

MARZENA RĄCZKA, STANISŁAW W. GAWROŃSKI

OCENA PRZYDATNOŚCI DO FITOREMEDIACJI WYBRANYCH GATUNKÓW DRZEW I KRZEWÓW OZDOBNYCH Z RODZINY MOTYLKOWYCH

Z Katedry Sadownictwa i Przyrodniczych Podstaw Ogrodnictwa
Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

ABSTRACT. In recent years, new area of biotechnology – phytoremediation is fast developing technology. It consists the use of plants for cleaning up soil, water and air from harmful pollutants. Plants that are proposed for phytoextraction should be tolerant to toxic compounds, produce great amount of biomass and accumulate in high level contaminants in easy collectable organs. In phytoremediation of urban areas ornamental plants are recommended. The aim of this study is evaluation of tree species grown in cities: *Gleditsia triacanthos* (honey locust), *Caragana arborescens* Lam. (siberian pea shrub) and *Laburnum anagyroides* Medik (golden rains) for their usefulness in phytoremediation of organic pollutants and heavy metals.

Key words: phytoremediation, lead, waxes, trees

Wstęp

Postęp przemysłowy i cywilizacyjny, oprócz bezsprzecznych korzyści niesie za sobą również degradację środowiska. Niekorzystne skutki obecności zanieczyszczeń w powietrzu, glebie i wodzie, są szczególnie groźne na terenach zurbanizowanych, ze względu na stałą ekspozycję mieszkańców na ich wpływ (Menzie i in. 1992). Na tych terenach przemysłowe usuwanie zanieczyszczeń jest trudne, a często z przyczyn technicznych wręcz niemożliwe. Stan ten zainspirował do poszukiwania innych metod pozwalających na oczyszczenie tych obszarów. W tym kontekście przyszłościowy wydaje się być intensywnie rozwijany w ostatnich latach dział biotechnologii środowiskowej, zwany fitoremediacją. W metodzie tej wykorzystano naturalną zdolność pewnych gatunków do wzrostu i rozwoju na terenach skażonych różnego rodzaju zanieczyszczeniami, a także gromadzeniu ich w swoich tkankach (Kumar i in. 1995). Wydaje się, że dobrymi kandydatami do fitoremediacji terenów miejskich są rośliny drzewiaste. Ta grupa roślin jest od lat chętnie sadzona w miastach ze względu na niewielkie wymaga-

nia glebowe, atrakcyjny wygląd oraz inne walory, np. tłumienie hałasu. Drzewa zatrzymują w swych organach metale ciężkie, które są ważną grupą zanieczyszczeń występujących w glebie, natomiast w warstwie wosków, pokrywających liście, gromadzą się lipofilne węglowodory aromatyczne (Bakker i in. 1999, Chappell 1997, Corseuil i Moreno 2001), które stanowią podstawowe zanieczyszczenie powietrza.

Celem pracy było zbadanie przydatności trzech gatunków ozdobnych roślin drzewiastych z rodziny motylkowych: gledicji trójcieniowej (*Gleditsia triacanthos*), karagany syberyjskiej (*Caragana arborescens* Lam.) oraz złotokapu pospolitego (*Laburnum anagyroides* Medik) w fitoremediacji terenów miejskich.

Material i metodyka

Badania przeprowadzono na trzech gatunkach ozdobnych drzew i krzewów rosnących na terenie Warszawy w latach 2002-2003. Ilość ołowiu, jaką roślina może pobrać, określana była na podstawie doświadczeń hydroponicznych. Siewki wyżej wymienionych gatunków przez 4 tygodnie rosły w pożywce zawierającej 45 mg dm^{-3} ołowiu w formie $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$.

Drugą częścią badań było określenie, jaka ilość ołowiu może być zgromadzona w organach badanych gatunków. W tym celu z drzew rosnących na terenie Warszawy pobrane były liście, pędy jednoroczne i dwuletnie. Miejsca pobierania próbek różniły się oddaleniem od źródła emisji zanieczyszczeń, którym w tym przypadku była ulica o dużym natężeniu ruchu samochodowego. Aby określić, jaka część zgromadzonego ołowiu jest zakumulowana, a ile się osadziło na powierzchni, połowa liści i pędów była myta.

