywacja wyrobiskowego terenu, stan w marcu 2003 r.



**Fot. 24.** Bezroślinna powierzchnia południowej części wyrobiska, stan we wrześniu 2003 r.

**Fot. 25.** Stan szaty roślinnej w środkowej i północnej części wyrobiska, stan we wrześniu 2003 r.



**Fot. 26.** Bujny wzrost i intensywna zieleń drzew rosnących w stawie nr 12 we wrześniu 2005 r.

**Fot. 27.** Wysokość, zwartość i zieleń drzew w lipcu 2013 r. świadczą o dobrym ich zaopatrzeniu w składniki pokarmowe i wodę, mimo konkurencji roślinności niskiej



Pionowe zróżnicowanie zawartości wapnia i chloru oraz pH, to najważniejsze wskaźniki modyfikacji fizykochemicznych właściwości składowiskowego gruntu. Pionowa stratygrafia wymienionych wskaźników dowodzi, że fizykochemiczne wietrzenie tych gruntów, wymywanie soli rozpuszczonych i erozyjne działanie wiatru (pylenie) i opadów atmosferycznych oraz oddziaływanie roślinności samosiewnej i agrotechnicznie wprowadzonej w dużym stopniu zdecydowały o stanie środowiska gruntowego. Przedziały zawartości wapnia i chlorków oraz zakresy pH, stwierdzone w analizowanych warstwach gruntu zestawiono poniżej:

Głębokość	% Ca	mg Cl/kg	pH
0–5 cm	9,2–13,9 (22,2)	15–161	7,60–7,68
0–10 cm	29,7	348	8,11
10–20 cm	21,1–63,3	204–3110	7,93–9,04
25–35 cm	26,6–52,6	2120–11760	8,21–12,10
40–60 cm	30,0–37,5	9920–16320	11,50–12,10

Wyjątkowo dużą zawartość Ca stwierdzono w warstwie do 5 cm (22,2–63,3%) i w całej odkrywce W3/12. W stawie nr 2 zrehabilitowanym w 2001 r. wykonano dwie odkrywki i pobrano próbki gruntu:

- W1/2 – próbki pobrano z głębokości 0–5 oraz 10–20 cm. Warstwa gruntu 0–10 cm miała strukturę niespoistą, a poniżej występowała zeskalona warstwa uniemożliwiająca wykonanie głębszej odkrywki. Trawiastą szatę roślinną i skromny urobek masy glebowej ilustruje fot. 14. Zawartości wapnia i chloru były wielokrotnie mniejsze w warstwie 0–5 cm (odpowiednio 10,4% i 15 mg/kg niż w warstwie 10–20 cm (odpowiednio 30,0% i 204 mg/kg).
- W2/2 – próbki pobrano z głębokości 0–10, 20–30 i 40–60 cm, bez trudności w postaci zeskalonej warstwy. Zawartości wapnia mieściły się w przedziałach 29,7–37,5%, a zawartości chloru rosły od 348 do 13 600 mg/kg na głębokości 60 cm. Odkrywka wykonana była na powierzchni zdominowanej przez trzcinnik piaskowy (fot. 15).

Obie odkrywki wykonano w płatach silnie zadarnionych przez trzcinnik piaskowy i inne gatunki traw samosiewnych i wysianych, z domieszką roślin dwuliściennych (fot. 14). W stawie nr 12 zrehabilitowanym w 2003 r., wykonano następujące odkrywki glebowe:

- W3/12 (fot. 16) w płacie przytulii czepnej *Galium aparine*, otoczonym wielogatunkową roślinnością z niewielkim udziałem trzcinnika piaskowego (fot. 17). Nie stwierdzono zeskalenia gruntu. Zawartości wapnia w tej odkrywce wynosiły od 22,2 na głębokości 0–5 cm do 63,3% w warstwie 10–20 cm. Zawartości chloru rosły od 161 mg/kg na głębokości 0–5 cm do 12 040 mg/kg w warstwie 25–35 cm.
- W4/14 (fot. 17) reprezentuje glebę z zaawansowanym rozwojem poziomu próchniczno-darniowego o zawartości 13,7% Ca w warstwie 0–5 cm do 47,0% Ca



w warstwie 10–20 cm. Podobne zawartości Ca stwierdzono w odkrywce W3/12. W obu odkrywkach najwięcej wapnia stwierdzono w warstwie 10–20 cm (odpowiednio 63,3% i 47,0%). W warstwie 45–60 pH wynosiło 11,9 w obu odkrywkach.

