

## Ocena zanieczyszczenia osadów antropogenicznych zbiorników wodnych w centralnej części Wyżyny Katowickiej

Anna Pasiczna<sup>1</sup>, Izabela Bojakowska<sup>1</sup>



A. Pasiczna



I. Bojakowska

**Assessment of sediment pollution of anthropogenic water reservoirs in the central part of the Katowice Upland (southern Poland).** *Prz. Geol.*, 64: 806–813.

*Abstract.* The paper deals with sediments of anthropogenic reservoirs from the central part of the Katowice Upland. Over most of the area, the original relief was considerably altered due to many-years' mining of hard coal, historical mining and processing of zinc-lead ores, smelting of iron and non-ferrous metals, and chemical and machinery industries. The changes in land surface give rise to mining collapse areas transformed to water reservoirs. Sediment samples (103 samples in total) were collected from artificial lakes, ponds and settling ponds. Samples were air-dried, sieved through a 0.2-mm nylon sieve and digested in aqua regia. Contents of Ag, Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, S, Sn, Sr, Ti, V and Zn in the samples were determined by the ICP-OES method. Mercury content was measured using

the CV-AAS method. To assess the extent of sediment contamination the Index of Geoaccumulation ( $I_{geo}$ ) and the ecotoxicological (Threshold Effect Concentration and Probable Effect Concentration) criterion were used. The sediments show very different chemical compositions. The content of trace elements varies from values lower than the regional geochemical background of the Silesian-Cracow region to extremely high concentrations. Distribution of many toxic chemical elements is characterized by high spatial variability and a strong dependence on the location of pollution sources. About 60% of analysed samples were heavily contaminated due to the very high concentration of cadmium (up to 905.9 mg/kg), lead (up to 25,081 mg/kg) and zinc (up to 45,361 mg/kg) as well as arsenic (up to 2,220 mg/kg), chromium (up to 901 mg/kg) and mercury (up to 11.80 mg/kg). Due to the concentration of metals (TEC and PEC values) almost 80% of the sediments can be harmful to aquatic organisms, as well as to wild animals that consume them. The main cause of harm is the very high concentrations of cadmium, lead and zinc, less of silver, arsenic, chromium, copper and nickel.

**Keywords:** sediment pollution in anthropogenic water reservoirs, heavy metals, Index of geoaccumulation, Katowice Upland

W ostatnich latach zarówno w kraju, jak i na świecie coraz częściej są analizowane osady zbiorników utworzonych w zapadliskach powstałych w wyniku powierzchniowej lub podziemnej eksploatacji górniczej (Eary, 1999; Shevenell i in., 1999; Tempel i in., 2000; Blodau, 2006; Harnischmacher, 2007; Schulze & Boehrer, 2008; Marques i in., 2010; Jachimko & Kasprzak, 2011; Rzętała & Jaguś, 2012). Właściwości chemiczne wody i osadów zbiorników pogórnich i jezior naturalnych są odmienne.

W osadach zbiorników poeksploatacyjnych niekiedy są obserwowane wysokie stężenia niepożądanych składników: arsenu, selenu, kadmu i innych pierwiastków śladowych. Może tam zachodzić intensywne wytrącanie różnych minerałów, najczęściej żelaza i glinu, ale także związków metali ciężkich – otawitu, malachitu, piromorfitu, hydrocynkitu (Eary, 1999; Shevenell i in., 1999; Shevenell, 2000; Tempel i in., 2000; Marques i in., 2010; Lagauëze i in., 2011; Skoczyńska-Gajda & Labus, 2011; Konsencjusz i in., 2012; Labus & Skoczyńska-Gajda, 2013). Zanieczyszczone osady są potencjalnym ogniskiem skażenia wód powierzchniowych, a w przypadku dogodnych warunków ich infiltracji mogą stworzyć zagrożenie dla wód podziemnych.

Na chemizm osadów zbiorników antropogenicznych wpływa typ skał, które były eksploatowane przed ich powstaniem, morfometria zbiorników (powierzchnia, głębokość, kształt czaszy), użytkowanie i zagospodarowanie zlewni (w tym obecność składowisk odpadów górniczych), czas, który upłynął od zakończenia eksploatacji, skład chemiczny dopływających wód podziemnych, a także oddziaływanie wtórnych czynników antropogenicznych

(Friese, 2002; Bojakowska & Gliwicz, 2003; Hoth i in., 2005; Blodau, 2006; Hrdinka, 2007; Quanyuan i in., 2009; Hinwood i in., 2012; Cánovas i in., 2015). Wody tych zbiorników są często ubogie w składniki odżywcze, a cechują się niekiedy ekstremalnie kwaśnym lub silnie alkalicznym odczynem i wysokim zasoleniem.

Celem prezentowanych badań było wykazanie przydatności metod geochemicznych do oceny stanu chemicznego osadów antropogenicznych zbiorników wodnych. Zastosowanie geochemicznej i ekotoksykologicznej klasyfikacji osadów umożliwiło wskazanie zbiorników, w których nagromadzenie potencjalnie szkodliwych pierwiastków stwarza zagrożenie dla zasiedlających je organizmów żywych.

Przedmiotem analiz były osady antropogenicznych zbiorników utworzonych na skutek działalności górniczej w centralnej części Wyżyny Katowickiej. Zbiorniki te w wielu przypadkach zostały silnie zanieczyszczone przez zrzuty ścieków z zakładów hutniczych i odcieki ze składowisk odpadów górniczych i hutniczych.

### CHARAKTERYSTYKA TERENU BADAŃ

Analizowany teren, przez który przechodzi dział wód Odry i Wisły, jest położony w środkowej części Wyżyny Katowickiej w obrębie Płaskowyżu Bytomsko-Katowickiego (Kondracki, 2000). Z uwagi na położenie wododziałowe sieć hydrograficzna jest tu bardzo uboga, zaś szkody górnicze przyczyniły się do powstania wielu bezodpływowych zbiorników powierzchniowych, utworzonych w zagłębieniach powstałych wskutek osiadania

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; anna.pasiczna@pgi.gov.pl, izabela.bojakowska@pgi.gov.pl.

terenu (Chylat i in., 2003; Cudak & Wantuch, 2009; Gorol, 2011). Jednoczesne zdeformowanie hydrologicznego profilu podłużnego cieków, zwłaszcza charakteryzujących się stosunkowo niewielkim spadkiem, doprowadza do zawodnienia terenu, zabagnień i powstawania zalewisk wodnych (Plewniak, 2007; Gorol, 2011). Zbiorniki samoczynnie wypełniły się wodą, najczęściej wodami podziemnymi i spływu powierzchniowego, chociaż niekiedy wodami rzecznyymi.

