ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1990

Seria: GÓRNICTWO z. 190 Nr kol. 1088

Jerzy NAWROCKI

O STANIE I PERSPEKTYWACH METALI NIEŻELAZNYCH ROZMIESZCZONYCH W ZŁOŻACH ANTROPOGENNYCH NA TERENIE POLSKI

Streszczenie. Opracowanie stanowi określoną pomoc przy podejmowaniu decyzji odnośnie do uznania składowisk powierzchniowych, utworzonych z odpadów flotacyjnych krajowego przemysłu metali nieżelaznych, jako pozabilansowych złóż antropogennych, stanowiących przyszłościowe rezerwy surowcowe kraju i objęcie ich wymaganą ochroną prawną.

1. WSTĘP

Skład mineralny krajowych rud metali nieżelaznych nie pozwala na kompleksowe i bezodpadowe wykorzystanie wszystkich składników tych rud. Część minerałów, określanych jako płonne, tworzy po wydzieleniu składników użytecznych tzw. odpady, na które brak jest, ze względu na ich postać i skład mineralny oraz ogromną ich ilość, racjonalnego zapotrzebowania.

W toku dotychczasowej kilkudziesięcioletniej, głównie powojennej, działalności zakładów flotacji rud miedzi oraz wzbogacania rud cynkowo-ołowiowych, nagromadzonych zostało w formie składowisk powierzchniowych ponad 350 mln ton odpadów miedziowych oraz około 65 mln ton odpadów flotacji rud cynku i ołowiu. Dalsze plany produkcji miedzi, cynku i ołowiu pozwalają przewidzieć, że ilości dotąd złożonych odpadów ulegną do roku 2000 w przybliżeniu podwojeniu.

Otrzymywane w toku procesów wzbogacania odpady stanowią drobnoziarniste zawiesiny utworzone z różnorodnych minerałów i substancji organicznych, wśród których znajdują się także nie odzyskane w pełni w procesach flotacji minerały miedzi oraz minerały cynku i ołowiu. Ich obecność będąca wynikiem przyjętych, ze względów technicznych i ekonomicznych, warunków wzbogacania oraz niedoskonałości stosowanych aktualnie technik przeróbczych, nie pozwala na traktowanie odpadów flotacji rud metali nieżelaznych jako nieużytecznych i tym samym bezwartościowych. Ich zabezpieczenie

x) Przygotował zespół działający pod przewodnictwem Prof. Jerzego Nawrockiego w składzie: Renat Bortel, Jerzy Iskra, Stanisław Błaszczyński, Konrad Wanielista, Zygfryd Lupa, Andrzej Biegalski, Bogusław Woźniakowski, Zdzisław Ciurla, Mirosław Ślusarek.

w formie składowisk powierzchniowych jest obowiązujące i stanowi integralną część całokształtu, procesów zagospodarowania złoża.

W istniejących składowiskach odpadów poflotacyjnych metali nieżelaznych nagromadzonych zostało około 400 tys. ton miedzi, około 100 tys. ton cynku oraz około 300 tys. ton ołowiu, a także znaczne ilości innych metali, m.in. srebra i kadmu. Ilości tych metali ulegną do końca bieżącego stulecia podwojeniu. Stanowić zatem będą poważne źródło surowcowe, tym cenniejsze, iż nie przewiduje się, według obecnego rozpoznania, nowych odkryć złóż metali nieżelaznych na terenie kraju.

Inne składniki mineralne odpadów rud metali nieżelaznych posiadają znaczenie drugorzędne. Ich zagospodarowanie w takich dziedzinach gospodarki, jak: budownictwo, rolnictwo, czy górnictwo, może być jedynie częściowe.

Wartość składowanych odpadów uzależniona jest przede wszystkim od zawartości w nich metali oraz możliwości ich odzysku metodami ekonomicznie uzasadnionymi. W miarę doskonalenia metod odzysku metali oraz wzrostu ich cen na rynkach światowych, poddawane są procesom wzbogacania coraz to uboższe surowce, w tym także odpady poflotacyjne zalegające na składowiskach. Przykładem są, między innymi, zalegające w niecce bytomskiej 40-letnie składowiska odpadów flotacji rud cynkowo-ołowiowych, przerabiane obecnie w zakładzie przeróbczym "Marchlewski". Traktowanie tych składowisk, od chwili ich powstania, jako rezerwy surowcowej, było zatem w pełni uzasadnione.

Mimo wielu przykładów zarówno krajowych, jak i zagranicznych wtórnego wykorzystania odpadów flotacyjnych jako surowca metali, status prawny krajowych składowisk odpadów flotacyjnych przemysłu metali nieżelaznych nie został uregulowany.

2. ZASOBY I CHARAKTERYSTYKA ODPADÓW PRZERÓBKI RUD METALI NIEŻELAZNYCH

2.1. Odpady przeróbki rud miedzi

Odpady flotacyjne stanowią ok. 93% masy wydobywanej rudy miedzi. Wieloletnia działalność kopalń starego i nowego zagłębia miedziowego, wyrażona wydobyciem w latach 1953-1986 ok. 380 mln ton rudy i wytwarzaniem ok. 208 mln m^3 odpadów, przedstawiona została szczegółowo w tablicy 1 (1). W wyniku tej działalności powstały na terenach przyległych do kopalń i zakładów przeróbczych składowiska odpadów, których charakterystykę podano w tablicy 2. Dwa spośród wymienionych składowisk są czynne: "Żelazny Most" oraz osadnik nr 3 ZG "Konrad".

Do największych składowisk należą stawy osadowe "Gilów" i "Żelazny Most" nowego zagłębia miedziowego. Osadnik "Gilów" jest od roku 1978 nieczynny, zapełniony i równocześnie rekultywowany. Ilość zdeponowanych w nim odpadów

Tablica 1

Zestawienie ilości wydobytej rudy miedzi i odpadów wytworzonych do 1986 r.

