

Włodzimierz Majtkowski¹⁾, Ryszard Golimowski¹⁾, Marzena Boroń²⁾,
Piotr Mirosław Szulc³⁾

¹⁾ Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy
w Bydgoszczy

Ogród Botaniczny Krajowego Centrum Roślinnych Zasobów Genowych

²⁾ Miejskie Wodociągi i Kanalizacja Sp. z o.o. w Bydgoszczy

³⁾ Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy
Katedra Fizjologii Roślin

REKULTYWACJA PÓL IRYGOWANYCH W BYDGOSZCZY Z WYKORZYSTANIEM METODY FITOREMEDIACJI

Streszczenie

Pola irygowane w Bydgoszczy były eksploatowane w latach 1907–2003. Miejskie Wodociągi i Kanalizacja w Bydgoszczy rozpoczęły badania stanu środowiska gruntowo-wodnego w lipcu 2002 r., tj. jeszcze w trakcie eksploatacji i kontynuowały do 2009 r. Osady z wylewisk miejskich zaklasyfikowano jako niebezpieczne z powodu zawartości metali ciężkich (Zn, Pb, Cr, Cd, Hg, Ba) oraz trzech pestycydów (DDD, DDE, γ -HCH). Rekultywację rozpoczęto od dyslokacji osadów z osadników ziemnych na tace betonowe, rozbiórki elementów betonowych, wycinki zbędnej roślinności, plantowania grobli i osadników. Na tak przygotowany teren w 2008 r. wprowadzono wierzbę wiciową (*Salix viminalis* L.), stokłosę bezosną (*Bromus inermis* Leyss.) i pokrzywę zwyczajną (*Urtica dioica* L.), które wykazały duże zdolności do akumulowania metali ciężkich w tkankach. Zawartość tych pierwiastków w biomasie oceniano także w gatunkach roślin ruderalnych, występujących spontanicznie na badanym terenie.

Słowa kluczowe: pole irygowane, rekultywacja, fitoremediacja, metale ciężkie

Wstęp

Komunalna oczyszczalnia ścieków w Bydgoszczy, działająca na zasadzie infiltracji ścieków na poletkach irygacyjnych, pracowała w latach 1907–2002, oczyszczając 24 tys. m³ ścieków w ciągu doby. Z terenu oczyszczalni nie wywożono osadów ściekowych, a dodatkowo składowano osady z innych miejskich oczyszczalni, stacji uzdatniania i utrzymywano miejskie wylewisko. Obiekt zajmował powierzchnię ok. 130 ha, głównie poletek oraz 11 osadników (ziemnych i betonowych, w tym ziemnych wylewisk z wozów asenizacyjnych). System kanalizacji miejskiej był tak zaprojektowany, aby ścieki

komunalne z centrum miasta (rzędna ok. 40 m n.p.m.) były od początku tłoczzone na wysokość 70 m n.p.m. Na terenie oczyszczalni, po sedymentacji zawiesiny łatwoopadającej na osadnikach wstępnych, przetwarzane były dalej na poletka gruntowe. Po odseparowaniu pozostałej zawiesiny, infiltrowały do gruntu z prędkością ok. $0,3 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$. Zachodziły w nich następujące procesy: utlenienie związków organicznych, amonifikacja związków azotu organicznego i nityfikacja oraz częściowa denityfikacja nieorganicznych form azotu, biodegradacja i częściowa dezynfekcja ścieków. Tak oczyszczone ścieki, przez system drenaży zbiorczych, spływały do Brdy i Wisły. Oczyszczalnia spełniała wymogi pozwolenia wodno-prawnego w zakresie wydajności, efektów technologicznych i kosztów eksploatacji [Boroń 2008]. W 2003 r. ścieki komunalne zostały skierowane do oczyszczalni Zakładów Chemicznych ZACHEM S.A.

Zanieczyszczenie gruntu przekraczało standardy, przyjęte dla terenów przemysłowych (tj. C), z powodu przekroczenia zawartości metali ciężkich: Zn, Cr, Cd i innych do głębokości ok. 20 m p.p.t. Rekultywację terenu w celu ochrony obszaru zasilania przyległej doliny kopalnej GZWP nr 140 rozpoczęto w styczniu 2003 r., a zakończono we wrześniu 2010 r. Teren prac obejmował pola irygacyjne o powierzchni 130 ha, na których znajdowały się osady ściekowe, szlamy ze stacji uzdatniania oraz popioły z Elektrociepłowni II.