### Rzeźba terenu i hydrografia

Powierzchnię analizowanego obszaru cechuje urozmaicona rzeźba terenu (od 250 m do 338,8 m n.p.m.); jego zachodnia część, znajdująca się w dorzeczu Odry, jest odwadniana przez Potok Bielszowicki i Bytomkę, zaś wschodnia znajduje się w zlewni Rawy, należącej do dorzecza górnej Wisły. Naturalne źródła Rawy zanikły w efekcie prac górniczych, a za jej początek uważa się Staw Marcin, leżący w Świętochłowicach przy granicy z Rudą Śląską. Rzeźka Rawa, płynąca w kierunku południowo-wschodnim, jest uregulowana na większości swojego biegu i prowadzi głównie ścieki z Chorzowa i Świętochłowic, oczyszczane w oczyszczalni Klimzowiec (Mucha, 2010). Do Potoku Bielszowickiego, płynącego uregulowanym korytem, są odprowadzane ścieki z terenów przemysłowych kopalń węgla kamiennego Halemba-Wirek i Pokój oraz z oczyszczalni ścieków Barbara. Na stan i jakość wód Bytomki wpływają zrzuty ścieków z Bytomia, z oczyszczalni Orzegów w Rudzie Śląskiej i z rejonu starych hałd Zakładów Górniczo-Hutniczych Orzeł Biały zlokalizowanych w prawobrzeżnej części górnego odcinka rzeki.

Charakterystyczną cechą ukształtowania terenu jest występowanie rozległych obszarów bezodpływowych z zapadliskami i nieckami osiadania, powstałymi na skutek działalności górniczej, w których utworzyły się zbiorniki wodne (Chylat, 2003). Do większych zbiorników należą: Żabie Doły, Staw Gliniok, Staw Marcin, Staw Maroko, Staw Ajska i Stawy Magiera. Mniejsze zbiorniki występują na terenie Wojewódzkiego Parku Kultury i Wypoczynku (WPKiW) w Chorzowie oraz przy granicy Świętochłowic i Rudy Śląskiej (ciąg zbiorników połączonych Strugą Chropaczowską). Niektóre zbiorniki gromadzą wody dobrej jakości i są wykorzystywane w celach rekreacyjnych. Zbiorniki Zespołu Przyrodniczo-Krajobrazowego Żabie Doły, wyróżniają się występowaniem kilkunastu gatunków ptaków chronionych. Z kolei do bardzo zanieczyszczonych należą wody jeziora Kalina, w którym zalegają toksyczne osady zgromadzone w wyniku działalności już nieczynnych pobliskich Zakładów Chemicznych Hajduki, wytwarzających farby i lakiery przez ok. 50 lat (Wantuch & Cudak, 2009).

### Gospodarka

Analizowany obszar należy do centralnej części Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego (GOP), który jest najbardziej uprzemysłowionym i zurbanizowanym rejonem kraju. Obejmuje większość dzielnic Chorzowa i Świętochłowic, fragmenty Siemianowic Śląskich i Katowic na wschodzie, Rudy Śląskiej na zachodzie oraz niewielki rejon na północy należący do Bytomia. Teren w wielu miejscach został przekształcony w następstwie działalności przemysłu wydobywczego, energetycznego, hutniczego i chemicznego. Najważniejszymi gałęziami przemysłu działającego tu od wielu

lat są górnictwo węgla kamiennego i hutnictwo żelaza. Od XVI w. wydobywano rudy srebra i ołowiu w rejonie Chorzowa Starego oraz rudy żelaza w kilku miejscach w Rudzie Śląskiej, w Świętochłowicach i Chorzowie. W XVIII w. w wielu miejscowościach omawianego terenu rozpoczęła się eksploatacja węgla kamiennego oraz działalność hut żelaza i cynku ([http://pl.wikipedia.org/wiki/Historia\\_Chorzowa](http://pl.wikipedia.org/wiki/Historia_Chorzowa); <http://swiony.pl/p,s,historia.html>; <http://www.hutabatory.com.pl>).

Największe zmiany środowiska przyrodniczego spowodowała eksploatacja węgla kamiennego oraz hutnictwo i energetyka, które przyczyniły się do powstania zwałów skał płonnych, żużli hutniczych i innych odpadów, składowanych w bezpośrednim sąsiedztwie kopalń, hut i osiedli. Przekształcenia powierzchni obejmują tereny czynnych oraz zlikwidowanych kopalń węgla kamiennego i hut (żelaza i cynku) oraz zakładów metalowych, energetycznych i chemicznych.

Prawie cały teren badań to obszary górnicze czynnych lub zlikwidowanych kopalń węgla kamiennego oraz rejonów występowania szkód górniczych. Zanieczyszczenie środowiska przyrodniczego wiąże się z dawną eksploatacją rud cynku i ołowiu, współczesną eksploatacją węgla kamiennego oraz oddziaływaniem odpadów pogórnich (hałd skał płonnych, osadników szlamów, mułów węglowych, wód dołowych), odpadów przemysłu hutniczego (żużli), energetycznego i chemicznego, a także emisjami pyłów z zakładów przemysłowych i środków komunikacji.

### ZAKRES I METODYKA BADAŃ

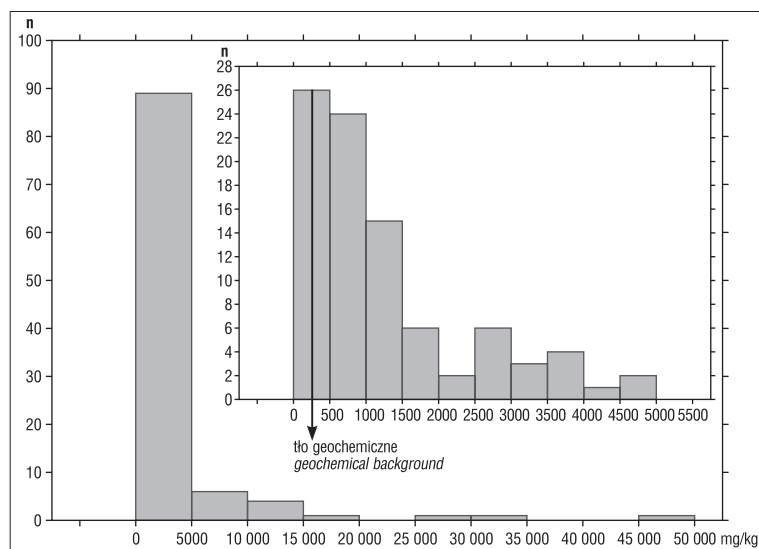
Osady do badań (łącznie 103 próbki) pobrano ze zbiorników wód stojących (jezior, osadników, stawów i sadzawek). Probki osadów o masie ok. 500 g (i możliwie najdrobniejszej frakcji) pobierano z brzegów zbiorników za pomocą czerpaka i umieszczano w pojemnikach plastikowych, o pojemności 500 ml.

Probki osadów były suszone w temperaturze pokojowej, a następnie przesiewane przez sita nylonowe o oczkach 0,2 mm. Ich roztwarzanie przeprowadzono w wodzie królewskiej (1 g próbki, 50 ml 3HCl + 1HNO<sub>3</sub>) przez 1 godz. w temp. 95°C w termostatowanym bloku aluminiowym. Oznaczenia zawartości Ag, Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, P, Pb, S, Sr, Ti, V i Zn w próbkach wykonano za pomocą spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem plazmowym (ICP-OES), a analizy Hg – metodą spektrometrii absorpcji atomowej z techniką zimnych par (CV-AAS) z systemem przepływowym FIAS-100. Analizy chemiczne przeprowadzono w laboratorium chemicznym Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego (PIG-PIB) w Warszawie.

