

Marek PAŃCZYK<sup>1</sup>, Paweł ŚWISŁOWSKI<sup>1</sup> i Małgorzata RAJFUR<sup>1\*</sup>

## OCENA JEDNORODNOŚCI ZANIECZYSZCZENIA KORY DRZEW LIŚCIASTYCH METALAMI CIĘŻKIMI

### EVALUATION OF HOMOGENEITY OF BARK CONTAMINATION OF DECIDUOUS TREES WITH HEAVY METALS

**Abstrakt:** Celem badań była ocena jednorodności zanieczyszczenia metalami ciężkimi (Ni, Cu, Zn, Cd i Pb) kory drzew liściastych pobranej z lasu mieszanego na terenie gminy Ozimek (województwo opolskie). W ramach biomonitoringu pasywnego pobrano próbki kory z trzech gatunków drzew liściastych: z brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth.), buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) oraz z dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.). Metale ciężkie oznaczono za pomocą absorpcyjnej spektrometrii atomowej (AAS). Na podstawie przeprowadzonych badań można jednoznacznie stwierdzić, że kora drzew wykorzystanych do badań różni się pod względem stężeń metali ciężkich. Największe średnie zawartości Cu, Zn, Cd i Pb występują w brzozie, a największa średnia wartość Ni w korze dębu. Najniższymi średnimi stężeniami charakteryzuje się kora buka. Różnice te są spowodowane najprawdopodobniej różnicą w obrębie struktury kory poszczególnych gatunków. Analizując wartości odchylenia standardowego *SD* i współczynnika zmienności *CV*, można stwierdzić, że kora drzew jest materiałem niejednorodnym. Wykazano również, że na wysoki poziom cynku w korze może mieć wpływ sąsiedztwo potencjalnego emitora, jakim jest Huta „Małapanew S.A.”.

**Słowa kluczowe:** biomonitoring pasywny, drzewa liściaste, kora, metale ciężkie, absorpcyjna spektrometria atomowa

## Wprowadzenie

Wszystkie komponenty biosfery są zanieczyszczone różnymi analitami nieorganicznymi i organicznymi w wyniku działalności antropogennej, jak również jako normalny zmieniający się cykl biogeochemiczny. Chociaż metale ciężkie są naturalnymi składnikami środowiska, emitowane są do środowiska na różne sposoby: przemysł, transport, rolnictwo oraz inne działania antropogenne [1].

Monitoring biologiczny w ramach programu kontroli jakości polega na systematycznym wykorzystywaniu organizmów żywych do uzyskiwania ilościowych informacji o zmianach w środowisku, często wynikających z działalności człowieka. Wykorzystanie roślin (całych i tkanek) jako bioindykatorów ma wiele zalet: niskie koszty, możliwość długotrwałego pobierania próbek, wysoką dostępność oraz możliwość prowadzenia długoterminowych obserwacji [2, 3]. Biomonitoring jest tanią i prostą metodą monitorowania stężeń pierwiastków śladowych m.in. metali ciężkich w atmosferze - mchy, glony czy porosty są prawdopodobnie najczęściej stosowanymi organizmami do monitorowania zanieczyszczeń [1, 4].

Pierwsze badania ocen poziomu zanieczyszczenia środowiska za pomocą kory zostały przeprowadzone w drugiej połowie XX wieku. Potocznie jako korę rozumie się zewnętrzną warstwę okalającą pnie drzew i krzewów. W rzeczywistości kora składa się z kilku tkanek o różnym pochodzeniu [5]. Kora drzew, ze względu na dużą powierzchnię i stały kontakt

<sup>1</sup> Instytut Biotechnologii, Uniwersytet Opolski, ul. kard. B. Kominka 6, 45-032 Opole, tel. 77 401 60 42

\*Autor do korespondencji: mrajfur@o2.pl

Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole'18, Polanica-Zdrój, 10-13.10.2018

z powietrzem, jest dobrym bio wskaźnikiem stanu zanieczyszczenia aerozolu atmosferycznego np. metalami ciężkimi. Jest ona wszechobecna i może być łatwo zbierana nawet przez osoby nieprzeszkolone [3, 6]. W badaniach biomonitoringowych stosowana jest kora drzew liściastych [7, 8] oraz iglastych [6, 9]. Wykorzystywana jest do monitorowania terenów zurbanizowanych [10, 11], jest także dobrym bioindykatorem radionuklidów [12, 13], okazała się również doskonałym materiałem do określania kwaśnych zanieczyszczeń gazowych w środowisku [3].

Celem przeprowadzonych badań była ocena jednorodności zanieczyszczenia metalami ciężkimi (Ni, Cu, Zn, Cd i Pb) kory drzew liściastych pobranej z lasu mieszanego na terenie gminy Ozimek z uwzględnieniem różny wiatrów oraz wyznaczenie potencjalnych źródeł emisji tych analitów.

