

Ocena skażenia środowiska regionu śląsko-krakowskiego oraz bielsko-bialskiego metalami ciężkimi przy użyciu mchu (*Pleurozium schreberi*) jako biowskaźnika

Magdalena Klich*, Grażyna Szarek-Lukaszewska*

Za pomocą biowskaźników można w sposób szybki i prosty ocenić stan środowiska przyrodniczego. Mech *Pleurozium schreberi* zastosowano do określenia zanieczyszczenia metalami ciężkimi (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb i Zn) środowiska regionu śląsko-krakowskiego oraz bielsko-bialskiego. W mchach z tego terenu średnia zawartość Cd wynosiła 2,17; Cr–6,2; Cu–9,4; Ni–2,51; Pb–69,4 i Zn–150 mg/kg. Stężenia te były z reguły kilkukrotnie wyższe niż w mchach zebranych w niezanieczyszczonych terenach północno-wschodniej Polski. Rozkład stężeń większości metali ciężkich w mchach na badanym obszarze odpowiadał rozmieszczeniu emitorów zanieczyszczeń. Najbardziej zanieczyszczona metalami była środkowa i wschodnia część województwa katowickiego.

Słowa kluczowe: bioindykacja, mchy, *Pleurozium schreberi*, metale ciężkie, zanieczyszczenie

Magdalena Klich & Grażyna Szarek-Lukaszewska — Assessment of the environmental pollution by heavy metals using moss (*Pleurozium schreberi*) as a bioindicator. Prz. Geol., 49: 86–90.

S u m m a r y. The status of the environment can be simply and quickly determined with bioindicators. The moss species *Pleurozium schreberi* was used to indicate the air pollution by heavy metals (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn) in southern Poland. The study sites were located in Silesia-Kraków region and in the former Bielsko-Biała province. Northeastern Poland was the control area. Average concentrations in *Pleurozium schreberi* collected from southern Poland were 2.17 Cd; 6.2 Cr; 9.4 Cu; 2.51 Ni; 69.4 Pb; 150 Zn mg/kg. These concentrations were several times higher than those in northeastern Poland. The spatial distribution pattern of heavy metal concentrations in the moss examined has corresponded to location of local pollution emitters. The most contaminated encampment the most industrialized central and eastern part of the Katowice province.

Key words: bioindication, mosses, *Pleurozium schreberi*, heavy metals, pollution

Skład powietrza może ulegać zmianie pod wpływem naturalnych procesów zachodzących w przyrodzie (m.in. wybuchy wulkanów, pożary) lub w wyniku emisji zanieczyszczeń, powstających podczas działalności człowieka (przemysł, motoryzacja, rolnictwo). Rozkład przestrzenny antropogenicznych emisji zanieczyszczeń jest nierównomierny, najwyższe emisje występują w dużych okręgach przemysłowych i w aglomeracjach miejskich.

Polska jest krajem ekologicznych kontrastów. Z jednej strony znajdują się tutaj liczne tereny o wysokich walorach przyrodniczych. Szczególnie cenne są tereny w północno-wschodniej Polsce, gdzie znajdują się ostoje licznych gatunków roślin i zwierząt. Z drugiej strony w naszym kraju są także obszary, gdzie środowisko jest w różnym stopniu zdegradowane lub zagrożone zniszczeniem (Grodzińska & Szarek-Lukaszewska, 1995). Dotyczy to głównie terenów silnie uprzemysłowionych i gęsto zaludnionych. Degradacja środowiska przyrodniczego południowej Polski jest obserwowana szczególnie na obszarze Górnego Śląska oraz tzw. Czarnego Trójkąta — wielkiego zagłębia górnico-energetycznego, położonego u zbiegu granic Polski, Czech i Niemiec.

Polska znajduje się pod silną presją emisji gazowych (SO₂, NO_x) i pyłowych, pochodzących zarówno z lokalnych źródeł, jak też wytwarzanych głównie w krajach Europy Zachodniej i docierających do naszego kraju z transgranicznym transportem powietrznym. Zanieczyszczenia pyłowe powstają w większości procesów produkcyjnych oraz w procesach spalania paliw stałych. Według danych GUS (*Ochrona Środowiska*, 1998), w Polsce największym źródłem emisji pyłów jest energetyka i przemysł. Szczególnie pyłotwórcze są procesy metalurgiczne i produkcja materiałów budowlanych, a zwłaszcza cementu.

