

EDMUND HAJDUK, JANINA KANIUCZAK, STANISŁAW WŁAŚNIEWSKI

Katedra Gleboznawstwa, Chemii Środowiska i Hydrologii, Uniwersytet Rzeszowski

## ZAWARTOŚĆ METALI CIĘŻKICH W GLEBACH UPRAWNYCH Z OKOLIC ELEKTROWNI STAŁOWA WOLA

### THE CONTENT OF HEAVY METALS IN ARABLE SOILS FROM THE VICINITY OF THE STAŁOWA WOLA POWER PLANT

*Abstract:* The paper presents the total content of selected heavy metals from soils located at various distances from the Stałowa Wola Power Plant. The sampling points were situated at different distances from the pollution source (500–4500 m) and in different geographical directions (north and east). The average quantities of metals in the studied soils reached: Cu – 12.3, Zn – 56.1, Cr – 52, Cd – 0.331, Pb – 13.5, Ni – 21.8, and Co – 4.8 mg·kg<sup>-1</sup>. The total content of the studied heavy metals did not exceed values admissible for arable soils in Poland. Average quantities of the studied heavy metals in soils located to the east of the power plant were higher in comparison to analogous values in soils located to the north (with the exception of the cadmium content which was statistically significantly higher) and to average values in the control point. Correlation coefficients between the content of the analyzed elements in soils and the distance from the power plant were negative and statistically insignificant. Regardless of the direction, at distances exceeding 4000 m, the coefficients of enrichment of soils in Cu, Zn, Cr, Ni, Co were below 1 (in the case of Cd and Pb at distances exceeding 4500 m), which allows a supposition that the influence of the power plant on the content of heavy metals in soils located in its vicinity was limited to a distance of 4500 m.

*Słowa kluczowe:* metale ciężkie, elektrownia, zanieczyszczenie gleby

*Key words:* heavy metals, power plant, soil contamination

#### WSTĘP

Problematyka wpływu zakładów przemysłowych na środowisko była tematem wielu publikacji. Zazwyczaj przedmiotem badań są duże ośrodki przemysłu chemicznego, metalurgicznego, górnictwa lub energetyki [Kabata-Pendias, Pendias 1993; Pacyna, Pacyna 2001; Rostański 1997; Szerszeń i in. 2004]. Mniej uwagi poświęca się małym i średnim przedsiębiorstwom.

Substancje wyemitowane do atmosfery, mogą pod wpływem prądów powietrznych rozprzestrzeniać się na znaczne odległości. Z czasem w formie nie zmienionej, jak również produkty ich przemian dostają się do gleby [Baran, Turski 1996]. Szczególną uwagę poświęca się na ogół emisjom do środowiska metali ciężkich, gdyż ich mobilność w glebie jest na ogół niewielka. Sprzyja to ich szybkiej kumulacji, co w połączeniu z toksycznością, stwarza duże zagrożenie dla organizmów glebowych oraz może prowadzić do degradacji gleb i obniżenia jakości płodów rolnych.

Województwo podkarpackie jest rejonem typowo rolniczym, z niewielką ilością dużych zakładów prze-

mysłowych, zlokalizowanych w pobliżu ośrodków miejskich. Przykładem może być Stałowa Wola, gdzie jednym z większych aktualnie przedsiębiorstw jest elektrownia, bazująca na wykorzystaniu paliw stałych (w tym biomasy). Warto podkreślić, iż w Polsce pod względem branżowym energetyka ma największy udział w emisji cynku, niklu, kadmu, arsenu i miedzi [Gorlach, Gambuś 2000].

Celem podjętych badań było określenie właściwości fizykochemicznych gleb i ogólnej ilości Cd, Pb, Ni, Cu, Zn, Cr i Co w powierzchniowej i podpowierzchniowej warstwie gleb, zlokalizowanych w różnych odległościach od Elektrowni Stałowa Wola.

