

Obiekty składowania odpadów górniczych i flotacyjnych Starego Zagłębia Miedziowego – charakterystyka i perspektywy ich zagospodarowania

Marcin Kania¹, Andrzej Chmielewski², Wojciech Kuloza-Kaczan³, Paweł Brytan¹



M. Kania



A. Chmielewski



W. Kuloza-
-Kaczan



P. Brytan

Mining and flotation waste disposal sites in the Old Copper District: Characteristics and management prospects. Prz. Geol., 73: 890–903; doi: 10.7306/2025.94

A b s t r a c t. The study characterizes mining and flotation waste deposits of the so-called Old Copper District, including information on their location, type, and volume of deposited rock masses, which determines their potential for future utilization. Particular attention was paid to flotation tailing ponds due to their considerable size and resource potential. The need for comprehensive borehole exploration of such facilities was indicated, due to the documented variability in chemical and mine-

ralogical composition throughout their entire volume. The collected and presented results, supplemented with satellite and hyperspectral analysis outcomes, may be applied in the planning of waste deposit exploration and mining waste management, as well as in conducting preliminary economic assessments of the potential recovery of critical raw materials, in accordance with Article 27 of Regulation (EU) 2024/1252 of the European Parliament and of the Council of 11 April 2024 (European Critical Raw Material Act).

Keywords: post-flotation tailing ponds, mine waste dumps, Old Copper District, satellite remote sensing

Rozwój górnictwa rud miedzi wiąże się z powstawaniem znacznych ilości odpadów, generowanych zarówno na etapie eksploatacji złoża, jak i w procesach późniejszej przeróbki kopaliny. Problem ten jest szczególnie widoczny z uwagi na relatywnie niskie zawartości składnika użytecznego w eksploatowanej kopalinie. W 2024 r. wydobyte rudy polimetalicznej w krajowych zakładach górniczych KGHM Polska Miedź S.A. wyniosło niemal 30,5 mln t o przeciętnej zawartości 1,48 % Cu i 50,21 g/t Ag. Uwzględniając nawet pozostałe surowce metaliczne uzyskane ubocznie na drodze przeróbki rudy (za 2024 r. w ilości: 296 kg Au; 31,5 tys. t Pb; 2,36 tys. t siarczynu Ni; 68,38 t Se oraz 10,13 t Re), od końca XX w. na Obiekt Unieszkodliwiania Odpadów Wydobywczych Żelazny Most jest kierowanych każdego roku od 20 do 26 mln t odpadów (Łuszczkiewicz, 2000; Raport, 2022; Szuflicki i in., 2025). W praktyce blisko 95% masy urobku wydobywanego w KGHM S.A., po przejściu procesów przeróbki mechanicznej i flotacji, trafia ostatecznie do składowania w postaci drobnostanowych odpadów flotacyjnych. Zagospodarowanie i minimalizacja wpływu na środowisko tak znacznych ilości odpadów stanowi istotne wyzwanie. Podobne trudności występowały w zakładach górniczych Starego Zagłębia Miedziowego (SZM), gdzie eksploatacja złóż o niskiej zawartości miedzi – średnio 1,1% w niecce grodzieckiej i 0,6% w półrowie Leszczyny (Łuszczkiewicz, 2000) – skutkowała powsta-

waniem milionów ton odpadów wymagających składowania i unieszkodliwiania.

Wieloletnia eksploatacja dolnocechsztyńskiej serii miedzionośnej i rozwój procesów przeróbki rudy pozostawiły po sobie ponad 20 zinwentaryzowanych obiektów antropogenicznych w postaci hałd kopalnianych, składowisk odpadów przemysłowych i osadników poflotacyjnych. Kwestia zagospodarowania tych obiektów, zwłaszcza w kierunku ich ponownego wykorzystania jako potencjalnego źródła surowców, powinna pozostawać przedmiotem wnikliwych analiz ekonomicznych, technologicznych oraz środowiskowych. Tego rodzaju podejście pozwoliłoby nie tylko ograniczyć ich negatywny wpływ na środowisko, lecz także stworzyć warunki do odzysku cennych składników mineralnych oraz włączyć zarządzanie odpadami w ramy koncepcji obiegu zamkniętego (*circular economy*). Okolicznością sprzyjającą pozostają obowiązujące przepisy unijne, które m.in. w ramach art. 27 *European Critical Raw Material Act* zobowiązują państwa członkowskie Unii Europejskiej do sporządzenia planów gospodarowania odpadami górnymi wraz z wykonaniem wstępnej oceny ekonomicznej dotyczącej potencjalnego odzysku surowców krytycznych (Rozporządzenie, 2024). W dokumencie zdefiniowano ponadto wskaźnik referencyjny, który stanowi, iż do 2030 r. zdolność Unii w zakresie recyklingu odpadów powinna zapewnić pokrycie przynajmniej 25% rocznego zużycia surowców strategicznych we Wspólnocie.

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Dolnośląski, al. Jaworowa 19, 53-122 Wrocław; marcin.kania@pgi.gov.pl, ORCID ID: 0000-0002-6829-1663; pawel.brytan@pgi.gov.pl

² Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; andrzej.chmielewski@pgi.gov.pl; ORCID ID: 0000-0002-1723-1273

³ TerraEye – Remote Sensing Business Solutions Sp. z o.o., ul. Długosza 60A, 51-162 Wrocław; wojciech.kuloza-kaczan@terraeye.co; ORCID ID: 0000-0001-9533-369X

METODYKA

Zestawienia danych dotyczących opisywanych obiektów antropogenicznych dokonano na podstawie informacji zebranych w opracowaniach Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego (PIG-PIB), głównie w Geobazie *Haldy*, oraz publikacjach cytowanych. Dane przestrzenne w postaci ortofotomap, map topograficznych, numerycznych modeli terenu i bazy danych obiektów topograficznych (BDOT 10k), potrzebnych do opracowania wizualizacji obiektów, pozyskano z ogólnodostępnych zasobów Geoportalu (danych do pobrania i usług WMS/WMTS) oraz zasobów map archiwalnych, dostępnych w serwisie Mapster.

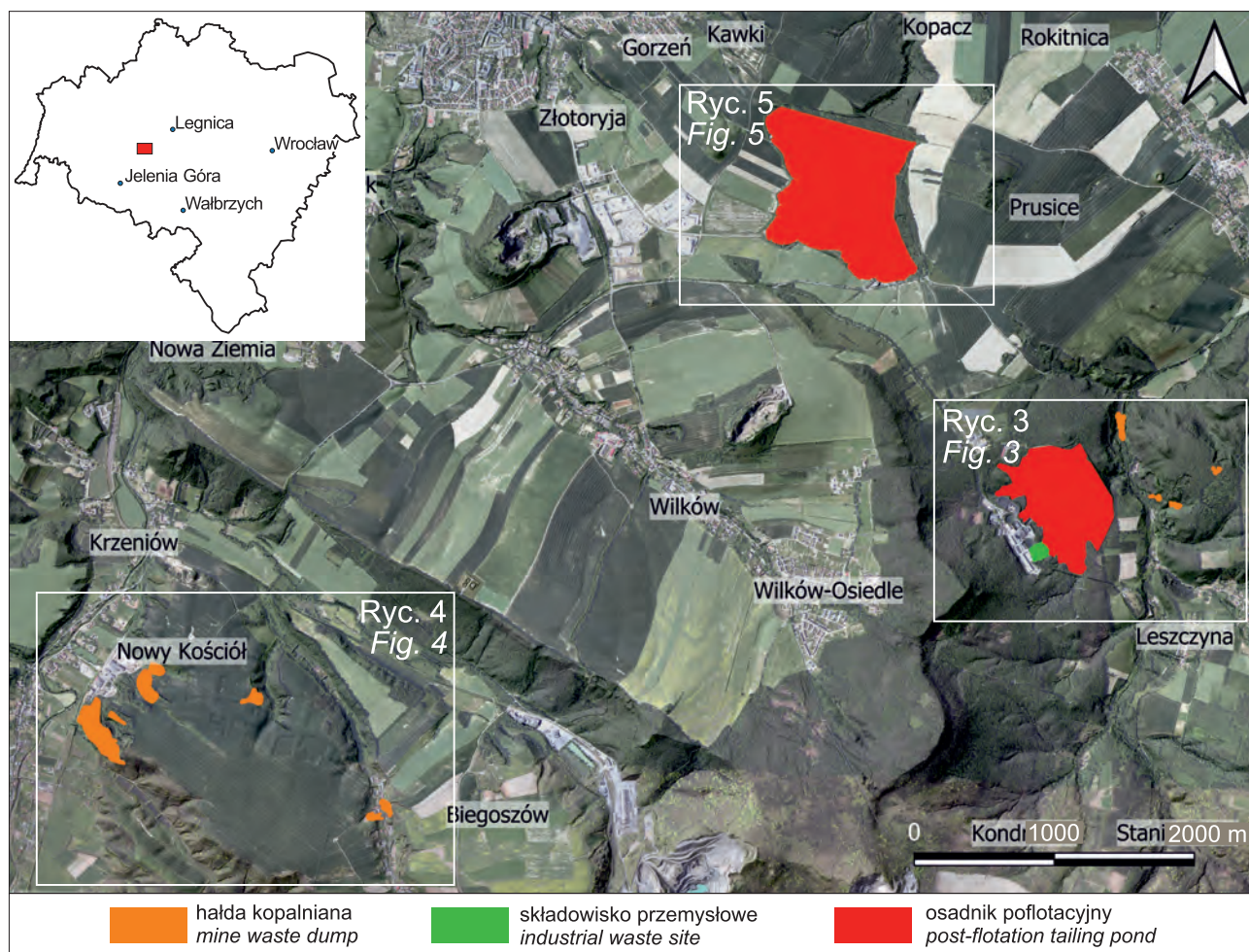
Ze względu na rozległe wymiary osadnika Wartowice oraz brak pokrywy roślinnej możliwe było przetestowanie metod obrazowania opartych na analizach spektralnych danych satelitarnych w celu określenia przestrzennego rozkładu mineralizacji. Czynniki takie jak obecność wody, zawilgocenie czy drobna rozproszona roślinność wpływają na wyniki, dlatego w możliwie wysokim stopniu zostały zamaskowane. Do analizy wykorzystano *Spectral Angle Mapper* (SAM), który pozwala na porównanie krzywej z danego piksela zobrazowania z krzywą referencyjną dla danego minerału zmierzoną laboratoryjnie. Analiza danych została wykonana poprzez wykorzystanie platformy

Terra-Eye. Dostępność danych satelitarnych pozwoliła na wykorzystanie aktualnych danych Sentinel-2 oraz archiwalnych danych ASTER (stan na dzień 14.04.2004 r.).

OBIEKTY SKŁADOWANIA ODPADÓW – PRZEGLĄD I KLASYFIKACJA

Zinwentaryzowane obiekty unieszkodliwiania odpadów wydobywczych SZM obejmują 24 obiekty w postaci 18 hałd i 5 osadników poflotacyjnych. W zasobach Geobazy *Haldy* uwzględniono ponadto jedno składowisko odpadów przemysłowych. Większość spośród wymienionych obiektów (17, w tym 14 hałd, 1 składowisko i 2 osadniki poflotacyjne) jest związane z działalnością górniczą w obrębie półrowu Leszczyny (ryc. 1, tab. 1). Ich powstanie jest związane z wielowiekową eksploatacją, sięgającą od średniowiecza do lat 70. XX w. Pozostałe 7 obiektów (4 hałdy i 3 osadniki poflotacyjne) jest zlokalizowanych na obszarze niecki grodzieckiej, a ich powstanie ogranicza się do okresu od lat 30. do 80. XX w. (ryc. 2, tab. 2).