Lp.	Zakłady górnicze	Okres produkcji (lata)	Wydobycie rudy (mln ton)	Ilość odpadów (...ln m³)
1	„Lena"	1950–1973	14 468	7 914
2	„Konrad"	od 1953	35 897	19 637
3	„Nowy Kościół"	1954–1967	4 328	2 367
4	„Lublin"	od 1968	103 744	56 754
5	„Polkowice"	od 1968	102 808	56 242
6	„Rudna"	od 1974	105 447	58 232
7	„Sieroszowice"	od 1978	12 915	7 065
Razem w latach		1950–1986	380 607	208 213

Tablica 2

Charakterystyka osadników odpadów flotacji rud miedzi

Nazwa osadnika	Pochodzenie odpadów	Powierzchnia osadnika (ha)	Ilość odpadów do 1986 r. (tys. ton)	Roczny przyrost odpadów (tys. ton)	Rodzaj odpadów	Stan osadnika
Osadnik nr 1 ZG „Lena"	ZG „Lena"	41	ok. 7 000	–	drobnoziar. margle	nieczynny zrekultyw.
Osadnik nr 1 ZG „Konrad"	ZG „Konrad"	120	ok. 18 000	–	drobnoziar. margle i łupki	nieczynny
Osadnik nr 2 ZG „Konrad"		12	ok. 1 200	–		czynny jako zbiornik wód kopalnianych
Osadnik nr 3 ZG „Konrad"		145	ok. 24 000	ok. 900		czynny
Osadnik „Gilów"	ZG „Lublin" ZG „Polkowice" ZG „Rudna"	600	ok. 92 000		drobnoziar. wapienie, dolomity wapniste, łupki i piaskowce	nieczynny, częściowo rekultyw.
Osadnik „Żelazny Most"	ZG „Lubin" ZG „Polkowice" ZG „Rudna"	850	ok. 194 000	ok. 25 000	drobnoziar. wapienie, dolomity wapn. łupki i piaskowce	czynny
Razem		1 777	ok. 336 200	ok. 25 900		

ocenia się na ok. 92 mln ton. Około 56% tych odpadów pochodzi z rud lubińskich, około 31% z rud polkowickich i około 13% z rud kopalni "Rudna". Staw osadowy "Gilów" jest najlepiej rozpoznanym osadnikiem. Miąższość jego osadów dochodzi do 22 m, średnio wynosi 15 m.

Wyróżnić w nim można dwa obszary różniące się znacznie składem mineralnym i uziarnieniem: obszar wschodni oraz obszar środkowo-zachodni. W obszarze wschodnim deponowane były piaskowcowe, bardziej gruboziarniste odpady zakładu przeróbczego "Lubiń", a w obszarze środkowo-zachodnim węglanowe drobnoziarniste odpady zakładu "Polkowice" oraz piaskowcowe odpady zakładu "Rudna".

Wykonane liczne wiercenia i opróbowania osadnika "Gilów" pozwalają na dokładną ocenę jakości zawartych w nim odpadów. Wyższe nieco zawartości Cu i Ag wykazują odpady polkowickie, mimo że zawartości Ag są wyższe w rudzie lubińskiej.
Zawartość Cu wynosi w obszarze składowania odpadów lubińskich od 0,12 do 0,79%; średnio 0,25%, w obszarze polkowickim 0,27% . W pasie zrzutu odpadów zawartość Cu wynosi średnio 0,31%, w kierunku centrum osadnika zawartość ta maleje do 0,20%.
Zawartości Cu i Ag w poszczególnych klasach ziarnowych są zróżnicowane.

W profilu pionowym osadnika zmienność zawartości Cu jest niewielka.

Zawartości średnie metali towarzyszących są następujące:

Ag -	od 8	do	12 g/t,
Au -	od 0,019	do	0,034 g/t,
Pd -	od 0,012	do	0,016 g/t,
Pt -	od 0,006	do	0,016 g/t,
Pb -	od 0,03	do	0,05%,
Co -	od 11	do	25 g/t,
Ni -	od 18	do	38 g/t,
V -		do	160 g/t.

Badania stawu osadowego "Gilów" pozwoliły ponadto na stwierdzenie braku zwiększonego utlenienie miedzi w odpadach. Zawartość miedzi utlenionej wynosi od 0,05 do 0,10% i tylko w części górnej osadów, w warstwie o grubości do 3 m, jest nieco podwyższona.
Stwierdzenie to jest bardzo korzystne dla ewentualnej późniejszej flotacyjnej przeróbki składowanych odpadów. Przyczyną braku wyraźnego wzrostu utlenienia są m.in. zawarte w odpadach składniki organiczne. Nadmienić należy, że dwusetletnie hałdy mansfeldskich łupków miedzionośnych nie uległy utlenieniu ze względu na obecność w nich składników organicznych, m.in. bituminów.

W uziarnieniu odpadów osadnika "Gilów" zaznacza się wyraźny spadek udziału klas grubych, w miarę oddalania się od punktów zrzutu odpadów. W profilu pionowym osadów natomiast zmiany są niewielkie. Bardziej gruboziarniste są odpady lubińskie. Średni rozmiar ich ziarn wynosi od 0,11 do 0,15 mm, zaś udział klasy najdrobniejszej poniżej ok. 30 mikrometrów wynosi od 5 do 25%. Średni rozmiar ziarn odpadów polkowickich wynosi od 0,044 do 0,11 mm, zaś udział klasy najdrobniejszej dochodzi do 60%.

Osadnik "Gilów" został przez służby geologiczne ZBiPM "Cuprum" oraz KGHM "Lublin" najdokładniej zbadany. Pozostałe osadniki rozpoznano zostały jedynie fragmentarycznie. Dotyczy to w szczególności nieczynnych już osadników kopalń "Lena" i "Konrad". Wielkość i wartość tych osadników jest jednak nieporównywalna z ogromnymi osadnikami nowego zagłębia miedziowego.

Osadniki Zakładów Górniczych "Konrad" zawierają odpady pochodzące z rud łupkowo-wapiennych o silnym zaileniu. W odpadach tych przeważają zdecydowanie wapienie, margle i minerały ilaste o bardzo drobnym uziarnieniu.

w większości poniżej 60 mikrometrów. Odpady flotacyjne nieczynnych już zakładów górniczych "Lena" pochodzą z rud wapiennych o stosunkowo niewielkim zaileniu, stąd przewaga w nich kalcytu. Uziarnienie tych odpadów jest również bardzo drobne, w większości poniżej 60 mikrometrów.
Orientacyjne składy chemiczne i ziarnowe odpadów zakładów "Konrad" i "Lena" przedstawiono w tablicach 3 i 4.