#### MATERIAŁ I METODYKA

Badaniami objęto gleby uprawne, zlokalizowane w otoczeniu Elektrowni Stałowa Wola (woj. podkarpackie). Próbkę gleb do badań laboratoryjnych (n=22) pobierano latem 2008 r. z dwóch warstw (0–25 i 26–50 cm) w różnych odległościach od emitora zanieczyszczeń (500–4500 m). Ponadto w odległości 18 000 m pobrano próbki kontrolne. Punkty

pobierania próbek były umiejscowione w dwóch kierunkach względem Zakładu: północnym oraz wschodnim, zgodnie z dominującymi na terenie województwa kierunkami wiatrów [Suchy 2008]. W analizowanym materiale określono:

- skład granulometryczny gleby metodą Cassagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego,
- odczyn gleby w zawiesinie KCl o stęż.  $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ ,
- kwasowość hydrolityczną metodą Kappena,
- sumę zasad wymiennych (S) i pojemność kompleksu sorpcyjnego gleby (T) metodą Kappena,
- stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi (V),
- całkowitą zawartość pierwiastków śladowych metodą spektrometrii absorpcji atomowej w płomieniu acetylenowo-powietrznym, po wcześniejszej mineralizacji próbek glebowych w stężonym  $\text{HClO}_4$  na gorąco. Kadm, ołów, nikiel i kobalt oznaczono po uprzedniej ekstrakcji kompleksów tych metali z APDC do ketonu metyloizobutyloвого (MIBK).

Korzystając z programu Statistica określono statystyczną istotność różnic między średnimi (wg testu Tukey'a,  $\alpha=0,05$ ) oraz obliczono współczynniki korelacji prostej pomiędzy zawartością metali ciężkich i odległością od emitorów zanieczyszczeń. Obliczono również wskaźniki koncentracji jako iloraz zawartości metalu w glebie w warstwie 0–25 cm i jego zawartości w warstwie 26–50 cm.

## WYNIKI I DYSKUSJA

Badane gleby wytworzone z aluwii rzeki San, charakteryzowały się zróżnicowanym uziarnieniem (tab. 1). W glebach zlokalizowanych na północ od Elektrowni Stałowa Wola stwierdzono średnio 43% frakcji o średnicy cząstek  $<0,02 \text{ mm}$  i były to na ogół gleby ilaste lub gliniaste o obojętnym odczynie, niewielkiej kwasowości i dużej pojemności kompleksu sorpcyjnego względem kationów (średnia wynosząca  $37,2 \text{ cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$  była statystycznie istotnie wyższa od średniej dla gleb z punktu kontrolnego oraz średniej dla gleb z kierunku wschodniego). Gleby położone na wschód od zakładu cechowały się uziarnieniem o mniejszej ilości najdrobniejszych frakcji. Średnia zawartość frakcji części  $<0,02 \text{ mm}$  była prawie 2-krotnie mniejsza – 24%. Były to zwykle gleby kwaśne, o średniej pojemności sorpcyjnej względem kationów (średnio  $12,9 \text{ cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$ ). Stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego gleb kationami zasadowymi w rozpatrywanych glebach był stosunkowo wysoki (powyżej 70%), przy czym średnia dla próbek z kierunku wschodniego wynosiła 93,8% i była o prawie 10% wyższa od średniej dla kierunku północnego.

TABELA 1. Podstawowe właściwości badanych gleb  
TABLE 1. Basic properties of examined soils