Grupa 7 hałd (Leszczyna 2–7 oraz Lena – Upadowa I), zlokalizowanych ok. 1 km na N od Leszczyny, należy do najstarszych spośród omawianych obiektów antropogenicznych (ryc. 3). Większość z nich powstała w wyniku działalności kompleksu górniczego *Ciche Szczęście* (*Stilles Glück*), funkcjonującego w XIX w. Najstarszym obiektem



Ryc. 1. Lokalizacja obiektów składowania odpadów górniczych i flotacyjnych Starego Zagłębia Miedziowego – rejon półrowu Leszczyny. Nazwy obiektów wraz z numerami inwentaryzacyjnymi na ryc. 3–5

Fig. 1. Location of mining and flotation waste storage facilities of the Old Copper District – Leszczyna Half-Graben area. Names of the facilities along with their inventory numbers are shown in Figs. 3–5

Tab. 1. Zestawienie obiektów składowania odpadów górniczych i poflotacyjnych Starego Zagłębia Miedziowego – rejon półrowu Leszczyny (na podst. Geobazy *Haldy*)**Table 1.** Inventory of mining and flotation waste dumps of the Old Copper District – Leszczyny half-valley area (based on the Geobaza *Haldy* database)

Obiekt <i>Object</i>	Nr inw. <i>ID No.</i>	Masa odpadów <i>Waste mass</i> [t]	Objętość objektu <i>Object's volume</i> [m ³]	Powierzchnia objektu <i>Object's surface</i> [ha]	Litologia <i>Litology</i>	Granulacja <i>Granulation</i>	Obszary chronione i odległość <i>Protected zones and their proximity</i>
Leszczyna 5	527	b.d. <i>no data</i>	41 205	0,23	P	gleba, gruz, błoczki ≤10 cm <i>soil, rubble, blocks ≤10 cm</i>	PK Chełmy – 0 m, Natura 2000 Góry i Pogórze Kaczawskie – 0 m <i>Landscape Park Chełmy – 0 m, Natura 2000 Site: Kaczawskie Mountains and Foothills – 0 m</i>
Leszczyna 2	524		806	0,06	W, M		
Leszczyna 3	525		145	0,04			
Leszczyna 4	526		1352	0,04			
Leszczyna 6	528		4473	0,10			
Leszczyna 7	529		1991	0,05			
Biegoszów E	124		2837	0,51	M	gruz 2–10 cm, błoczki 10–20 cm <i>rubble 2–10 cm, blocks 10–20 cm</i>	
Biegoszów W	123	3778	0,35				
Nowy Kościół 1	125	200 tys.	b.d. <i>no data</i>	1,95	M, W, o.b.	gleba, glina, piasek, gruz ≤5 cm, błoczki 10–20 cm <i>soil, clay, sand, rubble ≤5 cm, blocks 10–20 cm</i>	–
Nowy Kościół 2	607	b.d. <i>no data</i>	46 057	0,66	M, W		
Nowy Kościół 3	608		3096	0,28			
Nowy Kościół 4	609		780 405	5,56			
Nowy Kościół 2	126	b.d. <i>no data</i>	22 508	0,82	P, M	mat. drobny, poj. błoczki ≤10 cm <i>fine material, individual blocks ≤10 cm</i>	
Lena – Upadowa I	72		13 712	0,72	Ł, P, M	gruz i błoczki, poj. bloki ≤0,5 m <i>rubble and blocks, individual blocks ≤0,5 m</i>	PK Chełmy – 26 m, Natura 2000 Góry i Pogórze Kaczawskie – 0 m <i>Landscape Park Chełmy – 26 m, Natura 2000 Site: Kaczawskie Mountains and Foothills – 0 m</i>
Lena – Kopalnia	71		86 074	1,22	P	gruz ≤5 cm, błoczki ≤20 cm, zwietrzelina <i>rubble ≤5 cm, blocks ≤20 cm, weathered material</i>	PK Chełmy – 88 m, Natura 2000 Góry i Pogórze Kaczawskie – 0 m <i>Landscape Park Chełmy – 88 m, Natura 2000 Site: Kaczawskie Mountains and Foothills – 0 m</i>
Lena 1	70	7 mln	b.d. <i>no data</i>	42,10	M	patrz ryc. 6 see Fig. 6	PK Chełmy – 25 m, Natura 2000 Góry i Pogórze Kaczawskie – 0 m <i>Landscape Park Chełmy – 25 m, Natura 2000 Site: Kaczawskie Mountains and Foothills – 0 m</i>
Lena 2	69	15 mln	7 800 000 (Lewiński, Wolski, 1996)	86,40			PK Chełmy – 618 m, Natura 2000 Góry i Pogórze Kaczawskie – 299 m <i>Landscape Park Chełmy – 618 m, Natura 2000 Site: Kaczawskie Mountains and Foothills – 299 m</i>

Obiekt: pomarańczowy – hałda kopalniana, zielony – składowisko odpadów przemysłowych, czerwony – osadnik poflotacyjny.

Litologia: P – piaskowce, W – wapienie, M – margle, Ł – łupki osadowe, o.b. – odpady budowlane.

b.d. – brak danych.

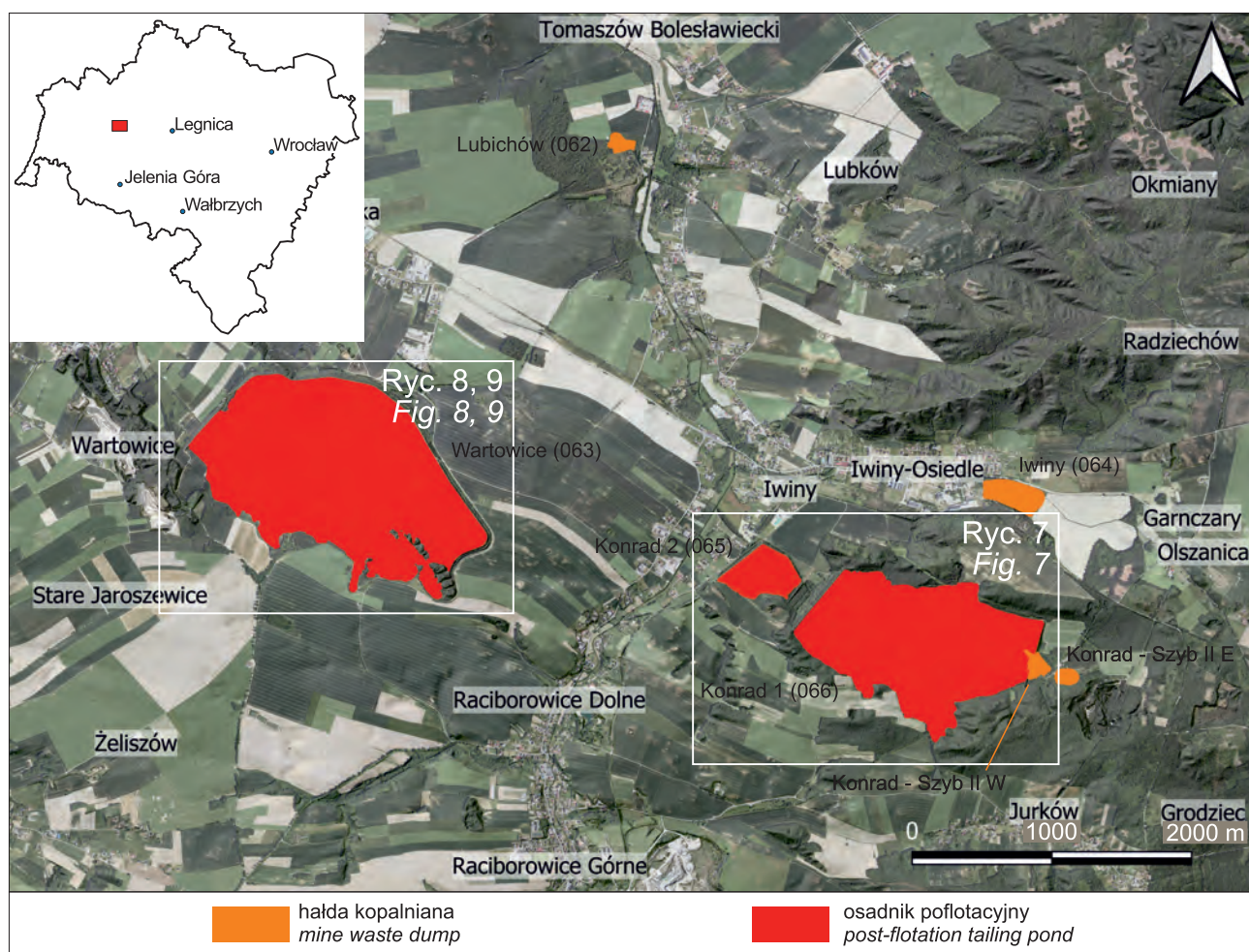
Object: orange – mine spoil heap, green – industrial waste dump, red – flotation tailings pond.

Lithology: S – sandstones, L – limestones, M – marls, Sh – sedimentary shales, c.w. – construction waste.

b.d. – no data available.

jest hałda Leszczyna 5 (nr inw. 527), złożona w głównej mierze z ostrokrawędzistych okruchów (gruzu) i błoczków płonnego piaskowca. Obiekt ten należy jednocześnie do największych hałd rejonu Leszczyny (tab. 1).

Odpady o odmiennej litologii, reprezentowanej przez łupki, piaskowce i margle, zdeponowano na największej hałdzie rejonu Leszczyny – obiekcie Lena – Upadowa I (nr inw. 072). Jej powstanie jest związane z późniejszą



Ryc. 2. Lokalizacja obiektów składowania odpadów górniczych i flotacyjnych Starego Zagłębia Miedziowego wraz z numerami inwentaryzacyjnymi – rejon synkliny Grodziec

Fig. 2. Location of mining and flotation waste storage facilities of the Old Copper District – Grodziec Syncline area

Tab. 2. Zestawienie obiektów składowania odpadów górniczych i poflotacyjnych Starego Zagłębia Miedziowego – rejon synkliny Grodziec (na podst. Geobazy *Haldy*)

Table 2. Inventory of mining and flotation waste dumps of the Old Copper District – Grodziec syncline area (based on the Geobaza *Haldy* database)

Obiekt <i>Object</i>	Nr inw. <i>ID No.</i>	Masa odpadów <i>Waste mass</i> [t]	Objętość obiektu <i>Object's</i> <i>volume</i> [m ³]	Powierzchnia obiektu <i>Object's surface</i> [ha]	Litologia <i>Litology</i>	Granulacja <i>Granulation</i>	Obszary chronione i odległość <i>Protected zones</i> <i>and their proximity</i>
Konrad – Szyb II W	67	b.d. <i>no data</i>	b.d. <i>no data</i>	2,12	P, Mu, Ł	gruz ≤5 cm, błoczki ≤20 cm, zwietrzelina <i>rubble</i> ≤5 cm, blocks ≤20 cm, weathered material	OChK Grodziec – 0 m <i>Protected landscape</i> <i>area Grodziec – 0 m</i>
Konrad – Szyb II E	68	b.d. <i>no data</i>		1,43			
Iwiny	64	1 mln		6,76	b.d. <i>no data</i>		OChK Grodziec – 489 m <i>Protected landscape</i> <i>area Grodziec – 489 m</i>
Lubichów	62	160 tys.		1,51	P, Z, Mu		–
Konrad 1 (Iwiny 1)	66	18 mln		119,60	M, Ł	patrz ryc. 10 <i>see Fig. 10</i>	OChK Grodziec – 0 m <i>Protected landscape</i> <i>area Grodziec – 0 m</i>
Konrad 2 (Iwiny 2)	65	1,2 mln		13,10			–
Wartowice	63	32,5 mln		190,90			–

Obiekt: pomarańczowy – hałda kopalniana, czerwony – osadnik poflotacyjny.

