



# Zmiany rozkładu zawartości metali i uziarnienia podczas zalegania odpadów flotacji rud Zn/Pb na składowisku

## Changes in metal content and particle-size distribution with time of storage in the Pb/Zn flotation tailings ponds

Janusz GIRCZYS<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Prof. dr. hab. inż.; Politechnika Częstochowska, Instytut Inżynierii Środowiska; ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa; tel. (+48-34) 325 00 36; fax. (+48-34) 372 13 04; e-mail: jgircz@is.pcz.czest.pl

RECENZENCI: Prof. Ing. Peter FEČKO, CSc; Prof. dr hab. inż. Andrzej ŁUSZCZKIEWICZ

### Streszczenie

Flotacja jest w Polsce podstawowym procesem wzbogacania rud Zn/Pb od 1928r. Nagromadzone obecnie w osadnikach na terenie Bytomia odpady tego procesu zajmują obszar ok. 100ha. Od 1989r osadniki te nie przyjmują już nowych odpadów. Ich powierzchnię porasta rzadka roślinność, na ogół z naturalnej sukcesji. Do badań wytypowano dwa osadniki. Zajmują one łączną powierzchnię ~11ha i mają miąższość 18-23m. Powstawały kolejno w ciągu kilkudziesięciu lat w których flotowano rudę z tego samego złoża, przy nieistotnych dla jakości odpadów zmianach technologii. Materiał w osadnikach gromadzony jest warstwowo. Różnice w składzie poszczególnych warstw powinny być nieznaczne w przypadku braku przemian niezależnych od technologii a prowadzących do zmian składu. Osadniki opróbowano wykonując odwierty z powierzchni do dna deponowanego odpadu. Pobrane w wierceniach próbki dzielono wg głębokości zalegania. Aanalizowano uziarnienie i zawartość metali w poszczególnych próbkach. Okazało się, że zmienność składu związana z głębokością zalegania jest znaczna. Takie zmiany mogły być wywołane przez infiltrujące wody opadowe. W wyniku zachodzących reakcji i migracji materiału wewnątrz osadnika następuje: selekcja składników, samouszczelnianie złoża i zmiany składu wody odprowadzanej do środowiska. W czasie gdy materiał zalega w osadniku najdrobniejsze ziarna gromadzą się przy dnie i rośnie z głębokością koncentracja metali. W okresie pięćdziesięciu lat składowania sumaryczna zawartość metali w bryle składowiska pozostała na niezmiennym poziomie. Nie migrują one zatem w znaczących ilościach do wód gruntowych.

Słowa kluczowe: rudy Zn/Pb, odpady flotacyjne, migracja jonów metali, ochrona wód

### 1. Wprowadzenie

Rudy cynku i ołowiu są w Polsce wzbogacane od roku 1928. Ilość ich wydobyta w niecce bytomskiej, w latach 1901–1944, wynosiła  $24 \times 10^6$  ton. W następnych latach 1945–1984 wydobyto

### Summary

In Poland, zinc (Zn) and lead (Pb) ores have been processed by flotation process since the 1928. Around the city of Bytom, in southern Poland, the resultant tailings of this process have been stored on an approximately 100 ha site. The waste material was deposited in settling ponds located both above and below ground level in layers up to 25m thick. The fine particulate fraction (<0.2mm) of deposited material consists of waste rock and leftover ores following the flotation extraction process. Since 1989, no additional waste has been added to the existing storage sites, but these anthropogenic waste products now pose a potential hazard to the local environment. The surfaces of these sites are currently covered with sparse vegetation, mainly resulting from natural biological processes of succession. Two settling ponds were selected for testing. They cover a total area of approximately 11ha and are from 18 to 23m thick. The flotation tailings all originated from the same ore deposit and have been stored at the site over a period of several decades. Changes in processing technology have had only a slight effect on the overall properties of the waste. Samples for testing were collected from differentiated layers, using boreholes penetrating to the bottom layers of the waste pile. The particle size composition and metal content in each individual sample was analysed. Lab analysis found substantial variability within the soil composition, depending primarily upon the depth of deposition. Compositional variation could result from water infiltration during precipitation. As a result of the preceding internal reactions and migration of material within the settling ponds, the following processes take place: selective dilution of hazardous components, self-sealing of the deposit, and changes in chemical composition of water discharged into the environment. With time of storage, the finest particles tend to accumulate at the bottom of the pond which shows increased metal contents. The overall content of the heavy metals in the material deposited fifty years ago indicates that these metals are trapped inside the settling pond and are not released in a significant amount to the soil or ground water.

Keywords: Pb/Zn ores; flotation tailings; metallic ion migration; water protection

### 1. Introduction

In Poland, zinc and lead ores have been processed by flotation since 1928. In the Bytom basin, the amount of zinc ore mined over the 1901–1944 period amounted to  $24 \times 10^6$  tonnes, while in the subseque-

$33 \times 10^6$  ton. Rudy wydobywane w pierwszym okresie zawierały 17,5% Zn, podczas gdy w okresie późniejszym – 7,06% Zn. Taka różnica w zawartości metali wymagała istotnych zmian stosowanych technologii, przy czym flotacja stała się głównym procesem wzbogacania po 1950r.

Odpady z procesu flotacji blendy cynkowej mają charakter niskoprocentowej rudy polimetalicznej, przy czym głównym ich składnikiem jest dolomit (około 85%). Zawierają również markazyt (około 7%) Zn i Pb, które pojawiają się głównie w formie minerałów węglanowych. Resztę stanowią piasek kwarcowy i utlenione minerały żelaza.

Kilkadziesiąt lat po zakończeniu składowania w osadzonym materiale można wyróżnić dwie strefy. Pierwsza obejmuje warstwę powierzchniową, w której nastąpiło zubożenie zawartości metali. Druga, głębsza, zawiera materiał wzbogacony z dużą koncentracją metali. Zjawisko to pojawia się w wyniku ługowania metali w strefie utlenienia i redeponowania ich na granicy tej strefy, wyznaczonej przez poziom wód gruntowych. Ponowne osadzanie jest głównie efektem hydrolizy jonów metali i strącania węglanów. Istotną rolę może również odgrywać adsorpcja jonów metali na dolomicie.

W wyniku wielu lat stosowania procesu flotacji tylko na terenie Bytomia nagromadzono odpady w osadnikach zajmujących obszar ok. 100ha. Osadnikami są ziemne stawy podpoziomowo-nadpoziomowe w których zalega materiał w warstwie o miąższości do 25m. Osadzony drobnoziarnisty (<0,2mm) odpad stanowi skała płona i resztki kruszcu odrzucone w procesie flotacji. Jest to materiał obcy w środowisku w którym go umieszczono. Od 1989r osadniki te nie przyjmują już nowych odpadów. Ich powierzchnię pokrywa rzadka roślinność będąca głównie wynikiem naturalnej sukcesji.

