

WŁODZIMIERZ MAJTKOWSKI**GABRIELA MAJTKOWSKA**Ogród Botaniczny Krajowego Centrum Roślinnych Zasobów Genowych
Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy, Bydgoszcz

Fitosanitarna rola szaty roślinnej na zrehabilitowanej hałdzie popiołów w Sowlanach k. Białegostoku

Phytosanitary functions of plants used for the reclamation of the heap of ashes in Sowlany near Białystok

W 1999 roku, na części składowiska odpadów paleniskowych w Sowlanach o powierzchni 5,5 ha, wykonano rekultywację, której celem było ograniczenie erozji wietrznej. Rekultywacja biologiczna była poprzedzona pracami technicznymi — formowaniem skarp i tarasów oraz nawiezieniem komunalnych osadów ściekowych w ilości 1500 t·ha⁻¹. W czerwcu 1999 r. powierzchnię hałdy obsiano mieszaną traw pastewnych, motylkowatych i gorczycy, założono doświadczenie z 29 gatunkami traw z kolekcji Ogródu Botanicznego KCRZG w Bydgoszczy oraz obsadzono krzewami i drzewami tarasy. W następnych latach prowadzono obserwacje rozwoju zastosowanych roślin oraz badania składu chemicznego podłoża i materiału roślinnego. Po 12 latach, które minęły od rekultywacji hałdy można stwierdzić, że główny cel — zahamowanie erozji wietrznej pyłów — został osiągnięty. Na skarpie głównej składowiska popiołów ukształtowała się zwarta szata roślinna, złożona z kilku wieloletnich gatunków traw oraz taksonów sukcesji spontanicznej. W części doświadczalnej największą trwałością odznaczyły się: *Bromus inermis*, *Elymus elongatus*, *Festuca arundinacea*, *Miscanthus sacchariflorus* i *Spartina pectinata*. Gęsty pas zieleni utworzyły wysadzone na półkach drzewa i krzewy — *Amorpha fruticosa*, *Elaeagnus angustifolia*, *Hippophaë rhamnoides*. Zastosowane osady ściekowe były źródłem metali ciężkich, zwłaszcza cynku, który w największych ilościach był kumulowany przez gatunki drzew oraz trawy *Elymus elongatus* i *Spartina pectinata*, w ilościach od 227–562 mg·kg⁻¹ s.m.

Słowa kluczowe: metale ciężkie, osady ściekowe, popioły węglowe, rekultywacja, trawy

In the year 1999, a reclamation aiming at the reduction of wind erosion was performed on the furnace waste heap in Sowlany with a surface area of 5.5 ha. The biological reclamation followed technical works —forming of escarpments and terraces and the fertilization using communal sewage sludge in the amount of 1500 t·ha⁻¹. In June 1999 the surface of the slag heap was sown with fodder grasses, papilionaceous crops and mustard. The experiment with 29 species of the grasses from the collection of IHAR Botanical Garden in Bydgoszcz was created and the terraces were sown with bushes and trees. During the following years the observations of the plants' development and the examination of chemical composition of substrate and plant material were done. After 12 years, that passed since the reclamation of the slag heap, the main goal — the inhibition of wind erosion of ashes — was achieved. On the main slag heap of ashes stockpile dense flora consisting of perennial grass species and

secondary plant succession was formed. In the experimental part, the following species: *Bromus inermis*, *Elymus elongatus*, *Festuca arundinacea*, *Miscanthus sacchariflorus* and *Spartina pectinata* showed highest durability. The shrubs and trees sown on the erosion platform — *Amorpha fruticosa*, *Elaeagnus angustifolia*, *Hippophaë rhamnoides* — created a dense green belt. The used sewage deposits became the source of heavy metals, especially zinc, which was cumulated in the highest amount (from 227 to 562 mg·kg⁻¹ D.M) by tree species and grasses *Elymus elongatus* and *Spartina pectinata*.