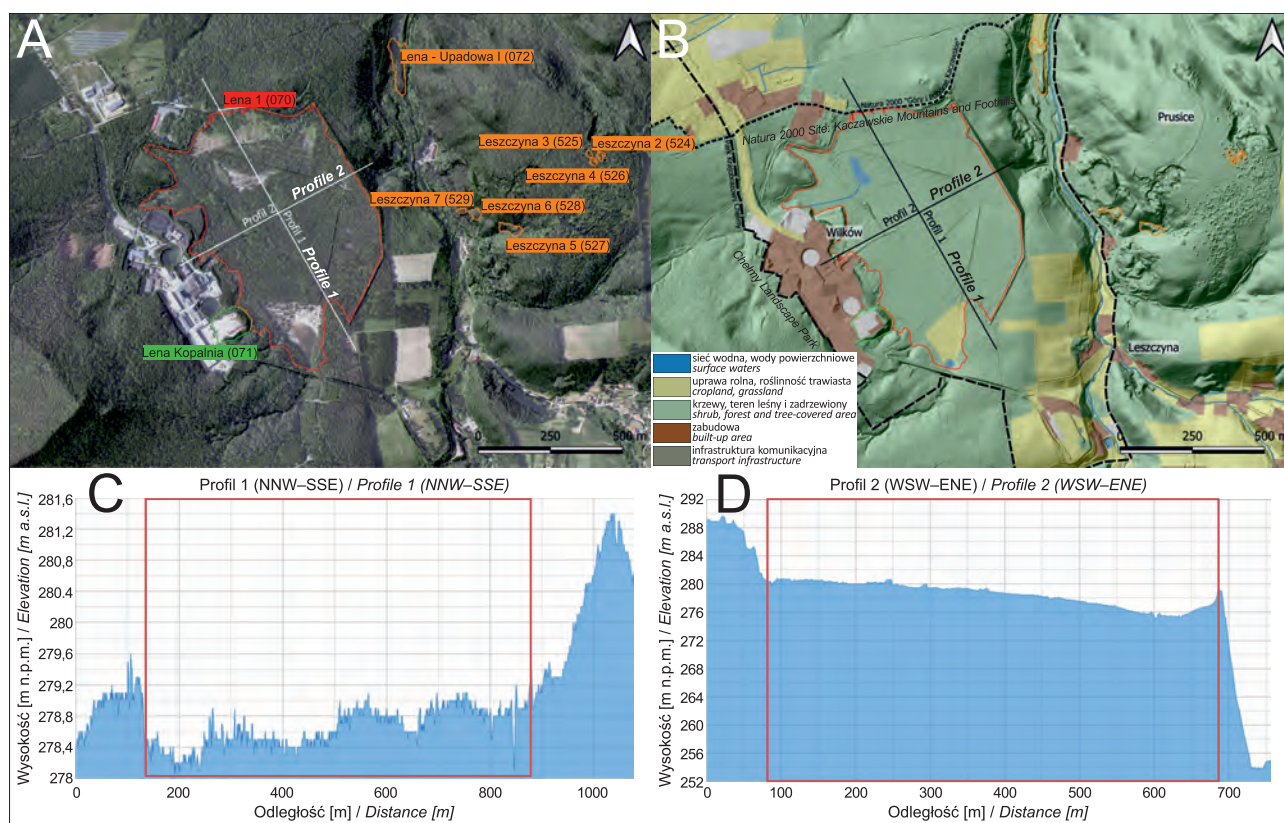
Litologia: P – piaskowce, Mu – mułowce, M – margle, Ł – łupki osadowe, Z – zlepieńce.

b.d. – brak danych.

Object: orange – mine spoil heap, red – flotation tailings pond.

Lithology: S – sandstones, Mu – mudstones, M – marls, Sh – sedimentary shales, Co – conglomerates.

b.d. – no data available.



Ryc. 3. Obiekty składowania odpadów górniczych rejonu Leszczyna – Wilków. **A** – kombinacja ortofotomapy i cieniowanego numerycznego modelu terenu z zaznaczonymi granicami obiektów składowania – oznaczenia patrz ryc. 1; **B** – cieniowany numeryczny model terenu z elementami pokrycia terenu, oznaczenie składowisk – patrz ryc. 3A; **C–D** – profile powierzchni terenu wzdłuż linii zaznaczonych na ryc. 3A–B. Lokalizacja obszaru patrz ryc. 1

Fig. 3. Mining waste dumps in the Leszczyna – Wilków area. **A** – combination of an orthophotomap and a shaded digital terrain model with marked boundaries of the storage facilities – for symbols, see Fig. 1; **B** – shaded digital terrain model with land cover elements, storage facility markings – see Fig. 3A; **C–D** – terrain surface profiles along the lines marked in Fig. 3A–B. For the location of the area, see Fig. 1

działalnością górniczą niemieckiej kopalni *Wahlstadt-Grube bei Haasel*, funkcjonującej w trakcie II wojny światowej. W okresie powojennym na hałdzie deponowano odpad z eksploatacji zakładu górniczego *Lena*. Wszystkie 7 wymienionych hałd są własnością Skarbu Państwa, reprezentowanego przez Państwowe Gospodarstwo Leśne *Lasy Państwowe*. Hałda *Lena* – Upadowa I jest zlokalizowana w granicach obszaru siedliskowego Natura 2000 Góry i Pogórze Kaczawskiej oraz w bezpośrednim sąsiedztwie Parku Krajobrazowego Chelmy. Pozostałe z wymienionych obiektów znajdują się w obrębie obydwóch obszarów chronionych. Na terenie dawnych zakładów górniczych *Lena* jest zlokalizowane ponadto składowisko odpadów przemysłowych *Lena* – Kopalnia (nr inw. 071) ze zdeponowanym odpadem piaskowcowym, urabianym w okresie wojennej działalności niemieckiej kopalni *Wahlstadt-Grube bei Haasel*. Obiekt również znajduje się w granicach ww. obszaru Natura 2000.

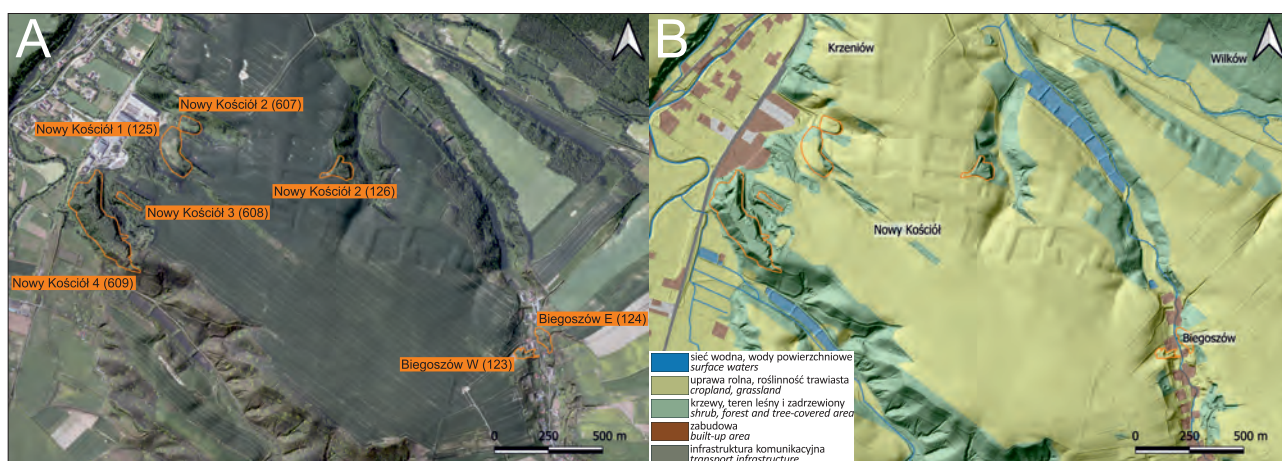
Z powojenną działalnością kopalni *Nowy Kościół* jest związane 7 hałd, zlokalizowanych między miejscowościami Nowy Kościół i Boguszów (ryc. 4). Znajdują się one na gruntach należących do gminy Świerzawa, w przypadku dwóch obiektów współwłaścicielem są PGL *Lasy Państwowe*. Hałdy nie są objęte formami ochrony środowiska.

W rejonie Biegoszowa znajdują się dwie hałdy odpadu marglistego (Biegoszów W i E, o nr inw. odpowiednio 123 i 124), zlokalizowane w bezpośrednim sąsiedztwie zabu-

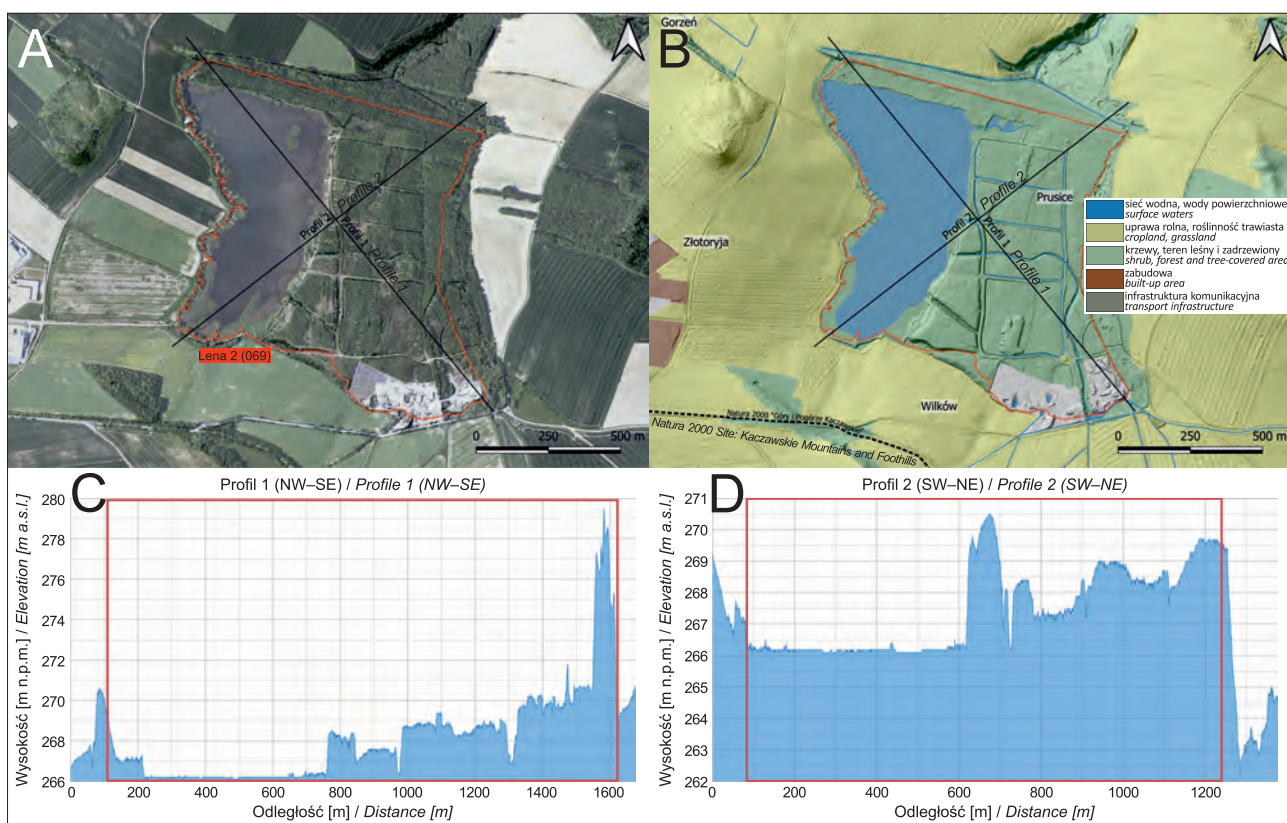
dowy wsi. Są to najstarsze obiekty powstałe w efekcie działalności kopalni *Nowy Kościół*, których formowanie datuje się od początku lat 50. aż do II połowy lat 60. XX w. Obiekty zlokalizowane dalej w kierunku NW, bliżej *Nowego Kościoła* (Nowy Kościół 1–4 o nr inw. 125, 607–609), stanowią efekt nieco późniejszej działalności wydobywczej, datowanej od połowy lat 50. ub.w. Najpóźniej, od 1958 r., rozpoczęto składowanie odpadów na hałdzie o nr inw. 126 (tab. 1).

Z działalnością górniczą i przeróbcą rud miedzi na obszarze półrowu Leszczyna są związane dwa osadniki poflotacyjne: *Lena* 1 i 2 (nr inw. 070 i 069). Ich funkcjonowanie jest związane ściśle z działalnością kopalni *Lena*, funkcjonującej w latach 1950–1973. Początki formowania zbiornika *Lena* 1 sięgają okresu II wojny światowej i działalności górniczo-przeróbczej realizowanej przez zakład *Wahlstadt-Grube bei Haasel*. Osadnik *Lena* 2 funkcjonował od lat 50. i był eksploatowany do lat 70. XX w. Obydwa osadniki są obecnie wyłączone z użytkowania i częściowo zrehabilitowane (Kowalski i in., 2017).