W procesie składowania osadzano drobnoziarnisty materiał na dnie podnosząc równocześnie koronę (obwałowanie) stawu. Do tego celu używa się ok. 15% odpadów o grubszym uziarnieniu, wydzielanych w produkcji bieżącej [Ney, 1997]. W ciągu wielu lat składowania materiał tworzy warstwę grubości kilkunastu do kilkudziesięciu metrów. Tylko mała część tej warstwy zalega poniżej poziomu terenu. Reszta tworzy płaskie wyniesienie nad poziom otoczenia. Typowy niewielki osadnik o powierzchni 5 ha i 20 m warstwie osadzonego odpadu ma pojemność ok. 1 mln  $m^3$ . Ponad 30% tej objętości, czyli ok. 300 tys.  $m^3$  stanowi przestrzeń między ziarnami. Jest ona w nieczynnym już osadniku wypełniona przez wody opadowe, które infiltrują do otoczenia. Infiltrujące wody na swojej drodze kontaktują się z materiałem

ment 1945–1984 period  $33 \times 10^6$  tonnes were mined. The ore mined in the former period contained 17.5% Zn, while the ore mined in the latter period contained only 7.06% Zn. This huge change in the composition required major changes in the applied technology with flotation becoming the major beneficiation process in 1950's.

The flotation tailings from sphalerite flotation in this region have characteristics of a low-grade polymetallic ore with dolomite being its major mineralogical component (about 85%). This material also contains marcasite (about 7%); Zn and Pb appear in it mainly in the form of carbonate minerals. Quartz sand and oxidized iron minerals constitute the rest.

Such a material deposited in tailing ponds in the presence of oxygen and water undergoes changes. Several decades later two zones can be distinguished in the ponds. The first includes the surface layer in which the metal content diminished. The second deep layer contains the material with higher concentration of metals. This results from the leaching in the oxidation zone with re-deposition of the leached species at the border which position is determined by the level of ground water. Re-deposition mostly results from hydrolysis of metallic ions and precipitation of carbonates. Also adsorption of the metallic ions onto dolomite may play an important role.

Around the city of Bytom, in southern Poland the resultant tailings of this process have been stored approximately 100ha site. The waste material was deposited in settling ponds located both above and below ground level in layers up to 25m thick. The fine particulate fraction (<0.2mm) of deposited material consist of waste rock and remaining valuable minerals following the flotation extraction process. Since 1989, no additional waste has been added to the existing storage sites, but these anthropogenic waste products now pose a potential hazard to the local environment. The surfaces of these sites are currently covered with sparse vegetation, mainly resulting from natural biological process of succession.

When deposited, the retention embankment of the pond was simultaneously raised. Approximately 15% of the total coarse-sized tailing material was used to construct the retention embankment [Ney, 1997]. Over the course of the storage period, the material differentiated into separate layers with a thickness varying from ten to several tens of metres. Only a small portion is deposited below ground level, while the remainder forms a flat mound over the storage area. A typical small-sized settling pond, with an area of 5ha, and a 20m thick layer of deposited tailings, has a volume of ca. 1 million  $m^3$ . Over 30% of this volume, or approximately 300,000  $m^3$ , is space between the particles. In an inactive settling pond, this space is filled with rainfall water, which then infiltrates into

odpadowym. Na granicy ciecz-ciało stałe zachodzą procesy będące przyczyną:

- przemian w materiale osadzonym,
- oddziaływania osadnika na otaczające środowisko wodne i roślinne.

Skalę tych zjawisk ilustrują rejestrowane na przełomie stulecia dane:

- stawy osadowe na terenie śląskiego zagłębia zajmują blisko 400 ha [Guziel, 1988],
- nagromadzono w nich prawie 100 mln Mg materiału [Śmieszek, 1998],
- zawierają cynk (ok. 3%), ołów (ok. 1%) oraz towarzyszące metale ciężkie – Cd, As, Sb i inne w ilościach śladowych [Girczys, 2002].

Należy zaznaczyć, że najwięksi światowi producenci cynku i miedzi [Surowce mineralne świata, 1978], eksploatując często złoża węglanowe wytwarzają odpady mineralne o podobnej charakterystyce, ale w dużo większej skali. Problem odpadów z flotacji rud dotyczy: Kanady, USA, Południowej Ameryki, Uzbekistanu, Niemiec i Rumunii [Komnitsas, 1998].

Ocenę zagrożenia środowiska przez odpady podejmowano w badaniach przemian zachodzących w materiale nagromadzonym a osadnikach [Chodyniecka, 1995]. Niezależnie od tego prowadzono obserwacje otoczenia terenu składowania [Grabowska, 1996]. Wyniki tych badań nie dostarczyły jednoznacznej oceny stanu zagrożenia. Nie tłumaczyły również fenomenu znikomej degradacji środowiska wodnego [Girczys, 1998] i roślinności [Girczys, 1999a] w sąsiedztwie osadników. Najbardziej prawdopodobny mechanizm tego fenomenu przedstawiono w oparciu o własne badania migracji jonów metali ciężkich w roztworach kontaktujących się z odpadami flotacji blendy [Girczys, 1999b]. Zjawiska obserwowane wokół osadników należy badać w powiązaniu z przemianami jakie zachodzą w ich wnętrzu. Analiza materiału pobieranego z różnej głębokości wypełnionego i nieczynnego od wielu lat osadnika powinna dostarczyć informacji o zachodzących procesach. Warunkiem niezbędnym jest wiedza o pierwotnych właściwościach i technologii składowania materiału. W oparciu o te podstawowe założenia w prezentowanej tu pracy oceniono zmiany zachodzące w bryle składowanych odpadów flotacji rud Zn – Pb.

the surrounding environment. While moving through the tailing pile, infiltrating water comes into contact with the waste material. At the solid-liquid interface, interactive processes occur which give rise to:

- transformations in the deposited material,
- influence of the settling pond on the surrounding water environment and vegetation.

Data collected at the turn of the century illustrates the potential scale of these phenomena:

- settling ponds in the area of the Silesian basin cover nearly 400ha [Guziel, 1988],
- nearly 100 million tonnes of material has been stored in them [Śmieszek, 1998],
- they contain zinc (ca.3%), lead (ca. 1%) and accompanying heavy metals – Cd, As, Sb, as well as others appearing in trace amounts [Girczys, 2002].

It has to be mentioned that the major producers of zinc and copper [Mineral resources of the World, 1878], while exploiting carbonate deposits worldwide, have created waste material with similar characteristics on a much larger scale. Thus, the problem of flotation ore tailings also concerns Canada, the United States, South America, Uzbekistan, Germany and Romania [Komnitsas, 1998].