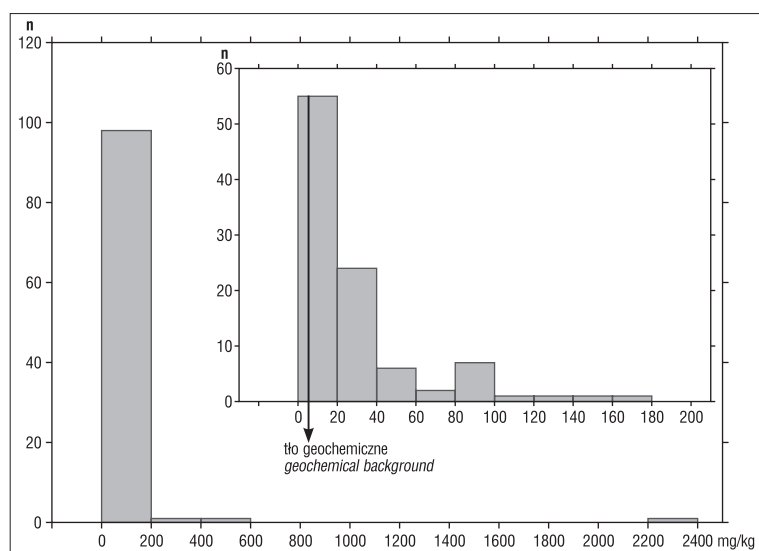
Poprawność oznaczeń chemicznych sprawdzano analizami: próbek podwójnych (4% ogólnej liczby próbek), materiałów odniesienia z atestowaną zawartością badanych pierwiastków (2% wszystkich próbek) oraz wewnętrznych próbek kontrolnych potwierdzających prawidłowe wykonywanie pomiarów instrumentalnych (5% wszystkich próbek).

### WYNIKI

Osady pobrane ze zbiorników zlokalizowanych w zlewniach górnej Bytomki, Potoku Bielszowickiego (Kochłówki) i Rawy charakteryzują się bardzo zróżnicowanym składem



Ryc. 1. Histogram rozkładu zawartości cynku  
Fig. 1. Histogram of the zinc distribution



Ryc. 2. Histogram rozkładu zawartości arsenu  
Fig. 2. Histogram of the arsenic distribution

chemicznym. Stwierdzono w nich analizowane pierwiastki w zakresie od zawartości niższych niż granica oznaczalności zastosowanej metody (dla pierwiastków śladowych) do stężeń ekstremalnie wysokich, jak w przypadku arsenu i cynku (ryc. 1, 2). W większości badanych zbiorników osady są bardzo zanieczyszczone metalami. Przeciętne zawartości większości pierwiastków, wyrażone wartością median, są ok. dwukrotnie większe niż wartości tła geochemicznego w osadach regionu śląsko-krakowskiego. W przypadku arsenu, kadmu i tytanu wzbogacenia są trzykrotne, a w przypadku ołowiu i cynku – czterokrotne (tab. 1).

Scharakteryzowano osady zbiorników zlokalizowanych na terenie poszczególnych miast, zwracając szczególną uwagę na najsilniejsze zanieczyszczenia, które mogą stwarzać zagrożenie dla żywych organizmów.

### Katowice

**Staw Maroko.** Dwa zbiorniki określane nazwą Staw Maroko (punkty 2–6) są położone w dolinie Rawy, na skraju Osiedla Tysiąclecia w Katowicach (ryc. 3). Osady większe-

go ze zbiorników są bardziej zanieczyszczone metalami. Staw powstał w wyrobisku utworzonym w wyniku eksploatacji złóż węgla kamiennego kopalni „Kleofas”. Pełnił kiedyś rolę ośrodka wodno-rekreacyjnego, a obecnie jest użytkiem ekologicznym. Zbiornik stanowi ostoję dla wielu gatunków zwierząt i ptaków, a z jego wód jest odławianych kilka gatunków ryb. Jednocześnie w jego osadach (szczególnie przy południowym brzegu) zawartości metali są niepokojąco wysokie. Stwierdzono tu do 12 mg/kg srebra, 480 mg/kg arsenu, 413 mg/kg kadmu, 405 mg/kg chromu, 1399 mg/kg miedzi, 1,51 mg/kg rtęci, 116 mg/kg molibdenu, 580 mg/kg niklu, 1835 mg/kg ołowiu, 103 mg/kg cyny, 320–400 mg/kg strontu, 1010 mg/kg tytanu, 210 mg/kg wanadu i 3130 mg/kg cynku.

### Chorzów

#### Osadnik wód pochłodniczych Huty Batory.

Zbiornik (dawny osadnik już nieczynnej Huty Batory) znajduje się między stadionem Ruchu Chorzów a doliną Rawy (punkt 26). W jego osadach zwraca uwagę szczególnie wysoka zawartość żelaza, dochodząca do 34,40% oraz molibdenu (200 mg/kg), niklu (681 mg/kg), cyny (132 mg/kg) i miedzi (2420 mg/kg). Osady są też zanieczyszczone przez srebro (12 mg/kg), kadm (22 mg/kg), kobalt (51 mg/kg), chrom (901 mg/kg), rtęć (1,08 mg/kg), ołów (730 mg/kg) i cynk (3640 mg/kg).

**Żabie Doły.** Zespół kilku zbiorników leżący na pograniczu Bytomia i Chorzowa (punkty 84–92) powstał w wyniku eksploatacji górniczej. Na powierzchni i pod niewielkim przykryciem osadów neogenu zalegają tu triasowe dolomity kruszczońskie zawierające rudy cynku oraz ołowiu (Wyczółkowski, 1957). Wydobywano je i przetwarzano już od XII w. Do powstania zapadlisk przyczyniła się też późniejsza eksploatacja węgla kamiennego, a obniżenia terenu wykorzystywano do gromadzenia odpadów przemysłowych.

Od ok. 1860 r. na tym terenie działała kopalnia rud cynku i ołowiu Biały Szarlej przekształcona w końcowym etapie działalności (1989 r.) w Zakłady Górniczo-Hutnicze (ZGH) Orzeł Biały (Machowski, 2010). Wydobywaniu rud już od XVI w. towarzyszyło powstawanie hałd odpadów poprodukcyjnych. Największe zwałowisko odpadów poprodukcyjnych ZGH Orzeł Biały jest zlokalizowane na północ od zbiorników Żabie Doły. Inne hałdy rud cynkowo-ołowiowych po ich historycznej eksploatacji są rozproszone i dziś już prawie niewidoczne w morfologii terenu, ale są elementem zanieczyszczającym środowisko.

Od lat 20. XX w. pierwsze z powstałych zbiorników były wykorzystywane jako osadniki odpadów gromadzonych w wyniku procesów flotacji rud działających zakładów, a w ich otoczeniu istniały hałdy odpadów poprodukcyjnych. Inne akwenty utworzone w latach 50. XX w. W przeszłości były one rozdzielone nasypami linii kolejowych.