- W5/12 (fot. 18) odkrywkę zlokalizowano na zadarnionej powierzchni sąsiadującej z wielogatunkowymi zaroślami krzewiastymi i drzewiastymi. Nie napotkano tu zeskalenia gruntu. Zawartość wapnia wynosiła od 13,9% w warstwie 0–5 cm do 52,6% w poziomie 20–35 cm. Zawartości chloru wahały się od 17 mg w warstwie 0–5 cm do 16 320 mg/kg w warstwie 20–35 cm. Odczyn środowiska jest lekko alkaliczny na głębokości 0–5 cm, a silnie alkaliczny w warstwie 11,5–12,1 cm.

W wyrobisku stawu 6 wykonano trzy odkrywki glebowe:

- W6/6 i W7/6 (fot. 19 i 20) odkrywki wykonano w dennej części wyrobiska po wydobyciu wapna nawozowego (fot. 21). Dno wyrobiska zostało wyrównane, a skarpy sprofilowane w trakcie technicznej rekultywacji gruntu. Następnie zastosowano rekultywacyjną dawkę osadu ściekowego oraz wysiano mieszankę traw (fot. 22 – stan w dniu 23.04 2003 r.). Stan zazielenienia powierzchni wyrobiska w dniu 6.08.2003 r. ilustrują fotografie 23 i 26. W tym czasie, część dna wyrobiska widoczna na pierwszym planie była pozbawiona roślinności (fot. 23), a w jego środkowej części rosły pojedyncze kępy samosiewnych roślin dwuliściennych, głównie komosa biała *Chenopodium album* i bylica zwyczajna *Artemisia vulgaris*, które na dalszym planie tworzą zwarte płyty (fot. 24). Przyczyną nieskutecznego zazielenienia dennej części wyrobiska jest zeskalenie wierzchniej warstwy gruntu, odsłoniętej podczas eksploatacji wapna (fot. 22) i wskutek niwelowania powierzchni (fot. 23). Struktura przestrzenna szaty roślinnej w 2013 r. odzwierciedlała zmienność struktury przestrzennej zeskalonej warstwy gruntu (fot. 22). Zawartości wapnia w gruncie odkrywek W6/6 i W7/6 są bardzo małe (odpowiednio 9,20% i 13,4%) w warstwie 0–5 cm lub małe (21,1% i 21,5%) w warstwie 10–20 cm. Stwierdzono tu wyraźnie podwyższoną zawartość żelaza (odpowiednio: 2,30% i 1,92%) i fosforu (1,05% i 1,30%) w warstwie powierzchniowej (10–20 cm). Wobec niskich zawartości wapnia przypuszcza się, że głównym czynnikiem zeskalania przypowierzchniowej warstwy gruntu jest krzemionka.
- W8/6 (fot. 21) odkrywkę wykonano we wschodniej części wyrobiska lokalizując ją w płacie różniących się charakterem roślinności i gleby od odkrywek powyżej omówionych. W tej części wyrobiska kompostowano dawniej masę roślinną z osadem ściekowym, a ponadto gromadziły się tu popioły lotne przemieszczane z przyległego składowiska popiołów. Udział wapnia w lokalnej glebie wzrastał od 16,0% w warstwie 0–15 cm do 26,6% na głębokości 35–45 cm. Odkrywkę wykonano do głębokości 45 cm, ponieważ głębiej zalegała zeskalona warstwa gruntu, przypuszczalnie uwarunkowana podobnymi czynnikami jak w poprzednio opisywanych odkrywkach: W6/6 i W7/6. Zawartości węgla organicznego (TOC) w próchniczno-darniowym poziomie (0–5 cm) mieściły się w przedziale

14,0–17,9%, a w warstwie 10–20 cm wahały się w przedziale od 3,5% do 8,6%. W innych badaniach stwierdzono, że złoża wapna posodowego zawierały 3,0–4,5% węgla organicznego. Wynika stąd, że znaczna część węgla organicznego (tab. 3) nie pochodzi z osadu ściekowego i roślinnej kumulacji. Potwierdzają to znikome zawartości azotu, w tym stosunek C:N.

