



NAGROMADZENIA METALI W OSADNIKACH POFLOTACYJNYCH NA DOLNYM ŚLĄSKU

THE ACCUMULATION OF METALS IN POST-FLOTATION WASTE FACILITIES IN LOWER SILESIA

AGATA DUCZMAL-CZERNIKIEWICZ¹, JAROSŁAW SUCHAN²

Abstrakt. Osadniki po flotacji rud metali stanowią nieodłączny element systemu odzyskiwania składników użytecznych i składowania pozostałości po odzysku. W niniejszej pracy przedstawiono współczynniki wzbogacenia w metale osadów zdeponowanych w osadnikach starego i nowego zagłębia miedziowego, położonych na Dolnym Śląsku. Współczynniki wzbogacenia obliczono w stosunku do składu chemicznego gleb występujących w otoczeniu składowisk. Najwyższe ich wartości wykazują miedź i ołów. Odpady są wzbogacone także nieznacznie w srebro i tytan. Pozostałe metale nie wykazują istotnego wzbogacenia.

Słowa kluczowe: obiekty unieszkodliwiania odpadów, współczynniki wzbogacenia, miedź, Dolny Śląsk.

Abstract. Post-flotation ore waste facilities provide an integral part of recovery system of useful components and waste disposal. The paper presents the enrichment factors for metals concentrated in sediments that were deposited in waste facilities constructed in the old and new copper districts in Lower Silesia. The enrichment factors were calculated with respect to the chemical composition of soils in the area of their occurrence. Copper and lead indicate the highest enrichment coefficients, while other metals have no significant concentration.

Key words: waste facilities, enrichment factors, copper, Lower Silesia.

WSTĘP

Eksploracja rud miedzi wymaga infrastruktury związanej z wydobyciem surowca, przetwarzaniem rud i oddzieleniem metali od skały płonnej, a także ze składowaniem odpadów poprodukcyjnych. Gromadzenie pozostałości po odzyskaniu metali w procesie przeróbki następuje w obiektach unieszkodliwiania odpadów wydobywczych (OUOW), dawniej nazywanych składowiskami odpadów lub osadnikami poflotacyjnymi.

Na Dolnym Śląsku w tzw. starym zagłębiu miedziowym istniały dwa obiekty unieszkodliwiania odpadów – w pobliżu nieczynnej kopalni Lena (o pojemnościach 4,2 mln m³ i 7,8 mln m³) oraz dwa inne obiekty w pobliżu również

zamkniętej kopalni Konrad – w miejscowościach Iwiny i Wartowice (o pojemności odpowiednio 16,4 mln m³ i 19,3 mln m³). W rejonie Iwin w 1967 r. miała miejsce katastrofa górnicza, w wyniku której kilka wsi (m.in. Iwiny i Tomaszów Bolesławiecki) na długości 13 km zostało zalanych szlamem poflotacyjnym. Ze względu na przerwane wały wokół osadnika zginęło 18 osób, a ponad 500 zabudowań uległo zniszczeniu (Rossiński, 1978).

W nowym zagłębiu miedziowym istnieją dwa osadniki w rejonie Głogowa i Lubina – nieczynny Gilów (o pojemności 68 mln m³) oraz czynny Żelazny Most (o pojemności ponad 500 mln m³). Stare osadniki są częściowo zrekul-

¹ Uniwersytet Adama Mickiewicza, Instytut Geologii, ul. Maków Polnych 16, 61-606 Poznań; e-mail: duczer@amu.edu.pl.

² KGHM Polska Miedź S.A., ZG Rudna, ul. H. Dąbrowskiego 50, 59-100 Polkowice.

tywowane lub poddawane rekultywacji, natomiast osadnik Żelazny Most, czynny od 1977 r., jest sukcesywnie zapełniany (Górski i in., 1996; Lewiński i in., 2007).

Odpady powstające w procesie flotacji rud miedzi stanowią nagromadzenia kopaliny utworzone przez człowieka w efekcie składowania odpadów kopalnianych, przerobczych i technologicznych. Poszukuje się metod ich zagospodarowania i rozpatruje możliwości odzysku nagromadzonych w nich składników. Zawartość procentowa metali w rudzie w dolnośląskich złożach miedzi i srebra jest wysoka (średnio 1,89% Cu i ok. 70 ppm Ag), jednak ze względu na stale udoskonalany proces technologiczny odzysku metali ich nagromadzenia w osadnikach są niewielkie (Żylińska-Dusza i in., 1996; Łuszczkiewicz, 2000).

Osadniki poflotacyjne mogą być źródłem wielu cennych składników. Ze względu na wyczerpywanie się kopalni oraz

ciągły wzrost zapotrzebowania na surowce mineralne, coraz większego znaczenia w gospodarce nabierają złoża antropogeniczne (Nieć, 1999, 2010; Uberman, Uberman, 2007). Tej kategorii złóż poświęca się obecnie wiele uwagi, np.: Dold, Fondbote, 2002; Galos, 2003; Nieć, 2010.

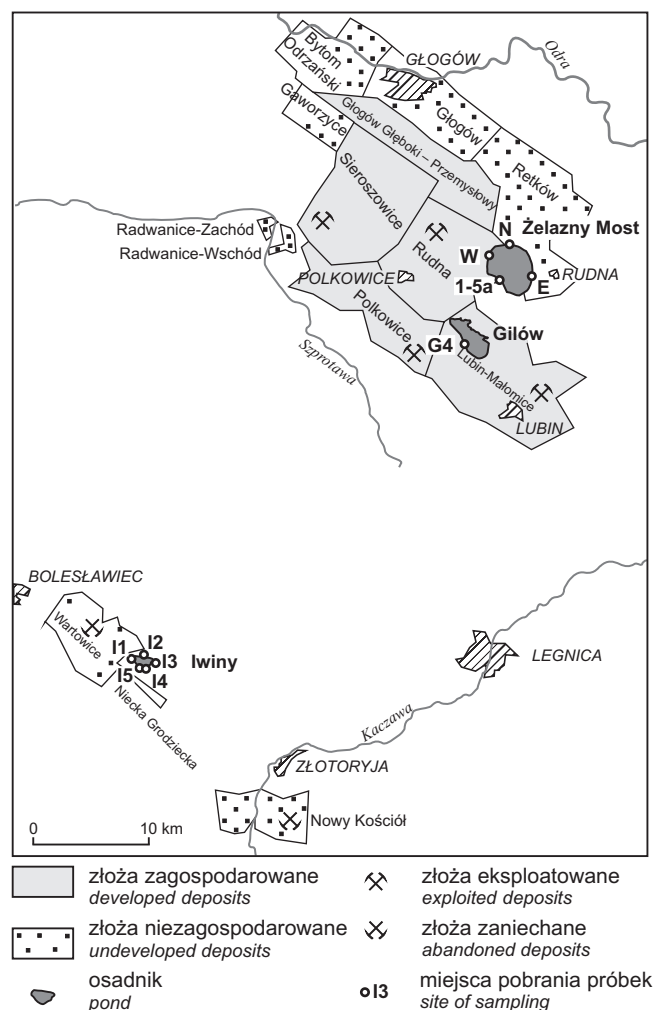
Przedmiotem badań zaprezentowanych w tym artykule były osady nagromadzone w składowiskach osadów poflotacyjnych starego i nowego zagłębia miedziowego w kontekście ich składu chemicznego, mającego znaczenie dla rozważenia ich przydatności ekonomicznej.

W tym celu podjęto próbę określenia, czy i w jakim stopniu w obrębie zapór osadników poflotacyjnych występuje wzbogacenie w metale. Koncentracje metali w osadach z zapór, oznaczone metodą ICP-MS, porównano z koncentracjami metali w glebach wokół badanych składowisk z rejonu dolnośląskiego zagłębia miedziowego.