Zanotowane anomalne zawartości metali mogą pochodzić częściowo ze źródeł geologicznych. W sąsiedztwie



**Tab. 1.** Parametry statystyczne analizowanych pierwiastków (n = 103)  
**Table 1.** Statistical parameters of analysed chemical elements (n = 103)

Pierwiastek Element	DL	Zakres Range	Mediana Median	Średnia arytm. Arithm. mean	Średnia geom. Geometric mean	*Tło geochemiczne Geochemical background
Ag	1	<1–103	<1	3	<1	1
As	3	<3–2220	19	63	20	6
Ba	1	14–1104	136	196	142	98
Cd	0,5	<0,5–905,9	6,4	30,7	7,5	2,5
Co	1	1–63	7	10	7	4
Cr	1	4–901	23	62	27	9
Cu	1	5–2420	48	122	51	15
Hg	0,05	0,05–11,80	0,15	0,41	0,14	0,06
Mn	2	45–32 293	657	1555	652	292
Mo	0,5	<0,5–200	1,6	6,0	1,6	–
Ni	1	4–681	25	45	24	11
Pb	2	11–25 081	244	779	252	59
Sn	2	<2–132	6	12	5	–
Sr	1	4–801	57	96	57	24
Ti	5	53–1011	137	182	150	42
V	1	4–210	26	33	25	12
Zn	1	40–45 361	1032	2758	1091	259
[%]						
Al	0,01	0,11–4,15	0,70	0,78	0,66	–
Ca	0,01	0,07–27,17	1,44	2,50	1,28	0,71
Fe	0,01	0,50–34,40	2,20	3,42	2,36	1,07
Mg	0,01	0,05–4,18	0,25	0,42	0,27	0,13
P	0,02	0,007–0,350	0,061	0,072	0,052	0,066
S	0,03	0,021–5,220	0,321	0,682	0,346	0,052

DL – granica oznaczalności / *detection limit*; \* Lis & Pasieczna, 1995

zbiorników znajdują się wychodnie dolomitów kruszczonych, które przez wiele lat były erodowane, a produkty wietrzenia dostawały się do osadów.

Koncentracja metali ciężkich w osadach badanych akwenów jest zróżnicowana. Maksymalne zawartości metali stwierdzono w osadach zbiornika południowo-zachodniego (punkt 91). Koncentracja srebra wynosi tu 7 mg/kg, arsenu 171 mg/kg, baru 650 mg/kg, kadmu 150 mg/kg, miedzi 160 mg/kg, żelaza 4,42%, manganu 2420 mg/kg, ołowiu 5100 mg/kg, siarki 1,860% i cynku 28 522 mg/kg.

Podobne skoncentrowanie metali zanotowano w osadach zbiornika bez nazwy (punkt 43) w Maciejkowicach. Te osady zawierają 21 mg/kg srebra, 390 mg/kg arsenu, 230 mg/kg kadmu, 307 mg/kg miedzi, 1,51 mg/kg rtęci, 25 080 mg/kg ołowiu i 28 500 mg/kg cynku. Prawdopodobnie także w nim gromadzono odpady po flotacji rud cynku i ołowiu.

**Zbiorniki na terenie WPKiW.** Osady prawie wszystkich małych basenów wodnych położonych na terenie WPKiW zawierają większość badanych pierwiastków w granicach naturalnego tła geochemicznego. W niektórych z nich stwierdzono jednak znacznie podwyższone zawartości ołowiu (do 200–300 mg/kg) i cynku (do 1600 mg/kg).

### Świętochłowice

**Osadnik (ul. Krauzego).** Osady zbiornika położonego w sąsiedztwie Parku Zgoda i byłej Huty Florian (obecnie Mittal Steel) w Świętochłowicach (punkt 50) przypusz-

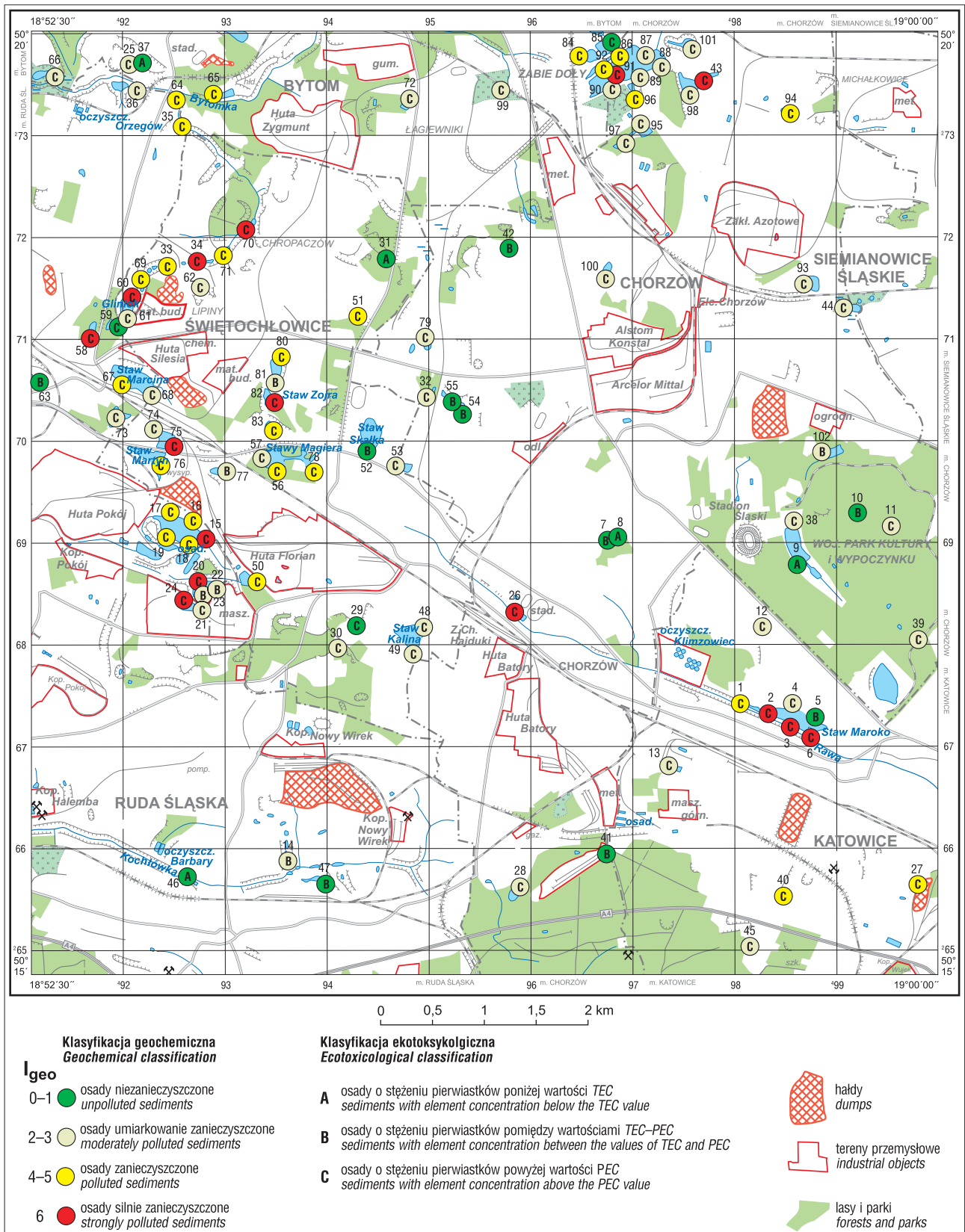
czalnie zostały zanieczyszczone przez ścieki zrzucane w trakcie działalności tego zakładu. Huta była zakładem surowcowym od lat 30. XIX w. W połowie lat 90. XX w. zamknięto stalownię, a obecna produkcja to wytwarzanie blach cynkowych i blach pokrywanych lakierami.