| Odległość<br>Distance               | $\text{pH}_{\text{KCl}}$ | Hh<br>Hydro-<br>lytic<br>acidity      | S<br>BEC | T<br>CEC | V<br>BS | Zawartość<br>cząstek;<br>Content<br>of particles |                     |  |  |
|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|----------|----------|---------|--|---------------------|--|--|
|                                     |                          |                                       |          |          |         | $<0,02 \text{ mm}$                               | $<0,002 \text{ mm}$ |  |  |
|                                     |                          | $\text{cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$ |          |          | %       |  | %                   |  |  |
| Kierunek wschodni – East direction  |                          |                                       |          |          |         |  |                     |  |  |
| 500 m                               | 6,84**                   | 0,5                                   | 43,4     | 43,9     | 98,8    | 39   | 12                  |  |  |
|                                     | 6,99                     | 0,4                                   | 47,2     | 47,6     | 99,2    | –  | –                   |  |  |
| 700 m                               | 6,61                     | 2,5                                   | 33,0     | 35,5     | 93,0    | 52   | 17                  |  |  |
|                                     | 6,94                     | 2,3                                   | 47,2     | 49,5     | 95,3    | –  | –                   |  |  |
| 1000 m                              | 6,54                     | 0,6                                   | 27,0     | 27,6     | 97,8    | 53   | 24                  |  |  |
|                                     | 6,83                     | 0,5                                   | 46,6     | 47,1     | 99,0    | –  | –                   |  |  |
| 1500 m                              | 6,76                     | 0,5                                   | 34,6     | 35,1     | 98,5    | 45   | 17                  |  |  |
|                                     | 6,93                     | 0,4                                   | 48,0     | 48,4     | 99,2    | –  | –                   |  |  |
| 2000 m                              | 6,84                     | 0,5                                   | 26,8     | 27,3     | 98,3    | 46   | 23                  |  |  |
|                                     | 7,07                     | 0,4                                   | 47,0     | 47,4     | 99,2    | –  | –                   |  |  |
| 4000 m                              | 4,10                     | 6,1                                   | 15,0     | 21,1     | 71,2    | 32   | 19                  |  |  |
|                                     | 4,04                     | 6,2                                   | 21,0     | 27,2     | 77,1    | –  | –                   |  |  |
| Średnio                             | 6,28                     | 1,8                                   | 30,0     | 31,7     | 92,9    | 45   | 19                  |  |  |
|                                     | 6,47                     | 1,7                                   | 42,8     | 44,5     | 94,9    | –  | –                   |  |  |
| Średnia                             | 6,37a*                   | 1,7                                   | 36,4bc   | 38,1de   | 93,9    | 45   | 19                  |  |  |
| Mean                                |                          |                                       |          |          |         |  |                     |  |  |
| Kierunek północny – North direction |                          |                                       |          |          |         |  |                     |  |  |
| 900 m                               | 6,09                     | 0,8                                   | 4,8      | 5,6      | 85,3    | 2  | 1                   |  |  |
|                                     | 6,08                     | 0,7                                   | 2,0      | 2,7      | 74,8    | –  | –                   |  |  |
| 1500 m                              | 5,08                     | 3,0                                   | 12,6     | 15,6     | 80,8    | 35   | 19                  |  |  |
|                                     | 5,04                     | 2,3                                   | 13,0     | 15,3     | 85,2    | –  | –                   |  |  |
| 2000 m                              | 6,37                     | 0,8                                   | 29,0     | 29,8     | 97,5    | 36   | 17                  |  |  |
|                                     | 5,53                     | 0,5                                   | 8,8      | 9,3      | 95,1    | –  | –                   |  |  |
| 3500 m                              | 4,26                     | 3,0                                   | 8,6      | 11,6     | 74,1    | 23   | 14                  |  |  |
|                                     | 4,51                     | 1,3                                   | 6,2      | 7,5      | 82,9    | –  | –                   |  |  |
| 4500 m                              | 5,00                     | 2,4                                   | 10,8     | 13,2     | 81,8    | 24   | 17                  |  |  |
|                                     | 4,82                     | 2,5                                   | 15,8     | 18,3     | 86,5    | –  | –                   |  |  |
| Średnio                             | 5,36                     | 2,0                                   | 13,2     | 15,2     | 83,9    | 24   | 13                  |  |  |
|                                     | 5,20                     | 1,4                                   | 9,2      | 10,6     | 84,9    | –  | –                   |  |  |
| Średnia                             | 5,27a                    | 1,7                                   | 11,2c    | 12,9e    | 84,4    | 24   | 13                  |  |  |
| Mean                                |                          |                                       |          |          |         |  |                     |  |  |
| Kontrola – Control                  |                          |                                       |          |          |         |  |                     |  |  |
| 18 000 m                            | 5,02                     | 0,5                                   | 7,0      | 7,5      | 93,0    | 10   | 2                   |  |  |
|                                     | 5,18                     | 0,4                                   | 8,4      | 8,8      | 95,7    | –  | –                   |  |  |
| Średnia                             | 5,10                     | 0,5                                   | 7,7b     | 8,15d    | 94,4    | 10   | 2                   |  |  |
| Mean                                |                          |                                       |          |          |         |  |                     |  |  |

Objaśnienia – Explanations: \* jednakowymi literami oznaczono średnie różniące się istotnie statystycznie (NIR Tukey'a przy  $\alpha=0,05$ ), the averages differing statistical indeed were marked with the same letters (Tukey LSD at  $\alpha=0,05$ ); \*\* górną liczbą określa parametr w wierzchniej (0–25 cm) warstwie gleby, dolną w warstwie podpowierzchniowej (26–50 cm), the upper number defines the parameter in the top (0–25 cm) soil layer, bottom in the deeper layer (26–50 cm).