OBSZAR I METODY BADAŃ

W każdym spośród zbadanych obiektów można wyróżnić pewne charakterystyczne elementy konstrukcyjne. Wewnętrzne części składowisk stanowią czaszę, która jest wypełniona osadami oraz wodą technologiczną (tzw. wodą

nadosadową). Granicę zewnętrzną składowisk stanowią tzw. zapory, które mają za zadanie ochronę i stabilizację materiału gromadzonego w ich obrębie. W składowisku Żelazny Most zapory wznoszą się na wysokość 180 m ponad powierzchnię terenu. Próbkę pobrano z osadów zapór składowisk poflotacyjnych z obiektów Iwiny i Gilów, za pomocą wkopów ręcznych z profili o głębokości do 1,5 m, i z obiektu Żelazny Most, za pomocą wierceń obrotowych ręcznych o głębokości 3, 5 i 12 m. Na potrzeby tej pracy przeanalizowano 32 próbki ze składowisk starego zagłębia oraz 216 próbek z czynnego składowiska, a w tym 12 – z Gilowa (oznaczone symbolami G4a–b), 20 – z Iwin (oznaczone symbolami I1–5) oraz 184 – z Żelaznego Mostu (oznaczone symbolami odpowiednich zapór: N – zapora północna, E – zapora wschodnia, W – zapora zachodnia, 1a–5a – zapora południowa) (fig. 1, 2 i 3). W tabelach 1 i 2 każdemu symbolowi odpowiada średnia wartość koncentracji metalu, obliczona na podstawie kilku lub kilkunastu analiz geochemicznych z próbek pobranych w profilach. Z Gilowa i Iwin pobrano po cztery próbki z każdego profilu G (G4a–d – zapora południowa) i I (I1 – zapora zachodnia, I2 – zapora północna, I3 – zapora wschodnia i I4–5 – zapora południowa) o miąższości 1,5 m. Z zapór Żelaznego Mostu próbki pobierano co 0,5 m z każdego profilu oznaczonego odpowiednimi symbolami zapór (N, W i E) (fig. 1). Liczba próbek przedstawionych



←

Fig. 1. Usytuowanie osadników oraz orientacyjne rozmieszczenie próbek (mapka wg www.pgi.gov.pl, 2012 r.)

Symbole objaśniono w tekście

Waste facilities location and approximate location of profiles
(after www.pgi.gov.pl, 2012)

Explanation of symbols in the text

w tabelach 1 i 2 nie odzwierciedla więc całkowitej liczby pobranych próbek, tylko średnią z liczby od 4 (w Gilowie i Iwinach) do 25 (w próbkach z zapory północnej Żelaznego Mostu). Prace laboratoryjne obejmowały analizy granulometryczne oraz badania geochemiczne osadów z trzech wymienionych wyżej składowisk.

W celu przygotowania próbek do analiz granulometrycznych przemyto je na sicie o średnicy oczek 0,063 mm. Uziarnienie osadu badano przez przesiewanie w kolumnie sit: 2; 1; 0,5; 0,25; 0,16; 0,1; 0,071; 0,056 mm. Skład chemiczny osadu nierozdzielonego na frakcje oraz skład chemiczny drobnych frakcji ziarnowych (o średnicy poniżej 0,16 mm) oznaczono na podstawie spektrometrii mas ze wzbudzeniem w plazmie sprzężonej indukcyjnie (*Inductively Coupled Plasma*

– *Mass Spektrometry* (ICP-MS)) w laboratorium Activation Labs w Kanadzie. Koncentracje rtęci pomierzono metodą Hg – FIMS oraz wykorzystano ją do zbadania osadów nierozdzielonych na frakcje (symbole 1a–5a). Analizę chemiczną przeprowadzono w osadach roztwarzanych przy użyciu kwasu azotowego, wody królewskiej oraz kwasu fluorowodorowego. Wyniki badań wraz z zakresami oznaczalności poszczególnych składników znajdują się w tabelach 13–16 w monografii Duczmal-Czernikiewicz (2013), która zawiera także omówienie zmienności koncentracji metali oraz weryfikację oznaczeń za pomocą instrumentalnej neutronowej metody aktywacyjnej (*Instrumental Neutron Activation Analysis* (INAA)) oraz atomowej spektroskopii absorpcyjnej (*Atomic Absorption Spectrometry* (ASA lub AAS)).

BADANIA GEOCHEMICZNE

Wzbogacenie w metale może oznaczać występowanie zawartości przekraczających ich naturalną ilość w skałach. Określenie naturalnej zawartości pierwiastków nie zawsze jest jednoznaczne. Na obszarach eksploatacji złóż rud metali poddanych wpływom antropogenicznym nie jest możliwe wyznaczenie ich naturalnej zawartości, jeśli nie były prowadzone badania koncentracji metali w osadach zanim powstały ośrodki wydobywcze i przetwórcze. Nie zawsze można jednoznacznie określić, kiedy mamy do czynienia z anomalią na obszarach poddanych antropopresji. Aby wyznaczyć wzrost lub spadek koncentracji pierwiastka używa się metod statystycznych wykorzystujących zawartości pierwiastków referencyjnych (odniesienia), w stosunku do których wyznacza się wzbogacenie lub zubożenie w dany pierwiastek.

Najczęściej jako pierwiastki referencyjne stosuje się glin, krzem, skand, lit, cez lub żelazo, czasem kobalt (Rubio i in., 2000). Powinny to być pierwiastki stabilne w procesach wietrzenia, które nie ulegają migracji i są niepodatne na działanie czynników biogenicznych oraz wpływy antropogeniczne (Gałuszka, Migaszewski, 2011).

Do badań wybrano dwa pierwiastki referencyjne – skand (Sc) oraz glin (Al). W badaniach geochemicznych osadów naturalnych, jak np. osady rzeczne lub jeziorne, najczęściej stosuje się skand, natomiast glin jest pierwiastkiem, którego koncentracja w drobnoziarnistych osadach terygenicznym jest wskaźnikiem zawartości minerałów ilastych (Rubio i in., 2000).

Dla osadów naturalnych współczynniki wzbogacenia najczęściej oblicza się względem klarku, który oznacza częstość występowania pierwiastka w skorupie ziemskiej albo odnośnie do jego średniej zawartości w glebie (np. Kabata-Pendias, Pendias, 2001). W badanych osadach z zapór osadników zawartości metali odniesiono do zawartości metali w glebach z obszarów je otaczających przez obliczenie współczynników wzbogacenia EF (*enrichment factor*). Zastosowano wzór Muellera (1979):

$$EF = [C_{n(\text{próbka})} / C_{\text{ref}(\text{próbka})}] / [B_{n(\text{tło})} / B_{\text{ref}(\text{tło})}],$$

gdzie:

$C_{n(\text{próbka})}$ – zawartość badanego składnika w badanym środowisku

$C_{\text{ref}(\text{próbka})}$ – zawartość składnika referencyjnego w badanym środowisku

$B_{n(\text{tło})}$ – zawartość badanego składnika w środowisku odniesienia (w tle)

$B_{\text{ref}(\text{tło})}$ – zawartość składnika odniesienia w środowisku odniesienia

Wartości współczynnika wzbogacenia obrazują względny wzrost lub obniżenie zawartości pierwiastków w zależności od tła geochemicznego oraz w stosunku do referencyjnych pierwiastków. Poniżej podano przedziały wartości współczynnika dla różnych stopni wzbogacenia:

| | |
|----------------|--|
| $EF < 2$ | brak wzbogacenia lub jest ono minimalne, |
| $2 < EF < 5$ | średnie wzbogacenie, |
| $5 < EF < 20$ | znaczące wzbogacenie, |
| $20 < EF < 40$ | bardzo wysokie wzbogacenie, |
| $EF > 40$ | ekstremalnie wysokie wzbogacenie. |

Obliczenia współczynników wzbogacenia dokonano przyjmując za tło geochemiczne koncentracje pierwiastków w glebach gmin Rudna, Lubin oraz Warta Bolesławiecka (Lis i in., 1999).