W osadniku stwierdzono materiał o zawartości 400 mg/kg baru, 6,69% wapnia, 256 mg/kg chromu, 145 mg/kg miedzi, 4,96% żelaza, 490 mg/kg ołowiu, 0,246% siarki, 13 mg/kg cyny, 580 mg/kg tytanu i 1800 mg/kg cynku.

**Staw Kalina.** Geneza zbiornika wiąże się z utworzeniem zapadliska w miejscu eksploatacji płytko zalegających złóż węgla. Staw istniał już przed I wojną światową i służył wówczas jako kąpielisko. Zanieczyszczenie jego otoczenia sięga XIX w., kiedy zaczęła tu działać Huta Bismarck (później Batory) i destylarnia smoły. Przez ok. 50 ostatnich lat w Zakładach Chemicznych Hajduki (obecnie San Marco Polonia) były produkowane farby i lakiery (Wantuch & Cudak, 2009). Wody przemysłowe zrzucano do stawu, a w jego pobliżu usypano hałdę odpadów poprodukcyjnych.

Osady stawu Kalina (punkty 48, 49) są zanieczyszczone metalami w stopniu umiarkowanym. Zawartość chromu wynosi w nich maksymalnie 40 mg/kg, miedzi 70 mg/kg, rtęci 0,61 mg/kg, ołowiu 310 mg/kg i cynku 1050 mg/kg. Problemem stwarza zgromadzenie w zbiorniku fenoli i innych związków organicznych. Aktualnie jest prowadzone specjalistyczne oczyszczanie wód i osadów stawu.

**Stawy Magiera.** Nazwa (punkty 56, 57, 78) dotyczy dwóch zbiorników. Większy z nich (zachodni) bywa też



Ryc. 3. Geochemiczna i ekotoksykologiczna klasyfikacja osadów  
Fig. 3. Geochemical and ecotoxicological classification of sediments

nazywany Stawem Zacisze. Łączy się kanałem ze stawem wschodnim (Matylda). Bardziej są zanieczyszczone osady stawu Matylda. Zwraca uwagę zawartość w nich kadmu (103 mg/kg) oraz ołowiu (425 mg/kg) i cynku (4040 mg/kg).

**Staw Martyn.** Jest zlokalizowany przy zachodniej granicy Świętochłowic (punkty 74, 75, 76), sąsiaduje od

południa ze składowiskiem odpadów komunalnych. Prawdopodobnie na skład jego osadów miały wpływ odcieki ze składowiska. Osady zawierają znaczne ilości wielu pierwiastków: 98 mg/kg arsenu, 605 mg/kg chromu, 120 mg/kg miedzi, 0,15 mg/kg rtęci, 84 mg/kg niklu, 900 mg/kg ołowiu, 2600 mg/kg cynku.

W składzie osadów stawu, w którego podłożu występują gliny zwałowe, zaznacza się korzystna przewaga składników litologicznych nad antropogenicznymi. Osady te obfitują w glin (0,6–0,9%), żelazo (2,50–7,40%), magnez (0,40–4,20%) i mangan (640–8500 mg/kg). Zawartości srebra, arsenu, kobaltu, fosforu i siarki pozostają w granicach regionalnego tła geochemicznego.

**Staw Gliniok.** W dzielnicy Lipiny znajduje się ciąg niewielkich zbiorników połączonych strumieniem Struga Chropaczowska. We wszystkich zbiornikach osady są zanieczyszczone metalami, ale ich szczególną koncentracją wyróżnia się Staw Gliniok (punkty 60 i 61). W jego osadach zawartość srebra wynosi 103 mg/kg, arsenu 2220 mg/kg, kadmu 98 mg/kg, ołowiu 5800 mg/kg i cynku 30 721 mg/kg.

**Zbiornik Ajska.** Jest położony przy krańcu ul. Lotniczej (punkt 70). W jego osadach stwierdzono 45 mg/kg srebra, 1320 mg/kg arsenu, 170 mg/kg kadmu, 314 mg/kg miedzi, 12 100 mg/kg ołowiu, 45 360 mg/kg cynku i ok. 10% żelaza. Jest to teren, gdzie już w 1823 r. powstała huta cynku (Huta Dawida, później Guidotto), do której rudę dowożono z Szarleja k. Bytomia (<https://pl.wikipedia.org/wiki/Chropaczów>). W latach 20. XX w. dostarczała ona ok. 10% krajowej produkcji cynku. W zakładzie był wytwarzany też kwas siarkowy, saletra oraz mangan i kadm. W latach 30. XX w. huta zaprzestała produkcji. Do czasów współczesnych w Lipinach zachowała się część hałdy odpadów poprodukcyjnych (hałda Kopyto), które po prawie 100 latach od zaprzestania produkcji zanieczyszczają osady i wody pobliskiego zbiornika.

**Staw Zojra.** Powstał (punkt 82) na skutek zapadania się terenu w wyniku eksploatacji węgla. Sąsiaduje z hałdą, na której są zgromadzone odpady górnicze, ale też spieczone żużle z wytopu żelaza. Zanieczyszczenie osadów zbiornika metalami można wiązać z odpadami pohutniczymi. Zawierają one 515 mg/kg arsenu, 905,9 mg/kg kadmu, 188 mg/kg miedzi, 11,80 mg/kg rtęci, 7200 mg/kg ołowiu, 23 mg/kg cyny i 9700 mg/kg cynku.

**Inne zbiorniki.** W mniejszych zbiornikach zlokalizowanych w górnej części zlewni Rawy zgromadzone osady zawierają większość metali oraz siarkę, fosfor i arsen w ilościach zbliżonych do regionalnego tła geochemicznego. Podobnie jak wiele innych zbiorników i cieków zawierają ołów (do 220 mg/kg) i cynk (do 1350 mg/kg). Podwyższone zawartości baru (260–380 mg/kg) można wiązać ze źródłem litologicznym w postaci wychodni klastycznych skał karbonu wzbogaconych w ten pierwiastek. Najmniej skażonymi osadami wyróżnia się staw Skałka.