Key words: coal ash, grasses, heavy metals, reclamation, sewage sludge

WSTĘP

Polska należy do krajów, w których wytwarzanie energii cieplnej i elektrycznej oparte jest głównie na spalaniu węgla kamiennego bądź brunatnego. Przemysł energetyczny wytwarza rocznie ponad 18,5 mln ton odpadów, co stanowi 14,8% ogólnej ilości powstających w Polsce odpadów przemysłowych. Część z nich jest wykorzystywana gospodarczo, ale pomimo to blisko 100 tys. ton w skali roku kierowane jest na składowiska, których łączna powierzchnia wynosiła 2884 ha (Seweryn i Woźniak, 2007). Składowiska odpadów paleniskowych stanowią uciążliwość dla środowiska spowodowaną nadmiernym pyleniem. Skuteczną metodą ograniczenia erozji eolicznej pyłów jest pokrycie powierzchni składowiska trwałą i zwartą roślinnością (Siuta, 1999; Woźniak i Rostański, 2000), jednak czynnikiem decydującym o możliwości wegetacji roślin na tym obiekcie jest brak materii organicznej w deponowanym materiale. Znaczący wpływ na skuteczne zadarnienie takich siedlisk ma także dobór odpowiednich gatunków roślin użytych do rekultywacji. Składowisko popiołów paleniskowych z Elektrociepłowni w Białymstoku o powierzchni 32,7 ha, zlokalizowane jest we wsi Sowłany. Powierzchnia eksploatacyjna wynosi 27,2 ha; pozostała część została zamknięta i poddana rekultywacji. W czerwcu 1999 r. na rekultywowanej hałdzie wysiano mieszanke traw pastewnych, motylkowatych i gorczyca oraz założono doświadczenie z gatunkami traw z kolekcji Ogródu Botanicznego KCRZG w Bydgoszczy. W celu zmniejszenia podatności na erozję wodną na zboczach hałdy wykonano tarasy, które obsadzono krzewami i drzewami. W celu wprowadzenia życia biologicznego do martwego podłoża popiołów paleniskowych wykorzystano osady ściekowe. Przez okres 12 lat prowadzono obserwacje rozwoju zastosowanych roślin oraz badania składu chemicznego podłoża i materiału roślinnego w celu określenia dynamiki zmian zachodzących na zrehabilitowanym składowisku oraz wyodrębnienia gatunków roślin, które można zalecić do stosowania w rekultywacji biologicznej powierzchni składowisk odpadów paleniskowych.

MATERIAŁY I METODY

Przeznaczoną do rekultywacji powierzchnię składowiska ukształtowano w formie ściętej piramidy o nachyleniu skarp 1:4, na których wykonano tarasy o szerokości ok. 4 m, przeznaczone dla roślinności drzewiastej. W celu użyczenia bezglebowego podłoża zastosowano przefermentowany i zagęszczony do 30% s.m. osad ściekowy, w ilości 1500 t·ha⁻¹, który pochodził z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Białymstoku. Przed wprowa-

dzeniem roślinności na powierzchni zbocza o powierzchni ok. 5,5 ha zastosowano uzupełniające nawożenie NPK ($120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) oraz wykonano poprzeczną orkę pługiem łąkowym. Na tak przygotowane podłoże wysiano nasiona mieszanki rekultywacyjnej, złożonej z sześciu gatunków traw pastewnych, lucerny siewnej, koniczyny łąkowej i gorczycy białej; półki obsadzono drzewami i krzewami (m.in.: rokitnikiem, oliwnikiem, amorfą), a na udostępnionej Instytutowi Hodowli i Aklimatyzacji Roślin powierzchni ok. 0,1 ha założono poletka doświadczalne z kolekcją 29 gatunków traw, głównie z rodzaju perz (*Agropyron*) i wydmuchrzyca (*Elymus*). Ze względu na ograniczoną ilość nasion zestaw doświadczalny traw wysiano bez powtórzeń na poletkach o rozmiarach $5 \times 5 \text{ m}$. Dwa gatunki miskanta cukrowego i spartinę preriową wprowadzono w postaci sadzonek. Wykaz zastosowanych gatunków roślin podano w tabeli 1. Zrekultywowana część składowiska została wyposażona w instalację zraszającą, która była wykorzystywana przez okres 3 lat po wprowadzeniu roślinności. Pielęgnację roślin ograniczono do corocznego wykaszania i zbioru biomasy.