An evaluation of the hazard to the environment caused by the waste material was performed in a number of studies evaluating the transformations taking place inside the settling ponds [Chodyniecka, 1995]. Independently, the environment surrounding storage site areas was also monitored [Grabowska, 1996]. The results of these investigations did not provide any unambiguous answers to the question of the magnitude of the related hazard. Also, they failed to explain the insignificant scale of degradation within the aqueous environment [Girczys, 1998] or within vegetative matter [Girczys, 1999a] in the vicinity of the settling ponds.

The most probable mechanism reducing the degradation of hazards in the aqueous environment has been presented in our own studies on the migration of heavy metals ions in solutions when in contact with waste material from flotation of zinc ores [Girczys, 1999b]. The phenomena observed around settling ponds should be investigated in connection with the transformations taking place inside of them. Analyses of material collected from various depths of the filled settling pond, which has been inactive for many years, should provide information concerning the diverse processes occurring at different depths within its body. In order to undertake this analysis, it is necessary to have knowledge regarding the original properties and technology used during the initial material storage. Using these baseline assumptions, this paper evaluates the changes that occurred within the deposited waste material resulting from the Zn/Pb ore flotation process.

## 2. Założenia i zakres badań

Założenia badawcze wynikają ze sposobu formowania (budowy) osadnika. Podstawową cechą charakteryzującą zbiór ziarn tworzących bryłę osadnika jest pochodzenie z jednego procesu. W procesie tym flotowano rudę z tego samego złoża przez wiele dziesięcioleci. W okresie napełniania osadnika nie ulegał istotnym zmianom skład mineralogiczny i ziarnowy odpadów. Odpady osadzano warstwowo podnosząc poziom przelewu wody zwrotnej stopniowo w miarę narastania osadu dennego. Punktu zrzutu były przemieszczane na obrzeżu stawu dla wyrównania powierzchni zdeponowanej warstwy. Wynika z tego, że niezależnie od miejsca poboru próbki wyznaczonego na wierzchołku, materiał pobrany z tej samej głębokości pochodzi z jednego, ściśle określonego czasu. Wykonując wiercenia do gruntu rodzimego uzyskujemy próbki z całego okresu eksploatacji stawu osadowego. Fragmenty rdzeni odpowiadające tej samej głębokości stanowią zbiór próbek, których uśrednione właściwości są najlepszym przybliżeniem opisującym próbkę pochodzącą z podzbioru ziaren wprowadzonych na staw osadowy w jednym czasie.

To założenie umożliwia wykonywanie analiz i obliczeń nie dla próbek z poszczególnych otworów wiertniczych lecz sumowanych – pochodzących z określonej głębokości.

Zakres pracy objął:

- opróbowanie dwu osadników, które powstały kolejno w nieprzerwanym ciągu czasu,
- pobór próbek przez wiercenie pionowych otworów o głębokości 19 – 23 m, każdorazowo do gruntu rodzimego,
- analizę ziarnową i chemiczną odcinków rdzeni z ustalonej głębokości,
- ocenę statystyczną zmienności składu ziarnowego i zawartości metali z głębokością.

W oparciu o przedstawione założenia można było przyjąć, że różnice właściwości próbek obserwowane z głębokością są głównie wynikiem przemian zachodzących w bryle nieczynnego osadnika w czasie po jego uformowaniu. Zmiany technologii i składu materiału w czasie formowania (*budowania*) osadnika mają tu wpływ drugorzędny.

## 3. Metodyka

### 3.1. Materiał

Materiał do badań pobrano z dwu nieczynnych osadników zlokalizowanych obok siebie.

Powstawały one kolejno po sobie w krótkim, kilkudziesięcioletnim okresie czasu. Znajdują się

## 2. Assumptions and scope of investigations

The assumptions of this research project begin with the way in which the settling pond was formed. The basic feature that characterises the deposition of particles forming the body of the settling pond was their common origin from the same deposit and subsequent processing via flotation. The flotation method was employed for several decades in the processing of ores in this region. The mineralogical and particle-size composition did not significantly change during the period when filling the settling basins. The waste material was deposited in layers, gradually moving up to the overflow level as the thickness of the bottom sediment increased. The discharge points were moved periodically around the periphery of the pool in order to level the surface of the deposited layer. As a result, irrespective of the sampling location, sample material from the same depth will have been deposited at a particular, strictly defined period of time. By drilling into the parent soil, one may obtain samples covering the entire period of operation of the settling pond. Core fragments corresponding to a particular depth constitute a variety of samples, the averaged characteristics of which are the best approximation for describing a sample belonging to the subset of particles introduced into the pond over a defined period. This assumption allows for analyses and calculations not based on individual borehole samples, but rather a summation of sample characteristics derived from a given depth.

The scope of the work included the following:

- sampling of two settling ponds, which were created consecutively over a continuous period of time,
- collection of samples by means of vertical holes drilled 19 to 23m deep, always into the parent soil,
- particle-size distribution and chemical analyses of core fragments collected from a given depth,
- statistical evaluation of the variability of the particle-size distribution and metal content as a function of depth.

To sum it up, one could reasonably assume that the differences in the properties of the samples, observed in relation to depth, mainly result from transformations taking place inside the body of the inactive settling pond after it had been formed. Any changes in the flotation technology used or material composition are therefore of minor importance.

## 3. Methodology of experiments

### 3.1. Material

The testing material was collected from two inactive settling ponds located next to each other.

They were created consecutively over a period of several decades. They exist in identical hydro-ge-

w identycznych warunkach hydrogeologicznych i zawierają taki sam materiał odpadowy (*odpad*). Każdy z osadników zajmuje teren około 5 ha. Miąższość osadzonej warstwy odpadów 19–23 m. Materiał jest drobnoziarnisty <0,2 mm. Podstawowym jego składnikiem (do 80%) jest dolomit.

Próbki pobrano z wierceń głębokich, przewiercając materiał osadników do gruntu rodzimego. Wykonano 4 otwory w osadniku pierwszym i 6 w osadniku drugim – młodszy. Używano urządzenia wiertniczego typu DELATATABASE 540 firmy Boart Longyear.

Uzyskane z wierceń rdzenie dzielono na próbki:

- do głębokości 7 m co 1 m,
- poniżej 7 m co 5 m.

Podziału dokonano na miejscu wierceń, po czym zabezpieczono materiał w oznakowanych szczelnych workach foliowych. Zabezpieczony materiał był dostarczany do laboratorium i kierowany do analiz: technicznej i chemicznej.