Według prac Kijewskiego (1995), Kijewskiego i Downorowicza (1987), Łuszczkiewicza (2000) oraz Żylińskiej-Duszy i in. (1996) w osadach z osadnika Żelazny Most jedynie zawartości miedzi i ołowiu (w mniejszym zakresie rtęci) przewyższają koncentracje pierwiastków, które porównywano względem tła geochemicznego. Za tło autorzy przyjęli zawartość metali w glebach otaczających osadnik.

Na podstawie obliczonych współczynników wzbogacenia można stwierdzić, że badane w tej pracy osady, pochodzące z miejsc współczesnej sedymentacji na „plażach” Żelaznego Mostu (próbki oznaczone symbolami N, W, E), są silnie wzbogacone nie tylko w miedź, lecz także w stront i bar (tab. 1 i 2). Cynk nie wykazuje żadnego wzbogacenia, a ołów bardzo słabe. Współczynnik wzbogacenia dla ołowiu obliczony względem Sc (EF Sc) zawiera się w przedziale 2–5 (tab. 1, fig. 2), natomiast względem glinu (EF Al) wynosi ok. 2 (tab. 2, fig. 3). Dla innych metali współczynnik wzbogacenia wynosi 1 lub poniżej 1.

Tabela 1

Zmienność średnich wartości współczynników wzbogacenia (EF) normalizowanych względem skandium, w zależności od położenia profilu

Mean enrichment factors (EF) values normalized to scandium, depending on the profiles location

| EF Profil | Hg | Ag | Cu | Cd | Mo | Pb | Ni | Zn | S | As | Ba | Co | Cr | Sc | Sr | V | Y | Al | Fe | Mn | Mg | Ca | Ti | P |
|--------------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|
| 1a | 0,86 | 4,59 | 9,31 | 0,33 | 1,67 | 2,84 | 0,54 | 0,72 | 0,00 | 0,93 | 10,55 | 1,29 | 0,80 | 1,00 | 22,01 | 1,12 | 0,75 | 2,04 | 0,26 | 1,69 | 16,11 | 16,07 | 6,18 | 0,35 |
| 2a | 0,99 | 5,74 | 11,41 | 0,42 | 1,86 | 3,64 | 0,59 | 0,99 | 0,00 | 1,08 | 12,21 | 1,46 | 1,03 | 1,00 | 23,11 | 1,17 | 0,83 | 2,19 | 0,27 | 1,65 | 15,57 | 15,50 | 6,96 | 0,37 |
| 3a | 1,00 | 6,31 | 12,17 | 0,51 | 1,67 | 3,76 | 0,60 | 0,97 | 0,00 | 1,26 | 14,50 | 1,63 | 1,10 | 1,00 | 22,91 | 1,05 | 0,74 | 2,16 | 0,25 | 1,35 | 12,43 | 12,80 | 7,06 | 0,35 |
| 4a | 1,06 | 6,90 | 12,78 | 0,46 | 2,30 | 3,78 | 0,62 | 1,15 | 0,00 | 1,20 | 14,30 | 1,64 | 1,19 | 1,00 | 25,73 | 1,18 | 0,80 | 2,33 | 0,26 | 1,34 | 12,57 | 13,32 | 7,51 | 0,38 |
| 5a | 1,03 | 6,67 | 12,07 | 0,00 | 1,83 | 3,65 | 0,58 | 0,94 | 0,00 | 1,23 | 14,86 | 1,67 | 1,03 | 1,00 | 26,91 | 1,14 | 0,85 | 2,33 | 0,27 | 1,57 | 13,57 | 14,22 | 7,87 | 0,40 |
| W1 | 0,66 | 3,72 | 9,49 | 0,24 | 2,00 | 2,37 | 0,55 | 0,51 | 0,00 | 0,83 | 8,77 | 1,15 | 0,82 | 1,00 | 18,26 | 1,01 | 0,65 | 2,28 | 0,27 | 1,77 | 15,80 | 14,34 | 5,61 | 0,35 |
| W2 | 0,77 | 4,71 | 12,67 | 0,61 | 1,98 | 3,08 | 0,62 | 0,70 | 0,00 | 0,92 | 9,99 | 1,41 | 0,94 | 1,00 | 18,70 | 1,09 | 0,74 | 2,61 | 0,24 | 1,60 | 14,81 | 14,46 | 6,61 | 0,40 |
| W3 | 0,92 | 6,96 | 17,93 | 0,50 | 2,44 | 4,33 | 0,75 | 1,12 | 0,00 | 1,21 | 10,68 | 1,74 | 1,09 | 1,00 | 19,87 | 1,13 | 0,84 | 2,65 | 0,26 | 1,49 | 14,06 | 13,59 | 6,78 | 0,43 |
| W4 | 0,95 | 6,85 | 17,01 | 0,50 | 2,04 | 3,93 | 0,71 | 0,86 | 0,00 | 1,18 | 14,42 | 1,65 | 1,19 | 1,00 | 25,48 | 1,11 | 0,91 | 2,84 | 0,24 | 1,50 | 13,27 | 13,54 | 7,89 | 0,44 |
