



KONCEPCJE WYKORZYSTANIA ODPADÓW FLOTACYJNYCH Z PRZERÓBKI RUD MIEDZI W REGIONIE LEGNICKO-GŁOGOWSKIM

Andrzej ŁUSZCZKIEWICZ^{*)}

^{*)} Dr inż.; Politechnika Wroclawska, Instytut Górnictwa, Zakład Przeróbki Kopaliny i Odpadów; Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław; tel.: (0-71) 344-12-01, (0-71) 343-86-84, faks: (0-71) 344-81-23, e-mail: andrew@ig.pwr.wroc.pl

RECENZENCI: dr inż. Wiesław MAĆZKA; dr inż. Andrzej WIENIEWSKI

Streszczenie

Opisano właściwości mineralogiczno – chemiczne odpadów flotacyjnych ze wzbogacania rud miedzi zgromadzonych w składowiskach zlokalizowanych na terenie regionu legnicko-głogowskiego oraz przedstawiono szacunki ich ilości jak również perspektywiczne wielkości ich przyrostów. Opisano ważniejsze wyniki badań prowadzonych w okresie ostatnich kilkadziesiąt lat w kierunku wykorzystania tych odpadów oraz realne kierunki ich zastosowań. Stwierdzono, że najbardziej racjonalnym rozwiązaniem problemu odpadów flotacyjnych jest sprowadzenie ich z powrotem pod ziemię jako głównego składnika podsadzki zestalanej oraz jako materiał do wypełniania starych zrobów. Przedstawiono także kierunki i wyniki badań nad wykorzystaniem odpadów flotacyjnych jako surowca wtórnego do produkcji materiałów drogowych i budowlanych a także jako źródła cennych minerałów użytecznych.

1. Wstęp

Na różnych składowiskach w naszym kraju nagromadzone jest około 1,8 mld Mg, a według danych Instytutu Gospodarki Odpadami w Katowicach, nawet ponad 4 mld Mg odpadów mineralnych. Ich wytwórcą w około 80% jest górnictwo a w 20% energetyka (Traczyk 1997).

Udział głównych gałęzi górnictwa w wytwarzaniu odpadów górniczych w krajowym przemyśle wydobywczym, (bez górnictwa węgla brunatnego), w roku 1995 wynosił (Dulewski i Wtorek 1996):

- górnictwo węgla kamiennego — 52,0%
- górnictwo surowców skalnych i chemicznych — 26,0%
- górnictwo rud miedzi — 18,3%
- górnictwo rud cynkowo-ołowiowych — 3,7%

Górnictwo rud metali nieżelaznych jest drugim po górnictwie węglowym wytwórcą odpadów. Powstaje w nim rocznie około 30 mln Mg odpadów w tym ponad 80% tj. około 25 mln Mg przy wydobyciu i przeróbce rud miedzi. Na odpady górnicze z wydobycia i przeróbki rud miedzi składają się niemal wyłącznie odpady powstające w trakcie wzbogacania flotacyjnego tych rud. Odpady górnicze związane bezpośrednio z wydobyciem rud miedzi (np. kamień z robót przygotowawczych) w tej statystyce stanowią margines (Traczyk 1997).

Polskie górnictwo miedziowe od początku swego istnienia deponuje 100 % odpadów flotacyjnych w składowiskach terenowych. Mimo, że od samego początku eksploatacji złóż rud miedzi w Polsce poszukuje się możliwości zagospodarowania odpadów,

to efekty tych poszukiwań są raczej skromne i jak dotychczas odpady te w całości pozostają niewykorzystane. Liczne trudności z wdrożeniem różnych proponowanych sposobów wykorzystania odpadów, wskazują na to, że przemysł miedziowy pozostawi po sobie olbrzymie składowiska materiałów, które mogą stanowić albo bezużyteczny i uciążliwy balast dla środowiska albo przyszłą bazę surowcową regionu, w którym zamierać będzie wydobywanie rud miedzi na skutek wyczerpywania się ich zasobów.

Celem niniejszej pracy jest próba podsumowania proponowanych koncepcji oraz dotychczasowych prób wykorzystania odpadów flotacyjnych po przeróbce rud miedzi ze szczególnym zwróceniem uwagi na możliwość wzrostu ich znaczenia surowcowego. Celem pracy jest także udział w trwającej od lat dyskusji dotyczącej obecnych i przyszłych konsekwencji ekologicznych składowania wielkich ilości drobnoziarnistych odpadów mineralnych a także realnych ekonomicznie kierunków ich gospodarczego wykorzystania.