Zakres wykonanych prac rekultywacyjnych, poprzedzających fitoremediację pól irygacyjnych, obejmował: rozpoznanie stanu środowiska, wywóz silnie zanieczyszczonych osadów ściekowych w celu ograniczenia wypłukiwania metali ciężkich, rozebranie i kruszenie elementów betonowych i żelbetonowych, wywiezienie gruzu, wypełnienie piaskiem istniejących przewodów tłocznych ścieków surowych, rozebranie grobli i nasypów, transport mas ziemnych w celu zasypania osadników ziemnych oraz makroniwelację terenu. Zabiegi agrotechniczne, związane z uprawą wprowadzonych w grudniu 2008 r. trzech gatunków roślin (wierzby wiciowej – *Salix viminalis* L., stokłosa bezostnej – *Bromus inermis* Leyss. i pokrzywy zwyczajnej – *Urtica dioica* L.), obejmowały wycinkę zbędnej roślinności ruderalnej, przygotowanie gruntu, nawożenie w celu uzupełnienia niedoborów związków Ca i Mg oraz opryski herbicydami. Wierzba zebrana z pól irygowanych, na mocy porozumienia z elektrociepłownią, posłużyła do współspalania, jako źródło energii odnawialnej.

Metody badań

Wstępną ocenę efektywności zastosowanej metody fitoremediacji przeprowadzono na podstawie badania zawartości metali ciężkich w materiale roślinnym, zebranych z terenów pól irygacyjnych pod koniec I i II sezonu wegetacyjnego. Jako stanowisko A przyjęto teren pól irygowanych, na który po usunięciu osadów ściekowych wprowadzono gatunki roślin, w ramach zastosowanej metody fitoremediacji. Stanowisko B to punkty poboru gatunków ruderalnych, występujących również na powierzchniach, z których usunięto

osady ściekowe (punkt B1 – rejon wschodni, punkt B2 – rejon pod wpływem popiołów, punkt B3 – rejon północny), a stanowisko C – kwatery nr 165 z zalegającym niebezpiecznym osadem ściekowym.

Analizy chemiczne wykonano na Wydziale Technologii i Inżynierii Chemicznej Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy. Z poddanego suszeniu i zmieleniu surowca odważono próbki o masie 250 mg, które umieszczano w bombach mikrofalowych, a następnie zalewano 1 cm³ 30% H₂O₂ i 5 cm³ 65% HNO₃. 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 badań i dyskusja

Zawartość metali ciężkich w popiele z materiału, pobranego pod koniec pierwszego sezonu wegetacyjnego z gatunków roślin zastosowanych w fitoremediacji pól irygowanych, przedstawiono w tabeli 1. Z analizy masy zasorbowanych metali ciężkich przez poszczególne rośliny wynika, że szczególnie cynk został zdeponowany w korzeniach stokłosa bezostnej (*Bromus inermis* Leyss.) i wierzby wiciowej (*Salix viminalis* L.), co potwierdza ich zdolność do kumulacji dużych ilości metali ciężkich.

Tabela 1. Zawartość metali ciężkich w popiele z roślin rekultywacyjnych – stanowisko A
Table 1. Content of heavy metals in the ash of reclamation plants – test site A

Gatunek, część rośliny Species, plant part	Zawartość [mg·kg ⁻¹ s.m.] Content [mg·kg ⁻¹ DM]					
	Cd	Cr	Zn	As	Ni	Cu
Wierzba wiciowa (<i>Salix viminalis</i> L.) Basket willow (<i>Salix viminalis</i> L.)						
– liście leaves	2,45	4,86	455,00	0,140	4,20	7,17
– łodygi stalks	0,59	14,90	51,10	0,092	3,48	5,73
– korzenie roots	0,75	1,08	96,80	0,034	2,61	4,27
Stokłosa bezostna (<i>Bromus inermis</i> Leyss.) Brome grass (<i>Bromus inermis</i> Leyss.)						
– części nadziemne above-ground parts	0,37	8,07	47,90	0,13	3,22	11,50
– korzenie roots	1,49	340,00	215,00	0,70	29,90	24,60

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Wyniki badań zawartości metali ciężkich w popiele z gatunków roślin ruderalnych, pobranych z terenu pól irygacyjnych pod koniec drugiego sezonu wegetacyjnego, w obrębie stanowisk B i C, zamieszczono w tabelach 2. i 3.