Badania prowadzone przez IHAR obejmowały:

- ocenę zadarnienia powierzchni poletek, w 9-stopniowej skali bonitacyjnej (1 — brak wschodów, 9 — zadarnienie gęste, zwarte),
- ocenę stanu roślin, w 9-stopniowej skali bonitacyjnej (1 — brak roślin, 9 — rozwój b. dobry),
- rozwój roślin na podstawie pomiarów biometrycznych (wysokości roślin na koniec sezonu wegetacyjnego, plon biomasy),
- analizę składu chemicznego podłoża (makroskładniki, metale ciężkie) i materiału roślinnego (metale ciężkie).

Terminy prowadzonych badań zaznaczono w tabelach.

Analizy składu chemicznego podłoża wykonano w Laboratorium Chemicznym Zakładu Technologii Produkcji Roślin Okopowych — Oddział IHAR w Bydgoszczy, gdzie przy użyciu uniwersalnej metody ogrodniczej wg Nowosielskiego (2004) oznaczono:

- pH i zasolenie, w H_2O destylowanej,
- N- NO_3 — przy pomocy elektrody jono-selektywnej,
- P — metodą kolorymetryczną (Spekol 11 Carl Zeiss Jena),
- Ca, K, Na — metodą spektrometrii emisyjnej,
- Mg — metodą absorpcji atomowej (spektrofotometr absorpcji atomowej PU 9100X Philips).

Na podstawie uzyskanych wyników ustalono przedziały zasobności, odczynu i zasolenia dla badanych gleb.

Na Wydziale Technologii i Inżynierii Chemicznej Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy przeprowadzono badania zawartości metali ciężkich. Z poddanego suszeniu i zmieleniu surowca roślinnego odważono próbki o masie 250 mg, które umieszczano w bombach mikrofalowych, a następnie zalewano 1 cm^3 30% H_2O_2 i 5 cm^3 65% HNO_3 . Użyte do przygotowania odczynniki miały czystość Czda. Tak przygotowane próbki, po trwającej 24 h wstępnej mineralizacji, umieszczono w mineralizatorze mikrofalowym i poddano mineralizacji falowej według własnej procedury UTP Bydgoszcz. Kolejnym etapem było wykonanie analizy chemicznej za pomocą atomowej

spektrometrii emisyjnej z indukcyjnie wzbudzoną plazmą (ICP — AES), zgodnie z przyjętą metodą badawczą wg PN-EN ISO 11885:2001.

WYNIKI I DYSKUSJA

Po 12 latach, które minęły od rekultywacji, na skarpie głównej składowiska popiołów w Sowlanach ukształtowała się zwarta szata roślinna. Niektóre gatunki spełniły funkcję rośliny ochronnej, dominując w roku wysiewu. Były to gatunki roczne — *Lolium multiflorum* i *Sinapis alba*. W kolejnym sezonie ustąpiły miejsca trawom wieloletnim (tab. 1).

Tabela 1

Wyniki waloryzacji rozwoju roślin zastosowanych na haldzie popiołów z elektrociepłowni w Sowlanach k. Białegostoku w latach 1999–2010
The results of the valorization of plant growth applied on the heap of ashes from the heat and power plants in Sowlany near Białystok in the years 1999–2010

L.p. No.	Część składowiska Part of the stockpile	Gatunek Species	Zadarnienie — Sodding (valuation scale 1–9)			Stan roślin w 2010 r. Condition of plants in 2010 (bonitacja/ scale 1–9)
			1999	2000	2001	
1	2	3	4	5	6	7
1	Skarpa główna The main scarp	<i>Arrhenatherum elatius</i> (L.) P.B.	3	3	3	1
		<i>Dactylis glomerata</i> L.	5	7	9	7
		<i>Festuca rubra</i> L.	5	5	5	7
		<i>Lolium multiflorum</i> Lam.	7	3	1	1
		<i>Lolium perenne</i> L.	7	9	7	3
		<i>Medicago sativa</i> L.	3	5	5	3
		<i>Phleum pratense</i> L.	3	3	3	3
		<i>Sinapis alba</i> L.	9	3	1	1
		<i>Trifolium pratense</i> L.	3	5	5	3
2	Zadrzewione półki Trees covered terraces	<i>Amorpha fruticosa</i> L.				9
		<i>Elaeagnus angustifolia</i> L.				9
		<i>Hippophaë rhamnoides</i> L.				9
3	Poletka doświadczalne Experimental plots	<i>Agropyron agroelymoides</i> J. Hunziker	9	9	5	1
		<i>A. aucheri</i> Boiss.	3	5	5	1
		<i>A. campestre</i> Godr. & Gren.	5	5	9	1
		<i>A. cristatum</i> Beauv.	7	9	9	7
		<i>A. desertorum</i> (Fisch. & Link) Schult.	3	3	7	1
		<i>A. littorale</i> Dum.	3	3	5	1
		<i>A. smithii</i> Rydb.	5	7	7	1
		<i>A. tanaiticum</i> Nevski	1	1	1	1
		<i>A. trichophorum</i> (Link) Richt.	7	7	9	1
		<i>A. ugamicum</i> Drob.	3	3	7	1
		<i>Bromus inermis</i> Leyss.	7	7	9	9
		<i>Elymus condensatus</i> J. & C. Presl.	3	3	5	3
		<i>E. dahuricus</i> Turcz. ex Griseb.	3	3	3	1
<i>E. elongatus</i> (Host) Run.	9	9	9	9		
<i>E. farctus</i> (Viv.) Run. & Melder.	5	1	1	1		