2. Skala problemu odpadów flotacyjnych

Odpady poflotacyjne stanowią drobno zmieloną skałę płonną, zawierającą resztkowe ilości minerałów użytecznych. Charakter mineralizacji rud metali nieżelaznych, w tym i większości wydobywanych w świecie rud miedzi, powoduje, że w wyniku ich przeróbki, 94-96% masy wydobytego surowca staje się drobnoziarnistym odpadem flotacyjnym. Gospodarka taką ilością materiału odpadowego silnie rzutuje na koszty przetwarzania wydobytego surowca

na koncentrat i metal. Składowiska (osadniki) takich odpadów są obiektami, które z uwagi na rozmiary i lokalizację stają się trwałym elementem środowiska, w którym są zlokalizowane i mogą stanowić poważne zagrożenie dla tego środowiska.

W swej ponad 50-letniej historii, polski przemysł miedziowy zdeponował ponad 600 mln Mg odpadów flotacyjnych zajmując obszar około 2300 ha ziemi co powoduje, że zagłębie miedziowe znajduje się na drugim miejscu w kraju, po regionie górnośląskim, pod względem ilości nagromadzonych odpadów przemysłowych. Jak podaje Żylińska-Dusza (1996), w nieczynnych (wypełnionych) składowiskach znajduje się około 168 mln Mg odpadów flotacyjnych, z czego na tzw. Stare Zagłębie, na obszarze synklinorium północnosudeckiego (składowiska Lena, Iwiny i Wartowice – odpady z kop. Lena i Konrad) przypada około 74 mln Mg a na Nowe Zagłębie na monoklinie przedsudeckiej (składowisko „Gilów”) 92 mln Mg. Do zakończenia eksploatacji złoża lubińsko - głogowskiego (w latach 2075 – 2080) przewiduje się wytworzenie jeszcze około 1300 – 1400 mln Mg (1000 – 1100 mln m³) odpadów flotacyjnych. Zatem po zakończeniu wydobywania rud miedzi ilość nagromadzonych odpadów flotacyjnych w zagłębieniu miedziowym, o ile nie będą one zagospodarowane, wynieść może około 2000 mln Mg. Aktualnie wytwarzane w kopalniach LGOM (Lubińsko-Głogowski Okręg Miedziowy) odpady flotacyjne są deponowane w składowisku „Żelazny Most” i w najbliższych kilkunastu latach prawdopodobnie nie nastąpi zmiana w miejscu ich składowania (Butra i współpr. 1997).

Składowisko „Żelazny Most” pod wieloma względami należy do największych tego typu budowli inżynierskich w świecie. Obecnie jego objętość wynosi około 350 mln m³, a wysokość jednej z czterech zapór (wschodniej) zbliża się do 40 m. Jeśli docelowo, składowisko to osiągnie objętość 1000 mln m³, to wysokość jego zapór będzie musiała być podniesiona do około 100m (Lewiński i Wolski 1996).

Gospodarka odpadami flotacyjnymi w kompleksie górnictwo-metalurgicznym jest znaczącym składnikiem całkowitych kosztów wytwarzania metalu. Zagospodarowanie odpadów flotacyjnych jest zatem ważnym czynnikiem obniżki kosztów produkcji metalu. Według danych Broka i innych (1996), gospodarka odpadami flotacyjnymi w polskim przemyśle miedziowym pochłania około 30% kosztów wzbogacania rudy co stanowi około 7 – 8% całkowitych kosztów wytwarzania metalu. Podobne statystyki można znaleźć w innych zakładach w świecie.

Np. w firmie East Rand Gold (1997) przy przerobieniu rudy wynoszącym 45 mln Mg/rok, gospodarka odpadami stanowi około 7% całkowitych kosztów wytwarzania produktów finalnych (metali). W przypadku jednak krajowego przemysłu miedziowego, podawane koszty są zaniżone w wyniku różnych zabiegów prawnie - administracyjnych, których konsekwencją są znaczące zwolnienia od opłat za składowanie. Odpowiednia polityka ekologiczna państwa poparta subsydiowaniem odpowiednich kierunków badań a także przejrzyste uregulowana prawnie związane z opłatami za korzystanie ze środowiska, w większości krajów uprzemysłowionych, są silnym bodźcem do szukania rozwiązań zmierzających do zagospodarowania odpadów (Levens, Boldt 1994). Niestety różne uwarunkowania powodują, że takich mechanizmów w naszym kraju na razie brak.