### Materialy i metody

Biomonitoring pasywny prowadzono z wykorzystaniem kory brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth.), buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) oraz dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.). Łącznie pobrano 72 próbki, 24 z każdego drzewa, 12 ze strony nawietrznej (południowej) i 12 ze strony zawietrznej (północnej) każdego drzewa. Próbki kory o rozmiarach 1,5 x 1,5 cm były pobierane z pnia drzew na wysokości 1,5 m od poziomu gruntu. Grubość każdej próbki kory wynosiła około 4 mm. Obszarem badań był las mieszany znajdujący się na pograniczu miasta Ozimek oraz sołectwa Krzyżowa Dolina, w południowo-zachodniej części gminy w województwie opolskim. Las znajduje się około 21 km na wschód od Opola (stolicy województwa opolskiego), w pobliżu południowo-zachodniej część przepływa rzeka Mała Panew, stanowiąca prawy dopływ Odry. W odległości około 2 km od miejsca pobierania próbek kory zlokalizowana jest huta żelaza „Małapanew S.A.”, która działa od 1754 r., nieco bliżej, około 1,5 km od miejsca badań, znajduje się zakład „ProLicht”, zajmujący się produkcją reklam świetlnych, działa od 1996 r. [14]. Pobieranie próbek od strony nawietrznej i zawietrznej ustalono na podstawie mapy dominujących kierunków wiatrów w Polsce [15].

Po zebraniu próbki umieszczono w kopertach papierowych, przewieziono do laboratorium i suszono w temperaturze około 100 °C przez 24 godziny do uzyskania suchej masy (s.m.). Tak przygotowane próbki zmielono i przechowywano w szczelnie zamkniętych pojemnikach polietylenowych. Następnie reprezentatywne (uśrednione) próbki kory o masie  $0,400 \pm 0,001$  g s.m. były mineralizowane w mieszaninie kwasu azotowego(V) i nadtlenu wodoru ( $\text{HNO}_3$  65% :  $\text{H}_2\text{O}_2$  37 % = 5:3) w mineralizatorze mikrofalowym Speedwave Four firmy BERGHOF, DE. Proces mineralizacji prowadzono w temperaturze 180 °C. Po procesie mineralizacji roztwory przesączono do kolb miarowych o pojemności 20 cm<sup>3</sup>.

Do oznaczenia metali ciężkich (Ni, Cu, Zn, Cd oraz Pb) wykorzystano absorpcyjny spektrometr atomowy ze wzbudzeniem w płomieniu (F-AAS) typu iCE 3500 firmy Thermo Scientific, USA.

### Zapewnienie i kontrola jakości

W tabeli 1 podano granice wykrywalności oraz granice oznaczalności metali ciężkich, charakteryzujące spektrometr iCE 3500 [16]. Do kalibrowania aparatu wykorzystano wzorce firmy ANALYTIKA Ltd., CZ.

Granice wykrywalności (*IDL*) oraz granice oznaczalności (*IQL*) charakteryzujące spektrometr iCE 3500 [mg/dm<sup>3</sup>]

Tabela 1

The instrumental detection limits (*IDL*) and instrumental quantification limits (*IQL*) for the spectrometer iCE 3500 [mg/dm<sup>3</sup>]

Table 1

Metal	<i>IDL</i>	<i>IQL</i>
Ni	0,0043	0,050
Cu	0,0045	0,033
Zn	0,0033	0,010
Cd	0,0028	0,013
Pb	0,0130	0,070

W tabeli 2 przedstawiono stężenia metali ciężkich oznaczone w certyfikowanym materiale referencyjnym BCR-482 *lichen*, wytworzonym przez Institute for Reference Materials and Measurements, BE.

Porównanie zmierzonych i certyfikowanych wartości stężeń analitów w BCR-482 *lichen*

Tabela 2

Comparison of measured and certified concentrations in BCR-482 *lichen*

Table 2

Metal	BCR-482 <i>lichen</i>		AAS		<i>Dev.</i> **
	Stężenie	±Niepewność	Średnia	±SD *	
	[mg/kg s.m.]				[%]
Ni	2,47	0,07	2,16	0,32	-13
Cu	7,03	0,19	6,63	0,17	-5,7
Zn	100,6	2,2	95,1	2,3	-5,5
Cd	0,56	0,02	0,53	0,03	-5,3
Pb	40,9	1,4	38,2	1,0	-6,6

\* - odchylenie standardowe

\*\* - względna różnica pomiędzy stężeniem zmierzonym i certyfikowanym  $100\% \cdot (c_z - c_c) / c_c$

### Wyniki i ich interpretacja

Wyniki oznaczeń stężeń metali ciężkich w próbkach kory pobranej z trzech gatunków drzew liściastych przedstawiono w tabelach 3-5 oraz na rysunkach 1-6.

Stężenia metali ciężkich w korze pobranej od strony nawietrznej (A) i od strony zawietrznej (B) dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.) [mg/kg s.m.]

Tabela 3

Concentrations of heavy metals in bark taken from the windward side (A) and leeward side (B) of the *Quercus robur* L. [mg/kg d.m.]