O stopniu szkodliwości pyłów decyduje przede wszystkim ich stężenie w powietrzu oraz skład chemiczny, np. zawartość metali ciężkich. Te ostatnie, ze względu na szerokie zastosowanie w gospodarce człowieka stanowią powszechne zanieczyszczenia. Do głównych gałęzi przemysłu emitujących metale ciężkie do środowiska zalicza się: górnictwo i metalurgię, przemysł tekstylny, chemiczny, elektryczny i elektroniczny, galwanizerski, wytwórczy ogniw i baterii oraz farb i lakierów (*Ochrona Środowiska*, 1998).

Biowskaźniki, to organizmy stosowane do oceny zmian w środowisku. Wśród biowskaźników można wyróżnić dwie grupy: biowskaźniki właściwe oraz biowskaźniki akumulujące (Grodzińska, 1983). Pierwsza grupa to organizmy, które na zmiany w środowisku reagują w sposób widoczny, np. poprzez zmiany morfologiczne, bądź zmiany w składzie gatunkowym. Do drugiej grupy należą te organizmy, które w swych tkankach gromadzą różne substancje, proporcjonalnie do ich zawartości w środowisku. Przykładem bioindykatorów akumulujących są mchy, które są dobrymi wskaźnikami skażenia środowiska metalami ciężkimi. Mchy mają wiele cech dobrego biowskaźnika (Tyler, 1971; Grodzińska, 1990):

1) wiele gatunków ma szeroki zasięg geograficzny (np. *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*) i występuje obficie w bardzo różnorodnych siedliskach naturalnych, a także w obszarach uprzemysłowionych i miejskich;

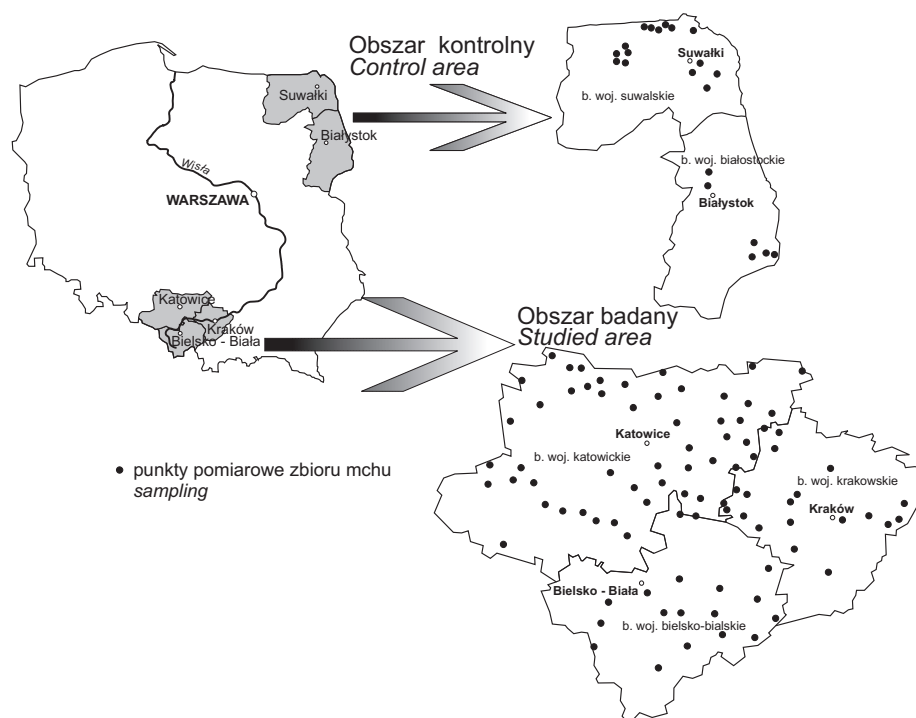
2) nie posiadają kutikuli i epidermy, dzięki czemu ich listki są łatwo przepuszczalne dla jonów metali;

3) są pozbawione typowych korzeni i tkanek przewodzących; sole mineralne, a także metale ciężkie czerpią głównie z opadów atmosferycznych i suchej depozycji;

4) stężenie metali ciężkich w mchach jest funkcją wielkości depozycji metali ciężkich z powietrza;

Mchy są używane do określenia aktualnego skażenia środowiska metalami ciężkimi zarówno na obszarach bardzo rozległych, jak i niewielkich. Zarówno studia regionalne jak i lokalne, a także prowadzone na prawie całym obszarze Euro-

*Instytut Botaniki im. W. Szafera, Polska Akademia Nauk, ul. Lubicz 46, 31-512 Kraków, G.Szarek@ib-pan.krakow.pl



Ryc. 1. Stanowiska zbioru prób mchu *Pleurozium schreberi* w południowej Polsce i na obszarze kontrolnym w 1998 r.