3. Charakterystyka odpadów flotacyjnych z kopalń rud miedzi LGOM i związane z nimi zagrożenia ekologiczne

Odpady flotacyjne stanowią silnie rozdrobioną skałę płonną. Skład ziarnowy odpadów flotacyjnych z kopalń LGOM, podany w tabeli 1 wskazuje, że w zależności od składu litologicznego nadawy do danego zakładu, ilość ziarn grubszych od 0,1mm waha się od 7 do 35% a ziarn najdrobniejszych poniżej 0,06mm od 63 do 90%. Skład litologiczny i mineralny odpadów flotacyjnych jest praktycznie identyczny ze składem mineralnym nadawy do zakładów przerobczych. W wyniku przeróbki rudy usunięte z niej zostają głównie minerały siarczkowe z uży-

Tabela 1
Średni skład ziarnowy odpadów flotacyjnych deponowanych w składowiskach przez zakłady wzbogacania rud poszczególnych kopalń LGOM (wg. Żylińska-Dusza i współpr. 1996)

Klasa ziarnowa, mm	Lubin	Polkowice	Rudna	Lena	Konrad
>0,1	34,7	7,8	30,6	12,0	10,9
0,06-0,01	2,8	2,3	3,7	7,7	4,2
<0,06	62,5	89,9	65,7	80,3	84,3

skiem około 90%. Zatem resztkowe minerały siarczkowe w około 10% ich pierwotnej ilości w rudzie, przechodzą do odpadów. W udziałach bezwzględnych jest to około 0,25 - 0,30 % całej masy odpadów. Główną masę tworzą: krzemionka (głównie kwarc) i minerały węglanowe (dolomit i kalcyt) oraz minerały ilaste. W tabeli 2 podano przeciętne

Tabela 2.

Przeciętny skład chemiczny odpadów flotacyjnych z przeróbki rud miedzi w zakładach górniczych KGHM

Składnik	„Lena”***	„Konrad”***	„Lubin”*	„Polkowice”*	„Rudna”*
SiO ₂ , %	26,18	29,18	57,24	19,67	53,27
CaO, %	27,06	23,68	11,87	24,85	13,88
MgO, %	3,54	4,42	4,23	6,19	5,25
Al ₂ O ₃ , %	8,83	10,24	4,17	3,25	3,84
Cu, %	0,13	0,16	0,15	0,19	0,21
Pb, %	0,02	0,07	0,04	0,02	0,02
Ag, ppm	brak danych	12	10	6	8
As, ppm	30	40	50	30	20
Co, ppm**	20	23	52	18	12
Zn, ppm	brak danych	brak danych	90	60	60
C _{og} , %	"	"	3,92	5,12	4,14
S _{og} , %	"	"	0,43	0,87	1,12
Fe, %	"	"	0,82	0,54	0,52
Na, %	"	"	0,23	0,28	0,24
K, %	"	"	1,24	1,18	1,14

*Dudek-Basiński (1992)

**Żylińska-Dusza i współprac. (1996)

składy chemiczne odpadów z poszczególnych zakładów. Odpady składają się głównie z obojętnej krzemionki i glinokrzemianów. Wysoka zawartość minerałów węglanowych, które jako sole silnych zasad i słabego kwasu węglowego działają na układy wodne buforująco, utrzymuje odczyn stykającego się z tymi odpadami roztworu, w stanie bliskim obojętnej pH 7,5 – 7,8. Taki odczyn praktycznie eliminuje przechodzenie do roztworu metali ciężkich a zatem i przechodzenie ich do wód gruntowych. To niezwykle korzystne zjawisko potwierdzają obserwacje Kijewskiego (1995), który wykazał jedynie przekroczenia zawartości Cu i Pb w stosunku do tła geochemicznego, w środowisku glebowym, w sąsiedztwie składowisk „Żelazny Most” i „Gilów”. Wyraźny wzrost skażenia gleb miedzią i ołowiem w części rejonów przyległych do składowisk, związany jest głównie z pyleniem plaż. Metale te występują głównie w postaci siarczków choć w miarę upływu czasu te ostatnie przechodzą w postać związków utlenionych (Dudek-Basiński 1992). Według wspomnianej pracy Kijewskiego (1995), zawartości większości metali ciężkich oznaczane w samych składowiskach odpadów, poza miedzią i ołowiem są niewielkie. Zawartości te, w stosunku do ich przeciętnej zawartości w skorupie ziemskiej są następujące: cynk,