### 3.2. Metody oznaczeń

Materiał dostarczony do laboratorium po zważeniu i oznaczeniu zawartości wilgoci poddawano suszeniu do stanu analitycznego i analizie składu ziarnowego. Próbki klas ziarnowych do dalszych badań wydzielano używając sit analitycznych o odpowiedniej wielkości oczek. Używano sit z oczkami kwadratowymi.

Analizie chemicznej na zawartość wybranych metali, tj. Zn, Pb i Ag poddawano próbki uśrednione i przygotowane wg normowanej procedury. Korzystano z normy BN-86/0818-01/01 pt. „Analiza chemiczna rud i odpadów cynkowo-ołowiowych. Wytyczne ogólne”.

Analiza form tlenkowych Zn i Pb była wykonywana z roztworów po selektywnym ługowaniu tych form.

### 3.3. Analiza statystyczna wyników

Ocenie statystycznej poddano istotność zmian właściwości materiału w funkcji głębokości zalegania w osadniku. Posłużono się ogólnie przyjętymi wzorami obliczeniowymi [Volk, 1973; Margenau, 1962].

Stosowano wzory na:

- średnią arytmetyczną  $\bar{x}$  liczb  $x_1 \dots x_n$ :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

- średnią arytmetyczną ważoną:

$$\bar{x}_w = \frac{\sum_{i=1}^n x_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2)$$

ological conditions and contain the same waste material. Each of the ponds covers an area of about 5ha. The thickness of the waste material layer deposited is 19–23 m. The material is fine-grained with a particle size <0.2 mm. The primary component (ca. 80%) is dolomite. The samples were collected via deep drilling into the parent soil. Four boreholes were made in the first settling pond, and six in the newer pond. A DELATATABASE 540 – type drilling rig manufactured by Boart Longyear was used to procure the sample material.

The cores collected during the course of drilling were divided into the following samples:

- up to 7m, every 1m,
- over 7m, every 5m.

The division was done on site, and then the material was placed in sealed, properly marked, plastic bags. Samples were then transported to the laboratory to perform technical and chemical analyses.

### 3.2 Sample characterisation

After weighing and determining moisture content, the material was transported to the laboratory and subjected to drying until reaching a suitable analytical state. The particle-size distribution was then determined using square mesh screens.

Chemical analyses determined the content of Zn, Pb and Ag in averaged samples, which were prepared according to standardised procedure (BN86/0818-01/01).

Analyses of Zn and Pb oxide forms were performed after selective leaching of the samples.

### 3.3. Statistical analysis of results

The significance of the changes in material properties as a function of depth of deposition in the settling pond was statistically evaluated. Generally accepted computational formulas were used [Volk, 1973, Margenau, 1962].

The following formulas were used for:

- arithmetic mean  $\bar{x}$  of numbers  $x_1 \dots x_n$  :

- weighted arithmetic mean:

gdzie:

$w_i$  – waga statystyczna wartości  $x_i$ ,

- odchylenie standardowe:

$$\sigma(x) = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (3)$$

- błąd prawdopodobny średniej ważonej:

$$P_w = \pm 0,6745 \sqrt{\frac{\sum w_i \sigma_i^2}{(n-1) \sum w_i}} \quad (4)$$

gdzie:

$\sigma_i$  – odchylenie standardowe parametru  $x_i$ .

- korelację liniową dwóch zmiennych  
Pary zmiennych odnoszące się do poszczególnych obserwacji oznaczono  $x_i$  i  $y_i$ . Zmienną zależną  $y$  jest właściwość oznaczana, np. zawartość metalu w próbce. Zmienna niezależna (obserwowana)  $x$  to np. głębokość zalegania próbki badanej. Gdy istnieje korelacja liniowa, obliczona wartość zmiennej niezależnej wynosi:

$$\hat{y} = a + bx$$

gdzie:

$a$  – wartość obliczona  $y$  dla  $x = 0$ ;

$b$  – współczynnik nachylenia prostej.

Wartości  $a$  i  $b$  odpowiadają prostej najmniejszej sumy kwadratów odchyłek  $y_i$  od  $\hat{y}$ . Wyliczenie parametrów prostej i współczynnika korelacji  $r$  wykonano znajdując (obliczając)  $\sum' x^2$ ;  $\sum' y^2$ ;  $\sum' xy$  z zależności:

$$\sum' x^2 = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}$$

$$\sum' y^2 = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}$$

$$\sum' xy^2 = \sum xy^2 - \frac{\sum x \sum y}{n}$$

Wartości  $a$ ,  $b$  i  $r$  oblicza się z wzorów:

where:

$w_i$  – is the statistical weight of the value  $x_i$ ,

- standard deviation:

gdzie:

$\sigma_i$  – standard divergence of the parameter  $x_i$ .

- linear correlation of two variables.  
The pairs of variables referring to individual observations were denoted  $x_i$  and  $y_i$ . The dependant variable  $y$  is the characteristic determined, e.g. the content of metal in the sample. The independent (observed) variable  $x$  is the depth at which the analysed sample is deposited. When there is a linear correlation, the calculated value of the independent variable equals:

where:

$a$  – calculated value  $y$  for  $x = 0$ ;

$b$  – coefficient of line inclination.

The values  $a$  and  $b$  refer to the least squares line of deviations of  $y_i$  from  $\hat{y}$ . The computations of the parameters of the line and correlation coefficient  $r$  were performed by finding  $\sum' x^2$ ;  $\sum' y^2$ ;  $\sum' xy$  from a relationship:

The values of  $a$ ,  $b$  and  $r$  are calculated from the following formulas:

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (5)$$

$$b = \frac{\sum' xy}{\sum' x^2} \quad (6)$$

$$r = \frac{\sum' xy}{(\sum' x^2 \cdot \sum' y^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (7)$$

Współczynnik  $r$  jest miarą istotności korelacji. Zmienia się w przedziale  $\pm 1 - 0$ . Wartość  $\pm 1$  świadczy o całkowitej korelacji – nie ma odchyłań  $y_i$  od  $\hat{y}$ .

## 4. Wyniki badań

### 4.1. Badania składu ziarnowego

Wyniki analizy ziarnowej materiału w osadnikach I i II posłużyły do obliczenia średnich wychodu poszczególnych klas ziarnowych w warstwach zalegających na tej samej głębokości.

Starszy osadnik I nie był już wykorzystywany od lat sześćdziesiątych minionego stulecia. Po zakończeniu składowania w osadniku I rozpoczęto składowanie w osadniku II i korzystano z niego ok. 20 lat tj. do roku 1981. Górna warstwa w osadniku I pochodzi z tego samego okresu produkcji co denna warstwa osadnika II.