Próbki roślinne suszono dwuetapowo: 3 h w 105°C i 24 h w 75°C . Mineralizację przeprowadzono w piecu mikrofalowym Microdigest 3,6 firmy Prolabo w mieszaninie stężonego kwasu azotowego i nadtlenu wodoru.

Spod roślin, z których pobierane były próbki na początku i na końcu sezonu wegetacyjnego, pobrano również próbki gleby. Aby określić w nich zawartość ołowiu dostępnego dla roślin, próbki wytrząsano w 25 ml 1-molowego HCl przez 30 min. Zawartość ołowiu oznaczono metodą płomieniowej spektrometrii absorpcyjnej (AAS).

W celu oznaczenia ilości wosków na liściach wyżej wymienionych gatunków 8 g próbki liści przemywano w 25 ml chloroformu przez 45 s, a następnie w takiej samej ilości chloroformu płukano liście przez 10 s. Chloroform sączono w celu oddzielenia zanieczyszczeń, odparowywano, a pozostałe w naczynku wagowym woski ważono.

Wyniki i dyskusja

U roślin rosnących w pożywce z dodatkiem ołowiu zaobserwowano osłabienie wzrostu (tab. 1). Może to być tłumaczone zatrzymaniem pewnych szlaków metabolicznych, spowodowanym toksycznym działaniem jonów ołowiu, lub też uruchomieniem nowych szlaków tak, aby roślinie, pomimo niekorzystnych warunków, udało się przetrwać. Podobne wyniki uzyskali Huangh i Cunningham w 1997 roku w swych doświadczeniach

Tabela 1

Sucha masa organów trzech gatunków roślin drzewiastych uprawianych w hydroponice i traktowanych ołowiem (uprawa hydroponiczna)
Dry weight of three woody plants species treated with lead in hydroponic

Gatunek Species	Rok doświadczenia Year of experiment	Sucha masa organów (g) Dry mass (g)					
		liście leaves		łodygi stems		korzenie roots	
		kontrola control	+ Pb ²⁺	kontrola control	+ Pb ²⁺	kontrola control	+ Pb ²⁺
Gledicja Honey locust	Rok 1 First year	1,03 a	0,82 a	0,36 a	0,77 a	0,57 a	0,52 a
	Rok 2 Second year	1,07 a	0,64 ab	0,67 ab	0,34 b	0,66 ab	0,32 b
Karagana Siberian pea shrub	Rok 1 First year	1,16 a	0,64 bc	1,01 ab	0,52 c	0,69 bc	0,55 c
	Rok 2 Second year	0,54 a	0,29 b	0,19 bc	0,11 c	0,14 bc	0,17 bc
Złotokap Golden rains	Rok 1 First year	3,4 a	1,54 b	1,43 ab	0,70 d	0,93 cd	0,50 d
	Rok 2 Second year	5,84 a	3,58 b	1,57 c	1,09 c	1,19 c	0,94 c

z kukurydzą. Poza ograniczeniem wzrostu, rośliny nie wykazywały innych objawów toksycznego wpływu tego pierwiastka, takich jak przebarwienia czy nekrozy.

Doświadczenia hydroponiczne dowiodły, że we wszystkich badanych gatunkach rosnących w pożywce z dodatkiem ołowiu, najwięcej tego pierwiastka akumulowane jest w korzeniach (tab. 2). Masa zgromadzonego tam ołowiu wynosi ok. 98-99% ilości pobranego pierwiastka. Wyniki te są potwierdzeniem badań innych autorów, którzy wykazali, że tylko niewielki procent pobranego ołowiu jest transportowana do organów nadziemnych (**Ciurzyńska i Gawroński 2002**). Stan ten może być spowodowany wieloma czynnikami, spośród których można wymienić tworzenie się chelatów Pb z metalotioneinami i fitochelatynami, co chroni roślinę przed toksycznym wpływem ołowiu (**Wińska-Krysiak i Gawroński 2001**), wiązanie metali w wakuoli przez kwasy organiczne oraz w cytoplazmie przez specyficzne polipeptydy i peptydy (**Gwóźdź 1996**), lub też zatrzymywanie metali w obrębie ściany komórkowej (**Wójcik i Tukendorf 1995**).