kobalt, nikiel, wanad i rtęć występują w ilości mniejszej lub równej przeciętnemu rozproszeniu, natomiast arsen i kadm wykazują wzbogacenie 6-krotne a ołów i miedź 30-krotne w stosunku do ich klarków. Zatem fakt nagromadzenia wymienionych metali w składowiskach nie stanowi prawdopodobnie istotnego zagrożenia ekologicznego. Najważniejszym zagrożeniem dla otaczającego rejonu uznano pylenie składowisk, jednak zjawisku temu udaje się w dużym stopniu zapobiegać (Mizera i Nierzeńska 1996).

4. Koncepcje i perspektywy wykorzystania odpadów flotacyjnych z LGOM

Rozważając problem zagospodarowania odpadów flotacyjnych z zagłębia miedziowego, celowym jest uwzględnienie różnych horyzontów czasowych: stan obecny, najbliższą przyszłość (za 10 – 20 lat) oraz dalszą przyszłość (za 50 – 60 lat, gdy wydobywanie rud będzie zamierało). Przy takim podziale czasowym można rozważyć następujące scenariusze: → w najbliższej i dalszej przyszłości stan obecny nie ulegnie zmianie i nie dojdzie do jakiegokolwiek wykorzystania odpadów, składowisko będzie narastać do gigantycznych rozmiarów lub

dojdzie do wybudowania nowego składowiska i docelowo głównym problemem będzie utrzymanie stabilności skarp, a po zakończeniu eksploatacji składowisk lub wydobycia rud miedzi, ich rekultywacja.

- w najbliższej przyszłości zostaną wykorzystane i wdrożone funkcjonujące w świecie rozwiązania oraz wyniki badań, w które latami inwestował polski przemysł miedziowy. Efektem tego będzie zatrzymanie lub spowolnienie narastania masy odpadów składowanych w „Żelaznym Moście” a może nawet sięgnięcie po materiał ze składowisk nieczynnych. Budowa nowego osadnika nie będzie konieczna.
- w dalszej przyszłości zostaną odkryte nowe, doskonalsze (w stosunku do dziś znanych) i opłacalne metody wykorzystania materiału tworzącego złożę antropogeniczne kopaliny użytecznej jakim będą nagromadzenia odpadów flotacyjnych. Być może zastosowane zostaną znane już, lecz obecnie, słusznie lub niesłusznie, uważane za nieuzasadnione ekonomicznie sposoby wykorzystania tych materiałów.

Działania według scenariusza pierwszego wydają się najmniej prawdopodobne. Zarówno przepisy ochrony środowiska w Unii Europejskiej, do których niewątpliwie będzie się zbliżało polskie ustawodawstwo jak i tendencje na światowych rynkach miedzi zmuszą zapewne przemysł miedziowy do stosowania rozwiązań zarysowanych w scenariuszu drugim. Taki kierunek wymusi zapewne zarówno konieczność obniżki kosztów wytwarzania metali jak i polityka ekologiczna państwa. Z dużym jednak prawdopodobieństwem można założyć, że jeśli nawet spełniony będzie wariant drugi to region legnicki i tak pozostanie z zapasami odpadów flotacyjnych w ilości co najmniej takiej jaką nagromadzono do chwili obecnej. W tych warunkach prawdopodobny będzie rozwój sytuacji według scenariusza trzeciego, o którym dyskusja nie powinna mieć charakteru rozważań futurologicznych. Potwierdzeniem tego są liczne rozwiązania z praktyki światowej. Np. Szuwarzyński i Kryza (1993) podają przykład firmy ASARCO, która utylizuje i sprzedaje w przetworzonej postaci 90% odpadów flotacyjnych ze swych kopalń ubogich rud cynkowo-ołowiowych, gwarantując tym 40 – 50% całkowitego przychodu tych kopalń.