Wartości średnie ogólnej zawartości badanych metali w glebach z okolic Elektrowni Stałowa Wola przedstawiały się następująco: Cu – 12,3; Zn – 56,1; Cr – 52; Cd – 0,331; Pb – 13,5; Ni – 21,8; Co – 4,8  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (tab.

2). Nie przekraczały one wartości dopuszczalnych dla gleb niezanieczyszczonych, zamieszczonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi [2002]. Zawartości Cu, Pb i Cd w badanych glebach spełniały warunki pozwalające zakwalifikować je do kategorii gleb o naturalnej zawartości [Kabata-Pendias i in. 1993]. Natomiast 12,5% próbek charakteryzowało się słabym zanieczyszczeniem chromem (II stopień), dodatkowo 66,5% próbek podwyższoną zawartością tego pierwiastka. Nieco mniejsze zagrożenie stwierdzono ze strony cynku i niklu – po 8,3% próbek glebowych zakwalifikowano do kategorii I (zawartość podwyższona). Porównując uzyskane wyniki do rezultatów badań monitoringowych gleb Polski można stwierdzić, że maksymalne zawartości Cd, Ni, Cu i Zn wykroczyły poza zakresy oczekiwane (typowe dla zawartości naturalnej) dla warstw ornych gleb użytków rolnych Polski [Oleszek i in. 2003], przekraczały także (wyłączywszy Ni) zakresy oczekiwane dla gleb województwa podkarpackiego [Terelak, Tujaka 2003]. Ostatnio wymienieni autorzy zwracają uwagę, iż stosunkowo wysoka zawartość Ni w użytkowanych rolniczo glebach woj. podkarpackiego jest związana z podłożem (duży udział różnego rodzaju łupków i utworów fliszowych). Średnia ilość analizowanych metali ciężkich w glebach położonych na wschód od elektrowni była statystycznie istotnie wyższa w porównaniu do gleb z kierunku północnego (z wyjątkiem zawartości kadmu) oraz do średnich w punkcie kontrolnym (aczkolwiek tu różnice pomiędzy średnimi były statystycznie istotne tylko w przypadku miedzi, chromu i niklu) (tab. 2). Porównując średnie zawartości analizowanych metali w glebach z kierunku północnego z analogicznymi średnimi w punkcie kontrolnym, nie udowodniono różnic istotnych statystycznie, aczkolwiek za wyjątkiem cynku i ołowiu średnie w punkcie kontrolnym były nieco niższe. Taki układ z jednej strony może być wynikiem znacniejszej immisji analizowanych metali na wschód od zakładu w porównaniu z kierunkiem północnym, z drugiej może po części wynikać z większych w tym kierunku właściwości sorpcyjnych gleby związanych ściśle z ilością części ilastych (tab. 1). Średnie zawartości badanych metali w wierzchniej warstwie gleb (0–25 cm) z kierunku północnego były wyższe, aniżeli średnie w warstwach podpowierzchniowych (26–50 cm). W kierunku wschodnim natomiast, w warstwie ornej gleb, średnia zawartość dwóch pierwiastków (Cr, Co) była niższa w porównaniu do średnich z głębokości 26–50 cm. Analogiczny układ (dodatkowo dla Cu i Ni) stwierdzono w punkcie kontrolnym. Może to być efektem znacznego ograniczenia emisji pyłowych do at-