Fig. 1. Sampling sites in southern Poland and in the control area for the moss species *Pleurozium schreberi* in 1998

py udowodniły wysoką wartość mchów w ocenie skażenia środowiska metalami ciężkimi (Herpin i in., 1996; Grodzińska i in., 1997; 1999; Rühling i in., 1997; Zechmeister, 1997). Badania te prowadzone są w pięcioletnich odstępach czasowych.

Uznając celowość wykorzystania mchów w ocenie skażenia środowiska metalami ciężkimi zastosowano je do oceny poziomu zanieczyszczenia środowiska regionu śląsko-krakowskiego i bielsko-bialskiego.

Teren badań

Terenem badań był obszar obejmujący byłe województwa krakowskie, katowickie, bielsko-bialskie (wg podziału obowiązującego do 1999 r.; ryc. 1). Jest to obszar silnie uprzemysłowiony. Kontrolne próby zbierano w terenie słabo uprzemysłowionym w północno-wschodniej Polsce (byłe województwa suwalskie i białostockie).

Materiał i metody zastosowane w badaniach. Do oceny skażenia środowiska metalami ciężkimi użyto gatunku mchu o szerokim zasięgu geograficznym — *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. (rokitnik). *Pleurozium schreberi* występuje pospolicie na półkuli północnej, a znacznie rzadziej na półkuli południowej. Rośnie on zazwyczaj w borach sosnowych i świerkowych, rzadziej w lasach mieszanych, na wrzosowiskach i torfowiskach, na siedliskach od suchych do silnie wilgotnych, na glebach kwaśnych, zarówno na niżu, jak i w górach. Tworzy zwarte lub luźne darnie, rzadziej występuje w pojedynczych okazach.

Liczba zebranych próbek mchu w poszczególnych województwach wynosiła odpowiednio: 17 w bielskim, 52 w katowickim i 18 w województwie krakowskim (łącznie 87) oraz 21 w terenie kontrolnym (ryc. 1). Mchy zbierano w okresie od czerwca do września 1998 r., w lasach sosnowych, świerkowych bądź mieszanych. Próbkę średnią sta-

nowiły mchy o świeżej masie ok. 400 g, zebrane w obrębie lasu z powierzchni ok. 200 m², oddalonej co najmniej 300 m od głównych szlaków komunikacyjnych, a 100 m od mniejszych dróg i innych lokalnych źródeł zanieczyszczeń.

Zebrane w terenie próbki mchu były dokładnie czyszczone z opadłych igieł, liści, cząstek gleby, następnie oddzielono część zieloną (młodsza) od brązowej (starszej). Do analiz chemicznych użyto tylko zielonej części mchu, reprezentujące przyrosty ostatnich 3 lat. Niemycie próby suszono i mineralizowano w mieszaninie stężonych, spektralnie czystych (MERCK) kwasów — azotowego (HNO₃) i nadchlorowego (HClO₄) w stosunku 4:1. W uzyskanych roztworach określano stężenia 6 metali ciężkich (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) metodą płomieniowej absorpcji atomowej (AAS) przy użyciu aparatu Varian 20 BQ. W części próbek (gdzie zawartość pierwiastków była poniżej 1 mg/kg) koncentracje metali oznaczano metodą bezpłomieniową na kuwecie grafitowej GTA-96. Urządzenie pomiarowe było kalibrowane na znanych koncentracjach podanych w roślinnym materiale wzorcowym (SRM 1575 — igły sosny) zalecanym przez Instytut Standardów i Technologii (National Institute of Standards and Technology, Washington DC). Oznaczenia pierwiastków wykonano w laboratorium Pracowni Ekologii Środowiskowej Zakładu Ekologii Instytutu Botaniki PAN w Krakowie. Zróżnicowanie wartości stężeń każdego badanego pierwiastka w terenie przedstawiono w formie map warstwicznych wykonanych za pomocą programu graficzno-analitycznego Surfer firmy Golden Software.