c.d. Tabela 1

1	2	3	4	5	6	7
		<i>E. giganteus</i> Vahl.	9	7	3	1
		<i>E. hispidus</i> (Opiz) Melder.	9	9	7	5
		<i>E. pyracanthus</i> (Drob.) Nevski	5	7	7	3
		<i>E. riparius</i> Vieg.	5	5	3	1
		<i>E. villosus</i> Muhl. ex Willd.	3	3	7	1
		<i>Elytrigia pruinifera</i> Nevski	5	7	7	3
		<i>E. pungens</i> (Pers.) Tutin	3	7	7	3
		<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	9	9	9	9
		<i>Leymus chinensis</i> (Trin.) Tzvel.	7	7	9	1
		<i>L. mollis</i> (Trin.) Pilger	5	5	7	1
		<i>L. racemosus</i> (Lam.) Tzvel.	3	5	7	5
		<i>L. secalinus</i> (Georgi) Tzvel.	7	7	9	1
		<i>Miscanthus sacchariflorus</i> Hack.	5	5	5	9
		<i>Spartina pectinata</i> Bosc. ex Link.	9	9	9	9

W części doświadczalnej największą trwałością odznaczyło się kilka gatunków traw: *Bromus inermis*, *Elymus elongatus*, *Festuca arundinacea*, *Miscanthus sacchariflorus* i *Spartina pectinata*. *Spartina* preriowa wyróżniła się także plonem biomasy, który w przeliczeniu na 1 ha wyniósł ponad 28 ton (tab. 2).

Tabela 2

Zestawienie wyników oceny rozwoju miskanta cukrowego i spartiny preriowej na hałdzie popiołów w Sowlanach pod koniec sezonu wegetacyjnego 2007 i 2011 r.

The results of the evaluation of development of *Miscanthus sacchariflorus* and *Spartina pectinata* on the heap of ashes in Sowlany at the end of 2007 and 2011 growing season

L.p. No.	Gatunek Species	Wysokość roślin Plant height (cm)		Plon świeżej biomasy Fresh biomass yield (t·ha ⁻¹)		Wilgotność próby Humidity (%)
		2007	2011	2007	2011	
1	<i>Miscanthus sacchariflorus</i> Hack.	142	175	4,8	9,5	37,5
2	<i>Spartina pectinata</i> Bosc. ex Link.	198	196	28,8	15,0	63,9

Na szczególną przydatność traw w biologicznej rekultywacji składowisk odpadów zwracają uwagę: Patrzalek (1984, 2000), Pawluśkiewicz i Gutkowska (2005), Prończuk i Prończuk (2000), Wolski i in. (2006). Gęsty pas zieleni utworzyły wysadzone na półkach drzewa i krzewy — oliwnik wąskolistny, amorfka krzewiasta i rokitnik zwyczajny. Oprócz gatunków celowo wprowadzonych w 1999 r. na hałdzie w następnych latach pojawiły się nowe taksony, najczęściej na drodze sukcesji spontanicznej, np.: *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth, *Urtica dioica* L., *Artemisia vulgaris* L., *Tanacetum vulgare* L., *Cytisus scoparius* (L.) Link. lub wprowadzone przez człowieka (np. *Helianthus tuberosus* L. i *Salix viminalis* L.).