| N19A | 1,09 | 7,81 | 22,50 | 0,61 | 2,68 | 4,98 | 0,85 | 1,35 | 0,00 | 1,39 | 11,70 | 1,73 | 1,12 | 1,00 | 20,67 | 1,17 | 0,87 | 2,79 | 0,27 | 1,52 | 14,30 | 13,89 | 7,44 | 0,44 |
| N19B | 0,96 | 6,70 | 18,19 | 0,51 | 2,26 | 3,94 | 0,73 | 0,98 | 0,00 | 1,15 | 11,05 | 1,50 | 1,02 | 1,00 | 18,94 | 1,11 | 0,80 | 2,76 | 0,25 | 1,51 | 14,18 | 13,76 | 7,06 | 0,42 |
| N19C | 0,91 | 5,78 | 15,26 | 0,42 | 1,97 | 3,45 | 0,67 | 0,80 | 0,00 | 1,03 | 10,19 | 1,38 | 1,01 | 1,00 | 17,58 | 1,21 | 0,77 | 2,65 | 0,26 | 1,69 | 15,83 | 15,01 | 6,68 | 0,41 |
| N19D | 0,83 | 5,66 | 15,41 | 0,43 | 2,09 | 3,67 | 0,65 | 0,85 | 0,00 | 1,07 | 10,37 | 1,33 | 0,97 | 1,00 | 19,40 | 1,12 | 0,82 | 2,64 | 0,27 | 1,73 | 16,22 | 15,59 | 7,00 | 0,41 |
| N19 | 0,92 | 6,39 | 17,12 | 0,47 | 2,10 | 3,43 | 0,67 | 0,74 | 0,00 | 1,04 | 14,40 | 1,44 | 0,99 | 1,00 | 22,40 | 1,19 | 0,90 | 2,99 | 0,25 | 1,71 | 16,62 | 15,76 | 7,76 | 0,43 |
| ES/I | 0,00 | 7,44 | 18,00 | 0,58 | 2,35 | 3,71 | 0,92 | 0,91 | 0,00 | 1,11 | 10,62 | 10,07 | 1,92 | 1,00 | 16,91 | 1,43 | 0,83 | 2,76 | 0,27 | 1,62 | 16,03 | 14,90 | 6,75 | 0,39 |
| ES E | 0,00 | 5,94 | 15,14 | 0,49 | 2,14 | 4,02 | 0,69 | 0,97 | 0,00 | 1,11 | 12,27 | 1,51 | 0,94 | 1,00 | 18,33 | 1,23 | 0,82 | 2,89 | 0,25 | 1,75 | 16,79 | 16,09 | 7,42 | 0,42 |
| E IV | 0,65 | 7,59 | 8,80 | 0,00 | 1,83 | 3,58 | 0,82 | 0,60 | 0,00 | 3,41 | 8,39 | 4,00 | 1,51 | 1,00 | 6,44 | 1,25 | 0,92 | 1,94 | 0,28 | 1,28 | 10,59 | 11,25 | 6,07 | 0,33 |
| I1 | 0,82 | 3,91 | 6,06 | 0,00 | 0,52 | 2,29 | 0,47 | 0,17 | 0,00 | 0,76 | 1,31 | 1,10 | 0,71 | 1,00 | 4,73 | 0,54 | 0,38 | 1,41 | 0,33 | 0,71 | 4,81 | 10,01 | 3,86 | 0,23 |
| I2 | 0,69 | 3,55 | 5,03 | 0,09 | 0,61 | 2,03 | 0,49 | 0,15 | 0,00 | 0,63 | 1,61 | 1,01 | 0,71 | 1,00 | 5,33 | 0,66 | 0,41 | 1,44 | 0,34 | 0,90 | 7,03 | 12,05 | 4,12 | 0,24 |
| I3 | 0,90 | 3,34 | 4,81 | 0,00 | 0,50 | 1,76 | 0,46 | 0,14 | 0,00 | 0,57 | 1,23 | 0,99 | 0,73 | 1,00 | 5,47 | 0,62 | 0,40 | 1,43 | 0,33 | 0,86 | 6,67 | 12,02 | 3,92 | 0,23 |
| I4 | 5,16 | 2,43 | 3,03 | 0,00 | 0,46 | 1,42 | 0,45 | 0,11 | 0,00 | 0,53 | 1,03 | 1,05 | 0,82 | 1,00 | 4,44 | 0,60 | 0,35 | 1,42 | 0,32 | 0,75 | 5,98 | 9,69 | 3,79 | 0,22 |
| I5 | 0,63 | 1,96 | 2,19 | 0,00 | 0,37 | 1,19 | 0,43 | 0,11 | 0,00 | 0,53 | 0,82 | 0,91 | 0,90 | 1,00 | 4,18 | 0,56 | 0,32 | 1,46 | 0,33 | 0,59 | 4,49 | 8,13 | 3,67 | 0,21 |
| G4a | 0,45 | 3,92 | 3,53 | 0,00 | 1,44 | 1,14 | 0,53 | 0,22 | 0,00 | 1,48 | 5,43 | 1,47 | 1,16 | 1,00 | 4,69 | 1,25 | 0,55 | 1,76 | 0,29 | 0,98 | 8,70 | 8,86 | 4,06 | 0,26 |
| G4b | 0,48 | 3,87 | 3,53 | 0,00 | 1,64 | 1,10 | 0,55 | 0,21 | 0,00 | 1,47 | 4,60 | 1,45 | 1,19 | 1,00 | 5,06 | 1,38 | 0,55 | 1,85 | 0,29 | 1,13 | 9,73 | 9,67 | 4,17 | 0,26 |
| G4c | 0,46 | 3,55 | 3,03 | 0,00 | 1,53 | 1,15 | 0,55 | 0,23 | 0,00 | 1,35 | 4,75 | 1,55 | 1,18 | 1,00 | 4,29 | 1,34 | 0,47 | 1,73 | 0,29 | 0,95 | 8,60 | 8,41 | 3,65 | 0,23 |
| G4d | 0,46 | 3,46 | 2,93 | 0,00 | 1,43 | 1,07 | 0,55 | 0,22 | 0,00 | 1,35 | 4,43 | 1,32 | 1,14 | 1,00 | 4,53 | 1,47 | 0,51 | 1,85 | 0,30 | 1,00 | 9,32 | 8,66 | 3,95 | 0,25 |