Zbiornik *Lena* 1 (ryc. 3) stanowił realizację niemieckich założeń projektowych z końca lat 30. XX w., zakładających budowę osadników w systemie kaskadowym. Obiekt powstał w wyniku przegrodzenia 36-metrową tamą doliny niewielkiego, lewobrzeżnego dopływu Prusickiego Potoku. Po zakończeniu II wojny światowej i włączeniu obszaru dolnośląskiego w granice Polski powrócono do



Ryc. 4. Obiekty składowania odpadów górniczych rejonu Nowego Kościoła – Biegoszowa. **A** – kombinacja ortofotomapy i cieniowanego numerycznego modelu terenu z zaznaczonymi granicami obiektów składowania – oznaczenia patrz ryc. 1; **B** – cieniowany numeryczny model terenu z elementami pokrycia terenu, oznaczenie składowisk – patrz ryc. 4A. Lokalizacja obszaru patrz ryc. 1
Fig. 4. Mining waste dumps in the Nowy Kościół – Biegoszów area. **A** – combination of an orthophotomap and a shaded digital terrain model with marked boundaries of the storage facilities – for symbols, see Fig. 1; **B** – shaded digital terrain model with land cover elements, storage facility markings – see Fig. 4A. For the location of the area, see Fig. 1



Ryc. 5. Osadnik poflotacyjny Lena 2. **A** – kombinacja ortofotomapy i cieniowanego numerycznego modelu terenu z zaznaczonymi granicami obiektów składowania – oznaczenia patrz ryc. 1; **B** – cieniowany numeryczny model terenu z elementami pokrycia terenu, oznaczenie składowisk – patrz ryc. 5A; **C–D** – profile powierzchni terenu wzdłuż linii zaznaczonych na ryc. 5A–B. Lokalizacja obszaru patrz ryc. 1

Fig. 5. Lena 2 flotation tailings pond. **A** – combination of an orthophotomap and a shaded digital terrain model with marked boundaries of the storage facilities – for symbols, see Fig. 1; **B** – shaded digital terrain model with land cover elements, storage facility markings – see Fig. 5A; **C–D** – terrain surface profiles along the lines marked in Fig. 5A–B. For the location of the area, see Fig. 1

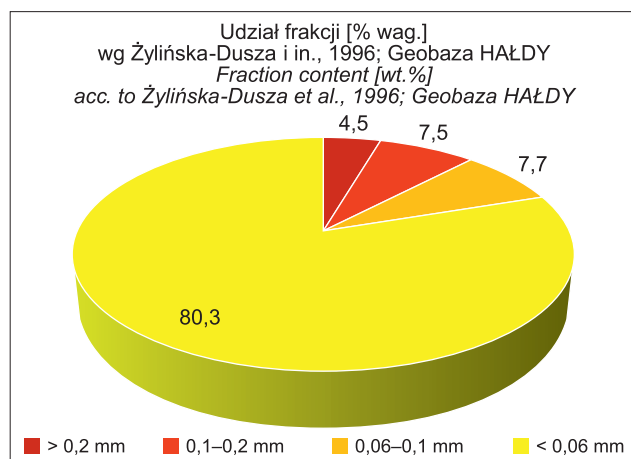
koncepcji rozbudowy pojedynczego zbiornika bezpośrednio przy zabudowaniach kopalni Lena. Od strony N i W zbiornik opiera się o wzgórza Pogórza Kaczawskiego, od E i S obiekt ogranicza obwałowanie. W drugiej połowie lat 50. XX w. podjęto próby zagospodarowania odpadów zdeponowanych w NW części zbiornika na potrzeby produkcji

nawozów. Obiekt eksploatowano do 1958 r. (Skiba i in., 1975; Kowalski i in., 2017). Obecnie cały osadnik, poza partiami w części N i S, jest pokryty zwartym drzewostanem.

W rok po zamknięciu Leny 1 rozpoczęto eksploatację osadnika Lena 2 (ryc. 5), powstałego w wyniku zatamowania potoku Szreniawa 31-metrową zaporą. Docelowo projekt

zakładał pojemność zbiornika sięgającą ponad 12,2 mln m³ przy powierzchni 114,6 ha (Bar, 1973). W II połowie lat 80. ub.w. wschodnia część zbiornika służyła jako składowisko odpadów bazaltowych z produkcji kruszywa w okolicznych zakładach górniczych (Kowalski i in., 2017). W efekcie nadbudowy doszło do zróżnicowania powierzchni zbiornika: wyniesiona część wschodnia jest obecnie porośnięta lasem, część zachodnia została zatopiona.

Obecnie obydwa osadniki są zlokalizowane na gruntach Skarbu Państwa. Lena 1 jest objęta zasięgiem obszaru Natura 2000 Góry i Pogórze Kaczawskie i bezpośrednio



Ryc. 6. Średni skład ziarnowy odpadów flotacyjnych deponowanych w osadnikach przez zakłady wzbogacania rud kopalni Lena

Fig. 6. Average grain-size composition of flotation tailings deposited in ponds by the ore processing plants of the Lena mine

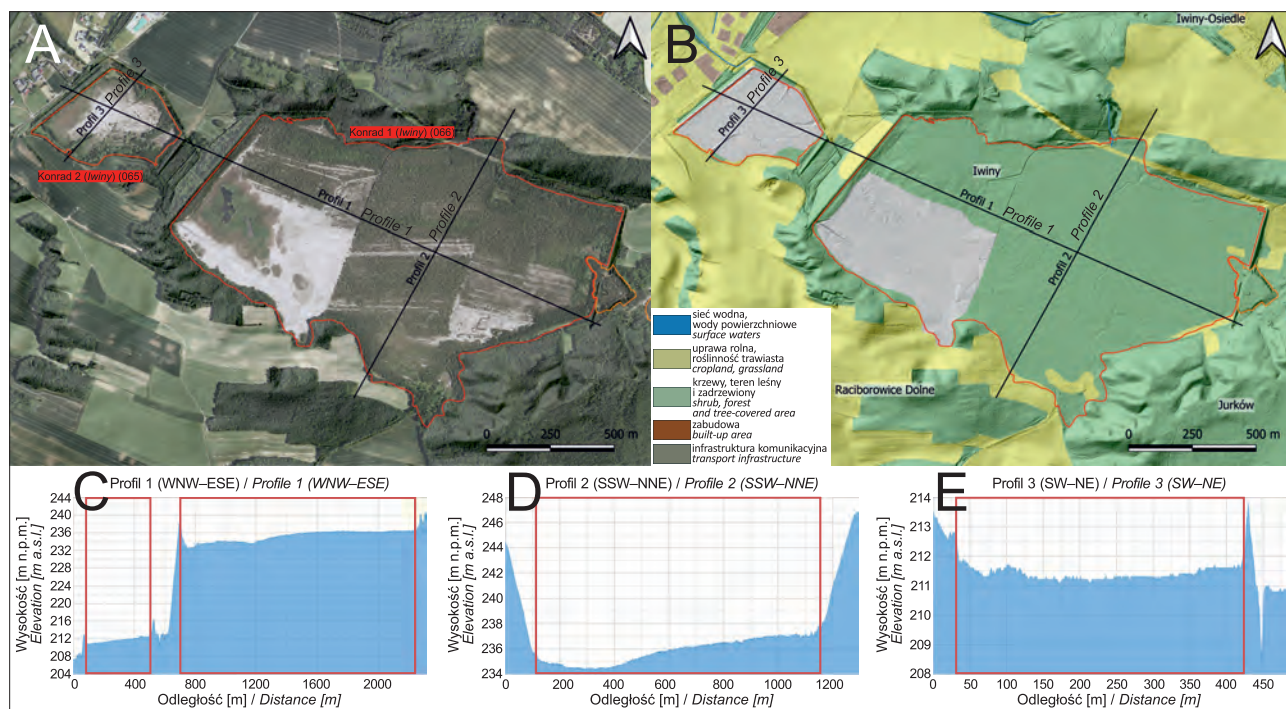
graniczy z Parkiem Krajobrazowym Chełmy. Lena 2 nie jest objęta formami ochrony przyrody. Odpad z obydwu zbiorników stanowią drobnoziarniste margle, o dominującym udziale frakcji <0,06 mm (ryc. 6).

Rejon Iwin charakteryzuje się mniejszą liczbą obiektów zinwentaryzowanych niż w okolicach Leszczyn i Nowego Kościoła, cechują się natomiast większymi rozmiarami (ryc. 2). Hałda o nr inw. 064, zlokalizowana bezpośrednio przy zabudowie Iwin, stanowi największy tego typu obiekt na obszarze SZM. Odpady pochodzą z długiego okresu eksploatacji, obejmującego wydobywanie prowadzone w niemieckich zakładach górniczych *Mittlau-Grube*, a w okresie powojennym, do 1989 r., w kopalni *Konrad* (Kowalski i in., 2017).

W bezpośrednim sąsiedztwie Szybu nr II kopalni *Konrad* są zlokalizowane dwie mniejsze hałdy, o łącznej powierzchni poniżej 4 ha (Konrad – Szyb II W oraz E, nr inw. 067–068). Przez hałdę zachodnią poprowadzono wschodni wał osadnika Konrad 1 (ryc. 2, 7). Obydwa obiekty znajdują się na gruntach PGL *Lasy Państwowe*, w granicach obszaru chronionego krajobrazu Grodziec.

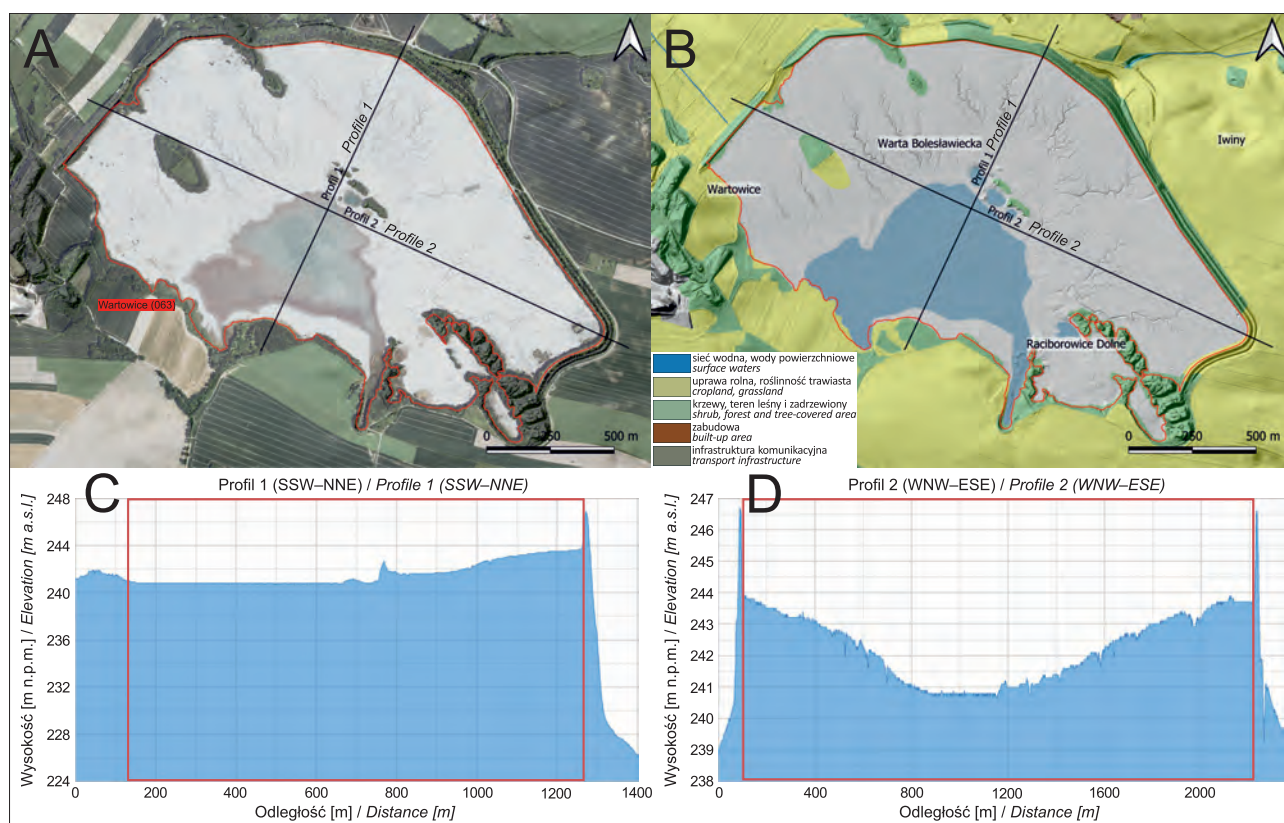
W miejscowości Lubków, w pobliżu szybu Lubichów IV, jest zlokalizowana odosobniona hałda (nr inw. 62), powstała w wyniku prac wydobywczych prowadzonych w latach 1943–1944 w kopalni *Liebachau-Grube*, a następnie w od lat 50. do 70. ub.w. w kopalni *Lubichów*. Po zaprzestaniu eksploatacji rud miedzi na hałdę kierowano odpady powstałe w procesie wydobywania miejscowego gipsu i anhydrytu (Kowalski i in., 2017).