Na rozwój zastosowanych roślin wpływ mogły mieć także warunki klimatyczne, panujące w okresie prowadzonych obserwacji. Zgodnie z podziałem rolniczoklimatycznym Polski Romualda Gumińskiego, Białystok położony jest w dzielnicy podlaskiej, w której klimat jest wyraźnie chłodniejszy od innych dzielnic nizinnych. W rejonie Białegostoku wyraźnie zaznacza się kontynentalizm klimatu z ostrymi zimami

oraz gorętszymi i bardziej suchymi latami. Średnia temperatura roczna wynosi ok. +7 C, a średnie temperatury stycznia mieszczą się w granicach od -4 do -6 C, należą one do najniższych w Polsce. Według danych stacji meteorologicznej w Białymstoku roczna suma opadów w roku 2000 wynosiła 453 mm, w roku 2005 — 546 mm, w 2008 — 602 mm, w 2009 — 703 mm, podczas gdy średnia wieloletnia z lat 1971–2000 wynosiła 577 mm. Średnia temperatura powietrza w roku 2000 wynosiła 8,6°C, w roku 2005 — 7,1°C, w 2008 — 8,2°C, w 2009 — 7,2°C; średnia wieloletnia w latach 1971–2000 wynosiła 6,9°C (Informator Białostocki, 2012). Wpływem warunków klimatycznych można wyjaśnić, odnotowane w 2010 r., pogorszenie stanu badanych roślin w stosunku do oceny z lat 1999–2001, zwłaszcza gatunków traw pochodzących z innych rejonów świata (tab. 1).

W stosunku do zawartości mikroelementów w glebach naturalnych odpady paleniskowe zawierają więcej ołowiu, cynku, chromu, niklu, a szczególnie boru, mniej potasu, fosforu i azotu (Seweryn i Woźniak, 2007). Według Klimonta (2011) wniesienie komunalnych osadów ściekowych do rekultywacji popiołów i wprowadzenie roślinności trawiastej wpłynęło na inicjację życia biologicznego w martwym podłożu, a wytworzona materia organiczna stworzyła kompleks sorpcyjny ułatwiający gromadzenie składników pokarmowych i wody. Dzięki temu w poziomie próchnicznym prawie 2-krotnie zwiększyła się zawartość substancji organicznej (do 66,2 g·kg⁻¹), w porównaniu do samego popiołu (38,6 g·kg⁻¹). Także Bielińska i in. (2009) uważają, że zastosowanie osadów ściekowych przyczynia się do dynamicznego wzrostu substancji organicznej, ulegającej szybkiej transformacji do próchnicy glebowej.

Tabela 3

Ilość składników pokarmowych w podłożach z hałdy popiołów w Sowlanach w październiku 2009 r.
The amounts of the nutrients in substrates from the heap of ashes in Sowlany in October in the 2009

Podłoże Substrate	pH	Zasolenie Salinity (g·kg ⁻¹)	N-NO ₃ (mg·kg ⁻¹)	P (mg·kg ⁻¹)	K (mg·kg ⁻¹)	Ca (mg·kg ⁻¹)	Na (mg·kg ⁻¹)	Mg (mg·kg ⁻¹)
Popiół Ash	6,47	0,07	<10	94	20	1831	25	59
Popiół + osad Ash + sewage sludge	6,10	0,04	32	81	31	1646	15	57

Zastosowane osady ściekowe były źródłem metali ciężkich, zwłaszcza cynku (tab. 4). Na podstawie zaproponowanych przez Poznańskiego (1997) progowych zawartości metali śladowych, wynoszących odpowiednio dla celów paszowych: Cd 0,1–0,5; Zn 20–150; Pb 3–10 mg·kg⁻¹ s.m., dokonano oceny analizowanego materiału roślinnego. Najwyższą zawartość cynku (od 227–562 mg·kg⁻¹ s.m.) stwierdzono w pędach amorfy krzewiastej, oliwnika wąskolistnego i żarnowca miotlastego oraz w biomacie wydmuchrzycej wydłużonej i spartiny periowej (tab. 5). Topinambur i amorfa należały do gatunków kumulujących najwięcej ołowiu (odpowiednio 86,7 i 65,4 mg·kg s.m.). W tkankach amorfy stwierdzono także najwięcej chromu (17,6 mg·kg s.m.). Uzyskane wyniki pozwalają wytypować gatunki szczególnie przydatne w oczyszczaniu środowiska metodą fitoremediacji.