TABELA 2. Całkowita zawartość metali ciężkich w badanych glebach

TABLE 2. Total contents of heavy metals in examined soils

| Odległość<br>Distance               | Cu              | Zn           | Cr       | Cd             | Pb           | Ni           | Co          |
|-------------------------------------|-----------------|--------------|----------|----------------|--------------|--------------|-------------|
| mg·kg <sup>-1</sup>                 |                 |              |          |                |              |              |             |
| Kierunek wschodni – East direction  |                 |              |          |                |              |              |             |
| 500 m                               | 19,6 **<br>13,8 | 99,4<br>62,3 | 69<br>58 | 0,409<br>0,252 | 21,0<br>13,2 | 32,0<br>23,1 | 6,7<br>5,5  |
| 700 m                               | 19,7<br>10,9    | 89,0<br>48,8 | 77<br>54 | 0,462<br>0,208 | 22,1<br>10,8 | 36,4<br>24,2 | 8,0<br>2,1  |
| 1000 m                              | 17,9<br>24,1    | 80,8<br>92,3 | 70<br>88 | 0,641<br>0,512 | 22,5<br>21,1 | 36,6<br>39,9 | 7,7<br>10,7 |
| 1500 m                              | 16,5<br>15,2    | 75,9<br>60,0 | 67<br>65 | 0,517<br>0,401 | 16,9<br>15,4 | 24,5<br>23,0 | 5,7<br>6,6  |
| 2000 m                              | 10,6<br>10,5    | 56,3<br>44,2 | 55<br>53 | 0,484<br>0,308 | 14,3<br>9,6  | 21,5<br>23,6 | 3,1<br>5,2  |
| 4000 m                              | 14,5<br>18,7    | 72,7<br>84,0 | 63<br>88 | 0,452<br>0,318 | 20,6<br>10,5 | 24,6<br>36,8 | 5,8<br>7,7  |
| Średnio<br>Mean                     | 16,5<br>15,5    | 79,0<br>65,3 | 67<br>68 | 0,494<br>0,333 | 19,6<br>13,4 | 29,3<br>28,4 | 6,2<br>6,3  |
| Średnia<br>Mean                     | 16,0ab*         | 72,1c        | 67de     | 0,429          | 16,5f        | 28,8gh       | 6,2i        |
| Kierunek północny – North direction |                 |              |          |                |              |              |             |
| 900 m                               | 4,0<br>2,6      | 20,6<br>11,4 | 16<br>11 | 0,020<br>0,108 | 6,1<br>3,8   | 6,8<br>5,8   | 2,0<br>0,1  |
| 1500 m                              | 13,1<br>13,8    | 60,9<br>64,4 | 52<br>56 | 0,466<br>0,454 | 10,2<br>17,1 | 19,0<br>22,5 | 3,7<br>6,0  |
| 2000 m                              | 15,4<br>5,9     | 65,6<br>19,0 | 60<br>23 | 0,507<br>0,140 | 18,6<br>4,1  | 25,7<br>10,3 | 5,8<br>2,1  |
| 3500 m                              | 8,9<br>5,5      | 34,5<br>16,0 | 39<br>27 | 0,290<br>0,140 | 12,3<br>4,8  | 15,7<br>11,4 | 4,0<br>2,6  |
| 4500 m                              | 9,8<br>12,7     | 46,8<br>60,0 | 41<br>60 | 0,234<br>0,241 | 12,9<br>13,6 | 16,8<br>26,1 | 3,9<br>4,2  |
| Średnio<br>Mean                     | 10,2<br>8,1     | 45,7<br>34,2 | 42<br>35 | 0,299<br>0,216 | 12,0<br>8,7  | 16,8<br>15,2 | 3,9<br>3,0  |
| Średnia<br>Mean                     | 9,2a            | 39,9c        | 38d      | 0,258          | 10,4f        | 16,0h        | 3,4i        |
| Kontrola – Control                  |                 |              |          |                |              |              |             |
| 18000 m                             | 5,1<br>5,4      | 43,2<br>37,1 | 28<br>29 | 0,240<br>0,182 | 11,4<br>10,5 | 8,0<br>8,6   | 2,8<br>3,1  |
| Średnia<br>Mean                     | 5,2b            | 40,2         | 28,5e    | 0,211          | 11,0         | 8,3g         | 2,9         |

Objaśnienia jak w tabeli 1 – Explanations as in table 1.

mosfery [Suchy 2008]. Szerszeń i in. [2004] analizując zmiany zawartości miedzi, ołowiu i cynku w glebach w rejonie hut miedzi zauważyli, że przy braku lub niewielkim dopływie metali z zanieczyszczeń atmosferycznych, ich zawartość w powierzchniowej warstwie gleby ulega stałemu obniżeniu w warunkach normalnej produkcji rolniczej, przy czym tempo ubytku metali zależy m.in. od początkowego stopnia zanieczyszczenia i właściwości gleby.