Wielu autorów zwraca uwagę na rolę roślin w wychwytywaniu zanieczyszczeń znajdujących się w powietrzu (**Bakker i in. 1998**), jak również na ich rolę w biomonitoringu zanieczyszczeń środowiska (**Alfani i in. 2001, Aksoy i in. 2000**). Znalazło to potwierdzenie w wynikach analiz liści i pędów zebranych z terenu Warszawy (tab. 3). W większości przypadków ilość ołowiu w próbkach liści nie mytych jest większa, co sugeruje, iż część tego pierwiastka osadza się na powierzchni liści. Procent ołowiu zakumulowanego w liściach wynosi 39,4-89,96, a w pędach jednorocznych i dwuletnich odpowiednio 28,8-90,4 i 32,07-71,48%. Prawdopodobne jest, iż wzrost ilości ołowiu w

Tabela 2

Akumulacja ołowiu w organach trzech gatunków roślin drzewiastych uprawianych w hydroponice
Pb accumulation in woody plants organs grown in hydroponic

Gatunek Species	Rok doświadczeni a Year of experiment	Ilość ołowiu ($\mu\text{g/g}$ s.m.) Amount of Pb ($\mu\text{g/g}$ D.M.)					
		liście leaves		łodygi stems		korzenie roots	
		kontrola control	+ Pb ²⁺	kontrola control	+ Pb ²⁺	kontrola control	+ Pb ²⁺
Glediczja Honey locust	Rok 1 First year	3,25 a	71,88 a	1,26 a	8,14 a	14,69 a	9 006,32 b
	Rok 2 Second year	7,23 a	99,64 a	1,98 a	7,6 a	12,47 a	10 092,88 b
Karagana Siberian pea shrub	Rok 1 First year	2,43 a	65,94 a	6,1 a	207,97 a	132,59 a	23 886,21 b
	Rok 2 Second year	3,06 a	76,83 a	2,60 a	288,96 a	16,70 a	25 750,90 b
Złotokap Golden rains	Rok 1 First year	5,7 a	17,33 a	6,75 a	22,16 a	14,33 a	3 297,16 b
	Rok 2 Second year	6,86 a	26,32 a	8,82 a	26,47 a	24,51 a	4 703,72 b

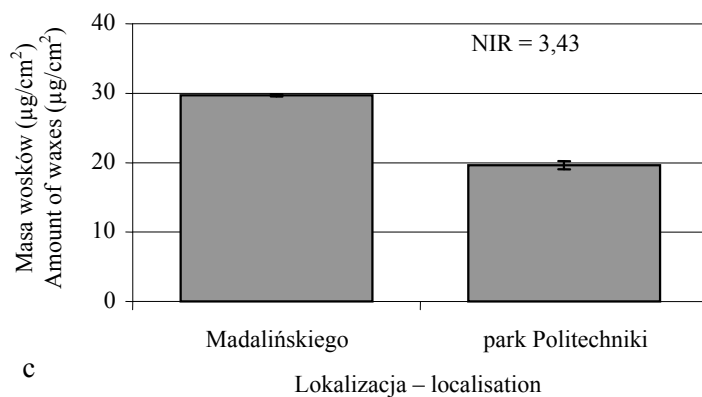
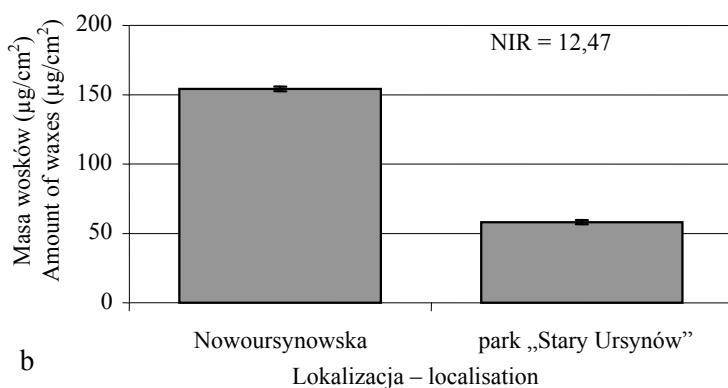
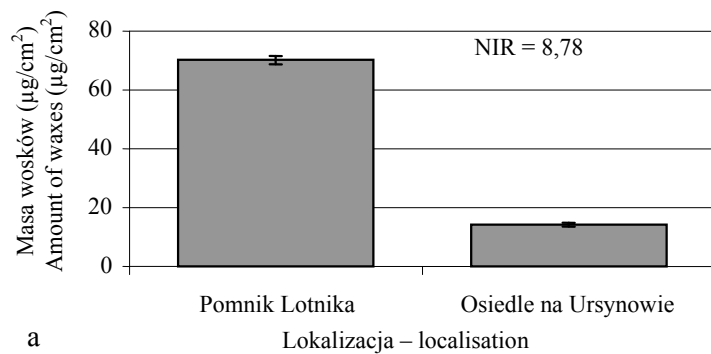
glebie po sezonie wegetacyjnym jest spowodowany zmywaniem jonów tego pierwiastka, niestwierdzonych z liśćmi i pędami, przez opady. Wykorzystując corocznie praktykowane sprzątanie opadłych liści z ulic miasta, można odpowiednio je zutylizować, tak, aby przestały stanowić zagrożenie wtórnego skażenia gleby, a tym samym usunąć z terenów miejskich część zagrażających mieszkańcom zanieczyszczeń.