Tablica 3

Średni skład chemiczny odpadów flotacyjnych rud miedzi

Składnik	ZG „Lena" (%)	ZG „Konrad" (%)	ZG „Lubin" (%)	ZG „Polkowice" (%)	ZG „Rudna" (%)
Cu	0,13	0,16	0,15	0,19	0,21
CaO	27,06	23,68	11,87	24,85	13,88
MgO	3,54	4,42	4,23	6,19	5,25
SiO_2	26,18	29,18	57,24	19,67	53,27
Al_2O_3	8,83	10,24	4,17	3,25	3,84

Tablica 4

Średni skład ziarnowy odpadów flotacyjnych, deponowanych w osadnikach przez poszczególne zakłady wzbogacania rud

Lp.	Zakład wzbogacania rud	Klasa ziarnowa, udział (%)					
		+0,3 (mm)	0,3 – 0,2 (mm)	0,2 (mm)	0,2 – 0,1 (mm)	0,1 – 0,06 (mm)	– 0,06 (mm)
1	ZG „Lena"	–	–	4,5	7,5	7,7	80,3
2	ZG „Konrad"	–	–	7,2	3,7	4,2	84,3
3	ZG „Polkowice"	–	–	2,2	5,6	2,3	89,9
4	ZG „Lubin"	1,8	5,7	3,6	23,6	2,8	62,5
5	ZG „Rudna"	1,3	6,1	2,8	20,4	3,7	65,7

Osadniki starego zagłębia miedziowego nie są w swej objętości tak zróżnicowane pod względem mineralnym i uziarnienia, jak osadnik "Gilów". Rozmieszczenie poszczególnych składników odpadów i ziarn różnej wielkości jest bardziej równomierne zarówno w profilach poziomych, jak i pionowych. Przyczyną tego jest bardziej jednorodny skład mineralny odpadów starego zagłębia miedziowego, jak również drobniejsze ich zmielenie oraz obecność minerałów ilastych, tworzących bardziej lepkie i trudniej sedymentujące zawiesiny.

Osadnik "Żelazny Most" jest podobnie jak osadników "Gilów" wspólny dla zakładów nowego zagłębia miedziowego. Zapełniany jest on piaskowcowymi odpadami zakładów "Rudna" i "Lubin" oraz dolomityczno-wapiennymi odpadami zakładu "Polkowice". Ze względu na aktualne napełnianie osadnika,

jego dokładne opróbowanie jest bardzo utrudnione. Przyjęty jednak sposób budowy zapór zbiornika przez ich namywanie najgrubszą frakcją ziarnową odpadów, nie powoduje w osadniku tak wyraźnego rozfrakcjonowania odpadów. Najbogatsze w miedź i najbardziej gruboziarniste są zatem obwałowania stawu osadowego "Żelazny Most". W obwałowaniach tych zdecydowanie przeważają ziarna kwarcu i dolomitu.

Orientacyjne składy chemiczne i ziarnowe odpadów trzech zakładów przeróbczych nowego zagłębia miedziowego, kierowane do stawu osadowego "Żelazny Most", przedstawiono w tablicach 3 i 4. Na uwagę zasługuje piaskowcowy, gruboziarnisty charakter odpadów zakładów "Lubin" i "Rudna".

2.2. Odpady przeróbki rud cynkowo-ołowiowych

W zakładach Górniczo-Hutniczego Kombinatu Metali Nieżelaznych w procesie wzoogacania rud powstają tzw. odpady popłuczkowe i poflotacyjne. W okresie do 1967 r. w procesie wzbogacania tych rud otrzymywano odpady poflotacyjne, których udział wynosił około 90% w stosunku do wydobytej rudy. Był to okres, kiedy poza minerałami cynku, ołowiu i częściowo żelaza, nie odzyskiwano żadnego innego składnika rudy. W latach 1967-1978 we wszystkich zakładach przeróbczych wdrożono nową operację wstępnego wzbogadania w cieczy ciężkiej zawiesinowej, w której odzyskuje się dodatkowo wolne ziarna dolomitu w klasie 20-60 mm. Stanowią one kruszywo dolomitowe - produkt sprzedażny, który w całości jest używany w kolejnictwie, drogownictwie i budownictwie. Na przestrzeni lat 1967-1986 wyprodukowano i sprzedano 21.500 tys. ton kruszywa dolomitowego o średniej zawartości 0,96% Zn i 0,20% Pb.
Wdrożenie cieczy zawiesinowych, oprócz poprawy ekonomicznej efektywności spowodowało także zmniejszenie ilości odpadów poflotacyjnych, które obecnie stanowią 55,0 do 65,0% ilości wydobywanej rudy siarczkowej.

W związku z rejonizacją wydobycia i przerobu rudy Zn-Pb oraz różnym okresem pracy poszczególnych zakładów, prezentuje się tu dane o ilości i jakości odpadów wyprodukowanych i zgromadzonych do końca 1986 r. oddzielnie dla rejonu bytomskiego, chrzanowskiego i olkuskiego (tabl. 5).

Rejon bytomski

W rejonie tym w okresie powojennym pracowały trzy zakłady przeróbcze, oparte na procesie flotacji, tj. "Orzeł Biały" (zatrzymany w 1967 r.), "Nowy Dwór" (zatrzymany w 1975 r.) i "Marchlewski". W wyniku wieloletniej działalności tych zakładów powstały, i do dziś istnieją, stawy osadowe wypełnione odpadami poflotacyjnymi.

Obecnie, odpady poflotacyjne kierowane są do jednego stawu osadowego M/G/71, w którym zgromadzono 1,121 tys. ton o zawartości 2,3% i 0,5% Pb. Pozostałe stawy osadowe są nieczynne, zajmują 986.500 m^2 powierzchni i zawierają 17,925 tys. ton odpadów o zawartości 2,9% Zn i 0,6% Pb.