## Chemiczne właściwości roślin

W roślinach oznaczono zawartości głównych składników pokarmowych (N,P,K,Ca i Mg) oraz metali ciężkich (Zn, Cu, Cr, Pb, Ni, Cd i Hg). Zawartości azotu w roślinach wahały się od 1,65% w przytulii czepnej *Galium aparine* (fot. 16) do 3,49% w komosie białej *Chenopodium album* (fot. 23). Tak duże różnice zawartości azotu w obu roślinach wynikają głównie z odmiennej biologii tych gatunków, a także z różnic w zasobności składników pokarmowych w glebach. Kupkówka pospolita *Dactylis glomerata* współwystępująca z komosą białą zawierała 2,48% N. Znaczące różnice stwierdzono także w zawartościach fosforu (0,45% i 0,30%), potasu (6,60% i 4,40%), wapnia (1,36% i 0,38%) oraz magnezu (0,52% i 0,28%).

Pozostałe składniki w roślinach (obok azotu) występowały w następujących przedziałach zawartości: fosfor 0,25–0,52%; potas 0,38–2,95%; wapń 0,38–1,36%; magnez 0,13–0,52%; natomiast metale ciężkie (w mg/kg s.m.): cynk 13,1–48,9; miedź 3,0–11,3; chrom 0,1–1,0; nikiel 0,4–11,0; kadm 0,02–0,11; rtęć 0,014–0,033 (tab. 4). Zawartości metali ciężkich w analizowanych roślinach są zbliżone do typowych zawartości spotykanych w trawach w Polsce [Kabata-Pendias, Pendias 1993].

Znaczne wahania zawartości wymienionych składników w roślinach wynikają z:

- przestrzennej zmienności ich dostępności dla roślin w warunkach składowiskowego gruntu;

**Tabela 4.** Zawartości składników w roślinach powierzchni przyległych do odkrywek glebowych w 2013 r.

Odkrywka glebowa fotogr. nr	Roślinność: porost roślin/gatunek rośliny	Składniki											
		N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Cr	Pb	Ni	Cd	Hg
		procent suchej masy						mg/kg suchej masy					
W <sub>1/2</sub> (fot. 14)	porost	2,28	0,33	2,95	0,44	0,27	31,2	8,7	0,1	0,66	1,1	0,07	0,024
W <sub>2/2</sub> (fot. 15)	porost	3,36	0,30	2,35	0,33	0,13	27,4	6,1	0,2	0,49	0,5	0,04	0,016
W <sub>3/12</sub> (fot. 16)	porost	1,65	0,27	1,65	0,49	0,31	22,0	4,4	0,2	1,12	0,3	0,08	0,028
W <sub>4/12</sub> (fot. 17)	porost	2,98	0,52	1,64	0,78	0,54	44,2	7,6	0,2	0,80	0,9	0,05	0,020
W <sub>5/12</sub> (fot. 18)	porost	1,71	0,35	1,38	0,34	0,18	13,1	3,0	0,2	0,90	0,5	0,02	0,022
W <sub>6/6</sub> (fot. 19)	porost	1,89	0,43	1,65	1,10	0,31	29,8	5,2	0,7	0,90	1,3	0,11	0,033
W <sub>7/6</sub> (fot. 20)	perz pospolity porost	1,88	0,25	1,87	0,69	0,19	26,8	6,1	1,0	1,80	1,1	0,10	0,026
W <sub>8/6</sub> (fot. 25)	komosa biała	3,49	0,45	6,60	1,36	0,52	48,9	7,7	0,3	0,40	0,9	0,07	0,014

- różnic związanych z biologią poszczególnych gatunków roślin;
- niejednakowych potrzeb pokarmowych różnych gatunków;
- stadium wzrostu.