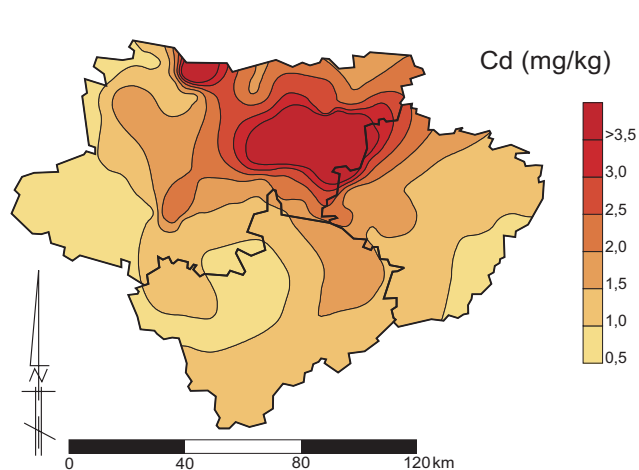
Koncentracja metali ciężkich w mchach z wybranych obszarów

Zawartości metali ciężkich w mchu *Pleurozium schreberi* były bardzo zróżnicowane (tab. 1). Koncentracja kadmu mieściła się w zakresie 0,03–16,76 mg/kg, chromu 0,4–98,8 mg/kg, miedzi 3,1–21,4 mg/kg, niklu 0,98–7,57 mg/kg, ołowiu 5,6–666 mg/kg oraz cynku 22–877 mg/kg. Średnia zawartość metali w mchu z badanego obszaru była z reguły kilkakrotnie wyższa niż w mchach z terenu północno-wschodniej części kraju (obszar kontrolny).

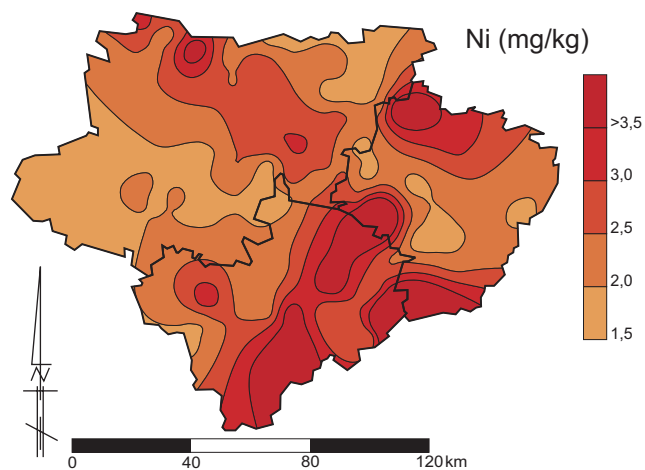
Przestrzenny rozkład stężeń metali ciężkich w mchu z obszaru trzech województw Polski południowej przedstawiono na ryc. 2–7.

Kadm–Cd. Średnia koncentracja kadmu w badanym obszarze (tj. w regionie śląsko-krakowskim i bielsko-bialskim) wynosiła 2,17 mg/kg (przy zakresie od 0,60 do 16,76 mg/kg). W porównaniu do obszaru kontrolnego była to wartość 24-krotnie wyższa (tab. 1).

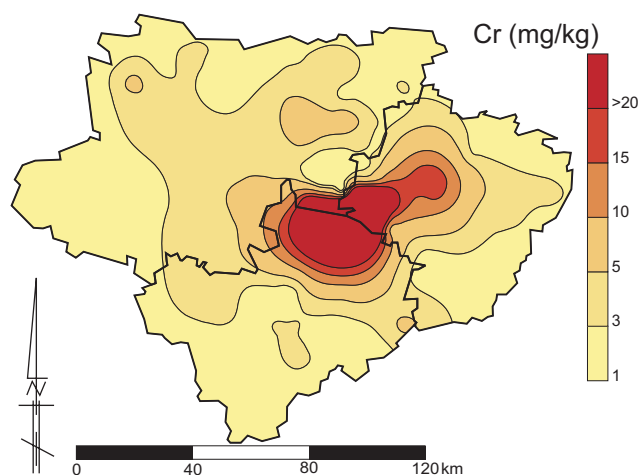
Na południu najwyższą koncentrację kadmu stwierdzono w mchach zebranych na terenie województwa kato-



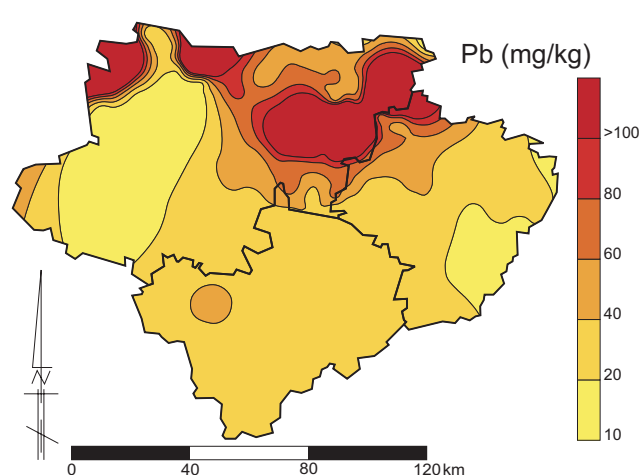
Ryc. 2. Przestrzenne zróżnicowanie stężenia kadmu (Cd) w mchu *Pleurozium schreberi* w południowej Polsce
Fig. 2. Spatial differentiation of cadmium (Cd) concentrations in *Pleurozium schreberi* in southern Poland