Wyniki wychodu tych samych klas ziarnowych z odcinków rdzeni odpowiadających jednakowej głębokości wierceń sumowano. Uzyskiwano w ten sposób dla każdego osadnika uśrednione wartości wychodu poszczególnych klas dla określonej głębokości. Dla próbek uśrednionych obliczono współczynniki korelacji między głębokością, a wychodem poszczególnych klas. Sumowane wychody i współczynniki korelacji zestawiono w tablicy 1.

Tablica 1  
Współczynnik korelacji między głębokością poboru próby, a wychodem klasy ziarnowej

The coefficient  $r$  is a measure of the correlation significance. It varies over the range  $\pm 1 - 0$ . The value  $\pm 1$  means full correlation – there are no deviations of  $y_i$  from  $\hat{y}$ .

## 4. Results

### 4.1. Analyses of the particle – size distribution

The results of particle-size analysis of the material in settling ponds I and II were the basis for calculating the average yield of individual particle classes in layers located at the same depths.

The older pond has not been in operation since the 1960's. When settling pond I ceased storing waste material, settling pond II began operations lasting for the next 20 years, until 1981. Therefore, the upper deposition levels in pond I date from the same time as the bottom level of the pond II.

Yields of the same particle-size classes from core fragments corresponding to the identical depth of drilling were summed up. Through such a procedure, the results were averaged values corresponding to the yield of particular particle-size class for a given depth. The coefficients of correlation between depth and probability of outcome for particular particle-size classes have been calculated for the averaged samples. The summed outcome and correlation coefficients are presented in Table 1:

Table 1  
The coefficient of correlation between the depth of the sample and yield of individual particle-size classes

Osadnik I, Settling pond I						
Głębokość Depth [m]	Środek głębokości Depth central point [m]	Wychód klasy ziaren w [mm] Particle-size yield [mm]				Suma Sum [kg]
		> 0,2 [kg]	0,2 > 0,1 [kg]	0,1 > 0,056 [kg]	< 0,056 [kg]	
2,0 – 7,0	4,5	0,54	2,88	4,77	11,81	20
7,0 – 12,0	9,5	0,42	1,02	3,56	15,0	20
12,0 – 17,0	14,5	0,21	0,43	2,12	17,24	20
17,0 – 19,0	18,0	0,23	0,51	2,33	16,93	20
Suma, Sum		1,4	4,84	12,78	60,98	80
Korelacja, Correlation		- 0,95	- 0,89	- 0,94	0,93	
Osadnik II, Settling pond II						
Głębokość Depth [m]	Środek głębokości Depth central point [m]	Wychód klasy ziaren w [mm] Particle-size yield [mm]				Suma Sum [kg]
		> 0,2 [kg]	0,2 > 0,1 [kg]	0,1 > 0,056 [kg]	< 0,056 [kg]	
2,0 – 7,0	4,5	5,085	9,135	11,775	19,005	45
7,0 – 12,0	9,5	0,645	2,625	7,41	34,32	45
12,0 – 17,0	14,5	0,45	1,695	6,555	36,3	45
17,0 – 19,0	18,0	0,585	1,86	6,48	36,075	45
Suma, Sum		6,765	15,315	32,22	125,7	180
Korelacja, Correlation		- 0,803	- 0,85	- 0,88	0,85	

Współczynnik korelacji jest wysoki. Równocześnie obserwuje się różnorodność materiału poszczególnych warstw pod względem składu ziarnowego. Wyższy współczynnik korelacji występuje w osadniku starszym I, którego eksploatację zakończono kilkadziesiąt lat wcześniej. Osadnik młodszy II, którego wypełnianie skończono w 1981 r. nie podlegał tak wyraźnym przeobrażeniom. W obu osadnikach obserwuje się przewagę klas ziarnowych grubszych na mniejszych głębokościach i zwiększanie udziału klasy pyłowej (<0,056 mm) na dużych głębokościach.

#### 4.2. Zawartość metali w materiale składowanym

Do badań wyznaczono nieczynny od pół wieku osadnik I. W materiale oznaczano metale i ich formy utlenione. Wyniki analiz posłużyły do obliczenia średniej zawartości metali w całej bryle osadnika.

Zawartości metali oznaczone w poszczególnych odcinkach rdzeni, odpowiadających tej samej głębokości dla każdego z 4 otworów, sumowano. Następnie z sumy obliczono średnią zawartość składnika ( $\bar{x}_i$ ) w danej warstwie ( $i$ ) oraz odchylenie standardowe wyliczonej średniej ( $\sigma_i$ ). Wyliczonej średniej przypisano wagę ( $w_i$ ) równą grubości warstwy w metrach.

Z tak uzyskanych danych obliczono średnią zawartość składnika (wg wzoru 2) i błąd prawdopodobny obliczonej wartości (wg wzoru 4), przy  $n = 8$ ; równym ilości próbowanych warstw.

Wyliczone średnie ważone zawartości składników w materiale całej bryły osadnika i błędu prawdopodobnego średniej zestawiono w tablicy 2.

As can be seen in Table 1, the coefficient of correlation is high. At the same time, it can be seen that the material of individual layers is very diversified as far as the particle composition is concerned. Higher correlation coefficients can be observed in the older settling pond, which ceased to function in the 1960s. The newer pond II, non-functioning since 1981, has not undergone such visible transformations. In both ponds, one observes the predominance of coarser particle-size classes at shallower depths, and an increased share of the particle class size <0.056 mm, deeper in the pond.

#### 4.2. The content of metals in the stored material

Samples from the older settling pond (Pond I) were chosen for testing. The content of metals and their oxidized forms was determined in the material. The results of the analyses served as a basis for calculation of the average content of metals in the whole body of the settling pond. The content of metals determined in individual core fragments corresponding to the same depth in all four holes was summed up. Then, based on this sum, the average of the content of the component ( $\bar{x}_i$ ) in a given layer ( $i$ ) and standard deviation from the calculated mean ( $\sigma_i$ ) was determined. The calculated mean was assigned a weight ( $w_i$ ) equal to the thickness of the layer in meters.

From the data obtained in this manner, the average content of a component was calculated (acc. to formula 2) and the probable error of the calculated value (acc. to formula 4), with  $n = 8$ ; equal to the number of sampled layers.

The calculated weighted average contents of components in the material of the body of the settling pond, as well as the probable error are presented in Table 2.