Tablica 5

Charakterystyka osadników odpadów poflotacyjnych rud cynkowo-ołowiowych

Rejon	Powierzchnia i ilość osadników	Zasoby		Średnia zawartość (%)		Stan osadników
	m^2/ilość	w tys. m^3	w tys. ton	Zn	Pb	
bytomski	1 060 700/10	12 293	19 046	2,9	0,6	Jeden czynny, pozostałe zrekultywowane i zazieleniane, dla większości istnieje dokumentacja z wykonanych odwiertów
chrzanowski	643 000/3	8 045	12 872	1,22	0,43	Jeden czynny, zbocza zewnętrznie zazieleniane, pozostałe osadniki zrekultywowane i zazieleniane
olkuski	950 000/4	18 784	30 000	1,12	0,46	Dwa osadniki czynne, pozostałe zrekultywowane
Razem	2 654 700/16	39 123	61 918	1,69	0,50	

Znaczna część odpadów została udokumentowana na podstawie pomiarów i wierceń oraz posiada dokumentację geologiczną. Dotyczy to stawów osadowych Nr N/G/5, 7 i 23 oraz Nr O/G/81 i 88.
Ilość i jakość odpadów na pozostałych stawach osadowych została określona na podstawie rocznych bilansów technicznych, sporządzanych dla każdego wydziału przeróbki mechanicznej.

Rejon chrzanowski

W rejonie tym pracuje jeden zakład przeróbczy "Trzebionka", który został uruchomiony pod koniec 1966 r. - łącznie ze wzbogacaniem grawitacyjnym. Całość wyprodukowanych do 1986 r. odpadów flotacyjnych zgromadzonych w trzech stawach osadowych wynosi 12.872,3 tys. ton, o zawartości 1,22% Zn i 0,43% Pb.
Dwa stawy osadowe (Nr 1 i 2) są nieczynne, zrekultywowane i zazielenione. Zgromadzono w nich 11.872,3 tys. ton odpadów o zawartości 1,25% Zn i 0,43% Pb. Odpady z bieżącej produkcji kierowane są do stawu Nr 3, w którym znajduje się 1.000 ton odpadów. Ilość i jakość odpadów w poszczególnych stawach osadowych określa się na podstawie rocznych bilansów technicznych.

Rejon olkuski

W rejonie tym pracują dwa zakłady przeróbcze: "Bolesław" i "Olkusz-Pomorzany".

Zakład "Bolesław", uruchomiony pod koniec 1958 r. do końca 1986 r., wyprodukował i zgromadził w stawach osadowych 17.000 ton odpadów flotacyjnych o zawartości 1,19% Zn i 0,45% Pb. Natomiast zakład "Olkusz-Pomorzany" (uruchomiony w 1974 r.) do końca 1986 r. wyprodukował i zgromadził w stawach osadowych 13.000 ton odpadów o zawartości 1,12% Zn i 0,46% Pb. Odpady te gromadzone są we wspólnych stawach osadowych.
W latach 1969-1981 ZGH "Bolesław" eksploatowały odpady flotacyjne jako nawóz dla rolnictwa. Sprzedaż odpadów w tym okresie wyniosła 6.291,7 tys. ton. Eksploatację przerwano z uwagi na wysoką zawartość ołowiu, która wg obowiązującej aktualnie normy nie powinna przekraczać 0,1%. Dla potrzeb eksploatacji w latach 1973 i 1980 wykonano dokumentację geologiczną dla stawów Nr 1 i Nr 2, określając ilość i zawartość Zn i Pb.
Pozostałą ilość i jakość odpadów określa się na podstawie rocznych bilansów technicznych.

Ogółem, we wszystkich stawach osadowych wyszczególnionych rejonów, zgromadzono 61.918,3 tys. ton odpadów poflotacyjnych, zawierających 1,69% Zn i 0,50% Pb. z czego w czynnych stawach osadowych znajduje się 8.321 tys. ton odpadów o zawartości 1,19% Zn i 0,45% Pb.

Rozmieszczenie odpadów w odniesieniu do zawartości Zn i Pb w poszczególnych stawach osadowych jest różnorodne w zależności od jakości przerabianej w danym okresie rudy. Wspólną cechą tych odpadów jest uziarnienie, które kształtuje się w granicach 95-98% ziarn poniżej 0,5 mm.

Biorąc pod uwagę duże ilości omawianych odpadów oraz zawarte w nich znaczące ilości cynku -1.044,1 tys. ton i ołowiu - 308,3 tys. ton, uważa się za celowe uznanie ich za przyszłościową bazę surowcową. Dotychczasowe badania rokują bowiem nadzieję na ich wykorzystanie w przemyśle metali nieżelaznych dla wtórnego odzysku metali lub w innych dziedzinach gospodarki narodowej. Oprócz cynku i ołowiu odpady te zawierają ok. 5% Fe, 0,008% Cd, 0,0007% Ag oraz ok. 40% CaO + MgO, co również uwzględnione jest w opracowanych technologiach. W tablicy 1 przedstawiono zestawienie zwałów odpadów poflotacyjnych zlokalizowanych w Zakładach Górniczych GHKMN wraz z charakterystyką.

3. MOŻLIWOŚCI ODZYSKU METALI ORAZ UTYLIZACJI ODPADÓW

3.1. Odzysk metali i utylizacja odpadów rud miedzi

Bieżąco prowadzone badania mikroskopowe nad przyczynami powstawania strat miedzi w odpadach flotacyjnych wykazują, że główną ich przyczyną są zrosty i impregnacje minerałów miedzi z węglanowymi składnikami rud.

Dalsze przyczyny niewyflotowania siarczków miedzi, to pokrycie powierzchni tych siarczków minerałami ilastymi, a także nadmierne zmielenie siarczków miedzi oraz utlenienie ich powierzchni.

Każda z wymienionych przyczyn oraz form występowania miedzi w odpadach flotacyjnych jest niekorzystna dla procesów wtórnego jej odzysku, w szczególności zaś dla procesu flotacji.
Wyniki dotychczas przeprowadzonych w tym zakresie badań są bardzo skromne, ale też zakres tych badań był niewielki. Ponieważ nie zamierza się obecnie eksploatować istniejących składowisk odpadów poflotacyjnych rud miedzi, wykonano jedynie wstępne orientacyjne próby flotacji w skali laboratoryjnej, półtechnicznej i przemysłowej. Materiał do tych prób pobierano z różnych partii osadnika "Gilów". Różny był zatem skład ziarnowy i mineralny badanych odpadów oraz różna zawartość w nich miedzi.