Dotychczas, mimo szerokich badań nad wykorzystaniem odpadów flotacyjnych z kopalń LGOM prowadzonych od początku eksploatacji złoża rud miedzi monokliny przedsudeckiej, materiał ten pozostaje całkowicie niewykorzystany. Prowadzone od ponad 30 lat prace badawcze udowodniły, że odpady flotacyjne z kopalń LGOM mogą być wykorzystane w znaczących ilościach przede wszystkim do

produkcji materiałów budowlanych, materiałów do budowy dróg, nawozów mineralnych dla rolnictwa i wreszcie w górnictwie, które tych odpadów dostarczyło. Wyniki szerokich badań opublikowane przez Mazura z zespołem (1965) oraz Parzonkę i Sajkiewicza (1971) nakreśliły w zasadzie wszelkie racjonalne aspekty i kierunki zagospodarowania odpadów flotacyjnych z LGOM. Niestety wszystkie pomysły pozostają jednak nadal w sferze koncepcji. Przemysł miedziowy wykazuje co prawda, że znacząca ilość odpadów flotacyjnych (około 65%) jest wykorzystana gospodarczo: do budowy obwałowań zbiornika osadowego „Żelazny Most” (najgrubsze klasy ziarnowe odpadów) oraz do uszczelniania dna tego zbiornika (najdrobniejsze klasy ziarnowe), jednak nie zmienia to faktu, że odpady w 100% są składowane i pozostają nie zagospodarowane.

Z wymienionych kierunków zagospodarowania, uzasadnionych, wciąż ponawianymi, wynikami badań, według Butry i współprac.(1997), praktyczne znaczenie może mieć zastosowanie odpadów jedynie w górnictwie jako materiał podsadzkowy i w budownictwie drogowym. Koncepcje te w zasadzie brane są pod uwagę w zakresie wykorzystania bieżąco powstających odpadów i wyeliminowania budowy nowego składowiska, gdyby zostało wykluczone dalsze powiększanie osadnika „Żelazny Most”.

Pewne nadzieje na częściowe rozwiązanie problemu odpadów wiązane są z proponowaną przez Downorowicza (1996) możliwością pozbycia się odpadów flotacyjnych przez ich zagęszczenie i wtłoczenie do obecnych w górotworze, w granicach obszaru górniczego kopalń, trzeciorzędowych struktur geologicznych, które, jak twierdzi autor, uległyby hydraulicznemu rozwarstwieniu tworząc tym nowe antropogeniczne ogniwo litologiczne w obrębie formacji górnioceńskiej. Możliwość rozwarstwienia tych struktur wiąże się z przypuszczalnym istnieniem, we wspomnianych warstwach górotworu, pustych przestrzeni pochodzenia naturalnego lub powstałych jako skutek osiadania górotworu w wyniku eksploatacji złoża rud miedzi z zawałem, prowadzonej kilkaset metrów niżej. Słuszności tej dość ryzykownej koncepcji nie potwierdzono badaniami eksperymentalnymi (choć takie eksperymenty rozpoczęto) ani, przede wszystkim, rzetelnymi badaniami stanu górotworu.

Wykorzystanie odpadów w budownictwie drogowym jako wypełniacza do mas bitumicznych zastępujący tzw. mączki mineralne jest zapewne bardzo realnym zastosowaniem, jednak jak dotychczas, pozostaje w sferze koncepcji. W badaniach stwierdzono, że trwałość nawierzchni drogowej z zastosowaniem odpadów flotacyjnych jest wyraźnie wyższa w porównaniu z nawierzchnią, w której zastosowano

standardowe wypełniacze. Bardzo optymistyczne szacunki przewidują, że w związku z budową sieci autostrad w Polsce, możliwe byłoby wykorzystanie nawet 50% całkowitej ilości powstających w najbliższych latach odpadów po przeróbce rud miedzi (Cieszkowski i współpr. 1996). Gdyby jednak ten kierunek wykorzystania odpadów stał się faktem to dotyczyć on będzie głównie odpadów już zeszkłowanych i całkowicie odwodnionych, nie wymagających kosztownych procesów suszenia, które silnie będą rzutowały na ekonomikę tego zastosowania.