Tablica 2  
Średnie ważone i błąd prawdopodobny średnich dla zawartości metali w osadniku

Składnik Component	$\bar{x}$ (zawartość w % wag.) (content, % by weight)	$P_w$
Zn	2,92	$\pm 0,09$
ZnO	1,61	$\pm 0,058$
Pb	1,41	$\pm 0,08$
PbO	0,95	$\pm 0,03$
Fe	11,49	$\pm 0,29$
FeO	1,91	$\pm 0,06$
Cd	0,013	$\pm 0,0007$
Ag	0,0013	$\pm 0,000065$

Table 2  
The weighted mean and probable error of the mean for the content of metal in the sediment

#### 4.3. Korelacja między głębokością a zawartością składnika w wydzielonej klasie ziarnowej

Próbki utworzone z odcinków rdzeni odpowiadających rosnąco głębokości zalegania od 2 – 19 m w osadniku I poddano rozdziałowi na klasy ziarn-

#### 4.3 Correlation between the depth and component content in the separated particle-size fractions.

The samples prepared from core fragments corresponding to depths 2-19m in the settling pond I were divided according to their particle-size classes.



nowe. W poszczególnych klasach, które odpowiadały określonej głębokości zalegania oznaczano Zn, Pb, ich formy utlenione i Ag.

Wyniki analiz posłużyły do obliczenia średniej zawartości metali dla czterech klas ziarnowych wydzielonych z próbek na różnej głębokości. Posługując się danymi uśrednionymi obliczono współczynnik korelacji między głębokością, a zawartością metali i stopniem utlenienia. Jako stopień utlenienia przyjęto stosunek zawartości Zn i Pb występujących jako węglany lub tlenki do ich całkowitej zawartości w próbce.

Wartości średnich i obliczone współczynniki korelacji zestawiono w tablicy 3.

Individual size classes of Zn and Pb (as well as their oxidised forms), were determined and correlated to a particular depth.

The result of these analyses served to calculate the average metal content for four particle-size classes separated from the samples collected at different depths. Using the averaged data, the coefficient of correlation between the depth, content of metals, and their degree of oxidation was calculated. The degree of oxidation was taken to be the ratio of content of Zn and Pb existing as oxides and carbonates in relation to their total content in the sample.

The values of the means and calculated coefficients of correlation are presented in Table 3.

Tablica 3

Współczynniki korelacji między głębokością pobrania próby, a zawartością składnika w danej klasie ziarnowej

Table 3

The coefficients of correlation between the depth and content of the component in a given particle-size class

Zn (całkowity) Zn (total)					
Głębokość Depth [m]	Środek głębokości Depth central point [m]	Zawartość metalu w poszczególnych klasach ziarnowych Metal content in individual particle size classes			
		> 0,2	0,2 > 0,1	0,1 > 0,056	< 0,056
		% wag.	% wag.	% wag.	% wag.
2,0 – 7,0	4,5	1,26	1,29	2,15	2,38
7,0 – 12,0	9,5	1,98	1,63	2,54	2,91
12,0 – 17,0	14,5	2,85	2,15	3,05	3,29
17,0 – 19,0	18,0	5,58	4,25	4,30	4,40
Korelacja Correlation		0,93	0,89	0,94	0,96

Zn (utleniony) Zn (oxidized)					
Głębokość Depth [m]	Środek głębokości Depth central point [m]	Zawartość metalu w poszczególnych klasach ziarnowych Metal content in particular particle size classes			
		> 0,2	0,2 > 0,1	0,1 > 0,056	< 0,056
		% wag.	% wag.	% wag.	% wag.
2,0 – 7,0	4,5	0,69	0,81	1,51	1,64
7,0 – 12,0	9,5	0,80	0,81	1,44	1,68
12,0 – 17,0	14,5	1,23	0,94	1,71	1,73
17,0 – 19,0	18,0	1,89	1,64	1,90	1,85
Korelacja Correlation		0,94	0,82	0,88	0,95

ZnO/Zn					
Głębokość Depth [m]	Środek głębokości Depth central point [m]	Stopień utlenienia Zn w poszczególnych klasach ziarnowych Level of oxidisation in particular particle size classes			
		> 0,2	0,2 > 0,1	0,1 > 0,056	< 0,056
		% wag.	% wag.	% wag.	% wag.
2,0 – 7,0	4,5	0,54	0,63	0,70	0,69
7,0 – 12,0	9,5	0,40	0,50	0,57	0,58
12,0 – 17,0	14,5	0,43	0,44	0,56	0,53
17,0 – 19,0	18,0	0,34	0,39	0,44	0,42
Korelacja Correlation		- 0,88	- 0,98	- 0,95	- 0,99

Pb (całkowity) Pb (total)					
Głębokość Depth [m]	Środek głębokości Depth central point [m]	Zawartość metalu w poszczególnych klasach ziarnowych Metal content in particular particle size classes			
		> 0,2	0,2 > 0,1	0,1 > 0,056	< 0,056
		% wag.	% wag.	% wag.	% wag.
2,0 – 7,0	4,5	0,41	0,31	0,46	0,98
7,0 – 12,0	9,5	0,96	0,53	0,90	1,60
12,0 – 17,0	14,5	1,44	0,71	1,34	1,89
17,0 – 19,0	18,0	1,68	1,11	1,46	2,16
Korelacja Correlation		0,99	0,97	0,99	0,98

PbO (utleniony) PbO (oxidized)					
Głębokość Depth [m]	Środek głębokości Depth central point [m]	Zawartość metalu w poszczególnych klasach ziarnowych Metal content in particular particle size classes			
		> 0,2	0,2 > 0,1	0,1 > 0,056	< 0,056
		% wag.	% wag.	% wag.	% wag.
2,0 – 7,0	4,5	0,27	0,19	0,34	0,75
7,0 – 12,0	9,5	0,63	0,39	0,66	1,15
12,0 – 17,0	14,5	1,01	0,50	0,85	1,21
17,0 – 19,0	18,0	1,16	0,79	1,03	1,49
Korelacja Correlation		0,99	0,98	0,99	0,96

PbO/Pb					
Głębokość Depth [m]	Środek głębokości Depth central point [m]	Stopień utlenienia Pb w poszczególnych klasach ziarnowych Level of oxidation in particular particle size classes			
		> 0,2	0,2 > 0,1	0,1 > 0,056	< 0,056
		% wag.	% wag.	% wag.	% wag.
2,0 – 7,0	4,5	0,66	0,61	0,74	0,77
7,0 – 12,0	9,5	0,66	0,74	0,73	0,72
12,0 – 17,0	14,5	0,70	0,70	0,63	0,64
17,0 – 19,0	18,0	0,69	0,71	0,71	0,69
Korelacja Correlation		0,83	0,62	- 0,53	- 0,79

Ag					
Głębokość Depth [m]	Środek głębokości Depth central point [m]	Zawartość metalu w poszczególnych klasach ziarnowych Metal content in particular particle size classes			
		> 0,2	0,2 > 0,1	0,1 > 0,056	< 0,056
		% wag.	% wag.	% wag.	% wag.
2,0 – 7,0	4,5	0,0008	0,0008	0,0009	0,0011
7,0 – 12,0	9,5	0,0010	0,0008	0,0011	0,0014
12,0 – 17,0	14,5	0,0016	0,0010	0,0014	0,0016
17,0 – 19,0	18,0	0,0020	0,0015	0,0015	0,0019
Korelacja Correlation		0,98	0,86	0,99	1