## Ruda Śląska

**Osadniki (ul. Stalowa).** Zespół zbiorników zlokalizowany jest między terenami przemysłowymi Huty Pokój i Huty Florian na terenie Rudy Śląskiej (punkty 15–19). Od strony północnej zbiorniki sąsiadują ze składowiskiem odpadów komunalnych. Zawartości metali stwierdzone w osadach wskazują jednoznacznie na ścieki odprowadzane z hut jako źródło ich zanieczyszczeń. Maksymalnie osady zawierają: 900–1104 mg/kg baru, 10,14% wapnia, 19,2 mg/kg kadmu, 170 mg/kg chromu, 340 mg/kg miedzi, 15,13% żelaza, 0,70 mg/kg rtęci, 1,80% magnezu, 32 300 mg/kg manganu, 1400 mg/kg ołowiu, 58 mg/kg cyny, 400–510 mg/kg strontu, 530 mg/kg tytanu, 110 mg/kg wanadu i 4700 mg/kg cynku.

**Staw Smrodlok.** Osady zbiornika położonego po zachodniej stronie ulicy Goduli (punkt 58) zawierają 160 mg/kg arsenu, 670 mg/kg baru, 61 mg/kg kadmu, 270 mg/kg miedzi, 1,50 mg/kg rtęci, 2500 mg/kg ołowiu, 70 mg/kg cyny, 14 180 mg/kg cynku oraz 7,26% żelaza i 0,280% siarki.

**Staw Marcina.** Położony między stacją kolejową Ruda Chebzie i terenem dawnej huty Silesia (punkty 67,68) jest typowym zbiornikiem zapadliskowym. W jego otoczeniu są zgromadzone odpady pokopalniane, żużel, kawałki betonu, a jego osady obfitują w metale. Zanotowano w nich 172 mg/kg miedzi, 103 mg/kg niklu, 380 mg/kg ołowiu, 1050 mg/kg cynku i 6,91% żelaza.

## DYSKUSJA

W większości analizowanych zbiorników wodnych zawartości pierwiastków śladowych odnotowane w osadach są dużo wyższe od występujących w osadach jezior naturalnych i zaporowych. Dotyczy to zwłaszcza koncentracji kadmu, cynku i ołowiu, których zawartości są o kilka rzędów wielkości większe od przeciętnie spotykanych. Ekstremalnie dużo metali ciężkich wykrywano w niektórych naturalnych jeziorach w różnych częściach świata, do których odprowadzano ścieki przemysłowe. Przykładem mogą być osady jeziora Noor Mohammad, w przemysłowym rejonie Indii Katedan (Govil i in., 2012), które zawierają blisko 2500 mg/kg ołowiu i tyle samo cynku, prawie 1500 mg/kg miedzi, ponad 400 mg/kg arsenu i chromu. Osady jeziora Onondaga (New York, USA), do którego od 1884 r. trafiały ścieki z zakładów produkujących chlor, zawierają ponad 100 mg/kg rtęci (Klein & Jacobs, 1995; Govil i in., 2012). W Polsce do zanieczyszczonych należą osady jezior naturalnych w pobliżu Konina, których wody są wykorzystywane w obiegu chłodniczym elektrowni. Zawierają one ponad 600 mg/kg miedzi (Bojakowska & Krasuska, 2014).

Zawartości metali i siarki wykryte w osadach analizowanych zbiorników pojezierza antropogenicznego na terenie Katowic, Świętochłowic, Chorzowa i Rudy Śląskiej są porównywalne, a niekiedy nawet wyższe od tych wykrywanych w jeziorach zanieczyszczonych przez ścieki przemysłowe.

Największa koncentracja metali w osadach zbiorników antropogenicznych występuje tam, gdzie przez wiele lat działały huty metali (ZGH Orzeł Biały oraz huty: Batory, Pokój, Florian i Silesia). Pomimo aktualnych zmian profilu produkcji i wprowadzeniu nowoczesnych technologii w dalszym ciągu zaznacza się wpływ starych hałd ich odpadów na środowisko. Osady poszczególnych zbiorników są w różnym stopniu zanieczyszczone przez srebro, arsen, kadm, chrom, miedź, żelazo, rtęć, ołów i cynk. Większość metali z pewnością pochodzi ze zrzutów ścieków przemysłowych, a charakter zanieczyszczeń wyraźnie wiąże się z rodzajem hutnictwa. W osadach zbiorników Żabie Doły, Stawów Gliniok, Ajska i Zojra odzwierciedla się skład surowców używanych w hutnictwie cynku. Osady Stawu Zojra zostały prawdopodobnie zanieczyszczone dodatkowo na skutek awarii (wycieku zanieczyszczeń z uszkodzonej sieci kanalizacyjnej) oraz przez niekontrolowane odprowadzanie ścieków przemysłowych i infiltrację odcieków z pobliskiego składowiska odpadów.

Natomiast w zbiornikach w rejonie hut Batory, Pokój i Florian zostały nagromadzone metale, które są wykorzysta-



**Tab. 2.** Geochemiczna klasyfikacja osadów  
**Table 2.** Geochemical classification of sediments

*I <sub>geo</sub>	Osady Sediments	Ag	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sr	Ti	Zn	Ogółem Totally
0–1	Niezanieczyszczone <i>Unpolluted</i>	90,2	48,0	74,5	55,9	78,4	62,7	47,1	53,9	70,6	34,3	81,4	44,1	39,2	17,6
2–3	Umiarkowanie zanieczyszczone <i>Moderately polluted</i>	4,9	36,3	25,5	29,4	19,6	26,5	43,1	34,3	25,5	49,0	17,6	52,9	39,2	43,1
4–5	Zanieczyszczone <i>Polluted</i>	3,9	11,8	0,0	9,8	2,0	7,8	6,9	10,8	2,0	11,8	1,0	2,9	16,7	25,5
6	Silnie zanieczyszczone <i>Strongly polluted</i>	1,0	3,9	0,0	4,9	0,0	2,9	2,9	1,0	2,0	4,9	0,0	0,0	4,9	13,7

\*I<sub>geo</sub> – indeks geoakumulacji / *index of geoaccumulation*

**Tab. 3.** Ekotoksykologiczna klasyfikacja osadów  
**Table 3.** Ecotoxicological classification of sediments

Stężenie pierwiastków Chemical elements concentration	Ag	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Ogółem Totally
	[%]									
<TEC	80,4	22,5	8,8	76,5	33,3	53,9	46,1	4,9	5,9	4,9
TEC–PEC	3,9	54,9	28,4	12,7	52,9	45,1	39,2	22,5	18,6	15,7
>PEC	14,7	22,5	62,7	10,8	13,7	1,0	14,7	72,5	75,5	79,4

tywane w produkcji żelaza i stali. Podłoże geologiczne tego rejonu budują holocenijskie mady doliny jednego z już nieistniejących dopływów Rawy (Wyczółkowski, 1957). Utwory te mają niewątpliwie wpływ na obfitość w osadach składników zależnych z kolei od litologii – glinu, baru, wapnia, magnezu i tytanu.

Do najmniej zanieczyszczonych metalami należą osady kilku niewielkich zbiorników w zlewni Potoku Bielszowickiego, choć górna część zlewni cieką przez ponad 100 lat była zanieczyszczana przez składy surowców, odpady i ścieki Huty Batory.

