

WYKORZYSTANIE RÓŻNYCH GRUP ROŚLIN WODNYCH W BIOINDYKACJI SKAŻENIA ŚRODOWISKA METALAMI CIĘŻKIMI

Agnieszka Klink, Józef Krawczyk, Barbara Letachowicz

Zakład Ekologii i Ochrony Przyrody, Instytut Biologii Roślin,
Uniwersytet Wrocławski we Wrocławiu

Wstęp

Ważnym składnikiem płytkich zbiorników wodnych są makrohydrofity, które odgrywają istotną rolę w produkcji pierwotnej tych ekosystemów oraz w obiegu pierwiastków [PIP 1990]. Rośliny wodne są bardzo efektywnymi akumulatorami metali ciężkich [KESKINKAN i in. 2004], a wiele ich gatunków spełnia kryteria dobrych bioindykatorów: są osiadłe, widoczne gołym okiem i łatwe do zbierania oraz identyfikacji w terenie [NIMPTSCH i in. 2005].

Celem niniejszych badań było określenie zdolności roślin wodnych do akumulacji metali ciężkich oraz ocena przydatności tych roślin w bioindykacji.

Materiał i metody

Z trzynastu stanowisk, zlokalizowanych w strefie litoralnej Jeziora Wielkiego (N 51°58,27' E 16°20,76'; Pojezierze Leszczyńskie), pobrano próby wody i osadów dennych oraz liście roślin wyższych: trzciny pospolitej – *Phragmites australis* (CAV.) TRIN. EX STEUD., pałki szerokolistnej – *Typha latifolia* L., grążela żółtego – *Nuphar lutea* (L.) SIBTH. & SM., grzybieni białych – *Nymphaea alba* L., żabiścieka pływającego – *Hydrocharis morsus-ranae* L. i rogatka sztywnego – *Ceratophyllum demersum* L. S. STR. Próby wody pobrano z głębokości od 5 do 25 cm, a osady denne z głębokości odpowiadającej strefie korzeniowej badanych makrohydrofitów.

Pobrane próby wody przefiltrowano, przy użyciu Whatman glass microfiber filter (GF/C), a następnie oznaczono w nich zawartości Mn, Zn, Cu, Cd, Pb i Ni za pomocą absorpcyjnego spektrometru atomowego z atomizacją elektrotermiczną (AVANTA PM; GBC Scientific Equipment). Z kolei próby osadów dennych wysuszono powietrznie, przesiano przez sito o średnicy oczek 2 mm i roztarto, a liście roślin dokładnie umyto w wodzie destylowanej, wysuszono i zmielono. Tak przygotowany materiał mineralizowano w układzie otwartym w stężonym

kwasicie azotowym z dodatkiem nadtlenu wodoru (30%). Zawartość Mn, Zn i Cu oznaczono metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej z atomizacją płomieniową, a Ni, Cd i Pb z atomizacją elektrotermiczną, aparatem AVANTA PM firmy GBC Scientific Equipment.