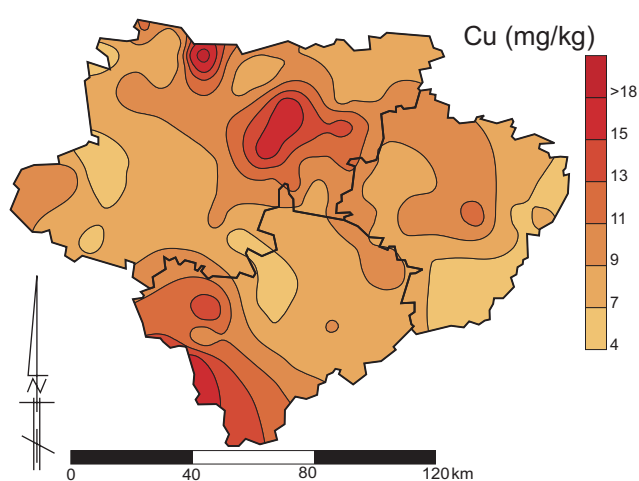
Ryc. 5. Przestrzenne zróżnicowanie stężenia niklu (Ni) w mchu *Pleurozium schreberi* w południowej Polsce
Fig. 5. Spatial differentiation of nickel (Ni) concentrations in *Pleurozium schreberi* in southern Poland



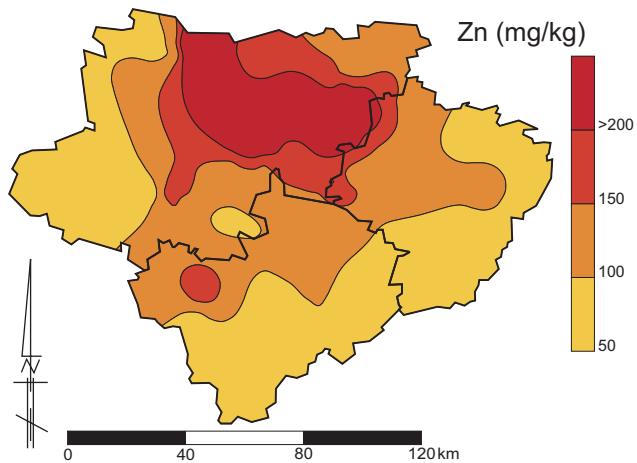
Ryc. 3. Przestrzenne zróżnicowanie stężenia chromu (Cr) w mchu *Pleurozium schreberi* w południowej Polsce
Fig. 3. Spatial differentiation of chromium (Cr) concentrations in *Pleurozium schreberi* in southern Poland



Ryc. 6. Przestrzenne zróżnicowanie stężenia ołowiu (Pb) w mchu *Pleurozium schreberi* w południowej Polsce
Fig. 6. Spatial differentiation of lead (Pb) concentrations in *Pleurozium schreberi* in southern Poland



Ryc. 4. Przestrzenne zróżnicowanie stężenia miedzi (Cu) w mchu *Pleurozium schreberi* w południowej Polsce
Fig. 4. Spatial differentiation of copper (Cu) concentrations in *Pleurozium schreberi* in southern Poland



Ryc. 7. Przestrzenne zróżnicowanie stężenia cynku (Zn) w mchu *Pleurozium schreberi* w południowej Polsce
Fig. 7. Spatial differentiation of zinc (Zn) concentrations in *Pleurozium schreberi* in southern Poland

Tab. 1. Stężenie metali ciężkich w mchu w północno-wschodniej (1) i południowej (2) Polsce w 1998 r.