Table 3

Nr próbki	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
D-1A	5,70	4,53	6,76	< 0,65	< 3,50
D-2A	2,54	4,12	13,2	< 0,65	< 3,50
D-3A	< 2,50	3,94	9,72	< 0,65	< 3,50
D-4A	< 2,50	4,12	16,5	< 0,65	14,3
D-5A	5,38	5,46	14,8	< 0,65	19,4
D-6A	4,88	3,99	9,53	< 0,65	< 3,50
D-7A	< 2,50	3,96	17,2	< 0,65	5,56
D-8A	5,17	4,63	12,4	< 0,65	7,04
D-9A	5,37	4,94	13,7	< 0,65	< 3,50
D-10A	5,32	5,07	12,8	< 0,65	< 3,50
D-11A	< 2,50	3,81	9,76	< 0,65	19,2
D-12A	8,45	4,48	10,5	< 0,65	17,3
D-1B	< 2,50	5,29	9,79	< 0,65	< 3,50
D-2B	< 2,50	4,84	11,4	< 0,65	< 3,50
D-3B	< 2,50	3,64	10,5	< 0,65	< 3,50
D-4B	< 2,50	3,59	6,82	< 0,65	< 3,50
D-5B	< 2,50	5,04	11,0	< 0,65	< 3,50
D-6B	< 2,50	4,44	13,2	< 0,65	36,8
D-7B	< 2,50	4,05	10,5	< 0,65	< 3,50
D-8B	< 2,50	5,48	14,1	< 0,65	< 3,50
D-9B	< 2,50	4,46	8,01	< 0,65	< 3,50
D-10B	< 2,50	3,97	8,24	< 0,65	< 3,50
D-11B	< 2,50	5,36	11,5	< 0,65	6,32
D-12B	< 2,50	5,82	12,1	< 0,65	< 3,50
Średnia( $x_{sz}$ )	< 3,45	4,54	11,4	< 0,65	< 7,58
Minimum	< 2,50	3,59	6,76	< 0,65	< 3,50
Maksimum	8,45	5,82	17,2	< 0,65	36,8
$\pm SD$	-	<b>0,65</b>	<b>2,73</b>	-	-

Stężenie metali ciężkich w korze pobranej od strony nawietrznej (A) i od strony zawietrznej (B) buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) [mg/kg s.m.]

Tabela 4

Concentration of heavy metals in bark taken from the windward side (A) and from the leeward side (B) of the *Fagus sylvatica* L. [mg/kg d.m.]

Table 4

Nr próbki	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
1A	< 2,50	3,44	5,01	< 0,65	< 3,50
2A	< 2,50	3,45	1,05	< 0,65	< 3,50
3A	< 2,50	3,20	1,57	< 0,65	5,77
4A	< 2,50	3,02	1,89	< 0,65	< 3,50
5A	< 2,50	2,78	2,75	< 0,65	< 3,50
6A	2,86	3,53	7,34	< 0,65	< 3,50
7A	< 2,50	3,37	6,00	< 0,65	< 3,50
8A	< 2,50	3,20	4,11	< 0,65	< 3,50
9A	< 2,50	3,44	5,53	< 0,65	< 3,50

Nr próbki	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
10A	< 2,50	2,89	6,93	< 0,65	< 3,50
11A	< 2,50	3,15	8,37	< 0,65	< 3,50
12A	< 2,50	3,26	5,79	< 0,65	< 3,50
1B	< 2,50	2,70	4,19	< 0,65	< 3,50
2B	< 2,50	2,81	4,85	< 0,65	< 3,50
3B	< 2,50	2,92	3,80	< 0,65	< 3,50
4B	< 2,50	2,92	3,63	< 0,65	< 3,50
5B	< 2,50	3,03	1,82	< 0,65	< 3,50
6B	< 2,50	2,66	3,25	< 0,65	< 3,50
7B	< 2,50	3,07	6,66	< 0,65	< 3,50
8B	< 2,50	3,29	3,06	< 0,65	< 3,50
9B	< 2,50	2,89	4,39	< 0,65	< 3,50
10B	< 2,50	3,09	4,81	< 0,65	< 3,50
11B	< 2,50	3,37	3,41	< 0,65	< 3,50
12B	< 2,50	3,28	7,40	< 0,65	< 3,50
Średnia( $x_{\bar{s}}$ )	< 2,52	3,12	4,48	< 0,65	< 3,59
Minimum	< 2,50	2,66	1,05	< 0,65	< 3,50
Maksimum	2,86	3,53	8,37	< 0,65	5,77
$\pm SD$	-	0,26	1,99	-	-

Tabela 5

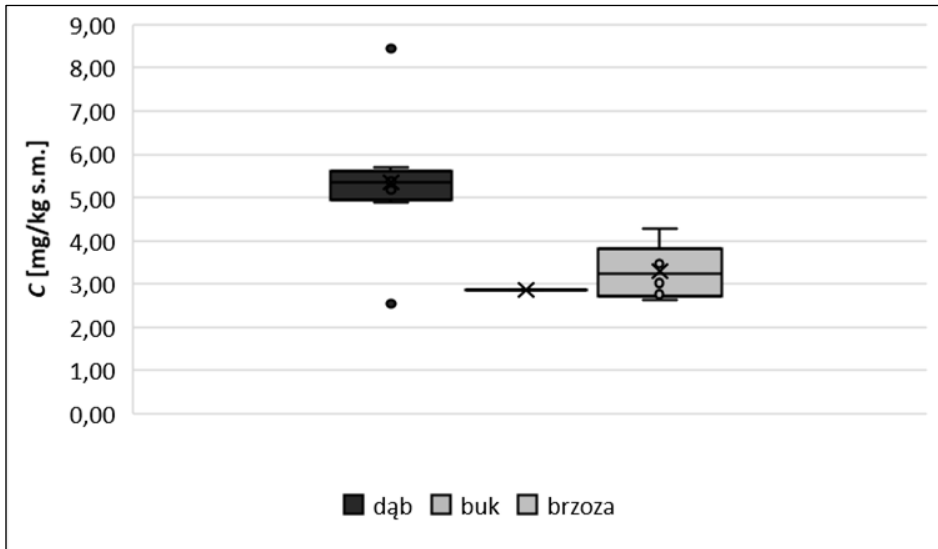
Stężenia metali ciężkich w korze pobranej od strony nawietrznej (A) i od strony zawietrznej (B) brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth.) [mg/kg s.m.]