Najbardziej racjonalnym i prawdopodobnie głównym kierunkiem rozwiązania problemu narastania ilości składowanych odpadów flotacyjnych będzie sprowadzenie ich z powrotem do złoża w postaci materiału wypełniającego pustki poeksploatacyjne. Dla zagwarantowania najszybszego efektu ekonomicznego, na początku, dotyczyć to będzie głównie odpadów z bieżącej produkcji. Możliwe są tu dwa kierunki działań wykorzystania tych odpadów jako materiału do:

- podsadzania wyrobisk,
- dosadzania (doszczelniania) zrobów pozawałowych.

Technologie wykorzystujące odpady górnicze do podsadzania wyrobisk są racjonalnym i ekologicznym bezpiecznym rozwiązaniem problemu odpadów flotacyjnych. Składowanie odpadów pod ziemią w wielu krajach obwarowane jest ścisłymi uregulowaniami prawnymi (Rempe 1997). Technologie takie są dość szeroko stosowane w górnictwie światowym (Levens, Boldt 1994, Spearing 1996). W polskim górnictwie węglowym powszechnie stosuje się dodatki do klasycznej podsadzki piaskowej – drobnoziarnistą skałę płonną z wzbogacania grawitacyjnego węgla oraz odpady elektrowniane (popioły i żużle) jak również odpady z flotacji mułów węglowych (Mazurkiewicz 1995). Metoda ta znalazła także zastosowanie w polskim górnictwie cynku i ołowiu (Mazurkiewicz, Piechota 1996). Już około 25 lat temu Janiec i Nowak (1973) stwierdzili, że odpady flotacyjne z przeróbki rud cynkowo ołowionych w mieszanke z piaskiem podsadzkowym można szeroko wykorzystywać w kopalniach podziemnych jako standardowy materiał podsadzkowy II i III klasy (według odpowiednich Polskich Norm). Takie rozwiązanie dla przemysłu miedziowego poddali wątpliwość Mazur i inni (1965) a nawet wykluczyli Mazur i Czaban (1972), stwierdzając, że odpady flotacyjne z kopalń rud miedzi nie spełniają jakichkolwiek wymagań stawianych materiałom podsadzkowym nawet III klasy (najgorszej). Ocena taka wiązała się przede wszystkim ze zbyt dużą zawartością w odpadach najdrobniejszych klas ziarnowych. Kędzierski i Naporowski (1973) stwierdzili, jednak, że

po klasyfikacji w hydrocyklonach odpady tzw. „piaskowcowe” nadają się do tych celów zwłaszcza w mieszanke ze standardowym piaskiem podsadzkowym. Łuszczkiewicz i inni (1992), wydzielając z odpadów lubińskich resztkowe składniki użyteczne drogą wzbogacania grawitacyjnego stwierdzili, że odpad po wzbogacaniu grawitacyjnym odpadów flotacyjnych, pod względem odsączalności, flitrowalności i sedymentacji, spełnia wymagania materiału podsadzkowego I klasy. Wzbogacanie grawitacyjne działało jak proces odmulania i materiał stanowiący około 40 – 50% pierwotnej masy odpadów spełniał wspomniane wymagania normowe dla materiału podsadzkowego klasy I.

W kopalniach LGOM podsadzkę hydrauliczną stosuje się w przypadkach szczególnych w filarach ochronnych oraz w złożach grubych. Pustkę poeksploatacyjną wypełnia się hydraulicznie klasycznym piaskowym materiałem podsadzkowym (Butra i współpr. 1997). Piasek do podsadzki sprowadzany jest z kopalni piasku. Eksploatacja złoża rud miedzi w LGOM prowadzona jest jednak głównie systemami, w których likwidacja zrobów prowadzona jest przez łagodne ugięcie stropu na filarach resztkowych i zawał skał stropowych. Mimo zagranicznych jak i pewnych krajowych doświadczeń w zakresie wykorzystania materiałów drobnoziarnistych do podsadzania zrobów, technologie podsadzkowe z zastosowaniem odpadów flotacyjnych, w warunkach kopalń LGOM znajdują się wciąż tylko w sferze projektów. Szansę realizacji rokuje się wykorzystaniu odpadów jako materiału do podsadzki zastalanej i klasycznej podsadzki hydraulicznej (Cieszkowski i współpr. 1996).