| Obszar | Wartość | Cd | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn |
|---------------------------|---------|-------------|------|------|------|-------|-----|
| | | mg/kg (ppm) | | | | | |
| 1 n = 21 | min. | 0,03 | 0,4 | 3,1 | 0,98 | 5,6 | 22 |
| | maks. | 0,14 | 1,2 | 5,3 | 1,9 | 20,9 | 103 |
| | md. | 0,10 | 0,8 | 4,7 | 1,37 | 8,9 | 35 |
| | śr. a. | 0,09 | 0,8 | 4,5 | 1,42 | 17,9 | 37 |
| | śr. g. | 0,08 | 0,8 | 4,5 | 1,39 | 11,1 | 36 |
| 2 n = 87 | min. | 0,60 | 1,2 | 4,2 | 1,43 | 8,8 | 56 |
| | maks. | 16,76 | 98,8 | 21,4 | 7,57 | 666,0 | 877 |
| | md. | 1,53 | 3,3 | 8,6 | 2,28 | 35,4 | 118 |
| | śr. a. | 2,17 | 6,2 | 9,4 | 2,51 | 69,4 | 150 |
| | śr. g. | 1,70 | 3,8 | 9,0 | 2,38 | 40,4 | 128 |
| woj. bielskie n = 17 | min. | 0,73 | 1,8 | 6,8 | 1,78 | 22,1 | 72 |
| | maks. | 1,62 | 14,8 | 17,4 | 7,57 | 47,2 | 197 |
| | md. | 1,17 | 3,1 | 8,3 | 2,55 | 29,4 | 91 |
| | śr. a. | 1,18 | 4,0 | 9,3 | 3,06 | 31,9 | 97 |
| woj. katowickie n = 52 | min. | 0,60 | 1,2 | 4,2 | 1,43 | 8,8 | 60 |
| | maks. | 16,76 | 46,0 | 21,4 | 4,04 | 666,0 | 877 |
| | md. | 1,90 | 2,9 | 9,1 | 2,2 | 52,2 | 142 |
| woj. krakowskie n = 18 | śr. a. | 2,68 | 4,2 | 9,6 | 2,3 | 94,0 | 179 |
| | min. | 0,74 | 2,6 | 5,1 | 1,65 | 16,6 | 56 |
| | maks. | 3,16 | 98,8 | 12,2 | 6,05 | 76,2 | 175 |
| | md. | 1,38 | 4,3 | 8,8 | 2,24 | 30,0 | 118 |
| | śr. a. | 1,64 | 14 | 8,6 | 2,63 | 33,9 | 118 |

n — liczba próbek; min., maks. — minimalna i maksymalna wartość, md. — mediana, śr. a. — średnia arytmetyczna, śr. g. — średnia geometryczna

wickiego i częściowo krakowskiego. Szczególnie wysokie stężenia były w próbkach z okolic Olkusza, Sławkowa oraz Miasteczka Śląskiego (ryc. 2). Wysoka zawartość Cd w mchu spowodowana była emisją zanieczyszczeń ze zlokalizowanych w tych miejscowościach zakładów przetwórczych rud cynkowo-olowiowych. W województwie krakowskim wysoka zawartość kadmu w *Pleurozium schreberi* została stwierdzona w zachodniej części tego obszaru, w okolicach Trzyciąża, w Pieskowej Skale, Filipowskiej Woli, w Rudniańskim Parku Krajobrazowym i Alwernii. Tereny te są objęte wpływami zanieczyszczeń pochodzących z wyżej wymienionych źródeł emisji. Na pozostałym obszarze Polski południowej koncentracje wahały się w przedziale 0,6–2,0 mg/kg. Najmniej zanieczyszczona kadmem była wschodnia część województwa krakowskiego, północno-zachodnia część województwa bielskiego oraz zachodnia część województwa katowickiego.

Chrom–Cr. W objętym badaniach obszarze południowej Polski średnia zawartość chromu w mchu wynosiła 6,2 mg/kg (przy wahaniami od 1,2 do 98,8 mg/kg) i była prawie 8-krotnie wyższa niż w terenie kontrolnym (tab. 1).

Wysoką zawartość chromu w *Pleurozium schreberi* (powyżej 20 mg/kg) stwierdzono w zachodnim fragmencie województwa krakowskiego, południowo-wschodnim województwa katowickiego i północnym bielskiego (ryc. 3). Najwyższą koncentrację tego metalu (powyżej 40 mg/kg) stwierdzono w próbkach mchu zebranych w okolicach Alwernii, w Rudniańskim Parku Krajobrazowym i

Kwaczale, w województwie krakowskim oraz w okolicach Oświęcimia w województwie katowickim. Źródłami emisji zanieczyszczeń w tym obszarze są głównie zakłady chemiczne w Oświęcimiu i Alwernii. Na pozostałym obszarze koncentracja chromu w mchu była znacznie niższa i mieściła się w granicach 1,2–5 mg/kg. Najniższa zawartość Cr została określona we wschodniej i południowej części województwa krakowskiego, a także w zachodniej części województwa katowickiego oraz w południowo-wschodniej i południowej części województwa bielskiego.