## ZAWARTOŚCI SKŁADNIKÓW MINERALNYCH W LIŚCIACH DRZEW W LATACH 2000 I 2013

Stan samosiewnych gatunków drzew i krzewów w stawie nr 12 w 2000 r. ilustruje fot. 7, a ich kondycję i dynamikę wzrostu w latach 2005 – fot. 26 oraz w 2013 – fot. 27. W 2000 r. zawartości składników oznaczono w liściach wierzby koziej *Salix caprea*, wierzby szarej *Salix cinerea*, brzozy brodawkowatej *Betula pendula*, topoli osiki *Populus tremula* i topoli białej *Populus alba* (tab. 5), a w 2013 r. w liściach wierzby uszatej *Salix aurita*, wierzby szarej, brzozy brodawkowatej, topoli osiki i topoli białej oraz w liściach bzu czarnego *Sambucus racemosa* i ałyczy *Prunus insititia* (tab. 6). W próbkach liści oznaczono zawartości głównych składników pokarmowych (N, P, K, Ca i Mg) oraz metali ciężkich (Zn, Cu, Cr, Pb, Ni, Cd i Hg). Duża dostępność składników pokarmowych na gruncie użyźnionym osadem ściekowym skutkowałą znaczącym wzrostem zawartości azotu, fosforu i potasu w liściach drzew w roku 2013 w porównaniu z zawartościami w 2000 r.

**Tabela 5.** Zawartości składników mineralnych w próbkach liści drzew zebranych w lipcu 2000 r.

Gatunek	Składniki											
	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Cr	Pb	Ni	Cd	Hg
	procent suchej masy					mg/kg suchej masy						
Wierzba kozia	1,77	0,12	0,77	2,12	0,33	79,7	5,89	1,36	4,24	1,17	0,49	0,016
Wierzba szara	1,70	0,12	0,80	1,29	0,29	42,1	4,82	1,13	4,08	2,73	0,62	0,023
Brzoza brodawkowata	2,04	0,21	0,54	1,31	0,89	113,0	5,44	1,16	3,63	1,50	0,11	0,017
Topola osika	1,90	0,12	0,57	2,13	1,07	98,7	6,87	1,59	3,64	2,14	0,16	0,021
Topola biała	1,77	0,11	0,68	1,40	0,48	45,1	6,13	1,14	2,80	1,55	0,14	0,017

Zawartości azotu w próbkach liści drzew wahały się od 2,70% do około 3,21%, a w 2000 r. – od 1,70% do 2,04%. Największe zawartości azotu (4,29%) stwierdzono w liściach bzu czarnego. Zawartości fosforu wahały się w przedziale od 0,25% do 0,34% w 2013 r., a w 2000 r. – od 0,11% do 0,21%. Zawartości potasu wahały się w przedziale od 0,98% do 1,75% w 2013 r, podczas gdy w 2000 r. – w przedziale od 0,54 do 0,77%. Zawartości wapnia były większe w próbkach liści pobranych w 2000 r. (1,29–2,12%) niż w próbkach pobranych w 2013 r. (0,82–1,45%). Zawartości magnezu w próbkach liści drzew z 2000 r. wykazały znacznie większe wahania (0,29–1,07%) aniżeli w 2013 r. (0,19–0,51%).