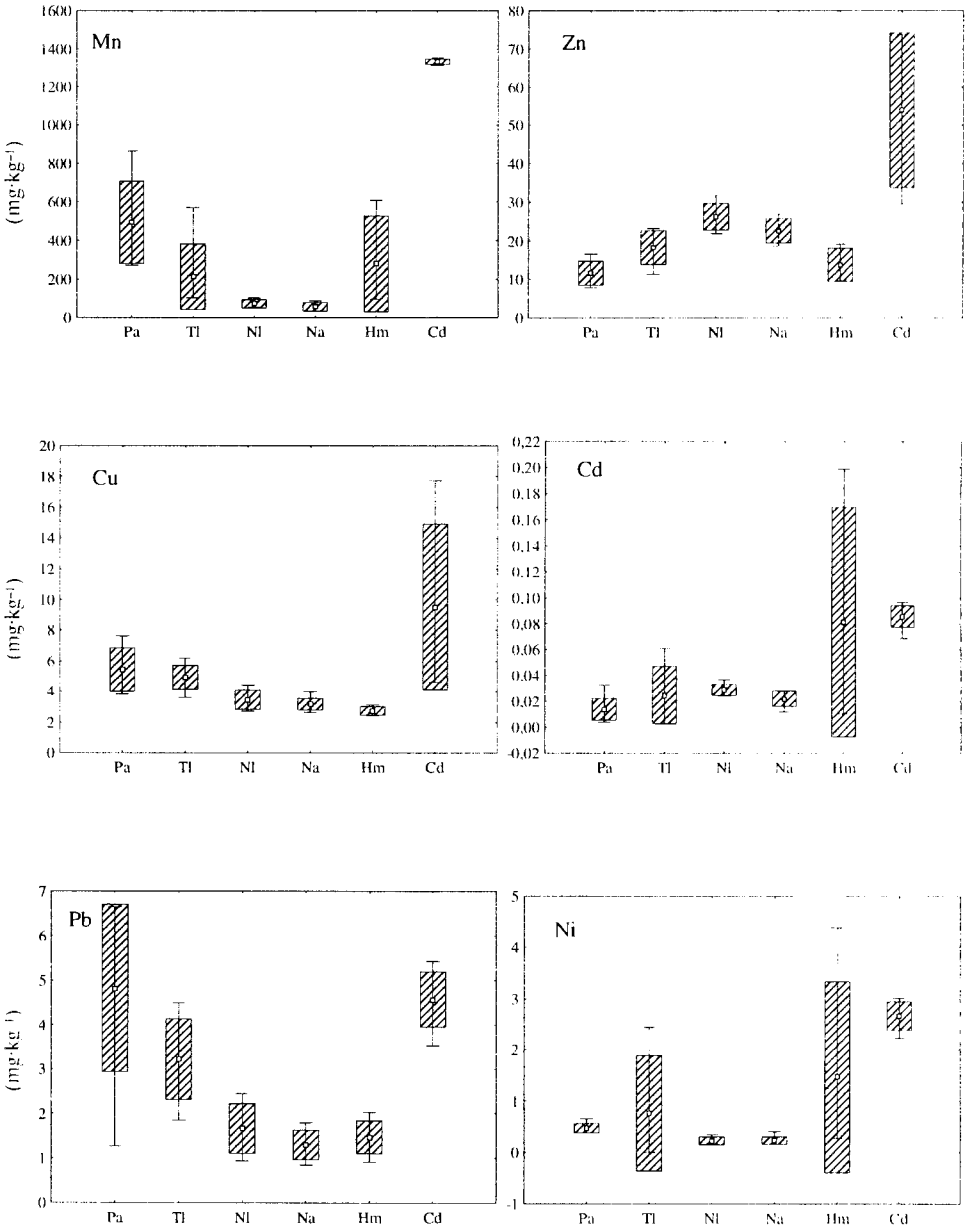
Analizy wykonano w trzech powtórzeniach, a uzyskane wyniki podano w odniesieniu do suchej masy roślin i osadów dennych. Powtarzalność wykorzystanych procedur oszacowano na poziomie $98 \pm 3\%$, wykorzystując wyniki analiz przeprowadzonych na materiałach referencyjnych GBW 07604 Poplar leaves (Institute of Geophysical and Geochemical Exploration Lanfang China).

Zróznicowanie zawartości metali w liściach badanych roślin określono testem t-Studenta [PARKER 1983] oraz sporządzono dendrogramy ich podobieństwa (City-block Manhattan, wiązanie pojedyncze). Zależności pomiędzy zawartością badanych pierwiastków w roślinach a ich zawartością w wodzie lub w osadach dennych określono, obliczając współczynniki korelacji r [ŻUK 1989], przy uwzględnieniu grupy ekologicznej makrohydrofitów i źródła pobierania metali. Wszystkie obliczenia matematyczno-statystyczne wykonano przy pomocy programu CSS: Statistica [STATSOFT, INC. 2005].

Wyniki i dyskusja

Stwierdzone w Jeziorze Wielkim zawartości badanych metali ciężkich były stosunkowo niskie i nie przekraczały wartości tła, podawanych dla wody przez KABATA-PENDIAS i PENDIASA [1993] oraz dla osadów dennych przez NICHOLSA i in. [1991], GROSOISA i in. [2001], WORTKEGO i in. [2003] oraz POLYÁKA i HLAVAYA [2005]. Jedynie zawartości Mn, Pb i Ni w wodzie oraz Mn i Pb w podłożu, w większości badanych stanowisk, były wyższe od zawartości naturalnych [KABATA-PENDIAS, PENDIAS 1993] (tab. 1). Zawartości Cd w wodzie badanych stanowisk były niższe od poziomu wykrywalności, który wynosi $0,003 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$.