Do oceny stopnia zanieczyszczenia osadów analizowanych zbiorników zastosowano indeksy geoakumulacji (I<sub>geo</sub>), wprowadzone przez Müllera (Förstner, 1989), wykorzystując do ich wyznaczenia wartości regionalnego tła geochemicznego:

$$I_{geo} = \log_2 C/1,5 \times B$$

gdzie:

C – stężenie danego pierwiastka,

B – tło geochemiczne danego pierwiastka.

Wyznaczone indeksy geoakumulacji pozwoliły na stwierdzenie, że tylko w 17,6% badanych zbiorników osady są niezanieczyszczone i zawierają analizowane pierwiastki w granicach naturalnego tła geochemicznego (tab. 2). Pozostałe osady są zanieczyszczone w różnym stopniu, zaś te o największych indeksach geoakumulacji (4–6) stanowią aż 39,2%. Skażenie osadów jest spowodowane głównie bardzo wysokimi stężeniami kadmu, ołowiu i cynku. Osady o największych indeksach akumulacji są zgromadzone przede wszystkim w zbiornikach zachodniej części analizowanego obszaru na granicy Świętochłowic i Rudy Śląskiej (ryc. 3). Jest to rejon najbardziej uprzemysłowiony, w którym znajdują się historyczne i współczesne zwałowiska odpadów po produkcji metali. Wysokimi indeksami geoakumulacji charakteryzują się też osady Stawu Maroko w Katowicach oraz niektórych zbiorników rezerwatu Żabie Doły na pograniczu Chorzowa i Bytomia.

Bardzo wysokie zawartości potencjalnie szkodliwych pierwiastków zgromadzone w osadach stwarzają zagrożenie dla organizmów wodnych bytujących w zbiornikach zarówno roślin, jak i zwierząt. W celu wyznaczenia poziomu zanieczyszczenia badanych osadów metalami zastosowano metodę wskaźników numerycznych ich jakości. Wyznaczają one wartości określone jako wartość progowa TEC (*Threshold Effect Concentration*) – stężenie poniżej którego nie obserwuje się negatywnego oddziaływania oraz wartość prawdopodobna PEC (*Probable Effect Concentration*) – stężenie powyżej którego obserwuje się szkodliwe oddziaływanie pierwiastka na organizmy wodne (MacDonald i in., 2000).

Analiza uzyskanych wyników wykazała, że tylko ok. 5% zbadanych osadów charakteryzowało się zawartościami pierwiastków śladowych niższymi od ich wartości TEC, a blisko 80% osadów cechowało się stężeniami wyższymi od wartości PEC (tab. 3). W badanych osadach najczęściej była przekroczona wartość PEC dla kadmu, ołowiu i cynku, a najrzadziej dla rtęci. Ocena zanieczyszczenia osadów w aspekcie geochemicznym jest w większości przypadków zgodna z oceną ekologiczną (ryc. 3).

## WNIOSKI

1. Badane osady zbiorników antropogenicznych w centralnej części Wyżyny Katowickiej charakteryzują się bardzo zróżnicowanym składem chemicznym. Zawierają one pierwiastki śladowe w zakresie od zawartości niższych od wartości regionalnego tła geochemicznego osadów zbiorników powierzchniowych regionu śląsko-krakowskiego do stężeń ekstremalnie wysokich (do 2,5% ołowiu oraz 4,5% cynku).

2. Rozkład stężeń stwierdzonych zanieczyszczeń osadów charakteryzuje duża zmienność przestrzenna i silna zależność od lokalizacji źródeł zanieczyszczeń.

3. W większości badanych zbiorników zawartości pierwiastków śladowych w osadach są znacznie wyższe od ich zawartości w osadach jezior naturalnych. Wykryte stężenia metali ciężkich w osadach niektórych zbiorników są

porównywalne, a niekiedy nawet wyższe, od zawartości stwierdzonych na świecie w osadach jezior silnie zanieczyszczonych przez ścieki przemysłowe. Bardzo wysokimi koncentracjami metali charakteryzują się osady zbiorników Zojra, Maroko, Gliniok, Ajska, niektórych zbiorników na terenie Żabich Dołów, a także zbiorników w rejonie byłych i współczesnych hut żelaza Batory, Florian i Pokój i Silesia.

4. Około 60% zbadanych próbek (o indeksach geokumulacji od 4 do 6) zaliczono do osadów zanieczyszczonych lub silnie zanieczyszczonych ze względu na bardzo wysokie stężenie kadmu, ołowiu i cynku, a także arsenu, chromu i rtęci.

5. Ze względu na stężenia metali w prawie 80% przypadków osady mogą szkodliwie oddziaływać na organizmy wodne, a także dzikie zwierzęta, które je spożywają. Główną przyczyną szkodliwości są bardzo wysokie koncentracje kadmu, ołowiu i cynku, rzadziej srebra, arsenu, chromu, miedzi i niklu.

6. Rodzaje zanieczyszczeń, które występują w osadach zbiorników, zależą przede wszystkim od profilu działającego (lub zamkniętego) w pobliżu zakładu przemysłowego, infiltracji i spływu powierzchniowego z pobliskich hałd, jak również od rodzaju wydobywanych surowców. Obecność wysokich koncentracji chromu, niklu, miedzi jest związana przede wszystkim z hutnictwem i odlewnictwem stali, mosiądzu i innych stopów. Wysokie stężenia kadmu, cynku, ołowiu, a w pewnym stopniu także srebra i arsenu są związane z wydobyciem i przetwórstwem rud cynkowo-olowiowych, ale też mogą one być częściowo pochodzenia geologicznego – następstwem wietrzenia wychodni dolomitów kruszczońskich.

7. Podwyższone zawartości rtęci stwierdzono w niektórych osadach być może są skutkiem depozycji zanieczyszczeń emitowanych przez elektrownie i huty.

Opracowanie wykonano wykorzystując wyniki badań użyte w ramach realizacji tematu Szczegółowa Mapa Geochemiczna Górnego Śląska w skali 1 : 25 000 na arkuszach Zabrze, Chorzów, Ornontowice i Mikołów (22.1407.1302.00.1) finansowanego ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej na zlecenie Ministerstwa Środowiska. Autorki składają serdeczne podziękowania Recenzentom za cenne uwagi i wskazówki, które pozwoliły na udoskonalenie pracy.

## LITERATURA

BLODAU C. 2006 – A review of acidity generation and consumption in acidic coalmine lakes and their watersheds. *Sci. Total Environ.*, 369: 307–332.

BOJAKOWSKA I. & GLIWICZ T. 2003 – Wyniki geochemicznych badań osadów wodnych Polski w latach 2000–2002. *Bibl. Monitoringu Środowiska*, Warszawa: 46–81.

BOJAKOWSKA I. & KRASUSKA J. 2014 – Copper and other trace elements in sediments of lakes near Konin (Poland). *J. Elementol.*, 1: 31–40.