## 5. Omówienie

Analiza składu ziarnowego odpadów w dwóch osadnikach wykazała, że wraz z głębokością rośnie w kolejnych warstwach udział ziaren najdrobniejszych (< 56 mm) i maleje udział ziaren grubszych. Zależność ta może być opisana, dla każdej klasy,

## 4. Discussion of results

The analyses of particle-size composition of the waste material in two settling ponds has revealed that as depth increases in subsequent layers, the proportion of the finest particles (<56 mm) also increases, and alternatively, the percentage of coarser particles decreases.

funkcją liniową, której wysoki współczynnik korelacji potwierdza istotność obserwacji. Oznacza to, że prawdopodobieństwo nie występowania korelacji jest bardzo małe [Fischer, 1953]. Niezależnie od istotności korelacji ważna jest jej przyczyna. Gdyby założyć, że materiał po zdeponowaniu nie podlega przemianom to trzeba by znaleźć odpowiedź na pytania:

- dlaczego występuje ciągła zmiana uziarnienia materiału z głębokością,
- dlaczego współczynniki korelacji obliczone dla starszego osadnika są znacząco wyższe,
- dlaczego denna warstwa osadnika II różni się uziarnieniem od górnej osadnika I, gdy pochodzą z jednego okresu.

Najprostsze odpowiedzi są dwie. Jedna to, że drobne ziarna migrują do dna osadnika z infiltrującymi roztworami. Druga, że z infiltrujących przez osadnik roztworów wodnych strącają się drobnopiękne osady. Należy wówczas założyć przewagę procesów roztwarzania w górnej i strącania w dolnych partiach osadnika. Możliwe, że oba zjawiska (migracji i strącania) mają udział w obserwowanych różnicach uziarnienia poszczególnych warstw.

Z obserwacji zjawisk zachodzących w zewnętrznej warstwie osadnika [Chodyniecka, 1995] i otoczenia [Grabowska, 1996] wynikało, że z bryły osadzonego materiału odprowadzane są do środowiska metale ciężkie. Zjawisko to powinno łączyć się z podwyższoną zawartością metali w wodach i roślinności – czego nie potwierdzono [Girczys, 1998; 1999a]. Drugim skutkiem uwalniania metali do otoczenia mógłby być ubytek ich średniej zawartości w materiale całej bryły osadnika. Ubytek taki po kilkudziesięciu latach składowania byłby znaczny w stosunku do danych z okresu lokowania odpadu w stawie osadowym.

Ocenę średniej zawartości w osadniku przeprowadzono dla tych metali, które bilansowano w procesie produkcyjnym. Zawartości te, podane w tabelicy 2, przekraczają lub są w górnej granicy zawartości wykazywanej w odpadach flotacyjnych przez technologów w latach sześćdziesiątych.

Ponieważ trudno przypuszczać, że w osadniku przybyło Zn, Pb i Ag lub, że tak gwałtownie ubyło dolomitu, przyczyny uzyskanego wyniku należy poszukiwać w tendencji do zaniżania strat metali w okresie gdy formowano osadnik. Dane w tabelicy 2 są kluczowym dowodem na zamknięcie metali ciężkich w bryle osadnika, uniemożliwiające przenikanie ich do środowiska.

Znakomitym potwierdzeniem ograniczania przez odpady migracji jonów metali ciężkich jest bujne, nie wykazujące objawów zatrucia, życie biologiczne w minirezerwacie „Żabie Doły”. Rezerwat ten usytuowany jest w odległości ok. 500 m od osadników

This relationship can be described for each size distribution class with a linear function, while the high correlation coefficient indicates the significance of the observed data. This indicates the probability of non-occurrence of the correlation is very low [Fischer, 1953]. The importance of the sample origin is independently significant for the correlation. Should the assumption be made that after depositing the material, the waste does not undergo any transformations, than the following questions need to be answered:

- Why is there a linear particle-size class variation related to the depth?
- Why are the coefficients of correlation calculated for the older pool significantly higher?
- Why does the bottom layer of settling pond II differ in particle-size distribution from the top layer of pond I, although they were formed at roughly the same time?

There are two straightforward answers: 1) the fine particles migrate towards the bottom of the pond when infiltrating solutions are introduced, 2) fine-particulate sedimentary material is precipitated from the infiltrating water solution. In this particular case, it must be assumed that the precipitative process dominates in the lower parts of the pond while the process of dissolution appears more frequently in the upper part. It is possible that both phenomena take part in the observed differentiation of particles in between the various deposited layers.

Observation of the processes occurring in the outer layer of the settling pond [Chodyniecka, 1995] and its surroundings [Grabowska, 1996] demonstrates that the solid portion of the deposited heavy metal material is released into the environment. Such phenomenon should be accompanied by a rise in the metal content of surrounding waters and vegetation, which was not observed [Girczys, 1998, 1999a]. A simultaneous consequence of releasing metals into the environment would be a decrease of the average content of heavy metal containing material within the body of the settling pond. Such a decrease would, after several decades from the time of initial deposition, result in significant variation from the data.

An evaluation of the average amount of heavy metal content in the settling pond was performed, which was correlated against historical records of metal content in the ponds based on data from the production process. The heavy metal concentrations presented in Table 2 are above or near the upper limits of the metal content present in the flotation waste quoted in the 1960's.

Since it is impossible that the amount of Zn, Pb or Ag increased in the settling pond, or that the amount of dolomite suddenly decreased, this result should be seen as a consequence of a tendency to underestimate the loss of material during the times when the settling pond

na kierunku spływu wód gruntowych i powierzchniowych.

Zamknięcie metali nie oznacza, że pozostają one unieruchomione w miejscu i postaci w jakiej skierowano je na osadnik. Przemiany jakie zachodzą w bryle materiału prowadzą do ubożenia w metale (Zn, Pb, Ag) warstw przy wierzchowinie i wzbogaceniu warstw dennych. Zjawisko to obserwowane we wszystkich badanych klasach ziarnowych przedstawiono w tablicy 3. Wzrost zawartości metali wraz z głębokością ma charakter liniowy przy bardzo wysokim współczynniku korelacji. Dotyczy to całkowitej zawartości metali i ich form utlenionych. Sumaryczna zawartość metalu, jak już podano wcześniej, pozostaje na stałym poziomie. Zaskakujący jest malejący z głębokością zalegania stopień utlenienia cynku. Wyniki badań stopnia utlenienia ołowiu na różnej głębokości nie mogą być uznane za jednoznaczne ze względu na niski współczynnik korelacji. Szybszy przyrost całkowitej ilości Zn niż jego form utlenionych z głębokością jest trudny do interpretacji. Wymaga dalszych, przekraczających ocenę statystyczną zjawiska, badań. Ta wykazuje, że przyrost metali w dennej warstwie osadnika prowadzi do koncentracji wyższych od rejestrowanych w nadawie poddawanej flotacji.