Table 5

Concentrations of heavy metals in bark taken from the windward side (A) and leeward side (B) of the *Betula pendula* Roth. [mg/kg d.m.]

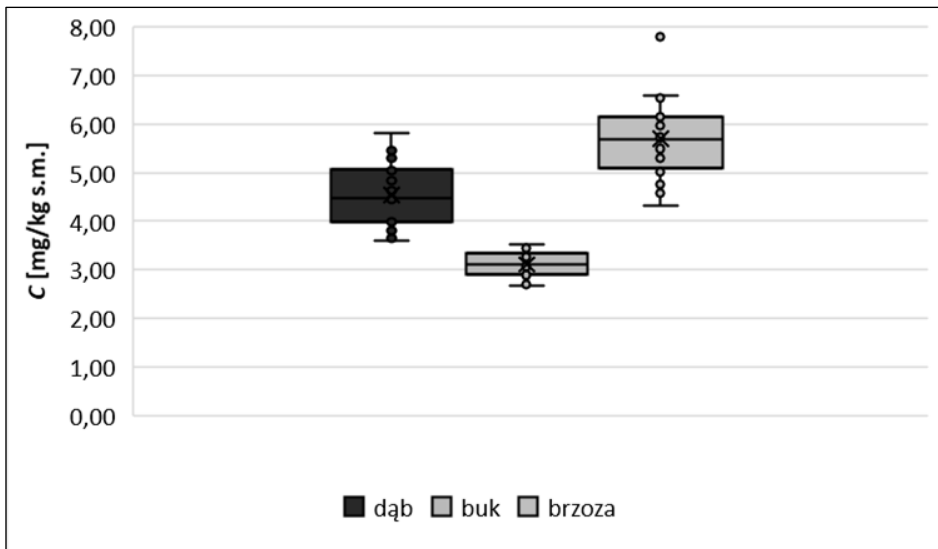
Nr próbki	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
B-1A	< 2,50	4,57	177	2,91	< 3,50
B-2A	< 2,50	5,02	178	< 0,65	31,0
B-3A	< 2,50	5,74	132	< 0,65	17,3
B-4A	< 2,50	4,91	106	< 0,65	< 3,50
B-5A	3,47	7,80	68,7	< 0,65	< 3,50
B-6A	< 2,50	5,80	91,7	< 0,65	< 3,50
B-7A	3,02	6,59	79,9	< 0,65	< 3,50
B-8A	< 2,50	5,97	109	< 0,65	< 3,50
B-9A	< 2,50	5,65	153	< 0,65	13,7
B-10A	3,65	6,23	93,8	< 0,65	< 3,50
B-11A	< 2,50	5,50	160	< 0,65	< 3,50
B-12A	< 2,50	5,49	89,6	< 0,65	< 3,50
B-1B	< 2,50	4,31	137	< 0,65	< 3,50
B-2B	< 2,50	5,30	101	< 0,65	< 3,50
B-3B	2,62	6,56	75,4	< 0,65	6,13
B-4B	4,29	5,72	96,8	< 0,65	< 3,50
B-5B	< 2,50	5,07	80,4	< 0,65	15,2
B-6B	< 2,50	5,62	89,0	< 0,65	< 3,50
B-7B	< 2,50	6,11	54,9	< 0,65	15,6
B-8B	< 2,50	4,76	142	< 0,65	12,4
B-9B	< 2,50	5,17	139	< 0,65	37,7
B-10B	< 2,50	5,97	89,8	< 0,65	< 3,50
B-11B	2,76	6,53	84,6	< 0,65	< 3,50
B-12B	< 2,50	6,14	94,7	< 0,65	45,4
Średnia( $x_{\bar{s}}$ )	< 2,70	5,69	109	< 0,74	< 10,3

Nr próbki	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Minimum	< 2,50	4,31	54,9	< 0,65	< 3,50
Maksimum	4,29	7,80	178	2,91	45,4
$\pm SD$	-	0,77	34,6	-	-