Na potrzeby unieszkodliwiania poprzez składowanie odpadów poflotacyjnych powstałych z wydobywania i przeróbki rudy z kopalń niecki grodzieckiej wybudowano trzy



Ryc. 7. Osadniki poflotacyjne Konrad 1 i 2 (Iwiny). **A** – kombinacja ortofotomapy i cieniowanego numerycznego modelu terenu z zaznaczonymi granicami obiektów składowania – oznaczenia patrz ryc. 2; **B** – cieniowany numeryczny model terenu z elementami pokrycia terenu, oznaczenie składowisk – patrz ryc. 7A; **C–E** – profile powierzchni terenu wzdłuż linii zaznaczonych na rycinach 7A–B. Lokalizacja obszaru patrz ryc. 2

Fig. 7. Konrad 1 and 2 flotation tailings ponds (Iwiny). **A** – combination of an orthophotomap and a shaded digital terrain model with the marked boundaries of storage facilities – for symbols, see Fig. 2; **B** – shaded digital terrain model with land cover elements, storage facilities marked – see Fig. 7A; **C–E** – ground surface profiles along the lines marked in Fig. 7A–B. Location of the area – see Fig. 2



Ryc. 8. Osadnik poflotacyjny Wartowice. **A** – kombinacja ortofotomapy i cieniowanego numerycznego modelu terenu z zaznaczonymi granicami obiektów składowania – oznaczenia patrz ryc. 2; **B** – cieniowany numeryczny model terenu z elementami pokrycia terenu, oznaczenie składowisk – patrz ryc. 8A; **C–D** – profile powierzchni terenu wzdłuż linii zaznaczonych na ryc. 8A–B. Lokalizacja obszaru patrz ryc. 2

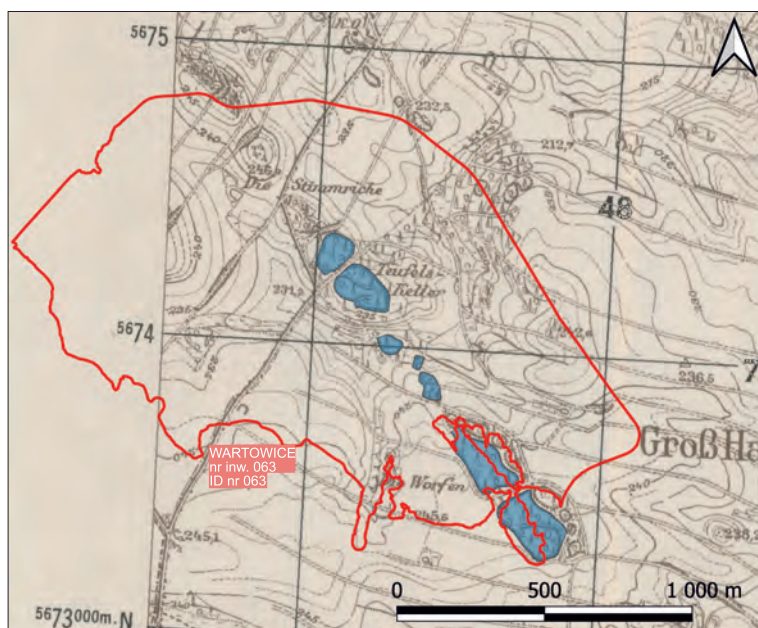
Fig. 8. Wartowice flotation tailings pond. **A** – combination of an orthophotomap and a shaded digital terrain model with the marked boundaries of storage facilities – for symbols, see Fig. 2; **B** – shaded digital terrain model with land cover elements, storage facilities marked – see Fig. 8A; **C–D** – ground surface profiles along the lines marked in Fig. 8A–B. Location of the area – see Fig. 2

obiekty. Wszystkie powstały już w czasach powojennych, jako obiekty infrastruktury zakładów górniczych *Konrad*. Okres eksploatacji pierwszego z ich – *Konrada 1* (Iwiny 1, nr inw. 066), obejmował lata 1953–1971 (ryc. 2, 7). Zlokalizowany jest w prawobrzeżnej części doliny Bobrzycy i odgraniczony obwałowaniem długości ponad 0,5 km i wysokością 27 m, którą docelowo osiągnięto w 1967 r. Odpady zrzucano rurowciągami od strony północnej, w trakcie depozytowania osadów utrzymując jego stałe zatopienie. W grudniu 1967 r. doszło do przerwania głównego wału na szerokości od 68 m w podstawie do ponad 130 m w koronie. W wyniku katastrofy została zalana dolina Bobrzycy na długości kilkunastu km wraz z miejscowościami zlokalizowanymi na drodze fali, od Iwin po Dąbrowę Bolesławiecką. Zginęło wówczas 18 osób, a szkody materialne obejmowały ponad 100 domów mieszkalnych i 400 budynków gospodarczych (Rossiński, 1978). Po katastrofie wały odbudowano, stosując dodatkowe wzmocnienie konstrukcji w postaci płyt betonowych od strony wewnętrznej. Eksploatację obiektu zakończono w 1971 r. (Werno i in., 1986; Lewiński, Wolski, 1996). W trakcie odbudowy osadnika *Konrad 1* przystąpiono do budowy mniejszego zbiornika *Konrad 2* (Iwiny 2, nr inw. 065), zlokalizowanego 200 m dalej na NW, w kierunku Iwin (ryc. 7). Okres eksploatacji osadnika był krótki i obejmował lata 1967–1968.

W dwa lata po zakończeniu eksploatacji zbiornika *Konrad 2* oddano do użytku obiekt *Wartowice* (nr inw. 063). Osadnik znajduje się między miejscowościami War-

towice, *Warta Bolesławiecka* i *Raciborowice Dolne*, na lewym brzegu Bobrzycy, niecały 1 km od obiektów *Konrad 1* i *2* (ryc. 2, 8). Obiekt od południa opiera się o okoliczne zbocza wzgórz, od N, W i E wybudowano wały o maksymalnej wysokości 32 m. Zbiornik objął w swojej centralnej i SE części dawne kamieniołomy piaskowca (ryc. 9). Eksploatacja *Wartowic* zakończyła się w 1989 r.

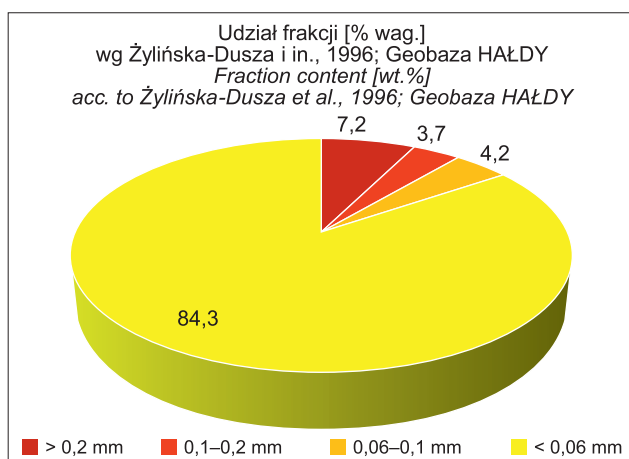
We wszystkich trzech osadnikach zdeponowano drobnoziarnisty materiał skalny w postaci margli i łupków, podobnie jak w przypadku obiektów *Lena 1* i *2* charakteryzujący się wyraźną dominacją materiału frakcji <0,06 mm (ryc. 10). *Konrad 2* oraz *Wartowice* znajdują się poza granicami obszarów chronionych, osadnik *Konrad 1* objęty jest zasięgiem obszaru chronionego krajobrazu *Grodziec*. Rekultywacja obiektów w kierunku leśnym stanowi proces długotrwały i mało efektywny, m.in. z uwagi na ustawiczne zawodnienie części zbiorników i deficyt składników mineralnych (Kotarska, 2012; Kowalski i in., 2017). W efekcie można dostrzec różnice w stopniu zalesienia wymienionych obiektów – w przypadku osadnika *Konrad 1* większość powierzchni jest zalesiona. W przypadku obiektów *Konrad 2* udział powierzchni pokrytej roślinnością jest mniejszy i ograniczony do obrzeży. *Wartowice*, jako najmłodszy osadnik, jest niemal całkowicie pozbawiony szaty roślinnej i stan ten nie uległ znaczącym zmianom na przestrzeni ostatnich 20 lat (ryc. 11).



←

Ryc. 9. Lokalizacja dawnych kamieniołomów piaskowca na obszarze osadnika flotacyjnego Wartowice. Czerwoną linią zaznaczono współczesne granice osadnika poflotacyjnego, kolorem niebieskim – granice kamieniołomów, podkład – kombinacja ortofotomapy i zrefererowanego arkusza niemieckiej mapy topograficznej (Meßtischblatt 4760: Kaiserswaldau, 1939)

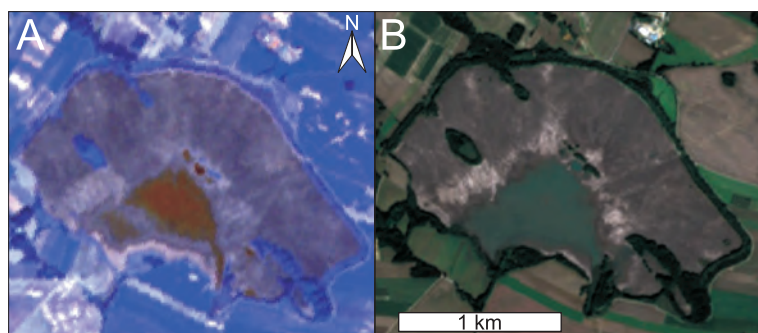
Fig. 9. Location of former sandstone quarries within the Wartowice tailings pond area. The contemporary boundaries of the flotation tailings pond are marked with a red line, the quarry boundaries are marked in blue; background – combination of an orthophotomap and a georeferenced sheet of a German topographic map (Meßtischblatt 4760: Kaiserswaldau, 1939)



←

Ryc. 10. Średni skład ziarnowy odpadów flotacyjnych depozytowanych w osadnikach przez zakłady wzbogacania rud kopalni Konrad

Fig. 10. Average grain-size composition of flotation tailings deposited in ponds by the ore processing plants of the Konrad mine



←

Ryc. 11. Wyniki obrazowania satelitarnego osadnika flotacyjnego Wartowice. A – ASTER z 14.04.2004 r., w fałszywych barwach; B – Sentinel-2 2024, RGB

Fig. 11. Satellite images of Wartowice tailing pond. A – False Color ASTER image from 14.04.2004; B – True Color Sentinel-2 image from 2024

MOŻLIWOŚCI ZAGOSPODAROWANIA SUROWCOWEGO OBIEKTÓW

Z uwagi na odmienny skład mineralogiczny i ziarnowy deponowanych odpadów oraz rozmiary samych obiektów konieczne jest odmiennie rozpatrywanie możliwości zagospodarowania hałd górniczych oraz osadników poflotacyjnych. Hałdy kopalniane SZM stanowią stosunkowo niewielkie obiekty antropogeniczne, powstałe przeważnie w wyniku urabiania utworów płonnych podczas głębiania wyrobisk górniczych, stąd są zlokalizowane na ogół w ich bliskim sąsiedztwie. Wśród odpadów deponowanych na hałdach związanych z działalnością zakładów górniczych półrowu

Leszczyny dominują margle i wapienie, podrzędnie łupki i piaskowce. Na analogicznych obiektach rejonu synkliny Grodzca gromadzono przeważnie odpad złożony ze skał okruchowych zróżnicowanej frakcji. Naturalnym kierunkiem ewentualnego zagospodarowania tego typu obiektów z obydwóch rejonów jest wykorzystanie zdeponowanych odpadów, w tym żużli, jako kruszywa dla drogownictwa i kolejnictwa.