Zawartość ołowiu w poszczególnych organach zmienia się w zależności od oddalenia od źródła emisji zanieczyszczeń, jakim w tym przypadku jest droga o dużym nasileniu ruchu samochodowego. Drzewa rosnące w niewielkiej odległości od ruchliwej ulicy w swych tkankach akumulują większe ilości ołowiu. Również na innych roślinach obserwowane były podobne zależności. **Czarnowska** (1994) zaobserwowała zmniejszenie ilości ołowiu w roślinach selera wraz ze wzrostem odległości od drogi, natomiast przyjęta odległość, na jaką unoszony jest ołów zawarty w pyłach komunikacyjnych, wynosi 15 m (**Kwapuliński i Pastuszka** 1998)

Liście roślin drzewiastych mogą akumulować również inne zanieczyszczenia. Bardzo ważną grupą zanieczyszczeń występujących w miastach są wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne. Jest to cała grupa związków powstających w procesie spalania, bardzo niebezpieczna dla zdrowia, a nawet życia eksponowanych na nie ludzi i zwierząt. Wiele spośród tych związków ma silne działanie kancerogenne i/lub mutagenne. Ze względu na swój hydrofobowy charakter, związki te zasadniczo nie są pobierane przez systemy korzeniowe i transportowane do nadziemnych części roślin, aczkolwiek rośliny przyczyniają się do ich rozkładu przez pozytywny wpływ na skład ryzosfery

Tabela 3
Akumulacja ołowiu w glebie, liściach, pędach jednorocznych i dwuletnich trzech gatunków roślin z obszaru Warszawy
Pb accumulation in soil, leaves, one and two years stems from woody plants grown on Warsaw

Gatunek Species	Odległość od drogi i lokalizacja Distance from street and localisation	Ilość ołowiu ($\mu\text{g/g s.m.}$) Amount of Pb ($\mu\text{g/g D.M.}$)									
		liście leaves		pędy jednoroczne one year old stems		pędy dwuletnie two years old stems		gleba soil			
		myte washed	niemyte unwashed	myte washed	niemyte unwashed	myte washed	niemyte unwashed	wiosna spring	jesień autumn		
Glediczja Honey locust	> 50 m osiedle na Ursynowie	1,43 b	1,77 a	0,31 e	0,76 c	0,55 d	1,3 b	16,81	17,26		
	1,5 m Pomnik Lotnika	7,4 b	10,43 a	0,66 e	0,73 e	1,45 d	2,96 c	26,97	60,71		
Karagana Siberian pea shrub	> 50 m park „Stary Ursynów”	3,13 c	5,53 a	2,96 c	4,83 b	1,63 d	1,24 e	7,36	7,96		
	2,5 m Nowoursynowska	5,03 b	11,57 a	1,15 d	1,66 d	2,71 c	4,94 b	8,16	9,55		
Złotokap Golden rains	> 50 m park Politechniki	2,87 bc	3,30 b	1,57 d	5,45 a	1,73 d	2,42 c	1,39	1,51		
	2,5 m Madalińskiego	2,25 b	5,71 a	0,31 d	0,51 c	0,17 e	0,53 c	5,37	4,03		