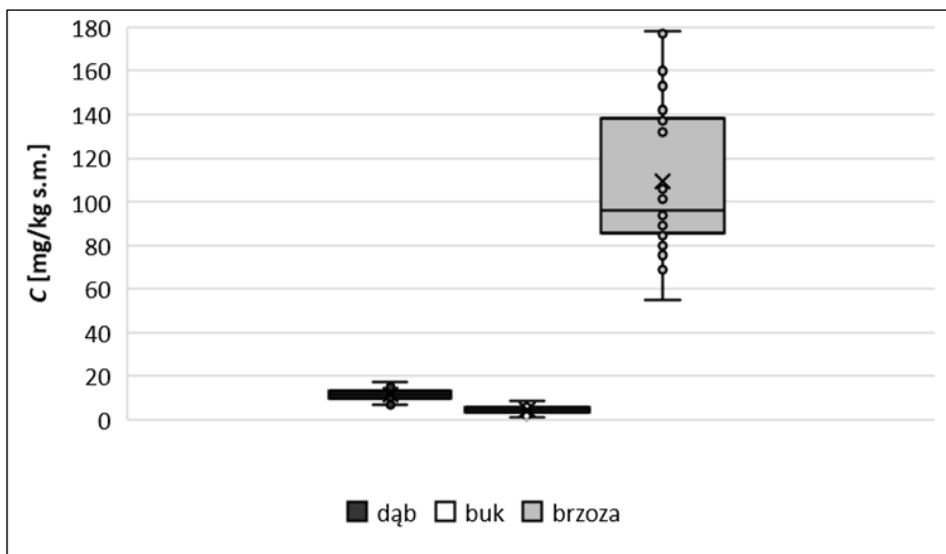
Rys. 1. Porównanie rozkładu stężeń niklu w próbkach kory

Fig. 1. Comparison of distribution of nickel concentrations in bark samples



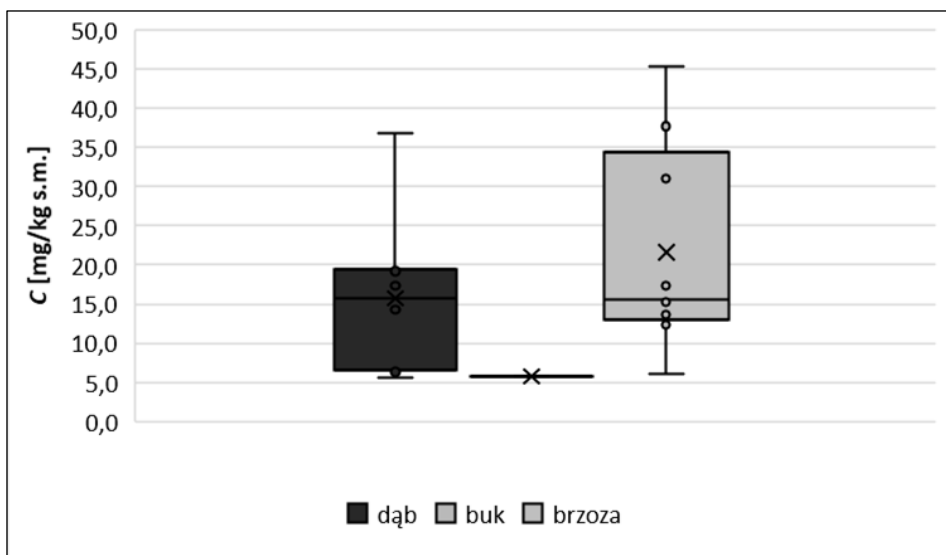
Rys. 2. Porównanie rozkładu stężeń miedzi w próbkach kory

Fig. 2. Comparison of distribution of copper concentrations in bark samples



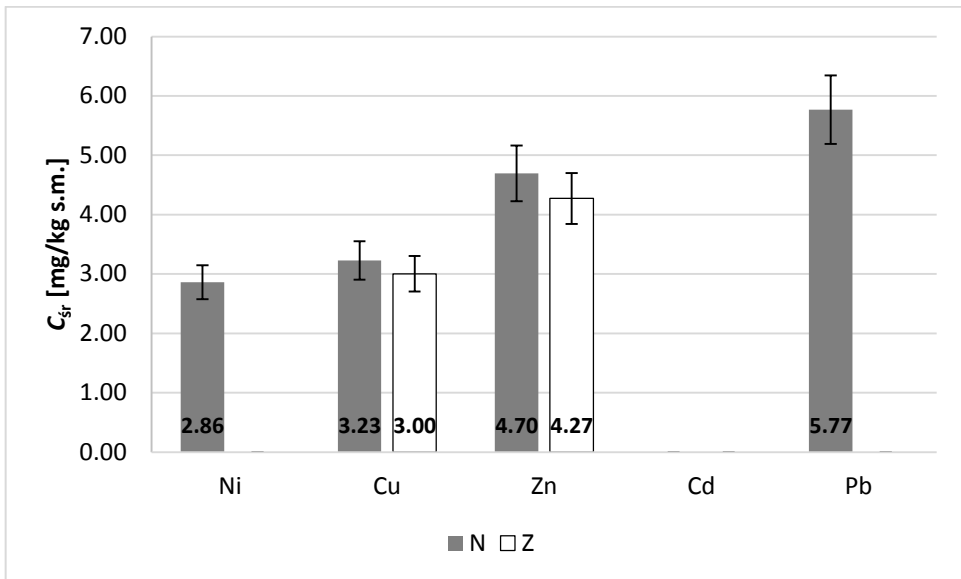
Rys. 3. Porównanie rozkładu stężeń cynku w próbkach kory