Tabela 4

Zawartość metali ciężkich w podłożach pobranych z haldy popiołów w Sowlanach w październiku 2009 r.
The content of heavy metals in substrates taken from the heap of ashes in Sowlany in October in the 2009

Podłoże Substrate	Cd (mg·kg ⁻¹)	Cr (mg·kg ⁻¹)	Pb (mg·kg ⁻¹)	Zn (mg·kg ⁻¹)
Popiół Ash	<5	36,22	<10	385,83
Popiół + osady ściekowe Ash + sewage sludge	<5	28,42	<10	647,62
Dopuszczalne stężenie metali ciężkich zanieczyszczających glebę średnio zwięzłą* Maximum acceptable concentration of heavy metals contaminating semi-compacted soil*	1	80	70	200

* Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi (Dziennik Ustaw nr 37 poz. 344 z 21.03.2002 r.)

* Regulation of the Minister of Agriculture and Rural development (Journal of laws no. 37 item 344 from 21.03.2002)

Tabela 5

Zawartość metali ciężkich w materiale roślinnym pobranym ze zrekultywowanej haldy popiołów z EC w Białymstoku-Sowlanach w październiku 2009 r.
The content of heavy metals in plant material taken from the heap of ashes from power plants in Białystok-Sowlany in October 2009

L.p. No.	Materiał roślinny Plant material	Cd (mg·kg ⁻¹)	Cr (mg·kg ⁻¹)	Pb (mg·kg ⁻¹)	Zn (mg·kg ⁻¹)
1	<i>Spartina pectinata</i>	<5	<5	<10	354,2
2	<i>Elaeagnus angustifolia</i>	5,85	<5	37,64	227,49
3	<i>Elymus elongatus</i>	<5	<5	12,26	370,46
4	<i>Cytisus scoparius</i>	<5	<5	217	328,03
5	<i>Tanacetum vulgare</i>	<5	<5	<10	75,92
6	<i>Bromus inermis</i>	<5	<5	<10	43,49
7	<i>Festuca arundinacea</i>	<5	<5	<10	38,84
8	<i>Miscanthus sacchariflorus</i>	<5	<5	<10	25,26
9	<i>Helianthus tuberosus</i> — bulwy tubers	0	<5	<10	17,35
10	<i>Helianthus tuberosus</i> — łodygi stems	<5	<5	86,69	10,55
11	<i>Hippophaë rhamnoides</i> — owoce fruits	<5	0	<10	26,23
12	<i>Hippophaë rhamnoides</i> — pędy shoots	0	<5	<10	35,37
13	<i>Urtica dioica</i>	0	<5	<10	40,11
14	<i>Amorpha fruticosa</i>	<5	17,65	65,38	562,39
15	Progowe zawartości metali ciężkich w roślinach na cele paszowe*: The threshold values for heavy metals in plants for fodder purposes*: liście — leaves korzenie (bulwy) — roots (tubers)	0,1 0,2	— —	3 5	20 40

* Poznański (1997)

Według Marecika i in. (2006) rośliny wykorzystywane w procesach fitoremediacji powinny charakteryzować się tolerancją na duże stężenia ksenobiotyków, wysokim stopniem akumulacji lub biodegradacji zanieczyszczeń, nawet przy relatywnie niskim poziomie skażenia, zdolnością do akumulacji kilku zanieczyszczeń jednocześnie, szybkim wzrostem, dużą produkcją biomasy, odpornością na choroby i szkodniki, a także trudne

warunki środowiskowe. Ze względów praktycznych (zminimalizowanie kosztów związanych ze zbiorem), rośliny stosowane w tej metodzie, oprócz zdolności do akumulacji dużej ilości zanieczyszczeń, szybkiego wzrostu i dużej produkcji biomasy, powinny odznaczać się akumulacją ksenobiotyków w częściach nadziemnych — łodygach i liściach. Wymienione cechy posiadają: spartina preriowa, wydmuchrzyca wydłużona i topinambur (tab. 2 i 5).