Próba półtechniczna, przeprowadzona w Zakładzie Doświadczalnym w Lubinie w roku 1977, wykazała możliwość uzyskania z odpadów wzbogaconych w miedź, do zawartości około 0,35% w wyniku hydraulicznej klasyfikacji w osadniku, koncentratu o zawartości 4,5% Cu, przy uzysku miedzi około 60%.

Próba przemysłowa wykonana w ZWR "Polkowice" dała wyniki nieco korzystniejsze.
Z materiału o zawartości 0,39% Cu otrzymano koncentrat o zawartości 7,6% Cu, przy uzysku około 60%.

W laboratoryjnych próbach flotacji wykonanych z materiałem o zawartości od 0,19 do 0,45% Cu, otrzymano koncentraty od 1,1% do 3,9% Cu przy uzyskach miedzi od 60 do 81%.
Wykonano również próby flotacji odpadów pochodzących z różnych stref osadnika. Odpady te wstępnie odmulano i domielano. W wyniku flotacji otrzymywano koncentraty o zawartości o zaledwie około 1,0% Cu, przy uzyskach miedzi od 70 do 74%. Zawartość miedzi w nadawie wynosiła około 0,25%. Uzysk srebra wynosił w tych próbach około 53%, przy zawartości Ag w koncentracie ok. 70 g/t.

Przedstawione wyniki, stosunkowo wąskiego zakresu badań nad odzyskiem miedzi z odpadów flotacyjnych, świadczą o trudnościach uzyskania pozytywnego rozwiązania problemu. Biorąc jednak pod uwagę szereg czynników, jak: wyczerpania się w przyszłości krajowych, bilansowych złóż miedzi oraz wzrost cen miedzi na rynkach światowych, a także dalszy rozwój przeróbki rud metali nieżelaznych i z tym związane doskonalenie technologii ich wzbogacania, można przyjąć, że składowane obecnie odpady flotacyjne stanowić będą w perspektywie cenną rezerwę surowcową miedzi w kraju.

Dążeniom do odzysku w przyszłości miedzi i metali towarzyszących z odpadów zalegających na zwałach powinno iść naprzeciw odpowiednie składowanie odpadów na stawach osadczych, które ułatwiłoby ich pełne wykorzystanie.

Kompleksowe i racjonalne wykorzystanie wszystkich składników odpadów flotacyjnych rud miedzi jest obecnie, ze względu na ich ogromną ilość oraz niekorzystną postać i skład mineralny, praktycznie niemożliwe.

Przy aktualnym wydobyciu rud miedzi, wynoszącym około 29 mln ton rudy na rok, roczna ilość składowanych odpadów wynosi około 27 mln ton. Odpady te stanowią drobnoziarnistą wodną zawiesinę o uziarnieniu na ogół poniżej 0,2 mm i zagęszczeniu około 200 g w litrze. Zawiesinę tę tworzą ziarna kwarcu, dolomitu, wapienia, minerałów ilastych i składników organicznych o różnym udziale ilościowym, w zależności od rodzaju wzbogacanej rudy.

Wymienione składniki mineralne odpadów stanowią określoną wartość, niezależnie od zawartych w tych odpadach minerałów miedzionośnych. Znalezienie sposobów ich wykorzystania było przedmiotem wielu prac badawczych, prowadzonych początkowo z odpadami starego zagłębia miedziowego, a następnie od chwili odkrycia nowych złóż z odpadami otrzymanymi z flotacji rdzeni wiertniczych, prób przemysłowych oraz produkcji przemysłowej. Badania te prowadzono w kierunku wykorzystania odpadów przez rolnictwo, budownictwo oraz górnictwo.

Występowanie w odpadach węglanów wapnia i magnezu oraz illitu, jako minerału ilastego, stwarza możliwości wykorzystania odpadów do odkwaszania gleby i poprawy jej struktury.
Problemem trudnym do rozwiązania jest jednak transport dużych mas materiałów o lepkiej konsystencji.
Badania wykazały, że odpady dolomityczno-margliste stanowią wartościowy nawóz wapienno-magnezowy. Wykazano również, że odpady z osadnika "Gilów" poprawiają strukturę gleb, zwiększając ich zwięzłość i zdolność utrzymywania wody, działając korzystniej, niż tradycyjne wapno nawozowe. Stwierdzono również znaczny wzrost plonów. W obawie jednak przed kumulacją metali ciężkich w glebach, wstrzymano stosowanie na terenach nowego zagłębia miedziowego odpadów jako nawozu.

W zakresie badań nad zastosowaniem odpadów w budownictwie wykazano ich przydatność do produkcji betonu komórkowego, a także jako dodatku do betonu ciężkiego, w celu zmniejszenia jego porowatości oraz do uzyskiwania nowego materiału budowlanego w połączeniu z popiołami z elektrociepłowni. W drogownictwie natomiast odpady flotacyjne mogą znaleźć pełne zastosowanie, jako wypełniacz mas bitumicznych. Roczne zapotrzebowanie na mączkę mineralną ocenia się na około 3 mln ton.

Część odpadów flotacyjnych, głównie gruboziarniste frakcje piaskowców, starano się zastosować w górnictwie do podsadzki płynnej. Przydatność badanych frakcji nie jest jednak zadowalająca. Frakcje te nie spełniają wymogów norm w zakresie ich odsączalności i ściśliwości. Przyczyną tego są trudne do oddzielenia szczątkowe ilości margli i iłów, pozostające na ziarnach kwarcu.

Tak więc, zapotrzebowanie innych działów krajowej gospodarki na odpady flotacyjne jest stosunkowo niewielkie i nie rozwiązuje problemu pełnego ich wykorzystania.

Przy podejmowaniu decyzji odnośnie do zagospodarowania odpadów w rolnictwie, budownictwie i drogownictwie, należy uwzględnić obecność w tych odpadach użytecznych metali, tj. miedzi i metali towarzyszących oraz uwzględnić ich bezpowrotne straty w kalkulacji ekonomicznej przedsięwzięcia.