Obliczenia współczynników wg analiz chemicznych zamieszczonych w tab. 13–16 w: Duczmal-Czernikiewicz (2013)
Calculations according to chemical data from Tabs. 13–16 in: Duczmal-Czernikiewicz (2013)

Tabela 2

Średnie wartości współczynników wzbogacenia (EF) normalizowane względem glinu, w zależności od położenia profilu

Mean enrichment factors (EF) values normalized to aluminum, depending on the profiles location

| EF Profil | Hg | Ag | Cu | Cd | Mo | Pb | Ni | Zn | S | As | Ba | Co | Cr | Sr | V | Y | Al | Fe | Mn | Mg | Ca | Ti | P |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1a | 0,42 | 2,25 | 4,57 | 0,16 | 0,82 | 1,39 | 0,26 | 0,35 | 0,00 | 0,46 | 5,18 | 0,63 | 0,39 | 10,80 | 0,55 | 0,37 | 1,00 | 0,13 | 0,83 | 7,91 | 7,89 | 3,03 | 0,17 |
| 2a | 0,45 | 2,62 | 5,20 | 0,19 | 0,85 | 1,66 | 0,27 | 0,45 | 0,00 | 0,49 | 5,57 | 0,67 | 0,47 | 10,54 | 0,53 | 0,38 | 1,00 | 0,12 | 0,75 | 7,10 | 7,07 | 3,17 | 0,17 |
| 3a | 0,46 | 2,92 | 5,63 | 0,24 | 0,77 | 1,74 | 0,28 | 0,45 | 0,00 | 0,58 | 6,71 | 0,76 | 0,51 | 10,59 | 0,49 | 0,34 | 1,00 | 0,11 | 0,63 | 5,75 | 5,92 | 3,27 | 0,16 |
| 4a | 0,45 | 2,96 | 5,49 | 0,20 | 0,99 | 1,62 | 0,26 | 0,49 | 0,00 | 0,52 | 6,15 | 0,71 | 0,51 | 11,06 | 0,51 | 0,34 | 1,00 | 0,11 | 0,58 | 5,40 | 5,72 | 3,23 | 0,16 |
| 5a | 0,44 | 2,86 | 5,17 | 0,00 | 0,79 | 1,56 | 0,25 | 0,40 | 0,00 | 0,53 | 6,37 | 0,71 | 0,44 | 11,53 | 0,49 | 0,37 | 1,00 | 0,12 | 0,67 | 5,81 | 6,09 | 3,37 | 0,17 |
| W1 | 0,29 | 1,63 | 4,16 | 0,11 | 0,88 | 1,04 | 0,24 | 0,22 | 0,00 | 0,36 | 3,84 | 0,50 | 0,36 | 8,01 | 0,44 | 0,29 | 1,00 | 0,12 | 0,77 | 6,93 | 6,29 | 2,46 | 0,15 |
| W2 | 0,29 | 1,81 | 4,86 | 0,24 | 0,76 | 1,18 | 0,24 | 0,27 | 0,00 | 0,35 | 3,83 | 0,54 | 0,36 | 7,18 | 0,42 | 0,29 | 1,00 | 0,09 | 0,61 | 5,68 | 5,55 | 2,54 | 0,15 |
| W3 | 0,35 | 2,62 | 6,76 | 0,19 | 0,92 | 1,63 | 0,28 | 0,42 | 0,00 | 0,46 | 4,02 | 0,66 | 0,41 | 7,49 | 0,43 | 0,32 | 1,00 | 0,10 | 0,56 | 5,30 | 5,12 | 2,56 | 0,16 |
| W4 | 0,33 | 2,42 | 6,00 | 0,18 | 0,72 | 1,38 | 0,25 | 0,30 | 0,00 | 0,41 | 5,08 | 0,58 | 0,42 | 8,98 | 0,39 | 0,32 | 1,00 | 0,08 | 0,53 | 4,68 | 4,77 | 2,78 | 0,15 |
| N19A | 0,39 | 2,80 | 8,06 | 0,22 | 0,96 | 1,78 | 0,31 | 0,48 | 0,00 | 0,50 | 4,19 | 0,62 | 0,40 | 7,41 | 0,42 | 0,31 | 1,00 | 0,10 | 0,55 | 5,12 | 4,98 | 2,67 | 0,16 |
| N19B | 0,35 | 2,43 | 6,60 | 0,18 | 0,82 | 1,43 | 0,27 | 0,36 | 0,00 | 0,42 | 4,01 | 0,55 | 0,37 | 6,87 | 0,40 | 0,29 | 1,00 | 0,09 | 0,55 | 5,15 | 4,99 | 2,56 | 0,15 |
| N19C | 0,34 | 2,18 | 5,76 | 0,16 | 0,75 | 1,30 | 0,25 | 0,30 | 0,00 | 0,39 | 3,85 | 0,52 | 0,38 | 6,64 | 0,46 | 0,29 | 1,00 | 0,10 | 0,64 | 5,98 | 5,67 | 2,52 | 0,15 |
| N19D | 0,31 | 2,14 | 5,84 | 0,16 | 0,79 | 1,39 | 0,25 | 0,32 | 0,00 | 0,41 | 3,93 | 0,50 | 0,37 | 7,35 | 0,42 | 0,31 | 1,00 | 0,10 | 0,65 | 6,14 | 5,90 | 2,65 | 0,16 |
| N19 | 0,31 | 2,13 | 5,72 | 0,16 | 0,70 | 1,15 | 0,22 | 0,25 | 0,00 | 0,35 | 4,81 | 0,48 | 0,33 | 7,48 | 0,40 | 0,30 | 1,00 | 0,08 | 0,57 | 5,55 | 5,26 | 2,59 | 0,14 |
| E5/1 | 0,00 | 2,70 | 6,53 | 0,21 | 0,85 | 1,34 | 0,33 | 0,33 | 0,00 | 0,40 | 3,85 | 0,65 | 0,70 | 6,14 | 0,52 | 0,30 | 1,00 | 0,10 | 0,59 | 5,82 | 5,41 | 2,45 | 0,14 |
| E5E | 0,00 | 2,06 | 5,24 | 0,17 | 0,74 | 1,39 | 0,24 | 0,34 | 0,00 | 0,38 | 4,24 | 0,52 | 0,33 | 6,34 | 0,42 | 0,28 | 1,00 | 0,09 | 0,60 | 5,80 | 5,56 | 2,56 | 0,14 |
| E IV | 0,34 | 3,91 | 4,53 | 0,00 | 0,94 | 1,84 | 0,42 | 0,31 | 0,00 | 1,76 | 4,32 | 2,06 | 0,78 | 3,31 | 0,64 | 0,47 | 1,00 | 0,14 | 0,66 | 5,45 | 5,79 | 3,12 | 0,17 |
| II | 0,58 | 2,77 | 4,30 | 0,00 | 0,37 | 1,62 | 0,34 | 0,12 | 0,00 | 0,54 | 0,93 | 0,78 | 0,50 | 3,36 | 0,38 | 0,27 | 1,00 | 0,24 | 0,50 | 3,42 | 7,10 | 2,74 | 0,16 |
| I2 | 0,48 | 2,46 | 3,48 | 0,06 | 0,42 | 1,40 | 0,34 | 0,10 | 0,00 | 0,44 | 1,11 | 0,70 | 0,49 | 3,69 | 0,46 | 0,28 | 1,00 | 0,23 | 0,62 | 4,86 | 8,34 | 2,85 | 0,17 |
| I3 | 0,63 | 2,33 | 3,36 | 0,00 | 0,35 | 1,23 | 0,32 | 0,10 | 0,00 | 0,40 | 0,86 | 0,69 | 0,51 | 3,82 | 0,43 | 0,28 | 1,00 | 0,23 | 0,60 | 4,66 | 8,39 | 2,74 | 0,16 |
| I4 | 3,64 | 1,71 | 2,14 | 0,00 | 0,32 | 1,00 | 0,32 | 0,08 | 0,00 | 0,37 | 0,73 | 0,74 | 0,58 | 3,13 | 0,42 | 0,25 | 1,00 | 0,23 | 0,53 | 4,21 | 6,83 | 2,67 | 0,16 |
| I5 | 0,43 | 1,34 | 1,50 | 0,00 | 0,25 | 0,81 | 0,29 | 0,07 | 0,00 | 0,36 | 0,56 | 0,63 | 0,62 | 2,86 | 0,38 | 0,22 | 1,00 | 0,22 | 0,41 | 3,07 | 5,56 | 2,51 | 0,14 |
| G4a | 0,26 | 2,23 | 2,01 | 0,00 | 0,82 | 0,65 | 0,30 | 0,13 | 0,00 | 0,84 | 3,09 | 0,83 | 0,66 | 2,67 | 0,71 | 0,32 | 1,00 | 0,16 | 0,56 | 4,95 | 5,04 | 2,31 | 0,15 |
| G4b | 0,26 | 2,09 | 1,91 | 0,00 | 0,89 | 0,60 | 0,30 | 0,12 | 0,00 | 0,80 | 2,49 | 0,79 | 0,65 | 2,74 | 0,74 | 0,30 | 1,00 | 0,16 | 0,61 | 5,27 | 5,23 | 2,26 | 0,14 |
| G4c | 0,27 | 2,06 | 1,76 | 0,00 | 0,89 | 0,66 | 0,32 | 0,13 | 0,00 | 0,78 | 2,75 | 0,90 | 0,69 | 2,49 | 0,77 | 0,27 | 1,00 | 0,17 | 0,55 | 4,98 | 4,87 | 2,12 | 0,13 |
| G4d | 0,25 | 1,88 | 1,59 | 0,00 | 0,78 | 0,58 | 0,30 | 0,12 | 0,00 | 0,73 | 2,40 | 0,71 | 0,62 | 2,46 | 0,79 | 0,28 | 1,00 | 0,16 | 0,54 | 5,05 | 4,69 | 2,14 | 0,14 |

Na figurze 1 pokazano usytuowanie osadników i pobieranych profili. Obliczenia współczynników wg analiz chemicznych zamieszczonych w tab. 16 i 27 w: Duczmal-Czernikiewicz (2013)
 Figure 1 show location of waste facilities and investigated profiles. Calculations according to chemical data from Tabs. 16 and 27 in: Duczmal-Czernikiewicz (2013)