Średnie zawartości metali ciężkich w liściach badanych makrohydrofitów, z wyjątkiem Mn, nie przekraczały wartości tła [KABATA-PENDIAS, PENDIAS 1993] oraz zawartości podawanych dla roślin rosnących w zbiornikach niezanieczyszczonych [MANNY i in. 1991; DENG i in. 2004]. Najwyższe zawartości Mn, znacznie przekraczające poziom toksyczny dla większości roślin ($500 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) [KABATA-PENDIAS, PENDIAS 1993], stwierdzono w liściach *Ceratophyllum demersum* ($1333 \pm 15,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), rys. 1. Nie obserwowano jednak żadnych objawów toksyczności u tego gatunku. Według BROOKSA i ROBINSONA [1998] zawartość metalu przekraczająca wartość $10000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ jest wyznacznikiem jego hiperakumulatorów. W przypadku *Ceratophyllum demersum* zawartość Mn w liściach była średnio 160000 razy wyższa niż jego zawartość w wodzie, co pozwala zaliczyć badaną roślinę do hiperakumulatorów tego metalu. Pomimo wysokiej zdolności gromadzenia Mn, *Ceratophyllum demersum* nie może być wykorzystywany w jego fitoremediacji, ze względu na niską produkcję biomasy. Spośród badanych roślin, liście *Ceratophyllum demersum* zawierały ponadto największe ilości Zn, Cu, Cd i Ni. Potwierdza to dane o większej kumulacji metali przez rośliny zanurzone w stosunku do roślin wynurzonych [CARDWELL i in. 2002; DEMIREZEN, AKSOY 2004, 2006] oraz o wysokich zdolnościach gromadzenia Zn i Cu przez ten gatunek [KESKINKAN i in. 2004]. Najmniejszą zawartość badanych metali stwierdzono w liściach pływających *Nymphaea alba* i *Nuphar lutea* (rys. 1).



Rys. 1. Zróżnicowanie zawartości metali ciężkich w makrohydrofitach z Jeziora Wielkiego (mg·kg⁻¹); Pa – *Phragmites australis*, Tl – *Typha latifolia*, Nl – *Nuphar lutea*, Na – *Nymphaea alba*, Hm – *Hydrocharis morsus-ranae*, Cd – *Ceratophyllum demersum*

Fig. 1. Variability in heavy metal contents in macrohydrophytes from Wielkie Lake (mg·kg⁻¹); Pa – *Phragmites australis*, Tl – *Typha latifolia*, Nl – *Nuphar lutea*, Na – *Nymphaea alba*, Hm – *Hydrocharis morsus-ranae*, Cd – *Ceratophyllum demersum*

Tabela 1; Table 1

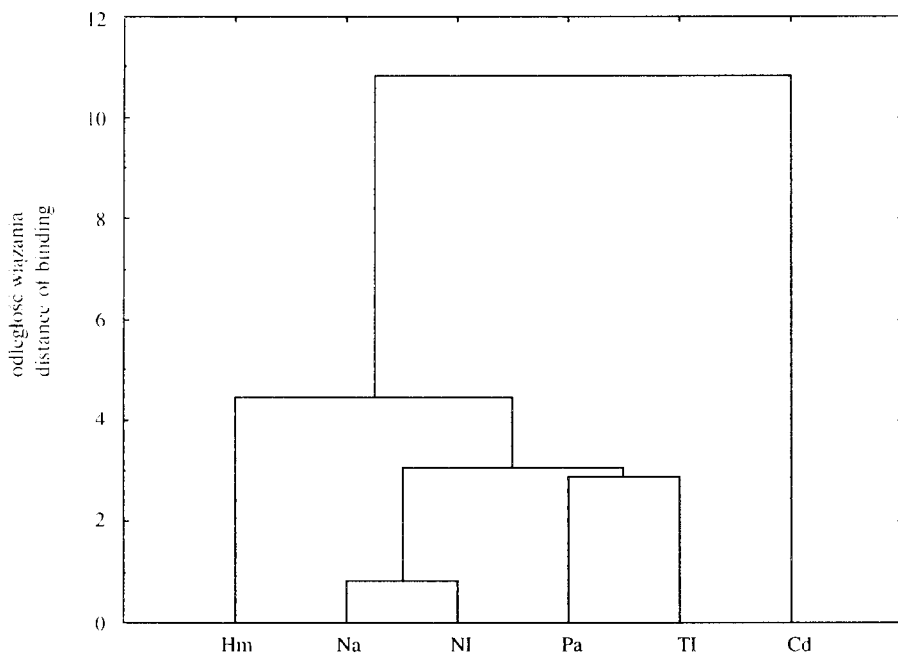
Zawartości metali ciężkich w wodzie ($\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$)
i osadach dennych ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) z Jeziora Wielkiego
The concentrations of heavy metals in water ($\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$)
and bottom sediments ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ DM) from Wielkie Lake