Fig. 3. Comparison of distribution of zinc concentrations in bark samples



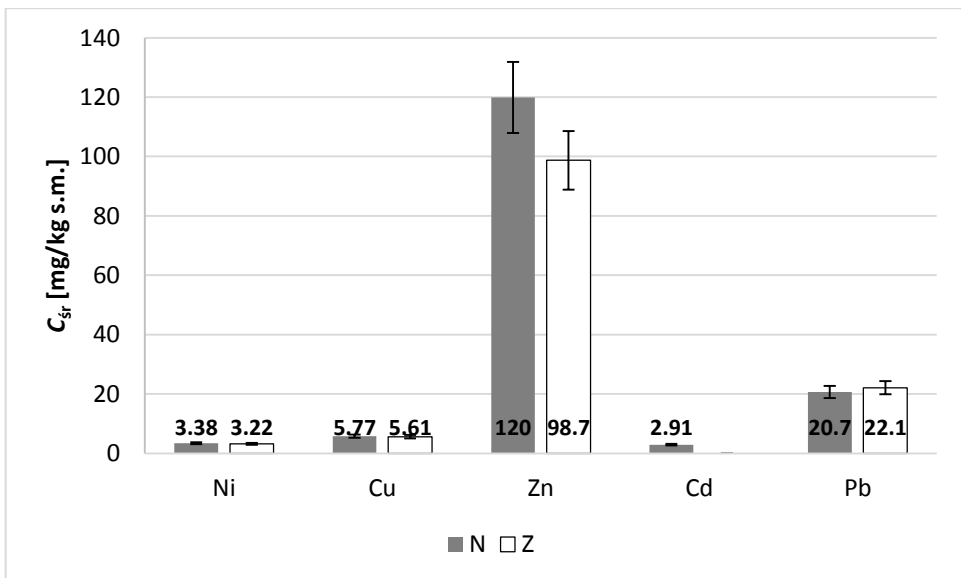
Rys. 4. Porównanie rozkładu stężeń ołowiu w próbkach kory

Fig. 4. Comparison of distribution of lead concentrations in bark samples



Rys. 5. Średnie stężenie metali ciężkich od strony nawietrznej (N) i od strony zawietrznej (Z) buka

Fig. 5. Average concentration of heavy metals on the windward side (N) and on the leeward side (Z) of *Fagus sylvatica* L.



Rys. 6. Średnie stężenie metali ciężkich od strony nawietrznej (N) i od strony zawietrznej (Z) brzozy

Fig. 6. Average concentration of heavy metals on the windward side (N) and on the leeward side (Z) of *Betula pendula* Roth.



Analizując wyniki przeprowadzonych badań stwierdzono, że kora drzew wybranych do badań była w największym stopniu zanieczyszczona cynkiem. Największe stężenia tego analitu stwierdzono w korze brzozy brodawkowatej, a najmniejsze w korze buka zwyczajnego (rys. 3). Tylko w jednej próbce kory brzozy brodawkowatej oznaczono stężenie Cd przekraczające granicę oznaczalności dla tego pierwiastka ( $c_{Cd} < 0,65$  mg/kg s.m). Na podstawie analizy rysunków 1-4 należy stwierdzić, iż największe stężenia metali ciężkich odnotowano w korze brzozy. Wartości *SD* (*odchylenie standardowe - standard deviation*), które są największe dla próbek kory brzozy brodawkowatej wskazują na duże rozproszenie wartości stężeń metali ciężkich oznaczonych w próbkach. Związane jest to z nierównomiernym akumulowaniem się zanieczyszczeń na łuszczącej się korze brzozy. Rozkład zanieczyszczeń w próbkach kory jest ściśle związany z położeniem miejsc pobierania próbek i bliską lokalizacją potencjalnych emitatorów zanieczyszczeń.

Analizując wykresy na rysunkach 5 i 6, należy stwierdzić, że zanieczyszczenia przenoszone są zgodnie z kierunkiem wiatru. W korze pobranej od strony zewnętrznej oznaczono większe stężenia analitów.

Wyniki przeprowadzonych badań zinterpretowano, wyznaczając także współczynnik zmienności (*coefficient of variation - CV*) [17]:

$$CV = RSD \cdot 100 \%$$

gdzie: *RSD* - względne odchylenie standardowe (relative standard deviation) ( $RSD = SD/x_{sr}$ ), *SD* - odchylenie standardowe - standard deviation,  $x_{sr}$  - średnia wartość.

Współczynnik zmienności jest ilorazem bezwzględnej miary zmienności cechy i średniej wartości tej cechy ( $x_{sr}$ ). Najczęściej podawany jest w [%] [17]. W tabeli 6 podano wartości współczynnika zmienności dla próbek kory pobranych z drzew liściastych.