Ryc. 1. Ilość wosków na powierzchni liści: a) gledycji trójcierniowej, b) karagany syberyjskiej, c) złotokapu pospolitego w zależności od oddalenia roślin od źródła emisji zanieczyszczeń

Fig. 1. Amount of waxes on leaves surface: a) honey locust b) siberian pea shrub, c) golden rains depending on the distance from the source of pollution

i stwarzanie optymalnych warunków rozwoju mikroorganizmom glebowym (Fletcher i in. 2001, Trapp 2000). Wiele spośród tych związków jest zatrzymywane w woskach pokrywających liście roślin (Alfani i in. 2001, Howsam i in. 2001, Jouraeva i in. 2002). Aby określić przydatność badanych gatunków do usuwania również tego rodzaju zanieczyszczeń, zbadano ilość nalotu woskowego pokrywającą ich liście.

Ilość tworzonych wosków zależy od gatunku rośliny (ryc. 1). Największą masę wosków tworzy karagana, a najmniejszą złotokap. Wszystkie badane rośliny rosnące na terenach o niewielkim stopniu skażenia tworzą mniejsze ilości wosków w porównaniu z tymi samymi gatunkami roślin na terenach skażonych.

Pomimo niewielkiego procentu ołowiu przemieszczanego z korzeni do organów nadziemnych, badane gatunki mogą odegrać istotną rolę w usuwaniu zanieczyszczeń z terenów miejskich. Warunkiem jest usuwanie opadłych z drzew liści i utylizowanie ich tak, aby zgromadzone w nich zanieczyszczenia nie wracały na tereny miejskie.

Wnioski

Przeprowadzone badania pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Dodatek ołowiu w pożywce wpływa na wzrost akumulacji tego pierwiastka w siewkach badanych gatunków.
2. Wyniki doświadczeń hydroponicznych wskazują, iż najwyższa zawartość ołowiu akumulowana jest w korzeniach.
3. Rośliny rosnące przy ruchliwych ulicach akumulują większe ilości ołowiu, a organem nadziemnym, w którym gromadzi się najwięcej tego pierwiastka są liście.
4. Część ołowiu osadzonego na organach roślin rosnących w mieście nie jest z nim trwale związana i może być zmywana przez deszcze.
5. Najwięcej wosków na powierzchni swych liści tworzy karagana, a najmniej złotokap.

Literatura

- Aksoy A., Sahin U., Duman F. (2000): *Robinia pseudo-acacia* L. as a possible biomonitor of heavy metal pollution in Kayseri. Turk J. Bot. 24: 279-284.
- Alfani A., Maisto G., Prati M.V., Baldantoni D. (2001): Leaves of *Quercus ilex* L. biomonitors of PAHs in the air of Naples (Italy). Atmospheric Environment 35: 3553-3559.
- Bakker M.I., Vorenhout M., Sijm D.T.H.M., Kolloffel C. (1999): Dry deposition of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons in three *Plantago* species. Environ. Toxicol. Chem. 18: 2289-2294.
- Bakker M.J., Baas W.J., Sijm D.T.H.M., Kolloffel C. (1998): Leaf wax of *Lactuca sativa* and *Plantago major*. Phytochemistry 47:8: 1489-1493.
- Chappell J. (1997): Phytoremediation of TCE using *Populus*. Status Report prepared for the U.S. EPA Technology Innovation Office under a National Network of Environmental Management Studies Fellowship.
- Ciurzyńska M., Gawroński S.W. (2002): Ocena przydatności jarmużu (*Brassica oleracea* L. subvar. *laciniata*) oraz kapusty pekińskiej (*Brassica pekinensis* L. Rupr.) dla fitoremediacji. Roczn. AR Pozn. CCCXLI: 173-179.