Metal	Woda; Water	Osady dennie; Bottom sediments
Mn	2,86–13,9 ¹ 7,48±3,40 ²	47,1–986 642±320
Zn	1,99–10,9 6,23±2,59	0,90–86,8 24,8±22,3
Cu	0,12–0,66 0,27±0,15	3,10–21,9 13,1±5,80
Cd	ND	0,004–0,34 0,13±0,11
Pb	0,22–3,78 0,84±0,89	3,90–31,0 19,1±8,67
Ni	0,90–2,17 1,45±0,36	0,34–6,44 2,89±2,07

¹ zakres zawartości średnich; range of mean concentrations

² średnie ± odchylenie standardowe; mean ± standard deviation

ND zawartości poniżej poziomu wykrywalności; the concentrations below detection limit



Rys. 2. Dendrogram podobieństwa zawartości metali ciężkich w makrohydrofitach z Jeziora Wielkiego (objaśnienia jak na rys. 1)

Fig. 2. Cluster analysis of heavy metal contents in macrohydrophytes from Wielkie Lake (explanations see Fig. 1)

Dendrogram podobieństwa zawartości mikroelementów w liściach badanych roślin (rys. 2) wykazał zbliżone zdolności kumulacyjne metali w przypadku makrohydrofitów należących do tej samej grupy ekologicznej. Wyraźne grupy stanowiły rośliny o liściach pływających (*Nymphaea alba* i *Nuphar lutea*) oraz rośliny wynurzone (*Phragmites australis* i *Typha latifolia*). Przeprowadzony test t-Studenta wykazał jednak, że rośliny w poszczególnych grupach różnią się istotnie pod względem zawartości Mn i Zn.

Wszystkie badane gatunki makrohydrofitów, niezależnie od budowy morfologicznej, charakteryzowały się takim samym szeregiem zawartości metali w liściach: Mn > Zn > Cu > Pb > Ni > Cd.

Tabela 2; Table 2

Statystycznie istotne korelacje między zawartością metali w środowisku i w roślinach z Jeziora Wielkiego

Statistically significant correlations between concentrations of metals in environment and plants from Wielkie Lake

Gatunek; Species	Zależność; Relationship	p ^a	r _{obt} ^b ; r _{est} ^b
<i>Phragmites australis</i>	Zn w osadach dennych i w roślinach Zn in bottom sediments and plants	0,001	0,87
<i>Typha latifolia</i>	Zn w osadach dennych i w roślinach Zn in bottom sediments and plants	0,034	0,61
	Cu w osadach dennych i w roślinach Cu in bottom sediments and plants	0,000	0,85
	Cd w osadach dennych i w roślinach Cd in bottom sediments and plants	0,028	0,63
	Ni w osadach dennych i w roślinach Ni in bottom sediments and plants	0,045	0,59
<i>Nuphar lutea</i>	Mn w wodzie i w roślinach Mn in water and plants	0,001	0,98
	Zn w wodzie i w roślinach Zn in water and plants	0,016	0,89
	Cd w osadach dennych i w roślinach Cd in bottom sediments and plants	0,030	0,86
<i>Nymphaea alba</i>	Mn w wodzie i w roślinach Mn in water and plants	0,000	0,95
<i>Ceratophyllum demersum</i>	Cu w wodzie i w roślinach Cu in water and plants	0,032	0,75

^a poziom istotności; significance level

^b r – współczynniki korelacji; correlation coefficients

Stwierdzono liczne, istotne statystycznie, dodatnie korelacje pomiędzy zawartością metali w liściach roślin a ich zawartością w wodzie lub w osadach dennych (tab. 2). Świadczy to o możliwości wykorzystania badanych makrohydrofitów w bioindykacji skażenia środowiska metalami ciężkimi [FRAZIN, McFARLANE 1980; JONES 1985].