Tabela 2. Zawartość wybranych metali ciężkich w materiale roślinnym ze stanowiska B
Table 2. Content of selected heavy metals in the plant material from test site B

Punkt Point	Gatunek, część rośliny Species, plant part	Zawartość [mg·kg ⁻¹ s.m.] Content [mg·kg ⁻¹ DM]			
		Cd	Cr	Pb	Zn
1	pokrzywa zwyczajna (<i>Urtica dioica</i> L.) nettle (<i>Urtica dioica</i> L.) – części nadziemne above-ground parts – korzenie roots	<5,00 <5,00	6,59 24,29	<10,00 17,40	1111,00 193,00
	trzcinnik piaskowy (<i>Calamagrostis epigejos</i> Roth) reed grass (<i>Calamagrostis epigejos</i> Roth) – części nadziemne above-ground parts – korzenie roots	<5,00 <5,00	9,77 46,03	<10,00 31,55	291,00 402,00
	włośnica sina (<i>Setaria pumila</i> (Poir.) Roem & Schult.) yellow foxtail (<i>Setaria pumila</i> (Poir.) Roem & Schult.) – części nadziemne above-ground parts – korzenie roots	<5,00 <5,00	<5,00 16,60	<10,00 19,57	104,00 194,00
	łoboda błyszcząca (<i>Atriplex nitens</i> Schkuhr) orach (<i>Atriplex nitens</i> Schkuhr) – części nadziemne above-ground parts – korzenie roots	<5,00 <5,00	<5,00 <5,00	<10,00 <10,00	127,00 40,21
2	konopie siewne (<i>Cannabis sativa</i> L.) hemp (<i>Cannabis sativa</i> L.) – części nadziemne above-ground parts – korzenie roots	34,78 <5,00	<5,00 5,50	174,52 24,12	57,54 544,99
	trybula leśna (<i>Anthriscus sylvestris</i> L.) common chervil (<i>Anthriscus sylvestris</i> L.) – części nadziemne above-ground parts – korzenie roots	<5,00 <5,00	<5,00 <5,00	<10,00 <10,00	162,00 193,00
	łoboda błyszcząca (<i>Atriplex nitens</i> Schkuhr) orach (<i>Atriplex nitens</i> Schkuhr) – części nadziemne above-ground parts – korzenie roots	<5,00 <5,00	<5,00 5,33	35,31 <10,00	87,20 54,71
3	łoboda błyszcząca (<i>Atriplex nitens</i> Schkuhr) orach (<i>Atriplex nitens</i> Schkuhr) – części nadziemne above-ground parts – korzenie roots	<5,00 21,22	44,90 8,64	273,00 113,39	691,00 533,83
	słonecznik bulwiasty (<i>Helianthus tuberosus</i> L.) sunflower (<i>Helianthus tuberosus</i> L.) – części nadziemne above-ground parts – bulwy bulbs – korzenie roots	23,54 <5,00 40,18	<5,00 <5,00 8,20	106,83 <10,00 1096,00	290,14 21,01 218,01
	konopie siewne (<i>Cannabis sativa</i> L.) hemp (<i>Cannabis sativa</i> L.) – części nadziemne above-ground parts – korzenie roots	<5,00 <5,00	<5,00 5,98	<10,00 <10,00	49,36 62,01
	nawłoc kanadyjska (<i>Solidago canadensis</i> L.) Canada goldenrod (<i>Solidago canadensis</i> L.) – części nadziemne above-ground parts – korzenie roots	<5,00 <5,00	<5,00 53,31	<10,00 34,69	211,00 347,00
	trybula leśna (<i>Anthriscus sylvestris</i> L.) common chervil (<i>Anthriscus sylvestris</i> L.) – części nadziemne above-ground parts – korzenie roots	<5,00 <5,00	<5,00 <5,00	<10,00 <10,00	129,00 130,00
	trzcinnik piaskowy (<i>Calamagrostis epigejos</i> Roth) reed grass (<i>Calamagrostis epigejos</i> Roth) – części nadziemne above-ground parts – korzenie roots	<5,00 <5,00	6,75 18,30	<10,00 10,89	178,00 433,00

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Tabela 3. Zawartość wybranych metali ciężkich w materiale roślinnym ze stanowiska C
Table 3. Content of selected heavy metals in the plant material from test site C