Możliwości zagospodarowania hałd SZM są w dużej mierze ograniczone lokalizacją na obszarach chronionych oraz ich rozmiarami. Taki przypadek dotyczy wszystkich niewielkich hałd oraz składowiska odpadów przemysłowych, zlokalizowanych w rejonie Leszczyny – Wilkowa.

Ograniczenia środowiskowe nie dotyczą hałd rejonu Biegoszowa i Nowego Kościoła, jednakże są to na ogół obiekty stosunkowo niewielkie, o wyłącznie lokalnym potencjalnym znaczeniu. Korzystniejsze warunki do zagospodarowania stwarzają hałdy związane z działalnością wydobywczą kopalń *Konrad* i *Lubichów* – jeden z nieistniejących już obiektów tego rejonu został wybrany i splantowany, a zgromadzony surowiec skalny wykorzystano jako tłuczeń (Kowalski i in., 2017).

Zdecydowaną większość odpadów związanych z działalnością górnictwa miedzi SMZ stanowią odpady poflotacyjne. Wątpliwa estetyka osadników, zróżnicowane rezultaty ich rekultywacji oraz wątpliwości co do sposobu ich rekultywacji (Kowalski i in., 2017) skłaniają do opracowywania i analizy koncepcji ich zagospodarowania, obejmującego zagospodarowanie przemysłowe obiektów. Najlepsze perspektywy do ewentualnego zagospodarowania przedstawiają obiekty kopalni *Konrad*: *Konrad 1* i *2* oraz *Wartowice*. *Lena 1* została zrehabilitowana i zalesiona. *Lenę 2* również zalesiono, a miejscowy akwen w części zachodniej osadnika przekształcono w łowisko.

Rozważane dotychczas kierunki zastosowania odpadów obejmowały, oprócz wykorzystania odpadów do nadbudowy zapór osadników i uszczelniania dna, wykorzystanie ich jako podsadzki podziemnych wyrobisk górniczych (Downorowicz, 1996; Łuszczkiewicz, 2000), surowca mineralnego do poprawy jakości gleb (Sroga, 1995; Duczmal-Czernikiewicz i in., 2012), środka do neutralizacji kwasu siarkowego (Górniak-Zimroz, 2009; Kotarska, 2012) czy dodatku do betonu (Sroga, 1995; Kudelko, Nitek, 2011).

Wyniki badań nad możliwością rolniczego zastosowania odpadów poflotacyjnych (Duczmal-Czernikiewicz i in., 2012) wskazują na ich ograniczoną przydatność, z uwagi na wysoką koncentrację metali ciężkich (w szczególności ołowiu) i ich znaczną biodostępność wykazaną w testach fitotoksyczności. W rezultacie autorzy zalecają stosowanie odpadów w kierunku rolniczym jedynie w ograniczonym zakresie, głównie na potrzeby upraw przemysłowych.

Skład chemiczny odpadów poflotacyjnych Starego Zagłębia Miedziowego, konieczny do określenia budowy wewnętrznej i zmienności deponowanego osadu, był przedmiotem wielu opracowań – koncentracje przedstawione w tabeli 3, jakkolwiek stanowią istotną podstawę do rozważań ekonomicznych, to prezentują wartości przeciętne, uśrednione dla całości mas zdeponowanych w osadnikach lub ograniczają się do analizy przypowierzchniowej warstwy odpadów. Tymczasem już w warstwie do głębokości 1 m dostrzec można zróżnicowanie składu geochemicznego i mineralogicznego osadników. Przykładowo, analiza danych hiperspektralnych pozwala zobrazować przestrzenny rozkład tlenków i wodorotlenków Fe (ryc. 12A). Wyniki badań Duczmal-Czernikiewicz i in. (2012) wskazują z kolei na zmianę odczynu pH i zawartości Cu i Pb – następuje stopniowy wzrost kwasowości wraz z głębokością i odległością od zapory oraz spadek zawartości Cu i Pb. W przypowierzchniowej warstwie odpadów z osadnika *Konrad 1* dominującym minerałem miedzi jest malachit, podrzędnie kupryt. Kowelin, chalkozyn, digenit i bornit występują natomiast w śladowych ilościach. Wraz z odległością od zapory zawartość malachitu wzrasta, a chalkozynu i digenitu – ogranicza się do najgrubszych frakcji ziarnowych odpadu (Duczmal-Czernikiewicz i in., 2012).

Badania Downorowicza i Piątkowskiego (2008) ukazują przestrzenne zróżnicowanie koncentracji składników użytecznych w głębszych warstwach odpadów. Wykonane przez wymienionych autorów badania obejmowały wykonanie otworów rozpoznawczych w NE części osadnika *Wartowice*. Otwory wiercono do głębokości 10 m, osiągając poziom zwierciadła wód gruntowych. Półmetrowe odcinki próbek rdzeni poddano analizie chemicznej, uzyskując rozkład zawartości całkowitej miedzi (Cu), miedzi w formie tlenkowej (CuO) i siarczkowej (CuS) oraz srebra (Ag). Rezultaty badań przedstawiono na rycinie 13. Rozkład metali w profilach otworów ukazywał wyraźne wzbogacenie w CuO w partiach przypowierzchniowych, obejmujących strefę aeracji. Maksymalne zawartości CuS odnotowano natomiast w głębszych partiach, w obrębie wyróżnionej przez autorów strefie ograniczonej saturacji. Zawartość miedzi całkowitej Cu stanowiły wypadkową rozkładu obydwóch form miedzi, dzięki czemu największe koncentracje miedzi występowały na dwóch odcinkach profilu: w strefie aeracji – ograniczonej aeracji oraz w strefie ograniczonej saturacji, położonej kilka m niżej. Miąższość strefy aeracji ulegać miała stopniowej redukcji w stronę centralnej części osadnika, przy czym strefy aeracji miały się cechować ogólną stopniową ekspansją pionową, a strefy saturacji – ogólną stopniową redukcją. Autorzy podkreślili, że proces stopniowego utleniania siarczków ulegał zahamowaniu w osadach drobnodispersyjnych i nasyconych wodą, charakteryzujących się warunkami redukcyjnymi, przy czym zawartość Cu i Ag generalnie malała wraz ze wzrostem odległości od zapory, co wynikało z granulometrycznego i wagowego rozkładu uziarnienia w trakcie namywu osadów. Zróżnicowanie frakcji odpadu jest doskonale widoczne na obrazach spektralnych, ukazujących koncentracje minerałów ilastych w centralnej części osadnika (ryc. 12B).

Dominacja malachitu jest warunkowana panującym w przypowierzchniowych osadach środowiskiem utleniającym o pH zbliżonym do obojętnego. Wysoka zawartość minerałów węglanowych w drobnoziarnistych marglistych osadach pozwala utrzymać odczyn osadów w stanie zbliżonym do obojętnego, ograniczając migrację metali ciężkich w roztworach wodnych (Łuszczkiewicz, 2000). Analizy wykonane na osadniku *Konrad 1* wykazały spadek wartości pH wraz z głębokością i odległością od zapory – od 8,22 do 7,66, w obrębie warstwy przypowierzchniowej miąższości 1 m (Duczmal-Czernikiewicz i in., 2012). W literaturze występują rozbieżności odnośnie definicji warunków trwałych dla malachitu w tak zdefiniowanym zakresie pH (ryc. 14) – w przypadku spadku wartości pH-Eh rozkład malachitu uwalnia Cu^{2+} do roztworu przy jednoczesnej emisji CO_2 , zwiększającego agresywność środowiska poprzez dalszy spadek pH. Konsekwentnie, wraz ze stopniową zmianą warunków od utleniających do redukcyjnych, w głębszych partiach osadnika mogłyby zaistnieć warunki do wykształcenia strefy wzbogacenia we wtórny kupryt w strefie cementacji tlenkowej oraz wtórnych chalkozynu i kowelinu w strefie cementacji siarczkowej. Określenie przestrzennych relacji i zasięgu stref występowania mineralizacji tlenkowej i siarczkowej posiada aspekt praktyczny z uwagi na podatność siarczków Cu na stosowanie standardowych metod flotacji do odzysku miedzi i srebra z wykorzystaniem zbieraczy tiolowych (Łuszczkiewicz, 2000).

Tab. 3. Skład chemiczny odpadów poflotacyjnych z osadników SZM**Table 3.** Chemical composition of flotation tailings waste from the Old Copper District tailings ponds

	Średni skład chemiczny odpadów poflotacyjnych z osadnika Wartowice <i>Average chemical composition of flotation tailings from the Wartowice pond</i>		Średni skład chemiczny odpadów poflotacyjnych z przeróbki rud miedzi <i>Average chemical composition of flotation tailings from copper ore processing</i>		Zakres zawartości Cu i Pb w odpadach osadnika Konrad 1 (głębokość do 1 m, odległość od zapory 100–500 m) <i>Range of Cu and Pb content in waste from the Konrad 1 settling pond (depth up to 1 m, distance from the dam 100–500 m)</i>	Zakres średnich wartości wsp. wzbogacenia EF, znormalizowanych względem Sc i Al w odpadach z zapór osadnika Konrad 1 (głębokość do 1,5 m) <i>Range of average enrichment factor (EF) values, normalized to Sc and Al, in waste from the dams of the Konrad 1 settling pond (depth up to 1.5 m)</i>
	Konstantynowicz, 1971	Piestrzyński i in., 1996 <i>Piestrzyński et al., 1996</i>	Żylińska-Dusza i in., 1996 <i>Żylińska-Dusza et al., 1996</i>		Duczmal-Czernikiewicz i in., 2012 <i>Duczmal-Czernikiewicz et al., 2012</i>	Duczmal-Czernikiewicz, Suchan, 2015
			ZG Lena	ZG Konrad		
CaCO ₃ [%]	29,43	4,29	–	–	–	–
CaO [%]	–	–	27,06	23,68	–	–
MgO [%]	2,93	4,42	3,54	4,42	–	–
Al ₂ O ₃ [%]	14,05	10,24	8,83	10,24	–	–
SiO ₂ [%]	31,66	29,18	26,18	29,18	–	–
SO ₃ [%]	0,861	–	–	–	–	–
CO ₂ [%]	17,84	–	–	–	–	–
H ₂ O [%]	1,28	–	–	–	–	–
K ₂ O [%]	2,69	–	–	–	–	–
Na ₂ O [%]	0,53	–	–	–	–	–
P ₂ O ₅ [%]	0,14	–	–	–	–	–
TiO ₂ [%]	0,45	–	–	–	–	–
Fe [% wag.]	2,14	–	–	–	0,32–0,34	–
Cu [% wag.]	0,24 (EF = 40)	0,16 (EF = 26,67)	0,13 (EF = 21,67)	0,16 (EF = 26,67)	0,081–0,5181 (EF = 13,5–86,35)	1,5–6,06
Mn [% wag.]	0,11 (EF = 1,16)	–	–	–	–	0,41–0,90
As [ppm]	200 (EF = 111,11)	40 (EF = 22,22)	30 (EF = 16,67)	40 (EF = 22,22)	–	0,36–0,76
Cr [ppm]	160 (EF = 1,57)	–	–	–	–	0,49–0,90
Ag [ppm]	–	–	–	12 (EF = 160)	–	1,34–3,91
Mo [ppm]	40 (EF = 33,33)	–	–	–	–	0,25–0,61
Zn [ppm]	300 (EF = 4,29)	–	–	–	–	0,07–0,17
Pb [ppm]	800 (EF = 57,14)	700 (EF = 50)	200 (EF = 14,29)	700 (EF = 50)	276–1527 (EF = 19,71–109,07)	0,81–2,29
V [ppm]	80 (EF = 0,67)	–	–	–	–	0,38–0,66
Ni [ppm]	600 (EF = 7,14)	–	–	–	–	0,29–0,49
Co [ppm]	60 (EF = 2,4)	23 (EF = 0,92)	20 (EF = 0,8)	23 (EF = 0,92)	–	0,63–1,10
Sn [ppm]	10 (EF = 4,35)	–	–	–	–	–
S [% wag.]	1,08 (EF = 30,86)	–	–	–	–	–
C org. [% wag.]	1,45	–	–	–	–	–

Wartości EF obliczone względem klarków pierwiastków dla skorupy kontynentalnej (Haynes, 2016).
EF values calculated relative to elemental crustal averages for the continental crust (Haynes, 2016).