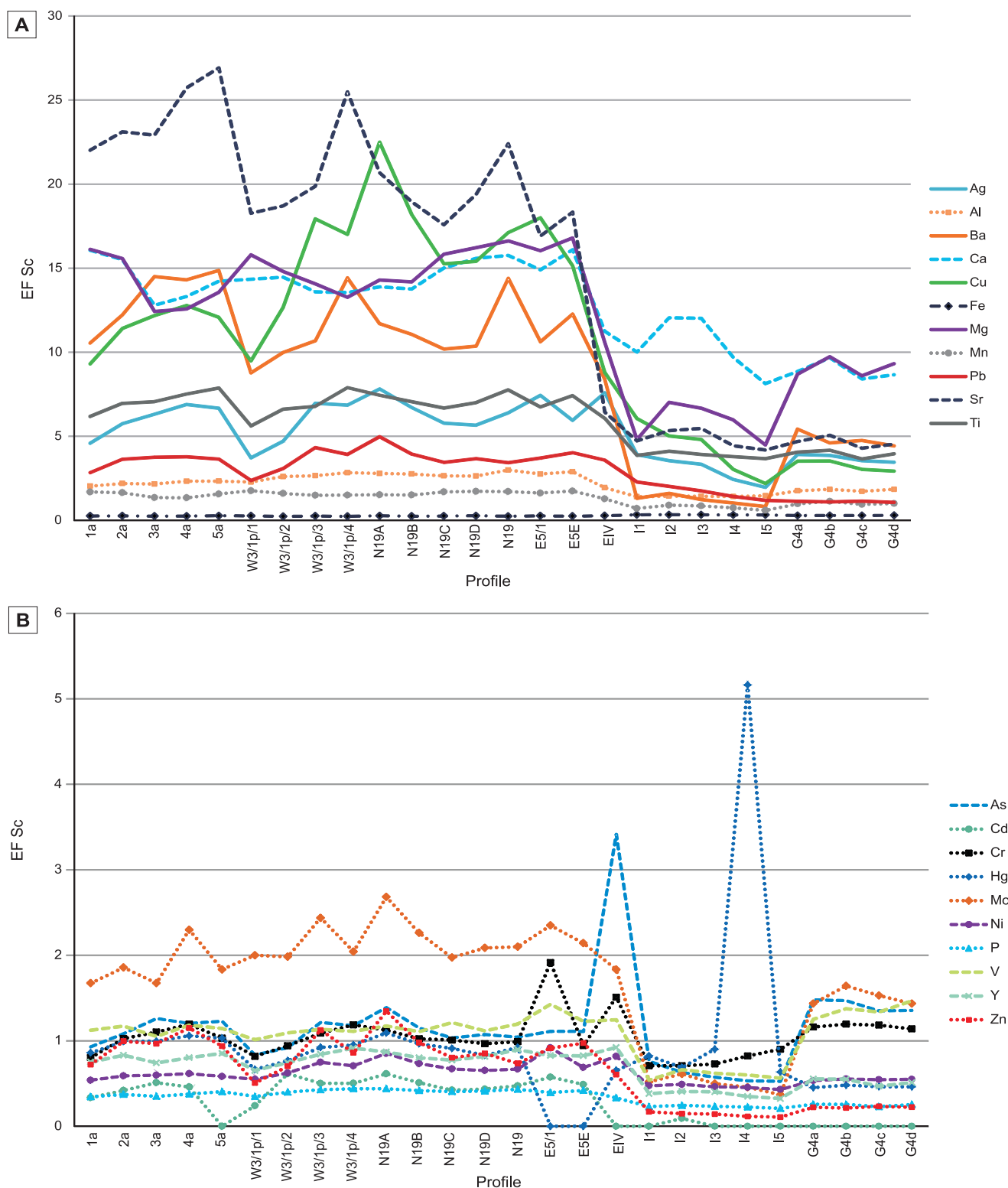


Fig. 2. Średnie wartości współczynnika wzbogacenia (EF) normalizowane względem skandiu (na osi x oznaczono położenie i nazwę profilu)

A. wykresy zróżnicowania zawartości srebra (Ag), glinu (Al), baru (Ba), wapnia (Ca), miedzi (Cu), żelaza (Fe) magnezu (Mg), manganu (Mn), ołowiu (Pb), strontu (Sr) i tytanu (Ti). **B.** wykresy zróżnicowania zawartości arsenu (As), kadmu (Cd), chromu (Cr), rtęci (Hg), molibdenu (Mo), niklu (Ni), fosforu (P), wanađu (V), ytrytu (Y) i cynku (Zn); orientacyjne rozmieszczenie próbek pokazano na figurze 1; objaśnienia symboli w tekście

Mean enrichment factor (EF) values normalized to scandium (the x axis indicates location and name of profile)

A. diagrams for silver (Ag), aluminum (Al), barium (Ba), calcium (Ca), copper (Cu), iron (Fe), magnesium (Mg), manganese (Mn), lead (Pb), strontium (Sr) and titanium (Ti). **B.** diagrams for arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr), mercury (Hg), molybdenum (Mo), nickel (Ni), phosphorus (P), vanadium (V), yttrium (Y) and zinc (Zn); approximate samples location is shown on Figure 1; explanation of symbols in the text

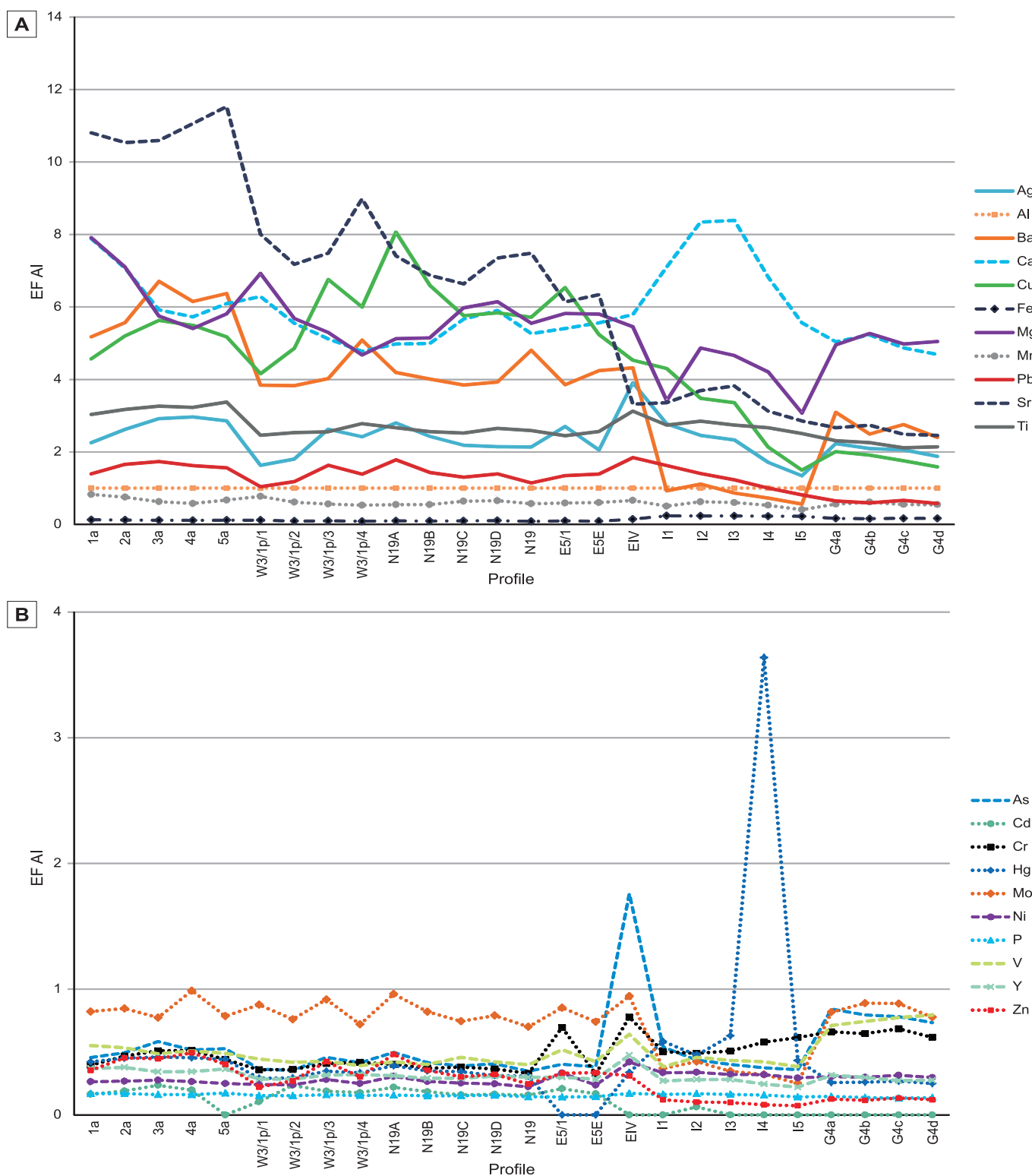


Fig. 3. Średnie wartości współczynnika wzbogacenia (EF) normalizowane względem glinu, w zależności od usytuowania osadników