## 6. Wnioski

1. W uformowanym osadniku odpadów flotacji blendy cynkowej obserwuje się przemiany świadczące o procesach w wyniku których zmienia się skład ziarnowy i mineralny materiału składowanego.
2. Obserwuje się gromadzenie ziaren najdrobniejszych w strefie dna osadnika. Równocześnie w strefie tej następuje wzrost zawartości metali przy ubożeniu w metale ciężkie warstw materiału przy wierzchowinie.
3. Wraz z głębokością zalegania materiału w osadniku zmienia się stosunek zawartości form utlenionych do nieutlenionych metali na korzyść tych drugich, przy jednoczesnym przyroście zawartości obu form.
4. Sumaryczna zawartość metali ciężkich w materiale osadzonym przed pół wiekiem dowodzi, że metale te nie są wyprowadzane w znaczących ilościach z osadnika do wód i gleby otoczenia.

was formed. The data from Table 2 offers crucial evidence that heavy metals were enclosed within the bulk of the sediment, which prevented their release to the environment.

The best proof for the reduction of the heavy metal ion migration from the waste material can be seen in the exuberant biological life and lack of any indication of deleterious pollution effects within the adjoining Zabie Doly nature reserve. This reserve is situated about 500m from the waste sediment storage site and downstream from ground-water and surface-water flows.

Enclosure of metals does not mean that they are immovable nor prevented from undergoing any changes. Transformations occurring within the body of the material reduce the amount of metals (Zn, Pb, Ag) in the top layers and lead to the enrichment of the bottom layers. This phenomenon, observed in all particle distribution classes, is presented in Table 3. The increase of metal content as a function of depth is a process with a linear characterisation and a very high correlation coefficient. This pertains to both the metals and their oxide forms. The overall metal content, as was mentioned previously, remains at a constant level. It was surprising to find the level of Zn oxidation decreases as a function of depth. The results of the lead oxidation investigations at varying depths remain ambiguous due to the low correlation coefficient. Correlated to increasing depth, was an increase in the overall amount of Zn, in comparison to its oxidised forms. This phenomenon cannot be easily explained. This result will require further research and a broader statistical evaluation. Currently, the data suggests that the increase of metal content in the bottom layer of the settling pond leads to higher concentrations than those recorded in the original floated material.

## 6. Conclusions

1. 1. In a settling pond formed from the sphalerite floatation waste, certain processes take place which lead to changes in the particle-size and mineral content of the deposited material.
2. 2. The finest-size particles tend to concentrate in the bottom layers of the pond. At the same time, this layer also displays an increase in metal content, which is accompanied by a decrease in the amount of these metals in the top layer.
3. 3. Along with the increasing depth of the material deposited in the settling pond, the relationship between the content of the oxidized metal forms to their non-oxidized forms change in favour of the latter. Increasing depth is also accompanied by an increase in the percent content of both forms.
4. 4. The overall content of heavy metals in the material deposited fifty years ago shows that these metals are not released in significant amounts from the pond to soil or ground waters.

Wyniki badań wykazują neutralność przyjętej formy składowania odpadów flotacyjnych dla środowiska. Warunkiem zachowania tej neutralności jest ograniczenie wypływu wód z warstwy powierzchniowej, która ulega intensywnemu ługowaniu metali ciężkich.

Dzięki naturalnej blokadzie metali w bryle składowiska może być ona doskonałym podłożem do lokowania odpadów uwalniających jony metali ciężkich.

The results indicate environmental neutrality of the assumed method of depositing floatation waste material. In order to maintain this neutrality, the outflow of water from the surface layer that is subject to intense leaching of heavy metals must be reduced.

Due to the natural processes trapping heavy metals inside the body of the settling pond, this could prove an excellent location for waste material releasing heavy metals.

**Acknowledgements:**

*I would like to express my thanks to Mr. Tyler Lane for his editorial comments in Translating this paper into English.*

## Literatura — References

1. Chodyniecka L., Haber T., 1995, *Hypergenic processes on dumping grounds of flotation tailings, after production of zinc and lead, Rudy Metale, V. 40, No 6, p. 185 – 189*
2. Fischer R.A. and Vates F., 1953, *Statistical Tables for Biological, Agriculture and Medical Research, Olivier & Boyd, Ltd., Edinburgh and London.*
3. Girczys J., Sobik-Szołtysek J. 1998, *Surface-waters of the flotation refuse region of the Bytom – district, Rudy Metale, V. 43, No 8, p.371-375*
4. Girczys J., Sobik-Szołtysek J. 1999, *Dissolution and elimination of heavy ions from a dump of sfalerite flotation tailings, Physicochemical Problems of Mineral Processing, 33, p. 33-44.*
5. Girczys J., Sobik-Szołtysek J. 1999, *The content of metals in the plants of the postflotation setting ponds for the Zn-Pb ores of the Bytom – region, Rudy Metale, V. 44, No. 10, p. 500-505.*
6. Girczys J., Sobik-Szołtysek J., 2002, *Zinc – lead industry waste, Ser. Monogr. No. 87, Edition Technical University of Częstochowa (in Polish).*
7. Grabowska K., Sowa M., 1996, *Ecological aspects of the post-flotation settling ponds of the Orzeł Biały mine, VI Meeting Problems of geology in environment protection and mining. Ustroń, p. 285-297.*
8. Guziel A (Ed) 1988, *Environmental protection in mining industry in Poland, Part I and II, Materials CPBP 04.01.V. 2, SGGW, Agriculture University in Warsaw.*
9. Komnitsas K., Kontopoulos A., Lazar J., Cambridge M., 1998, *Risk assessment and proposed remedial actions in costal tailings disposal sites in Romania, Mineral Engineering, V.11, No. 12, p. 1179-1190.*
10. Margenau M., Murphy G.M. 1962, *The Mathematics of Physics and Chemistry, Ed. PWN Warszawa.*
11. Ney R. (Ed) 1997, *Mineral resources of Poland. Zinc and lead. PPGSMiE PAN, p. 16-28*
12. *Mineral resources of the World, 1978, Ed Geolog, Warszawa.*
13. Śmieszek Z., Sobierajski S., 1998, *The directions of development of the non-ferrous metals industry, Rudy Metale V. 43, No 1, p 9-15.*
14. Volk W., 1973, *Applied Statistics for Engineers, Ed. WNT Warszawa.*