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

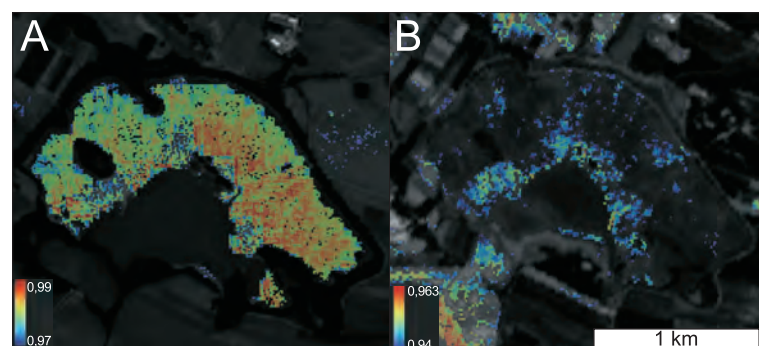
Miejscowe hałdy górnicze są zbudowane z odpadów powstałych z urabiania skał płonnych i zazwyczaj charakteryzują się niewielkimi rozmiarami oraz ograniczonymi zasobami. W większości są to obiekty zrehabilitowane i zalesione, dodatkowo znaczna ich część (w rejonie Leszczyny – Wilkowa) objęta jest formami ochrony przyrody, ograniczając możliwości ich zagospodarowania. Naturalnym kierunkiem ewentualnego zagospodarowania surowcowego tego typu obiektów jest wykorzystanie odpadów jako kruszywa.

Możliwości wykorzystania odpadów w kierunku rolniczym są ograniczone z uwagi na podwyższoną koncentrację metali ciężkich, co ogranicza ich potencjalne zastosowanie do uprawy roślin przemysłowych. Należy jednocześnie

zwrócić uwagę, że z uwagi na wykazany przez Duczmal-Czernikiewicz i in. (2012) spadek wartości pH odpadów poflotacyjnych wraz z głębokością ich depozycji, najlepszy dodatek do odkwaszania gleb stanowią osady z warstwy przypowierzchniowej.

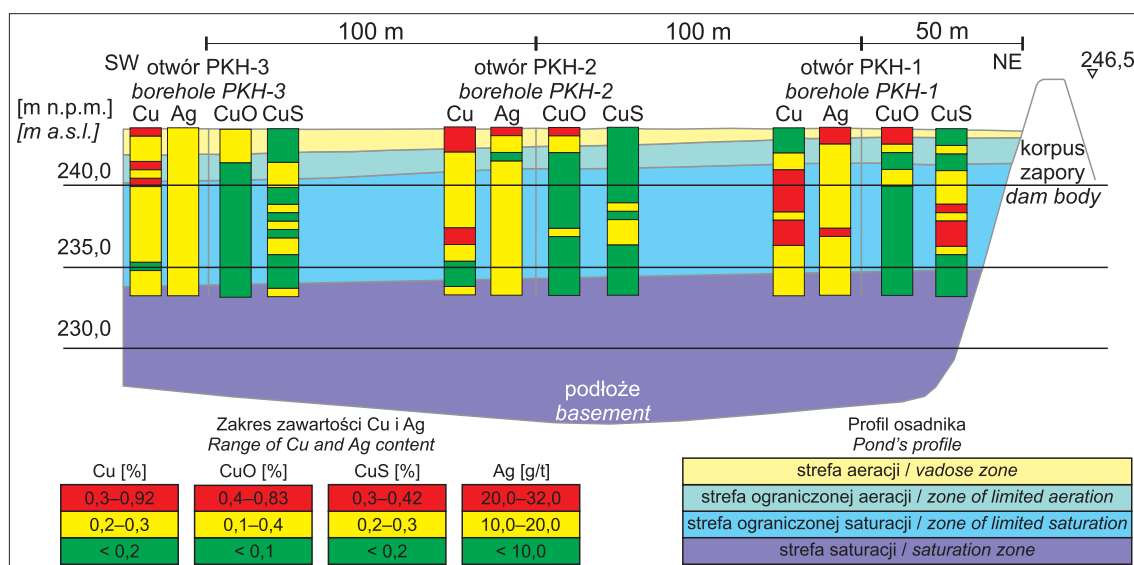
W przypadku dokumentowania hałd i osadników oraz analiz dotyczących możliwości technologicznych i ekonomicznych ich zagospodarowania w kierunku odzysku surowcowego, kluczową kwestią pozostaje posiadanie wystarczającej ilości informacji dotyczących morfologii podłoża obiektu, jego budowy wewnętrznej oraz zróżnicowania deponowanego materiału. Dokładne dane w tym zakresie pozwalają nie tylko na ocenę potencjału surowcowego odpadów, ale także wybór najbardziej efektywnych technologii eksploatacji i odzysku cennych składników mineralnych. W przypadku braku takich informacji należy liczyć się z ryzykiem dużej zmienności jakościowej odpadów (Nieć, 1999), w szczególności w przypadku odpadów przerobowych, co wynika z ciągłego doskonalenia i optymalizacji procesów wzbogacania (Sztaba, 1996). Opracowywanie technologii odzysku metali z osadników powinno być prowadzone zarówno w kierunku całościowego zagospodarowania odpadów, jak i poszczególnych jego składników, oraz obejmować nowe kierunki badań, tj. bioługowanie (Matlakowska, Skłodowska, 2009; Rubio i in., 2002) czy ługowanie cyjankowe (Chmielewski i in., 1995; Butra i in., 1998), a sama decyzja o zagospodarowaniu zdeponowanych odpadów – dodatkowo poprzedzona wnikliwą analizą uwzględniającą czynniki społeczne, środowiskowe, ekonomiczne i prawne (Kaczan i in., 2021).

Osadniki stanowią dynamiczne i nieustannie zmieniające się środowisko geochemiczne, w którym strefy koncentracji i zubożenia składników użytecznych, w szczególności Cu i Ag, mogą występować w sposób nieregularny i nieciągły. Rozmieszczenie tych stref zależy od



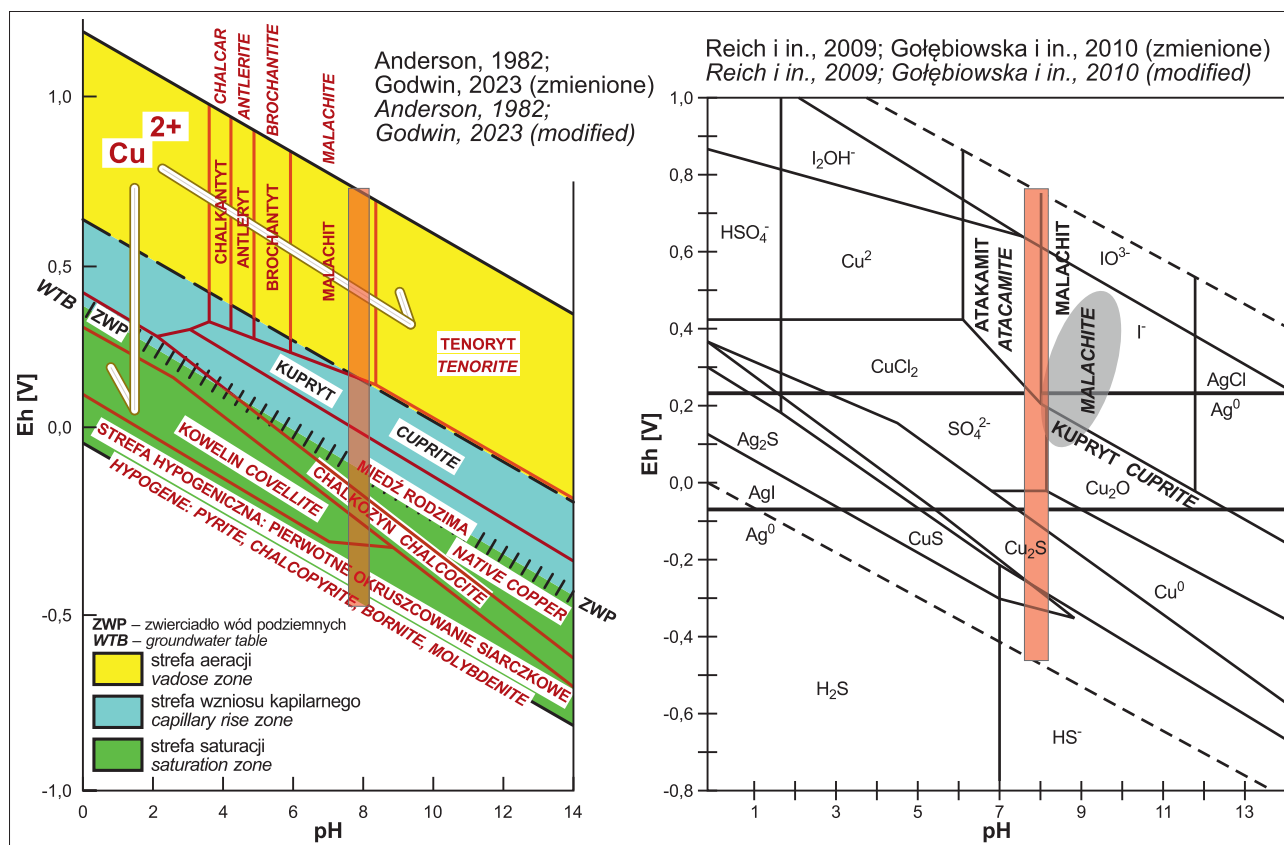
Ryc. 12. Rezultaty analiz teledetekcyjnych osadnika flotacyjnego Wartowice z wykorzystaniem Spectral Angle Mapper. **A** – rozkład przestrzenny goethytu (na danych Sentinel-2), ze względu na podobieństwo spektralne do minerałów takich jak hematyt reprezentujący tlenki i wodorotlenki Fe; **B** – rozkład przestrzenny illitu (na danych ASTER), ze względu na podobieństwo spektralne do minerałów takich jak montmorillonit i kaolinit reprezentujący minerały ilaste

Fig. 12. Results of remote sensing analyses of Wartowice tailing pond using the Spectral Angle Mapper. **A** – spatial distribution of goethite (using Sentinel-2 data) – representing Fe oxides and hydroxides due to spectral similarity to minerals like hematite; **B** – spatial distribution of illite (using ASTER data) – representing clay minerals, due to spectra similarity to minerals like montmorillonite and kaolinite



Ryc. 13. Zmienność koncentracji Cu i Ag w profilu osadów poflotacyjnych zbiornika Wartowice (Downorowicz, Piątkowski, 2008, zmienione, zachowano oryginalne granice stref)

Fig. 13. Variability of Cu and Ag concentrations in the profile of flotation tailings in the Wartowice pond (Downorowicz, Piątkowski, 2008, modified, the original zonation pattern preserved)



Ryc. 14. Wykresy Eh-pH ukazujące zakresy trwałości dla hypogenicznej i supergenicznej (tlenkowej i siarczkowej) mineralizacji Cu w zależności od warunków Eh-pH. Kolorem czerwonym zaznaczono zakres wartości pH w przypowierzchniowym profilu osadów poftlotacyjnych zbiornika Konrad 1, wg Duczmal-Czernikiewicz i in. (2012)

Fig. 14. Eh-pH diagrams showing the stability fields for hypogenic and supergenic (oxide and sulfide) Cu mineralization depending on Eh-pH conditions. The pH range in the near-surface profile of flotation tailings from the Konrad 1 reservoir, acc. to Duczmal-Czernikiewicz et al. (2012), is marked in red

wielu czynników, takich jak: warunki osadzania, właściwości fizykochemiczne materiału, procesy wietrzenia oraz migracja wód podziemnych. Znajomość przestrzennego i chemicznego zróżnicowania osadników jest kluczowa dla skutecznego planowania odzysku surowców oraz oceny potencjalnego wpływu na środowisko. W świetle przytoczonych różnic w składzie ziarnowym, mineralogicznym i chemicznym odpadów zdeponowanych w osadnikach poftlotacyjnych, rozpoznanie tego typu obiektów nie może ograniczać się jedynie do warstwy przypowierzchniowej i powinno być przeprowadzone w siatce otworów (Nieć, 1999). Rozpoznanie takie w przypadku osadników SZM powinno sięgać przynajmniej zwierciadła wód gruntowych i obejmować, oprócz oznaczenia składników użytecznych i ich analizy mineralogicznej, pomiar wartości pH, potencjału Eh (wraz z zawartością C org.) czy uziarnienia oraz określenia zależności przestrzennych analizowanych parametrów zarówno w profilu poziomym, jak i pionowym. Tak uzyskane regularne rozpoznanie pozwoli na wydzielenie stref o zróżnicowanych koncentracjach składników użytecznych, umożliwiając dokonanie dokładniejszej oceny możliwości zagospodarowania. Wyniki prac oprócz wymiaru praktycznego miałyby charakter poznawczy i pozwoliły na poznanie i zrozumienie kierunku i tempa procesów geochemicznych zachodzących na przestrzeni lat w obiektach unieszkodliwiania odpadów wydobywczych.