Jankiewicz i Adamczyk [2007] badając gleby wokół Elektrociepłowni EC4 w Łodzi stwierdzili

TABELA 3. Współczynniki korelacji prostej pomiędzy zawartością badanych metali ciężkich śladowych w glebie i odległością od zakładu (wartości nad przekątną odnoszą się do warstwy 0–25 cm, pod przekątną 26–50 cm)

TABLE 3. Coefficients of simple correlation among the content of studied heavy metals in the soil and distance from the plant (the values over the diagonal treat to the layer 0–25 cm, under the diagonal 26–50 cm)

|                                     | Odl. | Cu       | Zn      | Cr       | Cd      | Pb     | Ni      | Co      |
|-------------------------------------|------|----------|---------|----------|---------|--------|---------|---------|
| Kierunek wschodni – East direction  |      |          |         |          |         |        |         |         |
| Odl.                                | –    | n.i.     | n.i.    | n.i.     | n.i.    | n.i.   | n.i.    | n.i.    |
| Cu                                  | n.i. | –        | 0,953** | 0,942**  | n.i.    | n.i.   | 0,844*  | 0,925** |
| Zn                                  | n.i. | 0,971*** | –       | 0,816*   | n.i.    | n.i.   | n.i.    | 0,811*  |
| Cr                                  | n.i. | 0,934**  | 0,966** | –        | n.i.    | n.i.   | 0,866*  | 0,953** |
| Cd                                  | n.i. | 0,818*   | n.i.    | n.i.     | –       | n.i.   | n.i.    | n.i.    |
| Pb                                  | n.i. | n.i.     | n.i.    | n.i.     | 0,846*  | –      | 0,860*  | 0,931** |
| Ni                                  | n.i. | 0,898*   | 0,919** | 0,946**  | n.i.    | n.i.   | –       | 0,908*  |
| Co                                  | n.i. | 0,924**  | 0,866*  | 0,847*   | 0,902*  | n.i.   | n.i.    | –       |
| Kierunek północny – North direction |      |          |         |          |         |        |         |         |
| Odl.                                | –    | n.i.     | n.i.    | n.i.     | n.i.    | n.i.   | n.i.    | n.i.    |
| Cu                                  | n.i. | –        | 0,980** | 0,994*** | 0,979** | n.i.   | 0,980** | 0,887*  |
| Zn                                  | n.i. | 0,986**  | –       | 0,965**  | 0,941*  | n.i.   | 0,935*  | n.i.    |
| Cr                                  | n.i. | 0,985**  | 0,971** | –        | 0,982** | n.i.   | 0,983** | 0,900*  |
| Cd                                  | n.i. | n.i.     | n.i.    | n.i.     | –       | n.i.   | 0,945*  | n.i.    |
| Pb                                  | n.i. | 0,967**  | 0,986** | 0,940*   | 0,9340* | –      | 0,918*  | 0,986** |
| Ni                                  | n.i. | 0,971**  | 0,964** | 0,996*** | n.i.    | 0,921* | –       | 0,960** |
| Co                                  | n.i. | 0,954*   | 0,905*  | 0,920*   | 0,913*  | 0,915* | 0,883*  | –       |

Objaśnienia – Explanations: \* istotny przy, significant at  $\alpha=0.05$ , \*\* istotny przy, significant at  $\alpha=0.01$ ; \*\*\* istotny przy, significant at  $\alpha=0.001$ , n.i. – nieistotny, not significant; Odl. – odległość od emitora, distance from the source pollution.

znaczące zróżnicowanie zawartości metali ciężkich w glebach z różnych kierunków. W przeprowadzonych badaniach nie stwierdzono istotnych statystycznie korelacji pomiędzy zawartością metali w badanych glebach a odległością od zakładu (tab. 3). Stwierdzono jednakże, iż współczynniki korelacji pomiędzy wszystkimi analizowanymi metalami zawartymi w wierzchniej warstwie gleb, położonych na wschód od zakładu a odległością od emitora, były ujemne. Można zauważyć, iż w tym kierunku zawartość metali ciężkich (za wyjątkiem cynku) w 0–25 cm warstwie gleb w miarę oddalania się od elektrowni do 700–1000 m rosła, dalej obniżała się (tab. 2). Najwięcej cynku stwierdzono w glebie w punkcie położonym 500 m od emitora. W punktach odległych o 700 m od zakładu obliczono największe wartości współczynników wzbogacenia warstwy wierzchniej (tab. 4). Analizując warstwy podpowierzchniowe gleb największe koncentracje badanych metali stwierdzono w odległości 1000 m. W wierzchnich warstwach gleb natomiast, położonych na północ od zakładu, największe ilości metali ciężkich stwierdzono w odległości 2000 m. Tu także dla wszystkich badanych pierwiastków wystąpiły najwyższe wartości współczynników wzbogacenia warstwy wierzchniej. Zwraca uwagę fakt, iż w kierunku północnym średnie wartości tych współczynników dla wszystkich badanych metali były wyższe – pomimo niższych bezwzględnych koncentracji tych metali – aniżeli analogiczne średnie dla gleb położonych na wschód od zakładu