A. wykresy zróżnicowania zawartości srebra (Ag), glinu (Al), baru (Ba), wapnia (Ca), miedzi (Cu), żelaza (Fe), magnezu (Mg), manganu (Mn) ołowiu (Pb), strontu (Sr) i tytanu (Ti). **B.** wykresy zróżnicowania zawartości arsenu (As), kadmu (Cd), chromu (Cr), rtęci (Hg), molibdenu (Mo), niklu (Ni), fosforu (P), wanadu (V), itru (Y) i cynku (Zn); orientacyjne rozmieszczenie próbek pokazano na figurze 1; objaśnienia symboli w tekście

Mean enrichment factor (EF) values normalized to aluminum, depending on localization of waste facilities

A. diagrams for silver (Ag), aluminum (Al), barium (Ba), calcium (Ca), copper (Cu), iron (Fe) magnesium (Mg), manganese (Mn) lead (Pb), strontium (Sr) and titanium (Ti). **B.** diagrams for arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr), mercury (Hg), molybdenum (Mo), nickel (Ni), phosphorus (P), vanadium (V), yttrium (Y) and zinc (Zn); approximate samples location is shown on Figure 1; explanation of symbols in the text

Starsze osadniki (Gilów i Iwiny) są słabiej wzbogacone w miedź i srebro w stosunku do osadnika Żelazny Most. W osadniku w Gilowie (próbki G4a–G4d), poza lekkim wzbogaceniem w miedź, srebro i tytan (EF Al=2; EF Sc=3–4) oraz bar i stront (EF Al=3, EF Sc=5), nie obserwuje się wzbogacenia w inne metale. Główne składniki (wapń i magnez) są wzbogacone w znacznie mniejszym stopniu niż w osadniku Żelazny Most. Współczynniki wzbogacenia wynoszą: ok. 5 (8) dla Ca i Mg odpowiednio względem glinu (EF Al) i skandu (EF Sc). Pozostałe metale nie wykazują wzbogacenia (EF poniżej 1).

W osadach z osadników w Gilowie i Iwinach współczynnik wzbogacenia dla wapnia jest wyższy (EF Al=8, EF Sc=12) niż dla magnezu (EF Al=5, EF Sc=7), ze względu na występowanie pierwotnej mineralizacji złożowej w niskomagnezowych skałach wapienno-marglistych.

Współczynnik wzbogacenia miedzi wynosi 2–5 w przypadku normalizowania skandem oraz 1–4 dla obliczeń normalizowanych względem glinu, natomiast dla srebra wynosi on 1–4 w przypadku normalizowania skandem (tab. 1) oraz 1–3 względem glinu (tab. 2).

SPOSOBY WYKORZYSTANIA ODPADÓW POFLOTACYJNYCH

Współczynnik koncentracji jest wykorzystywany głównie w badaniach środowiskowych. W tej pracy zastosowano go do określenia czy osady w osadnikach poflotacyjnych nieczynnych (w Iwinach i Gilowie) i czynnym (w Żelaznym Moście) wyróżniają się pod względem zawartości metali, w stosunku do gleb otaczających osadniki.

Na podstawie obliczonych wskaźników wzbogacenia stwierdzono, że w dolnośląskich osadnikach po flotacji miedzi wzbogacenie w metale jest niskie i tylko miejscami współczynnik wzbogacenia miedzi, ołowiu i srebra wzrasta do 4. W większości zbadanych próbek nie przekracza 2. Oznacza to, że osadniki są słabo wzbogacone w metale, w stosunku do otaczających je gleb. Niewielką wartość współczynnika wzbogacenia wykazuje także srebro, co oznacza brak wzbogacenia lub nieznaczne wzbogacenie w srebro (fig. 2A, 3A). Na uwagę zasługuje także nieznaczne wzbogacenia w molibden oraz tytan (fig. 2B, 3B). Skład chemiczny osadów z osadników nie odbiega jednak znacząco od składu gleb w bezpośrednim ich otoczeniu, z wyjątkiem strontu i baru oraz wapnia i magnezu.

W wyniku przeprowadzonych analiz można stwierdzić, że koncentracje innych (poza miedzią i ołowiem) metali nie są znaczące. Współczynnik wzbogacenia, który wskazuje wzrost koncentracji składnika chemicznego w stosunku do pierwiastków referencyjnych w środowiskach naturalnych, może być zatem stosowany do badań nagromadzeń metali w odpadach w celu określenia koncentracji składników potencjalnie użytecznych. Do badań osadów poflotacyjnych współczynnik wzbogacenia (wg Muellera, 1979) zastosowano po raz pierwszy w pracy Duczmal-Czernikiewicz (2013).

Nagromadzone w osadniku Żelazny Most odpady znajdują obecnie zastosowanie do nadbudowy zapór składowiska, szczególnie frakcja gruboziarnista odpadów z rud piaskowcowych z ZWR Lubin i ZWR Rudna (rocznie ok. 25% produkowanych odpadów) (Lewiński i in., 2007).

Drobnodziarniste, węglanowe odpady z ZWR Polkowice (rocznie ok. 50% produkowanych odpadów flotacyjnych) są wykorzystywane do uszczelniania dna składowiska, zapobiegając infiltracji zmineralizowanych wód nadosadowych w jego podłoże. Ponadto za pomocą drobnodziarnistych odpadów flotacyjnych z ZWR Polkowice–Sieroszowice jest neutralizowany kwas siarkowy z hut miedzi (Górniak-Zimroz, 2009; Koterska, 2012). Istnieją również propozycje wykorzystania osadów do produkcji betonów (Kudełko, Nitek, 2011).

Technologie pozyskania metali z osadników obejmują nie tylko wykorzystanie całego osadu zgromadzonego w osadnikach, lecz także poszczególnych jego składników. Nowe kierunki badań nad możliwością odzysku metali dotyczą metod bioługowania (np. Matlakowska, Skłodowska, 2009; Rubio i in., 2002).

Składowisko może być uznane za złożo antropogeniczne jeżeli będą spełnione następujące warunki: (1) nagromadzona substancja ma cechy kopaliny lub stanowi surowiec przydatny dla określonych zastosowań oraz istnieją warunki do jej wykorzystania, (2) nagromadzony materiał w stanie surowym lub po odpowiednim przetworzeniu może stanowić produkt zbywalny, (3) ilość zgromadzonego materiału uzasadnia podjęcie jego eksploatacji (Nieć, 1999; Uberman, Uberman, 2007). W badanych osadnikach metale występują w małych koncentracjach oraz w stanie dużego rozproszenia, ponadto składowisko w Żelaznym Moście jest objęte szczególną ochroną prawną i nie może stanowić przedmiotu działalności górniczej.

Mimo ogromnych ilości odpadów, które powstają w wyniku przeróbki rud metali (Górski i in., 1996; Lewiński i in., 2007), zastosowanie odpadów rud miedzi do nadbudowy zapór oraz podsadzania wyrobisk eksploatacyjnych jest ograniczone (Kijewski, Downorowicz, 1987). Głównymi metodami zagospodarowania osadów w nieczynnych osadnikach są rekultywacja i zalesianie.

PODSUMOWANIE

1. Osady ze składowisk w Iwinach, Gilowie i Żelaznym Moście są wzbogacone w stosunku do gleb w bezpośrednim ich otoczeniu głównie w miedź, bar i stront oraz nieznacznie w tytan. Stare osadniki (w Gilowie i Iwinach), w porównaniu z osadnikiem czynnym (Żelazny Most), wykazują nieco wyższe współczynniki wzbogacenia w wapń, magnez, miedź i ołów. Wraz z miedzią wzrasta zawartość pierwiastków towarzyszących, np. srebra i molibdenu.