- Corseuil H.X., Moreno F.N.** (2001): Phytoremediation potential of willow trees for aquifers contaminated with ethanol-blended gasoline. *Water Resources* 35:12: 3013-3017.
- Czarnowska K.** (1994): Akumulacja niektórych metali ciężkich w glebach uprawnych i liściach selera w pobliżu dróg wylotowych z Warszawy. *Rocz. gleb.* T. XLV, 3/4: 59-75.
- Fletcher J.S., Donelly P.K., Hegde R.S., Leigh M.B., Olson** (2001): The plant root, a natural injector system to stimulate microbial degradation of recalcitrant soil contaminants, PCBs and PAHs. ISEB 2001 Meeting phytoremediation, Germany – Leipzig 15.05.-17.05.2001: 26.
- Gwóźdź E.A.** (1996): Molekularne odpowiedzi roślin na stresy środowiskowe. W: Nowe tendencje w biologii molekularnej i inżynierii genetycznej oraz medycynie. Red. J. Barciszewski, K. Listkowski, T. Twardowski. Sorus, Poznań: 469-492.
- Howsam M., Jones K.C., Ineson P.** (2001): PAHs associated with the leaves of three deciduous tree species. II: uptake during a growing season. *Chemosphere* 44: 155-164.
- Huang J.W., Cunningham S.D.** (1997): Lead phytoextraction: species variation in lead uptake and translocation. *New Phytol.* 134: 75-84.
- Jouraeva V.A., Johnson D.L., Hassett J.P., Nowak D.J.** (2002): Differences in accumulation of PAHs and metals on the leaves of *Tilia x euchlora* and *Pyrus calleryana*. *Environmental Pollution* 120: 331-338.
- Kumar N.P.B.A., Dushenkov V., Motto H., Raskin I.** (1995): Phytoextraction. The use of plants to remove heavy metals from soils. *Environmental Science and Technology* 29: 1232-1238.
- Kwapuliński J., Pastuszka J.** (1988): Wpływ emisji pyłu z dróg na zmianę niektórych parametrów środowiska. *Ochrona Powietrza*, 2.
- Menzie C.A., Potocki B.B., Santodonato J.** (1992): Exposure to carcinogenic PAHs in the environment. *Environ. Sci. Technol.*, 26: 1278-1284.
- Trapp S.** (2000): Aspects of the phytoremediation of organic pollutants. *Umweltwissenschaften und Schadstoff forschung* 12:5: 246-255.
- Wińska-Krysiak M., Gawroński S.W.** (2001): Mechanizmy obronne roślin wykorzystywane w procesie fitoekstrakcji. *Biotechnologia* 4, 55: 74-86.
- Wójcik A., Tukendorf A.** (1995): Strategia unikania stresu w odporności roślin na metale ciężkie. *Wiad. Bot.* 39, 3/4: 33-40.

EVALUATION OF USEFULNESS FOR PHYTOREMEDIATION SELECTED ORNAMENTAL TREES AND SHRUBS FROM *FABACEAE* FAMILY

S u m m a r y

In this paper usefulness for phytoremediation of three woody species honey locust, Siberian pea shrub and golden rains were tested. In first experiment seedlings were kept 4 weeks in nutrient solution with Pb (45 mg Pb dm⁻³ supplied as Pb(NO₃)₂). After harvest fresh and dry weights were recorded. During the field experiment leaves, one and two-year old stems of woody plants, grown near busy streets were collected. In all cases accumulation of Pb was measured by atomic emission spectroscopy (AAS). Additionally the leaf waxes was measured using extraction with chloroform.

Tree seedlings exposed to lead, did not differ in morphology and had no visual symptoms of injury due to toxicity of Pb though, their growth was retarded and they accumulated less biomass. Up to 98-99% of total lead taken up by plants was accumulated in roots and only 1-2% in shoots. The highest accumulation of Pb ions was noted in leaves of plants grown in Warsaw's busy street. The highest amount of leaf waxes was observed in Siberian pea shrub.

Based on our studies we can propose the Siberian pea shrub as a good candidate for phytoremediation in the urban areas.