Wartości CV [%] dla próbek kory z drzew liściastych

Tabela 6

CV values [%] for deciduous bark samples

Table 6

Gatunek drzewa	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
<i>Quercus robur</i> L.	29,9	14,2	23,9	-	65,4
<i>Fagus sylvatica</i> L.	-	8,20	44,4	-	-
<i>Betula pendula</i> Roth.	19,2	13,5	31,5	-	61,1

Analizując dane zawarte w tabeli 6, można zauważyć duże różnice wartości współczynnika zmienności *CV* dla wybranych gatunków drzew liściastych występujących na tym samym terenie. Dowodzi to dużej zmienności materiału - wartości *CV* wahają się w zakresie od 8,20-65,4 %. Kora łuszcząca się i spękana wykazuje większą niejednorodność pod względem zanieczyszczenia metalami ciężkimi.

### Podsumowanie i wnioski

Biomonitoring jest istotną metodą przy określaniu stopnia zanieczyszczenia środowiska m.in. metalami ciężkimi. Coraz częściej do badań wykorzystywana jest kora drzew [18-20]. Dzięki tym badaniom można oszacować nie tylko stopień zanieczyszczenia środowiska, ale również określić kierunek rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń

i zlokalizować potencjalne ich emitery. Wykorzystanie do badań kory brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth.), buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) oraz dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.) umożliwia łatwy dostęp do próbek ze względu na liczne występowanie tych gatunków drzew w ekosystemach.

Badania przeprowadzone z wykorzystaniem kory wyżej wymienionych gatunków pozwoliły m.in. na określenie poziomu zanieczyszczenia obszaru badań przez następujące metale ciężkie: nikiel, miedź, cynk, kadm oraz ołów. Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

- kora pobrana z drzew różnego gatunku charakteryzowała się zróżnicowanymi stężeniami metali ciężkich, pomimo tego, iż drzewa, z których pobrano próbki, rosły na tym samym terenie i w niewielkiej odległości od siebie,
- największe stężenia miedzi, cynku, kadmu i ołowiu oznaczono w korze brzozy, co jest ściśle związane z jej budową (struktura łuszcząca się),
- tylko w jednej próbce kory brzozy brodawkowatej stężenie kadmu było powyżej granicy oznaczalności zastosowanej metody analitycznej,
- najmniejsze stężenia metali ciężkich oznaczono w korze buka, która jest gładka i nie daje dużych możliwości osadzania się zanieczyszczeń,
- próbki kory były w największym stopniu zanieczyszczone cynkiem, którego potencjalnym emitorem na terenie badań może być Huta „Małapanew” S.A.,
- wartości współczynnika zmienności *CV* dla stężeń analitów w próbkach kory wskazują na niejednorodność materiału badawczego,
- w przypadku pobierania kory drzew znaczenie ma również strona pnia, z którego próbki są pobierane. Próbki kory pobrane od strony zewnętrznej w większości przypadków charakteryzowały się większymi średnimi wartościami stężeń niż próbki pobrane od strony wewnętrznej.

## Literatura

- [1] Baslar S, Dogan Y, Durkan N, Bag H. Biomonitoring of zinc and manganese in bark of Turkish red pine of western Anatolia. *J Environ Biol.* 2009;30(5):831-834. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.723.8614&rep=rep1&type=pdf>.
- [2] Ugulu I, Dogan Y, Baslar S, Varol O. Biomonitoring of trace element accumulation in plants growing at Murat Mountain. *Int J Environ Sci Technol.* 2012;9:527-534. DOI: 10.1007/s13762-012-0056-4.
- [3] Steindor K, Palowski B, Góras P, Nadgórska-Socha A. Assessment of bark reaction of select tree species as an indicator of acid gaseous pollution. *Polish J Environ Stud.* 2011;20(3):619-622. [https://www.researchgate.net/publication/285855717\\_Assessment\\_of\\_Bark\\_Reaction\\_of\\_Select\\_Tree\\_Species\\_as\\_an\\_Indicator\\_of\\_Acid\\_Gaseous\\_Pollution](https://www.researchgate.net/publication/285855717_Assessment_of_Bark_Reaction_of_Select_Tree_Species_as_an_Indicator_of_Acid_Gaseous_Pollution).
- [4] Kaya G, Yaman M. Trace metal concentrations in Cupressaceae leaves as biomonitors of environmental pollution. *Trace Elem Electrolyte.* 2008;25(3):156-164. DOI: 10.5414/TEP25156.
- [5] Chrabaszcz M, Mróz L. Tree bark, a valuable source of information on air quality. *Polish J Environ Stud.* 2017;26(2):453-466. DOI: 10.15244/pjoes/65908.
- [6] Chrzan A, Marko-Worłowska M, Wątor G, Laciak T, Kozik R. The pine bark and topsoil as an indicator of pollutions caused by industry and transport. *Proc ECOpole.* 2016;10(2):413-421. DOI: 10.2429/proc.2016.10(1)042.
- [7] Cucu-Man SM, Steinnes E. Analysis of selected biomonitors to evaluate the suitability for their complementary use in monitoring trace element atmospheric deposition. *Environ Monit Assess.* 2013;185:7775-7791. DOI: 10.1007/s10661-013-3135-1.