Wnioski

1. Makrohydrofity należące do różnych grup ekologicznych wykazują zróżnicowane zdolności kumulacyjne metali, ale nie różnią się sekwencją ich zawartości w liściach (Mn > Zn > Cu > Pb > Ni > Cd).
2. Rogatek sztywny *Ceratophyllum demersum* jest dobrym bioakumulatorem metali, zwłaszcza Mn.
3. Istotne dodatnie korelacje pomiędzy zawartością metali w roślinach a ich zawartością w wodzie lub w osadach dennych świadczą o możliwości wykorzystania badanych makrohydrofitów w bioindykacji skażenia środowiska metalami ciężkimi.

Literatura

- BROOKS R.R., ROBINSON B.H. 1998.** *Aquatic phytoremediation by accumulator plants. Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals* (eds Brooks). CAB International, Wallingford: 203–226.
- CARDWELL A.J., HAWHER D.W., GREENWAY M. 2002.** *Metal accumulation in aquatic macrophytes from southeast Queensland, Australia*. Chemosphere 48: 653–663.
- DEMIREZEN D., AKSOY A. 2004.** *Accumulation of heavy metals in Typha angustifolia (L.) and Potamogeton pectinatus (L.) living in Sultan Marsh (Kayseri, Turkey)*. Chemosphere 56: 685–696.
- DEMIREZEN D., AKSOY A. 2006.** *Common hydrophytes as bioindicators of iron and manganese pollutions*. Ecological Indicators 6: 388–393.
- DENG H., YE Z.H., WONG M.H. 2004.** *Accumulation of lead, zinc, copper and cadmium by 12 wetland plant species thriving in metal-contaminated sites in China*. Environmental Pollution 132: 29–40.
- FRAZIN W.G., MCFARLANE A. 1980.** *An analysis of the aquatic macrophyte, Myriophyllum exalbescens, as an indicator of metal contamination of aquatic ecosystems near a base metal smelter*. Bull Environm. Toxicol. 24: 597–605.
- GROSBOIS C.A., HOROWITZ A.J., SMITH J.J., ELRICK K.A. 2001.** *The effect of mining and related activities on the sediment-trace element geochemistry of Lake Coeur d'Alene, Idaho, USA. Part III. Downstream effects: the Spokane River Basin*. Hydrol. Process. 15: 855–875.
- JONES K.C. 1985.** *Gold, silver and other elements in aquatic bryophytes from mineralized area of North Wales UK*. J. Geochem. Explor. 24: 237–246.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1993.** *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. Wydawn. Nauk. PWN, Warszawa: 364 ss.
- KESKINKAN O., GOKSU M.Z.L., BASIBUYUK M., FORSTER C.F. 2004.** *Heavy metal adsorption properties of a submerged aquatic plant (Ceratophyllum demersum)*. Biore-source Technology 92: 197–200.
- MANNY B.A., NICHOLS S.J., SCHLOESSER D.W. 1991.** *Heavy metals in aquatic macrophytes drifting in a large river*. Hydrobiologia 219: 333–344.
- NICHOLS S.J., MANNY B.A., SCHLOESSER D.W., EDSALL T.A. 1991.** *Heavy metal contamination of sediments in the upper connecting channels of the Great Lakes*. Hydrobiologia 219: 307–315.

NIMPTSCH J., WUNDERLIN D.A., DOLLAN A., PFLUGMACHER S. 2005. *Antioxidant and biotransformation enzymes in Myriophyllum quitense as biomarkers of heavy metal exposure and eutrophication in Suquia River basin (Córdoba, Argentina)*. Chemosphere 61: 147–157.

PARKER R.E. 1983. *Introductory statistics for biology*. Edward Arnold Publishers Ltd. London: 163 ss.

PIP E. 1990. *Cadmium, copper and lead in aquatic macrophytes in Shoal Lake (Manitoba-Ontario)*. Hydrobiologia 208: 253–260.