WNIOSKI

1. Na gruncie bezglebowym z odpadów paleniskowych można tworzyć zbiorowiska roślin, stosując proste działania agrotechniczne, takie jak: wniesienie komunalnych osadów ściekowych oraz obsiewanie mieszkanką traw.
2. Pomimo niekorzystnych warunków siedliskowych, powodowanych rodzajem podłoża, powierzchnia zrehabilitowanej hałdy charakteryzuje się dużą bioróżnorodnością, wynikającą zarówno ze sztucznego wprowadzania gatunków roślin, jak również procesu sukcesji wtórnej.
3. Główny cel rekultywacji hałdy — zahamowanie erozji wietrznej pyłów — został osiągnięty; obecność roślinności na skarpie składowiska skutecznie redukuje procesy erozji wietrznej.
4. Przekroczenia dopuszczalnych progowych zawartości metali ciężkich w roślinach, dotyczące głównie cynku i ołowiu, stanowić mogą zagrożenie dla zdrowia organizmów żywych.
5. Niektóre z badanych gatunków roślin można zastosować do fitoremediacji gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi.

LITERATURA

- Bielińska E. J., Kołodziej B., Wiśniewski J., Kawecka-Radomska M. 2009. Wpływ zróżnicowanych dawek osadu ściekowego na właściwości chemiczne i biochemiczne gleb zlokalizowanych na terenie składowiska odpadów komunalnych. W: Stankowski S., Pacewicz K. (red.) Tereny zdegradowane i rekultywowane – możliwości ich zagospodarowania. Szczecin-Ostoja, 27.11.2009: 17 — 24.
- Klimont K. 2011. Rekultywacyjna efektywność osadów ściekowych na bezglebowym podłożu wapna poflotacyjnego i popiołów paleniskowych. *Problemy Inżynierii Rolniczej* 2: 165 — 176.
- Informator Białostocki. 2012. Klimat (<http://www.info.bialystok.pl/info/klimat/obiekt.php>).
- Marecik R., Króliczak P., Cyplik P. 2006. Fitoremediacja — alternatywa dla tradycyjnych metod oczyszczania środowiska. *Biotechnologia* 3 (74): 88 — 97.
- Nowosielski O. 2004. Nawozy nasienne i korzeniowe. *Owoce, Warzywa, Kwiaty* 8: 17.
- Patrzalek A. 1984. Wzrost i rozwój niektórych traw i roślin motylkowatych na zwałowiskach odpadów węgla kamiennego „Smolnica”. *Arch. Ochr. Środ.* 1: 183 — 197.
- Patrzalek A. 2000. Udział i rola roślinności spontanicznej w tworzeniu zbiorowisk z wysiewanymi odmianami traw na gruncie z odpadowej karbońskiej masy skalnej. *Fragm. Flor. Geobot. Polonica* 7: 215 — 227.
- Pawluśkiewicz B., Gutkowska A. 2005. Występowanie zbiorowisk trawiastych na rekultywowanym składowisku popiołów elektrownianych. *Łąkarstwo w Polsce* 8: 165 — 172
- Poznański E. 1997. Stopień skażenia gleb i roślin metalami ciężkimi na terenie aglomeracji bydgoskiej. *Materiały z IV i V Forum Ochrony Środowiska w Bydgoszczy, seria Ochrona Środowiska*: 28 — 36.
- Prończuk S., Prończuk M. 2000. Nasiennictwo traw dla rekultywacji terenów trudnych. *Łąkarstwo w Polsce* 3: 29 — 139.

- Seweryn A., Woźniak M. 2007. Wyniki badań ankietowych składowisk popiołowych w Polsce. Krakowska Konferencja Młodych Uczonych: (http://www.profuturo.agh.edu.pl/pliki/./ISr./SEWERYN_WOZNIAK.pdf): 357 — 362.
- Siuta J. 1999. Rekultywacyjna efektywność osadów ściekowych (w: Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych]. Materiały z III Konferencji Naukowo-Technicznej, Świnoujście 9-11.06.1999. Wydawnictwo Ekoinżynieria, Lublin: 21 — 35.
- Wolski K., Szymura M., Szymura T., Gierula A., Sokulska D. 2006. Gatunki traw występujące na obwałowaniach składowiska odpadów flotacyjnych Żelazny Most. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu (R.) 545: 301 — 308.
- Woźniak G., Rostański A., 2000. Rola traw w spontanicznej sukcesji roślinnej na osadnikach ziemnych wód kopalnianych na Górnym Śląsku. Łąkarstwo w Polsce 3: 159 — 169.