3.2. Odzysk metali i utylizacja odpadów rud Zn i Pb

Zagadnienie odzysku cynku i ołowiu z odpadów poflotacyjnych i próby ich utylizacji nie są zagadnieniem nowym. Od wielu lat, w oparciu o doświadczenia, Instytut Metali Nieżelaznych we współpracy z innymi jednostkami badawczymi podejmował omawianą tematykę, efektem której jest opracowanie:

a) Grawitacyjnego rozdzielenia minerałów utlenianych i trudnoflotowalnych w postaci koncentratów kolektywnych, zawierających 13-15% Zn; 3,5-4,5% Pb i do 10% Fe z przeznaczeniem dla procesu przemiałowego.

b) Flotacyjnego wzbogacania bogatszych hałd pochodzących z lat 1945-1955 rejonu bytomskiego. W wyniku zastosowania schematu wzbogacania selektywnego produkuje się koncentrat kolektywny, zawierający 43% Zn; 1,5% Pb i 11,6% Fe z uzyskiem cynku wynoszącym ok. 50%.

Stosowanie tej technologii pozwala na uzyskanie z hałd 12 tys. ton koncentratu w skali rocznej. Badania odpadów innych rejonów, jakościowo uboższych, znacznie utlenianych i granulometrycznie drobniejszych, prowadzono w zakresie doskonalenia metody, odzysku utlenionych minerałów cynku. W ich wyniku opracowano dwa alternatywne schematy technologiczne: grawitacyjno-flotacyjny i flotacyjny. Stwarzają one możliwość produkowania koncentratów cynkowych o zawartości 14-18% Zn w 80% utlenionych wg schematu I i o zawartości 24-29% Zn wg schematu II.
Przedstawione wyniki planuje się sprawdzić w próbkach przemysłowych, po zakupieniu za granicą odpowiedniej ilości zbieracza aminowego. Przeprowadzona wstępna analiza efektywności ekonomicznej odzysku cynku utlenianego z odpadów flotacyjnych wykazała, że przy przerobie 800 Mg/d, przewidywany efekt wyniesie 258 mil zł/rocz.

c) Metody wydzielania z części odpadów poflotacyjnych frakcji ubogiej w ołów (poniżej 0,1% Pb), z przeznaczeniem dla rolnictwa jako nawozu wapniowo-magnezowego do neutralizacji kwaśnych gleb.
Opinia Instytutu Upraw Nawożenia i Gleboznawstwa z Puław o odpadach flotacyjnych z rud Zn-Pb, jako nawozach wapniowo-magnezowych, była i nadal jest pozytywna. Do pozytywnych cech tych materiałów zaliczono:

- dość dużą zawartość wapnia i magnezu w formach alkalicznych, przy korzystnym stosunku CaO do MgO,
- odpowiadające rolnictwu rozdrobnienie,

- łatwość przechowywania nawet w niezadaszonych i nieokrytych pryzmach,
- łatwość równomiernego rozsiewu zapomocą istniejących w rolnictwie maszyn.

Natomiast ich ujemną cechą jest, według wymogów Ministerstwa Zdrowia, nadmierna zawartość metali ciężkich.
Ich dopuszczalne zawartości wynoszą:

Zn - 0,3%,
Pb - 0,1%,
Cd - 0,003%.

Aktualnie prowadzi się doświadczenia nad dalszym obniżeniem zawartości metali ciężkich, głównie cynku.
W świetle przedstawionych danych, przy równocześnie znacznym ubożeniu rud, flotacyjny produkt odpadowy zgromadzony w stawach należy przede wszystkim traktować jako przyszłościową rezerwę surowcową ZN, Pb i Fe, przewidując jedynie częściową możliwość wykorzystywania tego surowca do innych celów, np.:

a) w budownictwie dróg w postaci mączki dolomitowej, służącej jako wypełniacz mas asfaltowych,
b) do produkcji czystej magnezji jako wodorotlenek lub tlenek oraz czysty węglan wapnia. Jest to propozycja Instytutu Materiałów Ogniotrwałych, spodziewając się ponadto po wyekstrahowaniu wapnia i magnezu otrzymania produktu wzbogaconego w cynk do hutniczego wykorzystania,
c) w budownictwie mieszkaniowym zamiast żwiro-piasku i jako dodatek do zapraw hryzolitowych. Według informacji z CSRS 20-27% wydobywanych dolomitów przeznacza się do tego celu,
d) w zakresie ochrony środowiska do:

- ochrony gleby poprzez zmianę pH, co powoduje ograniczenie pobierania przez rośliny kadmu i ołowiu,
- odsiarczania spalin.

Końcowym produktem reakcji SO_2 z tlenkami CaO i MgO są siarczyny. Opierając się na badaniach gliwickiego Energopomiaru, efektywność takiego odsiarczania waha się od 10-60%,

- neutralizacji ścieków - dolomit po odpowiedniej obróbce termicznej, jako tzw. Dofiltr, spełnia rolę neutralizatora kwaśnych ścieków,
- ochrony lasów, parków, użytków zielonych.
  Takie doświadczenia z wynikiem pozytywnym prowadzone są w Szwecji, Norwegii a ostatnio w RFN.

4. PRÓBY OKREŚLENIA KRYTERIÓW KWALIFIKACJI ZASOBÓW DO POZABILANSOWYCH DLA ZŁÓŻ ANTROPOGENNYCH

Kryteria bilansowości złóż są to warunki, jakimi powinna odpowiadać kopalnia oraz jej złoże, aby zasoby tego złoża nadawały się do gospodarczo uzasadnionej eksploatacji. Zasoby nie spełniające kryteriów bilansowości zalicza się do zasobów pozabilansowych lub skał płonnych. Do zasobów pozabilansowych mogą być kwalifikowane zasoby spełniające kryteria ustalone dla tych zasobów.
Podstawą zaliczenia zasobów do pozabilansowych są kryteria brzeżne, ustalone na podstawie danych uwzględniających postęp techniczny, zmiany warunków ekonomicznych i potrzeby gospodarki narodowej, uzasadniające wykorzystanie tych zasobów w przyszłości.

Zasady ustalania kryteriów zawarte są w "Wytycznych określania kryteriów bilansowości zasobów geologicznych złóż kopalin stałych" (Wyd. Geol. Warszawa 1976). Zgodnie z ww. "Wytycznymi", wyróżnia się następujące kryteria:

- kryteria brzeżne - dla pojedynczych wyrobisk badawczych, tj. wyrobisk górniczych, otworów wiertniczych, prób bruzdowych itp.,
- kryteria średnie - dla złoża.