Miedź–Cu. Średnia koncentracja miedzi w mchu, w objętym badaniach obszarze na południu Polski wynosiła 9,4 mg/kg (przy zakresie stężeń od 4,2 do 21,4 mg/kg). Wartość ta była dwukrotnie wyższa w porównaniu do średniej z terenu kontrolnego (tab. 1).

Wysoką koncentrację miedzi w *Pleurozium schreberi* (powyżej 15 mg/kg) stwierdzono na terenie województwa katowickiego w okolicach Miasteczka Śląskiego i Tarnowskich Gór oraz w rejonie Dąbrowy Górniczej i Jaworzna (ryc. 4). Skażenie środowiska tych obszarów jest związane głównie z działalnością zakładów chemicznych, elektrowni i koksowni. Stosunkowo wysoka koncentracja miedzi (powyżej 13 mg/kg) stwierdzono w południowo-zachodniej części województwa bielskiego oraz lokalnie w okolicach Jasienicy i Kalwarii Zebrzydowskiej. Najwyższą koncentrację miedzi w województwie krakowskim (powyżej 9 mg/kg) określono w próbkach mchu, pochodzących ze środkowej i północno-zachodniej części województwa. Związane one były z wpływami lokalnych emitorów (huty

stali im. T. Sendzimira) oraz emisjami z terenu województwa katowickiego.

Nikiel–Ni. W badanych województwach południowej Polski koncentracja tego metalu w mchu wahała się w granicach od 1,43 do 7,57 mg/kg. Średnia zawartość niklu dla tego obszaru wynosiła 2,51 mg/kg i była prawie 2 razy wyższa od średniej w północno-wschodniej Polsce (tab. 1).

Najwyższą zawartość niklu w *Pleurozium schreberi* stwierdzono w południowo-wschodniej, północno-wschodniej i wschodniej części województwa bielskiego oraz północnej i południowo-zachodniej krakowskiego (ryc. 5). W województwie bielskim najwyższa wartość (powyżej 3,5 mg/kg) była w próbkach z rejonu Makowa Podhalańskiego, Świnnej, Wadowic i Łękawicy. W województwie krakowskim najwyższa koncentracja (powyżej 2,5 mg/kg) wystąpiła w jego północno-zachodniej i zachodniej części: w okolicy Trzyciąża, Pieskowej Skały, Alwernii, a także Goszczy. W województwie katowickim największą wartość Ni w mchu (powyżej 2,5 mg/kg) określono w Miasteczku Śląskim, Tarnowskich Górach, w okolicach Siewierza, Sławkowa i Jaworzna. Otrzymany obraz rozmieszczenia niklu nie pokrywa się z rozmieszczeniem dużych emitatorów zanieczyszczeń powietrza; najwyższe stężenie nie wystąpiło bowiem w mchu zebranym w obszarach położonych w najbliższym sąsiedztwie emitatorów, lecz w miejscach znacznie oddalonych od nich.

Ołów–Pb. Średnia koncentracja ołowiu w omawianym obszarze wynosiła 69,4 mg/kg (przy zakresie stężeń od 8,8 do 666,0 mg/kg) i była ok. 4 razy wyższa niż w terenie kontrolnym (tab. 1).

Wysoką koncentrację ołowiu (powyżej 100 mg/kg) stwierdzono w mchu zebranym w województwie katowickim (ryc. 6). Maksymalna zawartość tego pierwiastka wystąpiła w próbkach pochodzących ze stanowisk, do których docierają emisje z zakładów przemysłu wydobywczego lub przetwórczego rud cynkowo-ołowiowych, tj. w Hutkach, Miasteczku Śląskim, okolicach Olkusza, a także w Wolbromiu, okolicach Toszka i Sławkowa. W województwie bielskim najwyższe stężenie Pb (powyżej 40 mg/kg) stwierdzono lokalnie w mchu zebranym z okolicy Jasienicy, a w krakowskim w próbkach mchu zebranych w jego północno-zachodniej i zachodniej części. W województwie krakowskim wysoka zawartość ołowiu w mchu związana była z emisjami zanieczyszczeń z zakładów przemysłowych, docierających z województwa katowickiego. Na pozostałym obszarze koncentracja Pb wahała się w granicach 10–40 mg/kg. Najniższa była w zachodniej i wschodniej części południowych województw.

Cynk–Zn. Średnia koncentracja cynku w mchu w regionie śląsko-krakowskim i bielsko-bialskim wynosiła 150 mg/kg i była 4 razy wyższa od wartości średniej dla terenu kontrolnego. Zakres stężeń w regionie śląsko-krakowskim i bielsko-bialskim wahał się od 56 do 877 mg/kg (tab. 1).