POLYÁK K., HLAVAY J. 2005. *Development of a monitoring network on Lake Balaton, Hungary*. Microchemical Journal 79: 137–143.

STATSOFT INC. 2005. *Statistica for Windows*. (data analysis software system), version 7. www.statsoft.com.

WOITKE P., WELLMITZ J., HELM D., KUBE P., LEPOM P., LITHERATY P. 2003. *Analysis and assessment of heavy metal pollution in suspended soils and sediments of the River Dunabe*. Chemosphere 51: 633–642.

ŻUK B. 1989. *Biometria stosowana*. Wydawn. Nauk. PWN, Warszawa: 88–90.

Słowa kluczowe: bioindykacja, metale, makrohydrofity, hiperakumulacja

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań zawartości Mn, Zn, Cu, Cd, Pb i Ni w wodzie, osadach dennych i liściach roślin wodnych (trzciny pospolitej – *Phragmites australis* (CAV.) TRIN. EX STEUD., pałki szerokolistnej – *Typha latifolia* L., grążela żółtego – *Nuphar lutea* (L.) SIBTH. & SM., grzybiczni białych – *Nymphaea alba* L., zabiścieka pływającego – *Hydrocharis morsus-ranae* L. i rogatka sztywnego – *Ceratophyllum demersum* L. s. STR.), pobranych z 13 stanowisk, zlokalizowanych w strefie litoralnej Jeziora Wielkiego (Pojezierze Leszczyńskie).

Przeprowadzone badania wykazały zbliżone zdolności kumulacyjne metali, u makrohydrofitów należących do tej samej grupy ekologicznej – wyraźne grupy stanowiły rośliny o liściach pływających oraz rośliny wynurzone. Wykazano również wysokie zdolności kumulacyjne *Ceratophyllum demersum*, zwłaszcza w stosunku do Mn. Jego liście zawierały ponadto największe ilości Zn, Cu, Cd i Ni. Wszystkie badane gatunki makrohydrofitów, niezależnie od budowy morfologicznej, charakteryzowały się takim samym szeregiem zawartości metali w liściach: Mn > Zn > Cu > Pb > Ni > Cd. Liczne dodatnie korelacje pomiędzy zawartością metali w roślinach a ich zawartością w środowisku świadczą o możliwości wykorzystania badanych makrohydrofitów w bioindykacji skażenia środowiska metalami ciężkimi.

THE USE OF DIFFERENT WATER PLANT GROUPS TO BIOINDICATION OF ENVIRONMENTAL POLLUTION WITH HEAVY METALS

Agnieszka Klink, Józef Krawczyk, Barbara Letachowicz

Department of Ecology and Nature Protection,

Institute of Biology of Plants, University of Wrocław, Wrocław

Key words: bioindication, metals, macrohydrophytes, hyperaccumulation

Summary

The contents of Mn, Zn, Cu, Cd, Pb, and Fe were determined in water, bottom sediments and leaves of macrohydrophytes – *Phragmites australis* (CAV.) TRIN. EX STEUD., *Typha latifolia* L., *Nuphar lutea* (L.) SIBTH. & SM., *Nymphaea alba* L., *Hydrocharis morsus-ranae* L., *Ceratophyllum demersum* L. S. STR. – from 13 study sites, situated in littoral of Wielkie Lake (Leszczyńskie Lakeland).

The results showed that submerged plants contained higher levels of trace elements than emergent and floating-leaved macrohydrophytes. *Ceratophyllum demersum* contained the highest amounts of Mn, Zn, Cu, Cd, and Ni, it also showed very high Mn accumulation ratios. All examined water plants, irrespective of life form, were characterized by the same sequence of heavy metal concentrations which was as follows: Mn > Zn > Cu > Pb > Ni > Cd. The significant, positive correlations found between the content of heavy metals in plants and levels of these elements in the environment indicate the possibilities of using examined macrohydrophytes to biomonitoring of environmental contamination with heavy metals.

Dr Agnieszka **Klink**
Zakład Ekologii i Ochrony Przyrody
Instytut Biologii Roślin
Uniwersytet Wrocławski
ul. Kanonia 6/8
50-328 WROCLAW
e-mail: klink@biol.uni.wroc.pl