**Tabela 6.** Zawartości składników mineralnych w próbach liści drzew zebranych w maju 2013 r.

Gatunek	Składniki											
	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Cr	Pb	Ni	Cd	Hg
	procent suchej masy					mg/kg suchej masy						
Wierzba kozia	3,09	0,31	1,25	1,19	0,32	68,6	6,6	0,3	1,3	0,9	0,49	0,012
Wierzba szara	2,83	0,34	1,11	0,82	0,19	117	10,2	0,4	1,6	2,1	0,40	0,016
Brzoza brodawkowata	3,21	0,27	1,14	1,43	0,27	140	6,5	0,2	0,9	1,6	0,06	0,010
Wierzba uszata	3,16	0,31	1,55	1,25	0,48	52,4	7,2	0,3	1,0	1,5	0,35	0,011
Topola osika	2,70	0,25	1,12	1,44	0,26	88,1	6,8	0,3	0,7	2,2	0,28	0,010
Topola biała	3,09	0,26	0,98	1,11	0,30	11,4	7,4	0,2	0,9	0,8	0,30	0,008
Ałycza	3,13	0,26	1,75	1,40	0,40	24,5	5,4	0,2	0,9	0,4	0,11	0,011
Bez czarny	4,29	0,44	2,70	1,45	0,51	61,9	11,5	0,4	1,1	1,0	0,18	0,012

Przedziały zawartości metali ciężkich w próbkach liści drzew w odnośnych latach przedstawiają się następująco (w mg/kg s.m.):

Metal	Rok 2000	Rok 2013
Cynk	42,1 – 113,0	25,4 – 140,0
Miedź	4,82 – 6,87	5,4 – 11,5
Chrom	1,13 – 1,59	0,2 – 0,4
Ołów	2,80 – 4,24	0,7 – 1,6
Nikiel	1,17 – 2,73	0,4 – 2,2
Kadm	0,11 – 0,64	0,06 – 0,49
Rtęć	0,016 – 0,023	0,008 – 0,016

Z powyższego zestawienia wynika, że użyczenie gruntu składowiska osadem ściekowym nie wpłynęło na zwiększenie zawartości metali ciężkich w liściach drzew. Minimalne zawartości poszczególnych metali ciężkich wahały się od 0,016 do 421 mg/kg s.m. w 2000 r. oraz od 0,008 do 24,5 mg/kg s.m. w 2013 r. Maksymalne zawartości poszczególnych metali ciężkich w liściach drzew wyniosły od 0,023 do 113,0 mg/kg s.m. w 2000 r. oraz od 0,016 do 140,0 mg/kg w 2013 r.

## PIŚMIENNICTWO

1. Dyguś K., Sienkiewicz J., 2014. Roślinność na składowisku odpadów posodowych w Janikowie po 13 latach rekultywacji. Inżynieria Ekologiczna 36, 65–77.
2. Kabata-Pendias A., Pendias H., 1993. Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN Warszawa, ss. 364.

3. Siuta J., 2014. Rekultywacyjna efektywność osadów ściekowych na składowisku odpadów posodowych w Janikowie. *Inżynieria Ekologiczna* 36, 98–119.
4. Siuta J., Sienkiewicz R., 2000. Badania uzupełniające i pilotowo-wdrożeniowe doświadczenie rekultywacji na składowisku odpadów posodowych (maszynopis). Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa.
5. Siuta J., Sienkiewicz R., 2001. Rekultywacja terenu składowania odpadów posodowych w Janikowie. *Inżynieria Ekologiczna* 3, 43–59.
6. Siuta J., Sienkiewicz J., Dyguś K.H., 2013. Rozwój szaty roślinnej i gleba na składowisku odpadów posodowych w Janikowie od zapoczątkowania rekultywacji w 2000 r. Instytut Ochrony Środowiska – PIB, Warszawa.
7. Siuta J., 1999. Koncepcja rekultywacji składowiska odpadów posodowych w Janikowskich Zakładach Sodowych S.A. (maszynopis) Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa.
8. Siuta J., Kutla G., 2001. Projekt rekultywacji składowiska odpadów posodowych w Janikowskich Zakładach Sodowych "Janikosoda" S.A. (maszynopis) Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa.
9. Wilkoń-Michalska J., Sokół M., 1968. Flora zwałów wapiennych Inowrocławskich i Janikowskich Zakładów Sodowych, Flora of the lime spoil mounds of the Inowrocław and Janikowo Soda Factory <http://www.kpbc.ukw.edu.pl/dlibra/plain-content?id=79464>. Zesz. Nauk. UMK w Toruniu. Nauki Matematyczno-Przyrodnicze, z. 21. Biologia 11. PWN, str. 174–208.