(tab. 4). Wskazuje to prawdopodobnie, na większą immisję pyłów zawierających metale ciężkie w kierunku północnym. Z drugiej strony, niezależnie od kierunku, w odległości powyżej 4000 m od elektrowni współczynniki wzbogacenia gleb dla Cu, Zn, Cr, Ni, Co osiągały wartości mniejsze od 1 (w przypadku Cd i Pb w odległości powyżej 4500 m), co wskazuje na

TABELA 4. Współczynniki wzbogacenia warstwy wierzchniej  
TABLE 4. The coefficients of enrichment of the top layer

| Odległość<br>Distance               | Cu   | Zn   | Cr   | Cd   | Pb   | Ni   | Co    |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Kierunek wschodni – East direction  |      |      |      |      |      |      |       |
| 500 m                               | 1,42 | 1,60 | 1,19 | 1,62 | 1,59 | 1,39 | 1,23  |
| 700 m                               | 1,81 | 1,82 | 1,43 | 2,22 | 2,05 | 1,51 | 3,85  |
| 1000 m                              | 0,74 | 0,88 | 0,80 | 1,25 | 1,07 | 0,92 | 0,72  |
| 1500 m                              | 1,09 | 1,27 | 1,03 | 1,29 | 1,10 | 1,06 | 0,87  |
| 2000 m                              | 1,01 | 1,27 | 1,04 | 1,57 | 1,49 | 0,91 | 0,58  |
| 4000 m                              | 0,78 | 0,87 | 0,72 | 1,42 | 1,96 | 0,67 | 0,76  |
| Średnia<br>Mean                     | 1,14 | 1,28 | 1,03 | 1,56 | 1,54 | 1,07 | 1,34  |
| Kierunek północny – North direction |      |      |      |      |      |      |       |
| 900 m                               | 1,54 | 1,81 | 1,45 | 0,02 | 1,61 | 1,17 | 20,15 |
| 1500 m                              | 0,95 | 0,95 | 0,93 | 1,03 | 0,60 | 0,84 | 0,61  |
| 2000 m                              | 2,61 | 3,45 | 2,61 | 3,63 | 4,54 | 2,49 | 2,73  |
| 3500 m                              | 1,62 | 2,16 | 1,44 | 2,08 | 2,56 | 1,37 | 1,55  |
| 4500 m                              | 0,77 | 0,78 | 0,68 | 0,97 | 0,95 | 0,64 | 0,93  |
| Średnia<br>Mean                     | 1,50 | 1,83 | 1,42 | 1,58 | 2,05 | 1,30 | 5,19  |
| Kontrola – Control                  |      |      |      |      |      |      |       |
| 18 000 m                            | 0,94 | 1,16 | 0,97 | 1,32 | 1,09 | 0,93 | 0,91  |

przewagę procesów przemieszczania tych metali w głąb profilu glebowego nad procesami akumulacji. Można więc przypuszczać, że wpływ elektrowni na zawartość metali ciężkich w okolicznych glebach był ograniczony do odległości 4500 m.

Współczynniki korelacji prostej pomiędzy zawartościami metali ciężkich w badanych glebach były w większości przypadków istotne statystycznie (tab. 3). Wyjątkiem zwracającym uwagę był brak istotnych współzależności pomiędzy zawartością Pb w wierzchnich warstwach gleb a zawartością Cu, Zn, Cr, Cd (w kierunku wschodnim oprócz Cd także w warstwie podpowierzchniowej) oraz pomiędzy zawartością Cd i ilością innych metali w glebach kierunku wschodniego (w warstwie podpowierzchniowej oprócz Cu, Pb i Co). Warto podkreślić, że dla tych właśnie metali ciężkich obliczone współczynniki wzbogacenia warstwy wierzchniej osiągały spośród badanych pierwiastków szczególnie wysokie wartości. Może to wskazywać na znaczące nakładanie się w przypadku Cd i Pb innych (poza elektrownią) źródeł zanieczyszczeń tymi metalami okolicznych gleb.