- [8] Dogan Y, Unver MC, Ugulu I, Calis M, Durkan N. Heavy metal accumulation in the bark and leaves of *Juglans regia* planted in Artvin City, Turkey. *Biotechnol Biotechnol Equip.* 2014;28(4):643-649. DOI: 10.1080/13102818.2014.947076.
- [9] Baltrėnaitė E, Baltrėnas P, Lietuvninkas A, Šerevičienė V, Zuokaitė E. Integrated evaluation of aerogenic pollution by air-transported heavy metals (Pb, Cd, Ni, Zn, Mn and Cu) in the analysis of the main deposit media. *Environ Sci Pollut Res.* 2014;21:299-313. DOI: 10.1007/s11356-013-2046-6.
- [10] Birke M, Rauch U, Hofmann F. Tree bark as a bioindicator of air pollution in the city of Stassfurt, Saxony-Anhalt, Germany. *J Geochem Explor.* 2018;187:97-117. DOI: 10.1016/j.gexplo.2017.09.007.
- [11] Fowotade SA, Abdullah SA, Umar AA, Saleh I, Oladeji SO, Otokiti MJ. Bark of neem tree (*Azadirachta indica*) as bio-indicator for monitoring environmental pollution in Katsina township, Nigeria. *Chem Sci J.* 2018;9(2):1-4. DOI: 10.4172/2150-3494.1000188.
- [12] Cosma C, Iurian AR, Incze R, Kovacs T, Zora S, Zuni ZS. The use of tree bark as long term biomonitor of <sup>137</sup>Cs deposition. *J Environ Radioactiv.* 2016;153:126-133. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2015.12.019.
- [13] Kilic O. Biomonitoring of <sup>137</sup>Cs, <sup>40</sup>K, <sup>232</sup>Th, and <sup>238</sup>U using oak bark in Belgrade forest, Istanbul, Turkey. *Nucl Technol Radiat Prot.* 2012;27(2):137.143. [http://ntrp.vinca.rs/2012\\_2/2\\_2012Kilic\\_pp\\_137\\_143.pdf](http://ntrp.vinca.rs/2012_2/2_2012Kilic_pp_137_143.pdf).
- [14] <https://www.ozimek.pl/184-przewodnik.html>.
- [15] [http://www.igipz.pan.pl/tl\\_files/igipz/ZGWiRL/APW/Rozdzial1/1.1.7.Dominujace\\_kierunki\\_wiatrow.png](http://www.igipz.pan.pl/tl_files/igipz/ZGWiRL/APW/Rozdzial1/1.1.7.Dominujace_kierunki_wiatrow.png).
- [16] iCE 3000 Series AA Spectrometers Operators Manuals. Cambridge: Thermo Fisher Scientific; 2011. <http://photos.labwrench.com/equipmentManuals/9291-6306.pdf>.
- [17] Kontieczka P, Namieśnik J. Ocena i kontrola jakości wyników pomiarów analitycznych. Warszawa: WNT; 2007. ISBN: 9788320432558.
- [18] Krutul D, Zielenkiewicz T, Zawadzki J, Radomski A, Antczak A, Drożdżek M. Influence of urban environment originated heavy metal pollution on the extractives and mineral substances content in bark and wood of oak (*Quercus robur* L.). *Wood Res.* 2014;59(1):177-190.
- [19] Kosiorek M, Modrzewska B, Wyszowski M. Levels of selected trace elements in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), silver birch (*Betula pendula* L.), and Norway maple (*Acer platanoides* L.) in an urbanized environment. *Environ Monit Assess.* 2016;188(10):598. DOI: 10.1007/s10661-016-5600-0.
- [20] Pavlović D, Pavlović M, Marković M, Karadžić B, Kostić O, Jarić S, et al. Possibilities of assessing trace metal pollution using *Betula pendula* Roth. leaf and bark - experience in Serbia. *J Serbian Chem Soc.* 2017;82(6):723-737. DOI: 10.2298/JSC170113024P.

## EVALUATION OF HOMOGENEITY OF BARK CONTAMINATION OF DECIDUOUS TREES WITH HEAVY METALS

Institute of Biotechnology, University of Opole, Opole

**Abstract:** The aim of the study was to assess the homogeneity of heavy metal contamination (Ni, Cu, Zn, Cd and Pb) of deciduous tree bark taken from a mixed forest in the commune of Ozimek (Opolskie Province). As part of passive biomonitoring, bark samples were taken from three deciduous tree species: *Betula pendula* Roth., *Fagus sylvatica* L. and *Quercus robur* L. Heavy metals were determined using the atomic absorption spectrometry (AAS) method. On the basis of the conducted studies, it can be clearly stated that the bark of trees used in the study differs in terms of concentrations of heavy metals. The highest mean contents of Cu, Zn, Cd and Pb are found in birch and the highest mean value of Ni in *Quercus robur* L. *Fagus sylvatica* L bark is characterized by the lowest mean concentrations. These differences are most probably caused by differences in the structure of the bark of individual species. The analysis of *SD* standard deviation and coefficient of variation (*CV*) shows that tree bark is a heterogeneous material. It was also shown that the high level of zinc in the bark may be influenced by the proximity of a potential emitter, i.e. Ironwork "Małapanew S.A."

**Keywords:** passive biomonitoring, deciduous trees, bark, heavy metals, atomic absorption spectrometry