2. Współczynnik wzbogacenia, stosowany do badania zanieczyszczenia środowiska, może być także stosowany do badań nagromadzeń metali w odpadach poflotacyjnych w celu określenia koncentracji składników użytecznych.

3. Dotychczasowym kierunkiem zastosowania osadów w osadniku Żelazny Most jest nadbudowa zapór. Osadniki w Iwinach i Gilowie są poddawane skutecznej rekultywacji. Obecnie nie ma technologicznych ani prawnych możliwości do wykorzystania nagromadzonych w nich metali.

Podziękowania. Autorzy składają wyrazy wdzięczności Pracownikom i Dyrekcji KGHM SA, a szczególnie Pracownikom Zakładu Hydrotechnicznego, za umożliwienie przeprowadzenia badań.

Praca sfinansowana w ramach grantu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr NN 37 106035.

LITERATURA

- DOLD B., FONTBOTE L., 2002 — A mineralogical and geochemical study of element mobility in sulfide mine tailings of Fe oxide Cu-Au deposits from the Punta del Cobre belt, northern Chile. *Chem. Geol.*, **189**, 135–163.
- DUCZMAL-CZERNIKIEWICZ A., 2013 — Mineralogia i geochemia osadów po flotacji rud miedzi starego i nowego zagłębia miedziowego. Bogucki Wydaw. Nauk., Poznań.
- GALOS K., 2003 — Mineral waste raw materials and their importance in the domestic management of mineral raw materials. *Gosp. Sur. Miner.*, **19**: 15–27.
- GALUSZKA A., MIGASZEWSKI Z., 2011 — Geochemical background – an environmental perspective. *Mineralog.*, **42**, 1: 7–17.
- GÓRNIAK-ZIMROZ J., 2009 — Źródła i koszty środowiskowe gospodarki odpadami w KGHM Polska Miedź SA. *Pr. Nauk. Inst. Gór. PWr.*, **128**, 36: 103–116.
- GÓRSKI R., KRÓL P., LASKOWSKA J., LIPIŃSKI M., MITTEK M., MAŚLAK A., SUSZYCKI A., TARASEK W., ZAJBERT A., 1996 — Składowisko Żelazny Most. *W: Monografia przemysłu miedziowego. Monografia KGHM Polska Miedź SA, część 5.3* (red. A. Piestrzyński). Wydaw. KGHM Cuprum sp. z o.o., Wrocław.
- HOLMSTRÖM H., LIUNGBERG J., EKSTRÖM M., ÖHLANDER B., 1999 — Secondary copper enrichment in tailings at the Laver mine, northern Sweden. *Environ. Geol.*, **38**, 4: 327–342.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H., 2001 — Trace elements in soils and plants. CRC Press LLC.
- KIJEWSKI P., 1995 — Występowanie metali ciężkich na obszarze środkowego Nadodrza w strefie oddziaływania przemysłu miedziowego. *Fizykochemiczne Problemy Metalurgii*, **29**: 47–54.
- KIJEWSKI P., DOWNOROWICZ S., 1987 — Odpady poflotacyjne rudy miedzi jako potencjalna baza surowcowa. *Fizykochemiczne Problemy Metalurgii*, **19**: 205–211.
- KOTARSKA I., 2012 — Odpady wydobywcze z górnictwa rud miedzi w Polsce – bilans, stan zagospodarowania i aspekty środowiskowe. *Cuprum*, **4**, 65: 45–62.
- KUDEŁKO J., NITEK D., 2011 — Wykorzystanie odpadów z działalności górniczej jako substytutów surowców mineralnych. *Cuprum*, **3**, 60: 51–63.
- LEWIŃSKI J., MAŚLANKA W., MIZERA A., BANASZAK A., 2007 — Problemy zagospodarowania odpadów flotacyjnych. *W: Składowiska odpadów z flotacji rud miedzi. Monografia KGHM* (red. J. Lewiński): 665–667. Wydaw. KGHM Cuprum sp. z o.o., Wrocław.
- LIS J., PASIECZNA A., BOJAKOWSKA I., GLIWICZ T., FRANKOWSKI Z., PASŁAWSKIP., POPIOŁEK E., SOKOŁOWSKA G., STRZELECKI R., WOŁKOWICZ S., 1999 — Atlas geochemiczny Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego. Wydaw. Kartograficzne Polskiej Agencji Ekologicznej SA, Warszawa.
- ŁUSZCZKIEWICZ A., 2000 — Koncepcje wykorzystania odpadów flotacyjnych z przeróbki rud miedzi w regionie legnicko-głogowskim. *Journal of the Polish Mineral Engineering*: 25–35.
- MATLAKOWSKA R., SKŁODOWSKA A., 2009 — The culturable bacteria from organic-rich black shale of the Fore Sudetic Monocline (Poland) potentially useful in biometallurgical procedures. 2009. *J. Appl. Microbiol.*, **107**: 858–866.
- MUELLER F., 1979 — Schwermetalle in den sediment des Rheins, Veränderung seit 1971. *Umschau*, **79**: 778–783.
- NIEĆ M., 1999 — Złoże antropogeniczne. *Prz. Geol.* **47**, 1: 93–98.
- NIEĆ M., 2010 — Kopaliny towarzyszące i złoże antropogeniczne, problemy definicji i wykorzystania. *Gór. Odkryw.*, **51**, 2: 5–11.
- ROSSIŃSKI B., 1978 — Błędy w rozwiązaniach geotechnicznych. Wydaw. Geol., Warszawa
- RUBIO B., NOMBELA M.A., VILAS F., 2000 — Geochemistry of major and trace elements in sediments of the Ria de Vigo (NW Spain): an assessment of metal pollution. *Marine Pollution Bull.*, **40**, 11: 968–980.
- RUBIO J., SOUZA M.L., SMITH R.W., 2002 — Overview as a waste water treatment technique. *Minerals Engineering*, **15**: 139–155.
- UBERMAN R., UBERMAN R., 2007 — Metody wyceny wartości złóż antropogenicznych. *Gosp. Sur. Miner.*, **23**, 2: 35–47.
- ŻYLIŃSKA-DUSZA R., JAWORSKI A., LEWIŃSKI J., MIZERA A., 1996 — Przeróbka rud miedzi a środowisko przyrodnicze. *W: Monografia przemysłu miedziowego* (red. A. Piestrzyński): 753–783. Wydaw. KGHM Cuprum sp. z o.o., Wrocław.

SUMMARY

Due to the growing demand for mineral resources, some trends of intensification of research using industrial waste were observed in recent years, and places of their deposition. Among the types of waste there is sludge after flotation of copper ores, which is the result of their processing. The paper presents a study of sediments that form after the flotation of copper ores, deposited in three industrial waste facilities in the area of Lubin-Głogów Copper District in Lower Silesia, Poland. One of the investigated objects, currently active, is situated in Żelazny Most, while the other ones, in Iwiny and Gilów, were closed in the 20th century, in 1967 and in 1974, respectively. Enrichment in metals in these waste facilities was analyzed, which is represented by the enrichment factor

(EF) calculated on the basis of two reference elements: aluminum and scandium, according to the formula proposed by Mueller (1979). It has been shown that the greatest enrichment in the metals is characterized by the youngest tilling facility in Żelazny Most, as compared to those in Iwiny and Gilów. In addition, the enrichment factors show the highest values for copper and silver (Fig. 2A, B), and relatively low enrichments (in relation to the surrounding soil) in titanium and molybdenum (Fig. 3A, B). According to the current law the accumulations of metals in Żelazny Most do not have parameters typical of anthropogenic deposits. An assessment of the amount of metals in the waste facilities, and possibility of their use should be taken up in further research.