## WNIOSKI

1. Ogólna zawartość analizowanych metali ciężkich w glebach z okolic Elektrowni Stalowa Wola nie przekraczała według norm prawnych obowiązujących w Polsce wartości dopuszczalnych dla niezanieczyszczonych gleb użytków rolnych.
2. Zawartości Cu, Pb i Cd w badanych glebach spełniały kryteria IUNG, pozwalające zakwalifikować je do kategorii niezanieczyszczonych. Natomiast 12,5% próbek charakteryzowało się słabym zanieczyszczeniem chromem (II stopień), dodatkowo ze względu na zawartość Cr – 66,5% próbek, Zn – 8,3%, Ni – 8,3%, charakteryzowało się zawartością podwyższoną (I stopień zanieczyszczenia).
3. Średnia ilość analizowanych metali ciężkich w glebach położonych na wschód od elektrowni była wyższa w porównaniu do analogicznych wartości w kierunku północnym oraz do średnich w punkcie kontrolnym. W kierunku północnym średnie wartości współczynników wzbogacenia warstwy wierzchniej dla wszystkich badanych metali były wyższe – pomimo niższych bezwzględnych koncentracji tych metali – aniżeli analogiczne średnie dla gleb położonych na wschód od zakładu
4. Nie stwierdzono istotnych statystycznie korelacji pomiędzy zawartością metali w badanych glebach a odległością od zakładu. Stwierdzono jednakże, iż współczynniki korelacji pomiędzy wszystkimi analizowanymi metalami, zawartymi w wierzchniej warstwie gleb położonych na wschód od zakładu a odległością od emitora, były ujemne.
5. Wpływ elektrowni na zawartość metali ciężkich w okolicznych glebach był ograniczony do odległości 4500 m.

## LITERATURA

- BARAN S., TURSKI R. 1996. Degradacja, ochrona i rekultywacja gleb. Wyd. AR w Lublinie. 223 ss.
- GORLACH E., GAMBUŚ F. 2000. Potencjalnie toksyczne pierwiastki śladowe w glebach (nadmiar, szkodliwość, przeciwdziałanie). *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* **472**: 275–296.
- JANKIEWICZ B., ADAMCZYK D. 2007. Assessing Heavy Metal Content in Soils Surrounding the Łódź EC4 Power Plant, Poland. *Polish J. of Environ. Stud.* **16** (6): 933–938.
- KABATA-PENDIAS A., MOTOWICKA-TERELAK T., PIOTROWSKA M., TERELAK H., WITEK T. 1993: Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. Wyd. IUNG Puławy, P(53): 23 ss.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1993. Biogeochemia pierwiastków śladowych, PWN, Warszawa. 364 ss.
- OLESEK W., TERELAK H., MALISZEWSKA-KORDYBACH B., KUKUŁA S. 2003. Soil, Food and Agroproduct Contamination Monitoring in Poland. *Polish J. of Environ. Stud.* **12** (3): 261–268.
- PACYNA J.M., PACYNA E. G. 2001. An assessment of global and regional emissions of trace metals to the atmosphere from anthropogenic sources worldwide. *Environ. Rev.* **9**: 269–298.
- ROSTAŃSKI A. 1997. Zawartość metali ciężkich w glebie i roślinach z otoczenia niektórych emitatorów zanieczyszczeń na Górnym Śląsku. *Arch. Ochr. Środ.* **23**, 3/4: 181–189.
- ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ŚRODOWISKA w sprawie standardów jakości oraz standardów jakości ziemi. Dz.U. Nr 165, poz. 1358 z 9 września 2002 r.
- SUCHY M. 2008. Stan środowiska w województwie podkarpackim w latach 2000–2007. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Rzeszów: 120 ss.
- SZERSZEŃ L., CHODAK T., KABAŁA C. 2004. Zmiany zawartości miedzi, ołowiu i cynku w glebach w rejonie hut miedzi Głogów i Legnica w latach 1972–2002. *Rocz. Glebozn.* **55**, 3: 195–205.
- TERELAK H., TUJAKA A. 2003. Występowanie pierwiastków śladowych w glebach użytków rolnych województwa podkarpackiego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* **493**: 245–252.

Dr inż. Edmund Hajduk  
Katedra Gleboznawstwa, Chemii Środowiska i Hydrologii,  
Wydział Biologiczno-Rolniczy  
Uniwersytet Rzeszowski  
ul. M. Œwiklińskiej 2, 35-959 Rzeszów  
e-mail: [ehajduk@univ.rzeszow.pl](mailto:ehajduk@univ.rzeszow.pl)