Na potrzeby planowania prac rozpoznawczych przydatne bywają niekiedy archiwalne opracowania kartogra-

ficzne, ukazujące rozwój przestrzenny obiektów, w szczególności powstałych w okresach długotrwałej działalności wydobywczej (Kaczan, 2023). Na ich podstawie można dokonać analizy pierwotnej morfologii podłoża obiektów (ryc. 9) oraz wskazać ich partie formowane w różnych okresach czasu, charakteryzujących się zróżnicowaniem parametrów jakościowych zdeponowanych odpadów (Kokosz, 1998). Na potrzeby planowania prac rozpoznawczych przydatnym narzędziem mogą być wyniki obrazowania hiperspektralnego, które można wykorzystać jako wstępną analizę rozkładu uziarnienia i składu mineralnego odpadów.

Autorzy składają podziękowania dla Kariny Tyrny i zespołu TerraEye za wsparcie techniczne oraz Recenzentom za cenne rady dotyczące zagadnień merytorycznych. Przygotowanie artykułu sfinansowano ze środków tematu nr 22.9610.2401.00.1: Współpraca krajowa w zakresie geologii i promocja działań państwowej służby geologicznej w latach 2024–2026.



**NARODOWY FUNDUSZ
OCHRONY ŚRODOWISKA
i GOSPODARKI WODNEJ**

LITERATURA

- ANDERSON J.A. 1982 - Characteristics of Leached Capping and Techniques of Appraisal. [W:] Titley S.R. (red.), *Advances in geology of the porphyry copper deposits, southwestern North America*. Tucson: University of Arizona Press, 275–295.
- BAR T. 1973 – Zakłady przeróbki rud miedzi w niecce północnosudeckiej. [W:] Konstantynowicz E. (red.), *Monografia przemysłu miedziowego w Polsce*, 2: 60–82. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- BUTRA J., DĘBKOWSKI R., GROTOWSKI A., MIZERA A. 1998 – Technologie zagospodarowania odpadów flotacyjnych z przeróbki rud miedzi. Materiały IV Konferencji „Problemy zagospodarowania odpadów mineralnych”. 8–10 czerwca, Wisła: 77.
- CHMIELEWSKI T., GROTOWSKI A., KOŁODZIEJ B., ADAMSKI Z. 1995 – Możliwości zastosowania ługowania cyjankowego do odzysku miedzi z odpadów flotacyjnych. *Rudy i Metale Nieżelazne*, 40 (8): 318–321.
- DOWNOROWICZ S. 1996 – Lityfikacja urobku poflotacyjnego w modelu gospodarki bezodpadowej górnictwa miedziowego. Materiały I Międzynarodowej Konferencji „Zagospodarowanie i utylizacja odpadów górniczych i hutniczych”. Polanica Zdrój, 16–18 października 1995 r. KGHM Polska Miedź S.A., CBPM Cuprum Sp. z o.o., Instytut Metali Nieżelaznych, Wrocław: 329–334.
- DOWNOROWICZ S., PIĄTKOWSKI J. 2008 – Stan utlenienia minerałów siarczkowych miedzi w odpadach poflotacyjnych po 30 latach deponowania w składowisku. [W:] Downorowicz S. (red.), *Ekologiczne technologie wydobywania i wzbogacania rud*. Materiały Wybrane I–VII Forum Wschód–Zachód „Nowe Technologie w górnictwie i wzbogacaniu rud”. Lubin–St. Petersburg–Wieliczka: 722–730. Towarzystwo Konsultantów Polskich, O. Lubin.
- DUZMAL-CZERNIKIEWICZ A., DIATTA J.B., RACHWAŁ L. 2012 – Mineralogia odpadów po flotacji rud miedzi oraz możliwość ich rolniczego zastosowania. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 448: 371–380.
- DUZMAL-CZERNIKIEWICZ A., SUCHAN J. 2015 – Nagromadzenia metali w osadnikach poflotacyjnych na Dolnym Śląsku. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 465: 67–76.
- GEOBAZA HALDY. Baza danych PIG-PIB. <https://geologia.pgi.gov.pl/haldy/> (dostęp: 8.08.2025 r.).
- GODWIN C.I. 2023 – Porphyry Deposits: Key Features & Major Models - How to Map & Log British Columbia, Canada.
- GOŁĘBIEWSKA B., PIECZKA A., RZĘPA G., MTYSZKIEWICZ J., KRAJEWSKI M. 2010 – Iodargyrite from Zalas (Cracow area, Poland) as an indicator of Oligocene-Miocene aridity in Central Europe. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 296: 130–137.
- GÓRNIĄK-ZIMROZ J. 2009 – Źródła i koszty środowiskowe gospodarki odpadami w KGHM Polska Miedź SA. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej*, 128 (36): 103–116.
- HAYNES W.M. (red.) 2016 – CRD Handbook of Chemistry and Physics (97th Edition). CRC Press; doi: 10.1201/9781315380476
- KACZAN W. 2023 – Identyfikacja, metody pozyskiwania i wykorzystanie metali krytycznych na Dolnym Śląsku. Rozprawa doktorska. Politechnika Wrocławska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii.
- KACZAN W., WIRTH H., KUDELKO J., SROGA C. 2021 – Challenges in the Management of Mining Waste. *Environmental Sciences Proceedings*, 9, 28; doi: 10.3390/environsciproc2021009028
- KOKESZ Z. 1998 – Dokumentowanie złóż antropogenicznych o złożonej budowie na przykładzie zwału kamienia wapiennego KZPW w Miedziance. [W:] Metodyka rozpoznawania i dokumentowania złóż kopalin oraz obsługi geologicznej kopalń. Materiały VI Seminarium, Krynica. Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków: 221–235.
- KONSTANTYNOWICZ E. 1971 – Geologia złóż rud miedzi w Polsce. [W:] Konstantynowicz E. (red.), *Monografia przemysłu miedziowego w Polsce*, t. 1. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- KOTARSKA I. 2012 – Odpady wydobywcze z górnictwa miedzi w Polsce – bilans, stan zagospodarowania i aspekty środowiskowe. *Cuprum*, 4 (65): 45–63.
- KOWALSKI A., MACIEJAK K., WOJEWODA J., KOZŁOWSKI A., RACZYŃSKI P. 2017 – Antropogeniczne zmiany rzeźby na terenach górniczych Starego Zagłębia Miedziowego (synklinorium północnosudeckie) w świetle analiz geomorfometrycznych NMT LiDAR i danych archiwalnych. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 469: 177–200; doi: 10.5604/01.3001.0010.0080
- KUDELKO J., NITEK D. 2011 – Wykorzystanie odpadów z działalności górniczej jako substytutów surowców mineralnych. *Cuprum*, 3 (60): 51–63.
- LEWIŃSKI J., WOLSKI W. 1996 – Składowiska odpadów. [W:] Piestrzyński A., Zaleska-Kuczmierczyk M. (red.), *Monografia KGHM Polska Miedź S.A.*, Wydanie II, KGHM Cuprum Sp. z o.o., Lubin: 787–897.
- ŁUSZCZKIEWICZ A. 2000 – Koncepcje wykorzystania odpadów flotacyjnych z przeróbki rud miedzi w regionie legnicko-głogowskim. *Inżynieria Mineralna*, 1 (1): 25–35.
- MATLAKOWSKA R., SKŁODOWSKA A. 2009 – The culturable bacteria from organic-rich black shale of the Fore Sudetic Monocline (Poland) potentially useful in biometallurgical procedures. *Journal Of Applied Microbiology*, 107: 858–866.
- MEBTISCHBLATT 1939 – Preußischen Landesaufnahme, 4760 Kaiserwaldau. Topographische Karte 1 : 25000. Reichsamt für Landesaufnahme, Berlin.
- NIEĆ M. 1999 – Złóża antropogeniczne. *Przegląd Geologiczny*, 47 (1): 93–98.
- PIESTRZYŃSKI A., ZALESKA-KUCZMIERCZYK M., JASIŃSKI A.W., KOTARSKI J., MAŚLANKA W., SIEWIERSKI S., SPECZIK S., ŚMIESZEK Z. (red.) 1996 – *Monografia KGHM Polska Miedź S.A.*, Wydanie II, KGHM Cuprum Sp. z o.o., Lubin.
- RAPORT, 2022 – Raport 2021. Część II. Górnictwo rud miedzi i srebra w Polsce. IGSMiE PAN, Kraków.
- REICH M., PALACIOS C., ALVEAR M., CAMERON E.M., LEYBOURNE M.I., DEDITIUS A. 2009 – Iodinerich waters involved in supergene enrichment of the Mantos de la Luna argentiferous copper deposit, Atacama Desert, Chile. *Mineralium Deposita*, 44: 719–722.
- ROSSIŃSKI B. 1978 – Błędy w rozwiązaniach geotechnicznych. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- ROZPORZĄDZENIE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY (UE) 2024/1252 z dnia 11 kwietnia 2024 r. w sprawie ustanowienia ram na potrzeby zapewnienia bezpiecznych i zrównoważonych dostaw surowców krytycznych oraz zmiany rozporządzeń (UE) nr 168/2013, (UE) 2018/858, (UE) 2018/1724 i (UE) 2019/1020. *Dz.U.UE.L.2024.1252*.
- RUBIO J., SOUZA M.L., SMITH R.W. 2002 – Overview as a waste water treatment technique. *Minerals Engineering*, 15: 139–155.
- SKIBA E., MIZERA A., MOŁASEWICZ M., PIASECKI J. 1975 – Koncepcja wyboru kierunków zagospodarowania zbiornika odpadów flotacyjnych nr 1 przy ZG Lena, Zakłady Badawcze i Projektowe Miedzi „Cuprum”. Archiwum Państwowe we Wrocławiu, Oddział w Legnicy.
- SROGA C. 1995 – Ewidencja i ocena wartości surowcowej hałd, wysypisk i osadników poeksploatacyjnych na Dolnym Śląsku. *Centralne Archiwum Geologiczne Państwowego Instytutu Geologicznego*, Warszawa, nr inw. 174/96.
- SZTABA K. 1996 – Warunki zagospodarowania surowców wtórnych i odpadowych oraz kryteria doboru technologii przetwarzania. [W:] *Gospodarka mineralnymi surowcami odpadowymi a górnictwa i energetyki*. IMMB, Kraków-Przegorzały: 69–80.
- SZUFLICKI M., MALON A., TYMIŃSKI M. (red.) 2025 – Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2024 r. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- WERNO M., JUSZKIEWICZ-BEDNARCZYK B., INEROWICZ M., BARAN L. 1986 – Prognoza stateczności zapory zbiornika odpadów poflotacyjnych w warunkach eksploatacji górniczej. *Ochrona Terenów Górniczych WUG*, 69: 28–34.
- ŻYLIŃSKA-DUSZA D., JAWORSKI A., LEWIŃSKI J., MIZERA A. 1996 – Przeróbka rud a środowisko przyrodnicze [W:] Piestrzyński A., Zaleska-Kuczmierczyk M., Jasiński A.W., Kotarski J., Maślanka W., Siewierski S., Speczik S., Śmieszek Z. (red.), *Monografia KGHM Polska Miedź S.A.*, Wydanie II, KGHM Cuprum Sp. z o.o., Lubin: 753–774.

Praca wpłynęła do redakcji 18.08.2025 r.

Akceptowano do druku 23.09.2025 r.