Gatunek, część rośliny Species, plant part	Zawartość [mg·kg ⁻¹ s.m.] Content [mg·kg ⁻¹ DM]			
	Cd	Cr	Pb	Zn
Pokrzywa zwyczajna (<i>Urtica dioica</i> L.) Nettle (<i>Urtica dioica</i> L.) – części nadziemne above-ground parts – korzenie roots	<5,00 <5,00	18,37 104,00	163 19,42	369,72 390,18
Klon sp. (<i>Acer</i> sp.) Maple tree (<i>Acer</i> sp.) – części nadziemne above-ground parts – korzenie roots	<5,00 <5,00	<5,00 25,89	<10,00 41,32	31,35 243,00
Łoboda błyszcząca (<i>Atriplex nitens</i> Schkuhr) Orach (<i>Atriplex nitens</i> Schkuhr) – części nadziemne above-ground parts – korzenie roots	<5,00 <5,00	899,00 14,71	<10,00 <10,00	133,00 131,00
Konopie siewne (<i>Cannabis sativa</i> L.) Hemp (<i>Cannabis sativa</i> L.) – części nadziemne above-ground parts – korzenie roots	<5,00 <5,00	<5,00 94,32	24,74 24,24	89,50 187,50
Łoboda błyszcząca (<i>Atriplex nitens</i> Schkuhr) Orach (<i>Atriplex nitens</i> Schkuhr) – części nadziemne above-ground parts – korzenie roots	<5,00 <5,00	8,24 185,00	<10,00 41,59	66,10 478,00
Bez czarny (<i>Sambucus nigra</i> L.) Elder (<i>Sambucus nigra</i> L.) – części nadziemne above-ground parts – korzenie roots	<5,00 <5,00	<5,00 <5,00	<10,00 11,17	41,31 111,00
Stulisz Loesela (<i>Sisymbrium loeselii</i> L.) Small tumbleweed mustard (<i>Sisymbrium loeselii</i> L.) – części nadziemne above-ground parts – korzenie roots	<5,00 <5,00	<5,00 32,13	<10,00 11,58	53,47 84,69

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Obserwuje się zróżnicowanie w zawartości masy metali ciężkich między poszczególnymi gatunkami roślin oraz badanymi częściami. Zwraca uwagę duża zawartość metali ciężkich w tkankach gatunków ruderalnych: cynku – w łobodzie, konopiach i trzcinniku, chromu – łobodzie i pokrzywie. Zawartość metali ciężkich w tkankach wybranych roślin może, w warunkach odpowiedniej ilości zebranego i przeanalizowanego statystycznie materiału, stanowić pośrednie źródło informacji o stopniu skażenia podłoża pól irygowanych. Wymaga to jednak dalszych systematycznych badań.

Do rekultywacji komunalnych pól irygowanych najbardziej efektywną i ekonomiczną metodą jest fitoremediacja [Klang-Westin, Perttu 2002; Marecik i in. 2006; Siuta, Żukowska-Wieszczek 1990; Vervaeke i in. 2003; Weih, Nordh 2002]. Umożliwia ona nieinwazyjne kontrolowanie zawartości zanieczyszczeń w glebie bogatej w składniki pokarmowe za pomocą roślin, które tolerują duże stężenie toksycznych substancji i akumulują je w swoich tkankach.

W przypadkach silnego skażenia terenu wprowadza się rekultywację metodami technicznymi, takimi jak: metoda pary wodnej, geo-oxydacji, wymiany lub nadbudowy gruntem nieskażonym, np. w Berlinie (Buch).

Według danych z innych stanowisk na terenie Polski i Szwecji wynika, że największa akumulacja ołowiu, miedzi, kadmu i niklu w tkankach roślin występowała w I roku uprawy wierzby, a chromu i cynku w II roku, natomiast sumaryczna ilość metali ciężkich była największa w II roku [Klang-Westin, Perttu 2002; Oleszkiewicz, Elektorowicz 2003; Vervaeke i in. 2003; Weih, Nordh 2002]. Dalszy monitoring roślin i gruntów na polach irygowanych, planowany do 2015 r., zweryfikuje tę prawidłowość.

Stwierdzona zdolność roślin, szczególnie wierzby i stokłosa bezostnej, do akumulacji metali ciężkich w tkankach roślin, przemawia za szerszym ich wykorzystywaniem do fitoremediacji, a w przypadku wierzby – również jako źródła energii odnawialnej.