Kryteria brzeżne, wymagane dla kwalifikowania zasobów do pozabilansowych, wyznacza się z warunku równości wartości produkcji, i kosztów produkcji

$$P = K ,$$

gdzie:

P - wartość produkcji, zł/rok,
K - koszty bieżące produkcji, zł/rok.

Obliczone kryteria określają minimalne, graniczne parametry złoża. Wyznacza się je wyrażając wartość i (lub) koszty produkcji przez wzory ujmujące interesujące nas parametry.
"Wytyczne" nie precyzują ściśle zakresu procesów, które wyrażają wartość i koszt produkcji. Mogą to być zatem procesy górniczo-przeróbcze lub też procesy górniczo-przeróbczo-metalurgiczne. Istotą kwalifikacji nagromadzenia naturalnego lub sztucznego kopaliny jako złoża jest opłacalność jego eksploatacji obecnie lub w przyszłości.

4.1. Próby określenia kryteriów kwalifikacji zasobów do pozabilansowych dla złóż antropogennych miedzi

W celu wyznaczenia kryteriów bilansowości złóż antropogennych miedzi przeprowadzono obliczenia wzorów w zakresie procesów górniczo-przeróbczych oraz górniczo-przeróbczo-metalurgicznych. Dla obliczenia brzeżnej zawartości miedzi, przy różnych poziomach jej cen (miedzi), dokonano uproszczenia

obliczonych wzorów, przyjmując niektóre parametry, w szczególności technologiczne, na stałym poziomie.
I tak przyjęto:

- uzysk miedzi w procesie flotacji - 65%,
- zawartość miedzi w koncentracie - 9,0%,
- zawartość srebra w koncentracie - 200 g/t,
- cena srebra - 42,0 zł/g,
- koszt hutniczy - 19.000 zł/t koncentratu,
- premia przerobowa - 3,283,- zł/t,
- koszt eksploatacji i transportu surowca - 150,- zł/t,
- koszt przeróbki surowca - 240,- zł/t,
- ceny z roku 1988.

Powyższe dane ustalono na podstawie prób półtechnicznych i przemysłowych, danych otrzymanych przy przeróbce rud, danych z eksploatacji i transportu piasków z piaskowni oraz odpadów Zn-Pb.

Poniżej zestawiono obliczone minimalne brzeżne zawartości miedzi w odpadach, aby można było je uznać za pozabilansowe, przy różnych poziomach cen miedzi w dolarach i zróżnicowanych przelicznikach dolarów na złote (ceny z 1988 roku).

Cena miedzi w dol./tonę	1000			1200			1500		
Przeliczniki zł/dol.	300	400	500	300	400	500	300	400	500
Brzeżne zawartość miedzi w %/t	0,51	0,28	0,19	0,34	0,21	0,15	0,23	0,15	0,11

Obliczone wartości brzeżnej zawartości miedzi w składowanych odpadach flotacyjnych traktować należy jako orientacyjne, bowiem przy niższych od 0,2 do 0,3% zawartościach Cu w odpadach zmieniają się także niektóre parametry, jak np. zawartość miedzi w koncentr. i uzysk miedzi.

4.2. Próby określania kryteriów kwalifikacyjnych zasobów do pozabilansowych dla złóż antropogennych cynku i ołowiu

W dążeniu do określenia granicznej opłacalnej zawartości Zn + Pb w analizowanym złożu obliczono najniższą opłacalną ekonomicznie zawartość metalu w nadawie polimetalicznej według podanego wzoru:

$$\alpha_g = \frac{(b - t) \cdot k_n}{s} + t,$$

gdzie:

α_g - najniższa zawartość Zn + Pb (2),
b - zawartość metali (Zn + Pb) w koncentracie (%),
t - zawartość metali (Zn + Pb) w odpadach (%),
k_n - koszty eksploatacji i wzbogacania (zł/t),
S - cena tony koncentratu (zł/t),
(S dla koncentratu kolektywnego)

$$S = 0,68 \cdot P \cdot \frac{T - 6,5}{100} + 0,63 \cdot P_1 \frac{T_1 - 1}{100},$$

gdzie:

P - cena cynku = 200.000,- zł/t,
T - zawartość Zn w koncentracie kolektywnym,
P_1 - cena ołowiu = 117.000,- zł/t,
T_1 - zawartość Pb w koncentracie kolektywnym,
(Ceny z 1988 roku).

Założenia:

Koncentrat kolektywny:

- wychód - 4,0%
- zawartość Zn - 15,%
- zawartość Pb - 1,5%

$$\alpha_g = \frac{(16,5 - 0,8).400}{11,928} + 0,8$$
$$= 1,33\% \text{ Zn + Pb}$$

Odpady:

cynk - 0,5%
ołów - 0,3%
k_n = 400 zł/t

Suma cynku i ołowiu opierając się na "Zestawieniu" dla poszczególnych rejonów w złożach antropogenicznych:

- rejon bytomski 2,9% Zn + 0,6% Pb = 3,5% ZnPb,
- rejon chrzanowski 1,22% Zn + 0,43% Pb = 1,65% ZnPb,
- rejon olkuski 1,12% Zn + 0,46% Pb = 1,58 ZnPb.

Przytoczone wielkości w stosunku do zawartości najniższej opłacalnej α_g = 1,33% (Zn+Pb) są wyższe i potwierdzają celowość zaliczenia naszych odpadów jako złóż powierzchniowych.

5. WNIOSKI I PROPOZYCJE

Ocena zasobów składowisk odpadów flotacyjnych pochodzących z przeróbki rud metali nieżelaznych oraz ocena możliwości odzysku z tych odpadów zawartych w nich metali, tj. miedzi, cynku, ołowiu i metali towarzyszących, a także wstępna analiza kryteriów kwalifikacji tych zasobów jako złóż antropogennych, upoważniają do przedłożenia następujących wniosków i propozycji:

1. Stwierdza się nagromadzenie bardzo dużych ilości metali w składowiskach odpadów flotacyjnych rud metali nieżelaznych, wynoszące:

- dla miedzi ok. 400 tys. ton,
- dla cynku ok. 1.000 tys. ton,
- dla ołowiu ok. 300 tys. ton

a także znaczne ilości innych metali, jak srebra i kadmu.
Przewiduje się podwojenie tych ilości do roku 2000, w wyniku dalszej intensywnej eksploatacji krajowych złóż rud metali nieżelaznych.