CÁNOVAS C.R., PEIFFER S., MACÍAS F., OLÍAS M. & NIETO J.M. 2015 – Geochemical processes in a highly acidic pit lake of the Iberian Pyrite Belt (SW Spain). *Chem. Geol.*, 395: 144–153.

CUDAŁ J. & WANTUCH A. 2009 – Chorzów. [W:] Nowicki Z. (red.) *Wody podziemne miast Polski*. Państw. Inst. Geol., Warszawa: 58–71.

CHYLAT A. (red.) 2003 – Program ochrony środowiska dla gminy Świętochłowice. *Beskidzki Fundusz Ekorożwoju S.A.*, Bielsko-Biała.

EARY L.E. 1999 – Geochemical and equilibrium trends in mine pit lakes. *Appl. Geochem.*, 14: 963–987.

FÖRSTNER U. 1989 – Contaminated sediments. Springer-Verlag.

FRIESE K. 2002 – Depth distribution of heavy metals in lake sediments from lignite mine pit lakes of Lusatia (Germany). *Stud. Quatern.*, 21: 197–205.

GOROL M. 2011 – Poeksploatacyjne deformacje profilu rzeki skutkujące powstaniem zawodnień terenu. *Górnictwo i geologia*, 6 (4): 19–26.

GOVIL P.K., SORLIE J.E., SUJATHA D., KRISHNA A.K., MURTHY N.N. & RAMA MOHAN K. 2012 – Assessment of heavy

metal pollution in lake sediments of Katedan Industrial Development Area, Hyderabad, India. *Environ. Earth Sci.*, 66: 121–128.

HARNISCHMACHER S. 2007 – Anthropogenic impacts in the Ruhr district (Germany): a contribution to anthropogeomorphology in a former mining region. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, 30: 185–192.

HINWOOD A. L., HEYWORTH J., TANNER H. & McCULLOUGH C. 2012 – Recreational Use of Acidic Pit Lakes-Human Health Considerations for Post Closure Planning. *J. Water Res. Protect.*, 4: 1061–1070. [http://pl.wikipedia.org/wiki/Historia\\_Chorzowa](http://pl.wikipedia.org/wiki/Historia_Chorzowa). <http://swiony.pl/p,s,historia.html>. <http://www.hutabatory.com.pl>. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Chropaczów>.

HOTH N., FELDMANN H., RINKER A., GLOMBITZA F. & HÄFNER F. 2005 – Reductive processes within lignite dumps-chance of a long-term natural attenuation process. *Geoderma*, 11 (129): 19–31.

HRDINKA T. 2007 – Typology and potential utilization of anthropogenic lakes in mining pits in the Czech Republic. *Limnol. Rev.*, 7: 47–53.

JACHIMKO B. & KASPRZAK M. 2011 – Zmiany składu chemicznego wód kopalnianego zbiornika zapadliskowego. *Rocz. Ochrona Środow.*, 13: 1753–1766.

KLEIN S.M. & JACOBS L.A. 1995 – Distribution of mercury in the sediments of Onondaga Lake, N.Y. *Water, Air, and Soil Pollution*, 80: 1035–1038.

KONDRACKI J. 2000 – Geografia regionalna Polski. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.

KONSENCJUSZ D., CHUDY K. & WORSKO-KOZAK M. 2012 – Zmienność stężenia żelaza i siarczanów w profilach pionowych Kolorowych Jeziorok w Wieściszowicach (Rudawy Janowickie) – wyniki wstępne. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 451, *Hydrogeologia*, 13: 1–145.

LABUS K. & SKOCZYŃSKA-GAJDA S. 2013 – Origin of sulfates in the post-mining lakes in the eastern part of Muskau Arch (Polish-German borderland). *Geol. Quart.*, 57 (3): 561–566.

LAGAUZÈRE S., MOREIRA S. & KOSCHORRECK M. 2011 – Influence of bioturbation on the biogeochemistry of littoral sediments of an acidic post-mining pit lake. *Biogeosciences*, 8: 339–352.

LIS J. & PASIECZNA A., 1995 – Atlas geochemiczny Górnego Śląska 1 : 200 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.

MAC DONALD D., INGERSOLL C. & BERGER T. 2000 – Development and evaluation of consensus-based sediment development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 39: 20–31.

MACHOWSKI R. 2010 – Przemiany geosystemów zbiorników wodnych powstałych w nieckach osiadania na Wyżynie Katowickiej. *Pr. Nauk. UŚL.*, 2811.

MARQUES E.D., SELLA S.M., BIDONE E.D. & SILVA-FILHO E.V. 2010 – Geochemical behavior and dissolved species control in acid sand pit lakes, Sepetiba sedimentary basin, Rio de Janeiro, SE Brazil. *J. South Amer. Earth Sci.*, 30: 176–188.

MUCHA D. 2010 – Kanalizacja Rawy i otwartych kanałów ściekowych. *Gosp. Wodna*, 5: 209–215.

PLEWNIAK J. 2007 – Wpływ eksploatacji węgla na powierzchnie leśne w obszarze górniczym „Szczygłowice” w nadleśnictwie Rybnik. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 4 (2): 245–261.

RZĘTAŁA M. & JAGUŚ A. 2012 – New lake district in Europe: origin and hydrochemical characteristics. *Water Environ. J.*, 26 (1): 108–117.

QUANYUAN W., JIEWU P., SHANZHONG Q., YIPING L., CONGCONG H., TINGXIANG L. & LIMEI H. 2009 – Impacts of coal mining subsidence on the surface landscape in Longkou city, Shandong Province of China. *Environ. Earth Sci.*, 59: 783–791.

SCHULTZE M. & BOEHRER B. 2008 – Development of two meromictic Pit Lakes – a case study from the Former Lignite Mine Merseburg-Ost, Germany. *Limnologia*, 40: 148–155.

SHEVENELL L.A. 2000 – Water quality in pit lakes in disseminated gold deposits compared to two natural, terminal lakes in Nevada. *Environ. Geol.*, 39 (7): 807–815.

SHEVENELL, L., CONNORS, K.A. & HENRY, C.A. 1999 – Controls on pit lake water quality at sixteen open-pit mines in Nevada. *Appl. Geochem.*, 14: 669–687.

SKOCZYŃSKA-GAJDA S. & LABUS K. 2011 – Zagadnienie drenażu kwaśnych wód na terenach po eksploatacji węgla brunatnego – Łuk Mużakowa. *Biul. Państw. Inst. Geol.* 445, *Hydrogeologia* z. 12/2: 643–650.

TEMPEL R. N., SHEVENELL L. A., LECHLER P. & PRICE J. 2000 – Geochemical modeling approach to predicting arsenic concentrations in a mine pit lake. *Appl. Geochem.*, 15 (4): 475–492.

WANTUCH A. & CUDAŁ J. 2009 – Świętochłowice. [W:] Nowicki Z. (red.), *Wody podziemne miast Polski*. Państw. Inst. Geol., Warszawa: 404–417.

WYCZÓŁKOWSKI J. 1957 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1 : 50 000, ark. Zabrze. Wyd. Geol., Warszawa.

Praca wpłynęła do redakcji 30.04.2015 r.  
Akceptowano do druku 24.06.2015 r.