Wnioski

1. W przypadku rekultywacji żyznych, ale zanieczyszczonych metalami ciężkimi terenów po komunalnych oczyszczalniach ścieków fitoremediacja jest jednym z bardziej efektywnych i ekonomicznych sposobów biologicznego oczyszczania środowiska, umożliwiającym ograniczenie zaangażowania środków technicznych, stosowanych na początku procesu.
2. Gatunki roślin wprowadzone w ramach rekultywacji na teren oczyszczalni w 2008 r. (wierzba wiciowa i stokłosa bezostna) wykazały – zgodnie z oczekiwaniami – duże zdolności do akumulowania masy metali ciężkich w tkankach.
3. Duża zawartość masy metali ciężkich w biomasie gatunków roślin ruderalnych, występujących spontanicznie na badanym terenie – łoboda błyszcząca (*Artiplex nitens* Schukuhr), konopie siewne (*Cannabis sativa* L.) i nawłóć kanadyjska (*Solidago canadensis* L.), wskazuje na ich wspomagającą rolę w fitoremediacji terenów pod warunkiem zbioru.

Bibliografia

Boroń M. 2008. Możliwości eksploatawania przypowierzchniowych poziomów wodonośnych na podstawie doświadczeń w Bydgoszczy. W: Problemy wykorzystania wód podziemnych w gospodarce komunalnej. Materiały XVII sympozjum naukowo-technicznego. 17–18.04.2008 r. Częstochowa. PZTiS s. 58–67.

Klang-Westin E., Perttu K. 2002. Effects of nutrient supply and soil cadmium concentration on cadmium removal by willow. Biomass and Bioenergy. Vol. 23 iss. 6 s. 415–426.

Marecik R., Króliczak P., Cyplik P. 2006. Fitoremediacja – alternatywa dla tradycyjnych metod oczyszczania środowiska. *Biotechnologia*. Nr 3 s. 88–97.

PN-EN ISO 11885:2001. Jakość wody. Oznaczanie 33 pierwiastków metodą atomowej spektrometrii emisyjnej z plazmą wzbudzoną indukcyjnie.

Siuta J., Żukowska-Wieszczyk D. 1990. Przyrodniczo-techniczne podstawy oczyszczania atmosfery i gleby. W: Stan zanieczyszczenia atmosfery w Polsce w 1990 roku. Warszawa. IOŚ ss. 87.

Oleszkiewicz J., Elektorowicz M. 2003. Raport – analiza zamknięcia i rekultywacji pól irygowanych w Bydgoszczy. Kraków. LEMTECH Consulting Sp. z o.o. ss. 92.

Vervaeke P., Luysaert S., Mertens J., Meers E., Tack F.M., Lust N. 2003. Phytoremediation prospects of willow stands on contaminated sediment: a field trial. *Environmental Pollution*. Vol. 126 iss. 2 s. 275–282.

Weih M., Nordh N.E. 2002. Characterising willows for biomass and phytoremediation: growth, nitrogen and water use of 14 willow clones under different irrigation and fertilisation regimes. *Biomass and Bioenergy*. Vol. 23 iss. 6 s. 397–413.

RECLAMATION OF IRRIGATION FIELDS IN BYDGOSZCZ WITH THE USE OF PHYTOREMEDIATION METHODS

Summary

The irrigation fields in Bydgoszcz city were exploited within the years 1907–2003. The Management of Municipal Water Supply and Sewerage Systems in Bydgoszcz began to investigate the condition of ground-water environment in July 2002, i.e. still in the course of exploitation; investigations were continued until 2009. Sewage sludges from the municipal outfalls have been classified as dangerous owing to high contents of heavy metals (Zn, Pb, Cr, Cd, Hg, Ba) and three pesticides (DDD, DDE, γ -HCH). The reclamation was begun by dislocation of the sludges from ground settling tanks on concrete trays, demolition of concrete elements, cutting of redundant vegetation, levelling of the dykes and settling tanks. On the terrain prepared in such a way, the basket willow (*Salix viminalis*), brome grass (*Bromus inermis*) and nettle (*Urtica dioica*) were introduced in 2008. All mentioned plants revealed particular abilities to accumulate the heavy metals in their tissues. The contents of heavy metals were also tested in biomass of hovel plant species, such as the orach (*Artiplex nitens*), hemp

(*Cannabis sativa*) and Canada goldenrod (*Solidago canadensis*), appearing spontaneously on the terrain under investigation.

Key words: municipal sewerage, irrigated field, reclamation, phytoremediation, heavy metals

Praca wpłynęła do Redakcji: 08.02.2011 r.

*Recenzenci: prof. dr hab. Franciszek Czyżyk
prof. dr hab. Krzysztof Wierzbicki*

Adres do korespondencji:

dr Włodzimierz Majtkowski
Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – PIB
Krajowe Centrum Roślinnych Zasobów Genowych
Ogród Botaniczny
ul. Jeździecka 5, 85-867 Bydgoszcz
tel./fax 52 381-31-93; e-mail: w.majtkowski@ihar.bydgoszcz.pl