Proponuje się w związku z powyższym uznać utworzone składowiska odpadów za przyszłościową bazę surowcową kraju, jako tzw. złoża antropogenne.

2. Stwierdzono możliwość odzysku zawartych w składowanych odpadach metali, przy uzyskach ponad 60%.

Zakłada się, iż dalszy postęp w dziedzinie wzbogacania surowców mineralnych, w szczególności bardzo ubogich, pozwoli poprawić aktualnie osiągane wskaźniki (uwzględniając ekonomię).

Obliczone brzeżne zawartości metali, jako kryteria kwalifikacji zasobów składowisk odpadów, pozwalają wnioskować o uznanie tych składowisk za złoża antropogenne pozabilansowe. Proponuje się poddanie tych składowisk pewnej ochronie zasobów.

3. Pozostałe składniki mineralne odpadów flotacyjnych, nie będące nośnikami metali nieżelaznych, posiadają (z punktu widzenia ich utylizacji) znaczenie drugorzędne.

Przy podejmowaniu decyzji w odniesieniu do zagospodarowywania tych składników, należy uwzględnić możliwość poniesienia strat metali.

LITERATURA

[1] Kijewski P., Downarowicz S.: Odpady poflotacyjne rudy miedzi jako potencjalna rezerwa surowcowa. Materiały XXIV Seminarium KG PAN i Politechniki Wrocławskiej, "Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii", z. 19, s. 203, Wrocław 1987.

[2] Kijewski P.: Ocena jakości odpadów poflotacyjnych w zbiorniku osadowym "Gilów". Sprawozdanie ZbiPM "Cuprum", Wrocław 1987.

[3] Kijewski P., Downarowicz S., Łapiński M.: Ocena zasobów miedzi i srebra w odpadach poflotacyjnych jako rezerwy surowcowej zdeponowanej w zbiorniku "Gilów". Sprawozdanie ZBiPM "Cuprum", Wrocław 1986.

[4] Mitek M., Stalkowski Z., Downarowicz S.: Racjonalna gospodarka złożami piasku przy budowie zapór zbiornika "Żelazny Most". Materiały z konferencji nt. "Racjonalna gospodarka i ochrona zasobów surowców w przemyśle miedziowym", Lublin 1984.

[5] Kubacz N., Bortel R. i in.: Próby laboratoryjne i przemysłowe nad poprawą flotacji z ZWR "Polkowice". Sprawozdanie IMN, nr 3995/I/87, Gliwice 1987.

[6] Nowakowska B. i in.: Określenie możliwości odzysku miedzi i odpadów poflotacyjnych. Sprawozdanie ZD KGHM: etap I - badania laboratoryjne, etap II - próba przemysłowa, Lublin 1977.

[7] Nowakowska B., Downarowicz S.: Geochemiczne i hydrotechniczne uwarunkowania wtórnej eksploatacji odpadów flotacyjnych pod kątem odzysku metali. Materiały z konferencji nt. "Racjonalna gospodarka i ochrona zasobów surowców w przemyśle miedziowym", Lublin 1984.

[8] Woźniakowski B.: Aktualne możliwości wykorzystania odpadów flotacyjnych przemysłu miedziowego, Cuprum nr 3, 1979.

[9] Surowy J.: Wpływ stosowania odpadów poflotacyjnych z kopalni rud miedzi "Lubin" na niektóre właściwości fizyczne i chemiczne gleb lekkich oraz plonowanie roślin (praca doktorska), Akademia Rolnicza we Wrocławiu, Wrocław 1981.

[10] Woźniakowski B. i in.: Oferta dla budownictwa. Sprawozdanie ZBiPM "Cuprum", Wrocław 1982.

[11] Woźniakowski B., Ciurla Z. i in.: Technologia produkcji lekkich betoników górniczych z odpadów flotacyjnych. Sprawozdanie ZBiPM "Cuprum", Wrocław 1986.

[12] Ślusarek M. i in.: Próby wydzielania minerałów użytecznych z odpadów flotacyjnych przy pomocy grawitacji. Sprawozdanie IMN 1951/I/75, Gliwice 1975.

[13] Cichy K., Ogaza H.: Badania nad technologią odzysku cynku z odpadów flotacyjnych, pochodzących ze zwałów ZGH "Orzeł Biały", IA Gliwickie Sympozjum Teorii i Praktyki Procesów Przeróbczych, wyd. Pol. Śl., Gliwice 1985.

[14] Cichy K. i in.: Doskonalenie metod odzyskiwania utlenionych minerałów cynku z rejonu II i III zwału nr 81. Sprawozdanie IMN 3985/I/87, Gliwice 1987.

[15] Ślusarek M. i in.: Badania przemysłowe nad otrzymywaniem wapna węglanowo-magnezowego z odpadów poflotacyjnych poprzez ich doflotowanie i klasyfikację. Sprawozdanie IMN 3555/85, Gliwice 1985.

[16] Zarządzenie nr 5 prezesa CUG z dnia 17.IV.1976 r. w sprawie wytycznych, dotyczących obliczania kryteriów bilansowości zasobów geologicznych złóż kopalin stałych. Wyd. Geolog., Warszawa 1976.

[17] Stępiński W.: Ekonomika procesów wzbogacania rud i węgli, wyd. Górn.-Hutn., Katowice 1961.

О СОСТОЯНИИ И ПЕРСПЕКТИВАХ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ЗАЛЕГАЮЩИХ В АНТРОПОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ ПОЛЬШИ

Р е з ю м е

Работа помогает при выборе решений относительно признания поверхностных отвалов, образованных их флотационных отходов польской цветной металлургической промышленности, в качестве внебалансовых антропогенных месторождений, которые являются будущими сырьевыми резервами Полши и рассматривает вопрос охвата их необходимой правовой охраной.

THE STATE AND PERSPECTIVES OF NON-FERROUS METALS TO BE FOUND IN ANTHROPOGENETIC DEPOSITS IN POLAND

S u m m a r y

The aim of this paper is to help to decide whether storage yards of flotation wastes from plants of the non-ferrous metal industry may be considered to be extra-balance anthropogenetic deposits, constituting future reserves of raw materials and might be correspondingly protected by law.