Najwyższą koncentrację cynku (powyżej 200 mg/kg) stwierdzono w próbkach *Pleurozium schreberi*, zebranych w województwie katowickim, tj. z okolic Hutek, Olkusza, Miasteczka Śląskiego i Sławkowa — terenów związanych z wydobywaniem lub przetwórstwem rud cynku (ryc. 7). Wysoką zawartość Zn stwierdzono również w mchu zebranym na terenach oddalonych od głównych źródeł emisji

tego metalu. W województwie bielskim wysoką koncentrację cynku w mchu stwierdzono, analogicznie jak w przypadku ołowiu, lokalnie w okolicach Jasienicy. Na pozostałym obszarze badanych województw na południu kraju zawartość Zn w tym gatunku mchu wahała się w granicach 50–100 mg/kg.

Podsumowanie

W niniejszych badaniach dokonano oceny skażenia środowiska regionu śląsko-krakowskiego i bielsko-bialskiego metalami ciężkimi (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) przy użyciu mchu *Pleurozium schreberi* oraz porównano skażenie tego obszaru z terenem północno-wschodniej Polski.

W badanym terenie stwierdzono zróżnicowanie koncentracji metali ciężkich w *Pleurozium schreberi*. Ich poziom w mchu był zgodny z rozmieszczeniem źródeł emisji. Najwyższą zawartość metali stwierdzono na terenie województwa katowickiego, niższą — krakowskiego i bielskiego. W obrębie województw wydzielono obszary o mniejszym lub większym stopniu zanieczyszczenia metalami. Najwyższą koncentrację metali ciężkich stwierdzono w próbkach mchu, zebranych głównie w województwie katowickim w północnej i wschodniej jego części, w zachodniej części województwa krakowskiego, przylegającej do województwa katowickiego oraz w województwie bielskim w jego części północnej. Mech *Pleurozium schreberi* okazał się czułym wskaźnikiem zanieczyszczenia środowiska metalami ciężkimi i powinien być on rutynowo stosowany w ocenach stanu środowiska.

Literatura

- GRODZIŃSKA K. 1983 — Mchy i kora drzew jako czułe wskaźniki skażenia środowiska gazami i pyłami przemysłowymi. [W:] J. Fabiszewski (red.). Bioindykacja skażeń przemysłowych i rolniczych. PAN, Wrocław, Kom. Nauk o Ziemi: 67–86.
- GRODZIŃSKA K. 1990 — Long-term ecological monitoring in the National Parks of Poland. [W:] Grodziński W., Cowling E.B. & Breymeyer A.J. (reds). Ecological risks-perspectives from Poland and the United States. Washington, DC: National Academy Press: 232–248.
- GRODZIŃSKA K. & SZAREK-ŁUKASZEWSKA G. 1995 — Skażenie środowiska Polski na tle Europy. Wiad. Bot., 39: 31–38.
- GRODZIŃSKA K., SZAREK-ŁUKASZEWSKA G. & GODZIK B. 1999 — Survey of heavy metal deposition in Poland using mosses as indicators. Sci. Total Environ., 229: 41–51.
- GRODZIŃSKA K., SZAREK-ŁUKASZEWSKA G., GODZIK B., BRANIEWSKI S., BUDZIAKOWSKA E., CHRZANOWSKA E., PAWŁOWSKA B. & ZIELONKA T. 1997 — Ocena skażenia środowiska Polski metalami ciężkimi przy użyciu mchów jako bio wskaźników. Bibl. Monit. Środ., Warszawa: 30–34.
- HERPIN U., BERLEKAMP J. & MARKERT B. 1996 — The distribution of heavy metals in a transect of tree states the Netherlands, Germany and Poland determined with the aid of moss monitoring. Sc. Total Environ., 187: 185–198.
- LIS J. & PASIECZNA A. 1995 — Atlas geochemiczny Polski. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- Ochrona Środowiska** 1998 — Rocznik statystyczny. 1998. Główny Urząd Statystyczny. Warszawa.
- RÜHLING A., STEINNES E. & BERG T. 1996 — Atmospheric heavy metal deposition in northern Europe 1995. Nord, 37: 1–46.
- TYLER G. 1971 — Moss analysis — a method for surveying heavy metal concentration. 2nd Intern. Washington, DC: Clean Air Congr: 129–132.
- ZECHMEISTER H. 1997 — Schermetalldeposition in Österreich erfasst durch Biomonitoring mit Moosen (Aufsammlung 1995). Wien: Umweltbundesamt Monographien M-094: 1–145.