Realnym, w warunkach zagłębia miedziowego, rozwiązaniem problemu odpadów flotacyjnych jest ich wykorzystanie do wytwarzania podsadzki zastalanej (utwardzanej). Koncepcja ta jest w pewnym zakresie realizowana w polskim górnictwie węglowym, opisana została już 30 lat temu w cytowanej pracy Parzonki i Sajkiewicza (1971). Największe doświadczenia w tym zakresie, jednak oparte na zupełnie innych niż klasyczne podsadzki utwardzane założeniach, posiada górnictwo kanadyjskie. Opisywane technologie są wynikiem postępu w technologii odwadniania i szybkiego zagęszczania drobnoziarnistych (<20µm) zawiesin i gwarantują względnie niskie koszty procesu. Obejmują one zagęszczanie drobnoziarnistych zawiesin odpadów flotacyjnych (zawierających minimum 15 – 20% ziarn <20µm) do około 65 – 80% części stałych, do których na koniec dodaje się około 2 – 10% odpowiedniego środka wiążącego, np. cementu portlandzkiego (zwykle 3 – 5%) oraz do 10 – 15% popiołów lotnych np. z elektrowni opalanych węglem (popioły mają

własności wiążące). Otrzymany materiał, o konsystencji ciasta, zatłaczany jest (ang. *paste backfilling*) do wyrobisk gdzie po upływie 1 do 28 dni ulega całkowitemu zestaleniu osiągając wytrzymałość na ściskanie, w zależności od składu, od 0,5 do 3,5 MPa (Brackenbusch 1994, Zou 1997, Zou et al. 1997, El-Equip 1997). Takie "ciasto podsadzkowe" (*paste backfill*), ma dobre własności reologiczne i może swobodnie przepływać grawitacyjnie w kierunku pionowym lub być tłoczony poziomym rurociągiem na odległość nawet powyżej 1km.

Jak podaje firma MAG Engineering (1998), w warunkach kanadyjskich, zastosowanie silnie zagęszczonych odpadów do podsadzki zestalanej gwarantuje sprowadzenie pod ziemię do 80% wydobytego wcześniej urobku a koszty całkowite stosowania takiej podsadzki, przy dobowej wydajności 1200 Mg (w przeliczeniu na suchą masę), są niższe od standardowej (piaskowej) podsadzki hydraulicznej o około 30 do 40%. Zastosowanie systemów eksploatacji złoża z podsadzką zestalaną powoduje ponadto znaczące obniżenie lub nawet eliminację strat złożowych. Stosowanie technologii „ciasta” wymaga bardzo drobnego uziarnienia odpadów flotacyjnych (<20µm) a taki właśnie materiał sprawia najwięcej problemów w klasycznym składowaniu odpadów w stawach osadowych, również w przypadku odpadów z krajowego górnictwa miedziowego. Technologie te znajdują szerokie zastosowanie nie tylko w górnictwie podziemnym, są stosowane także do zestalania odpadów składowanych na składowiskach powierzchniowych, co może być wykorzystane w gospodarce różnymi odpadami (Cincilla i inni 1998).

Bliskim realizacji pomysłem sprowadzania odpadów z powrotem pod ziemię, w krajowym górnictwie miedziowym, jest technologia dosadzania (doszczelniania) zrobów zawałowych. Bieżąca eksploatacja złoża w LGOM powoduje bowiem powstawanie pustek, których objętość obecnie szacuje się maksymalnie na około 50% objętości wybranego złoża. Pustki poeksploatacyjne powstają w wyniku stosowanych technologii eksploatacji złoża z zawałem skał stropowych. Proces zaciskania zrobów zawałowych w kopalniach LGOM często trwa bardzo długo. Świadczy o tym wykorzystywanie kilkunastoletnich zrobów na klarowniki wód podsadzkowych. Stwierdzone występowanie pustek wewnątrz gruzowiska wieloletniego zawału oraz znacznych objętości pustek, powstających podczas bieżącej eksploatacji złoża rud miedzi sugerują zastosowanie technologii dosadzania zrobów zawałowych odpadami flotacyjnymi w dwóch wariantach: dosadzania starych oraz bieżąco powstających zrobów (Butra i współpr. 1997).

Dosadzanie (doszczelnianie) starych zrobów polegać będzie na wypełnieniu wolnych przestrzeni gruzowiska zawałowego medium doszczelniającym składającym się z zagęszczonych odpadów flotacyjnych zmieszanych z materiałami wiążącymi (w tym także pochodzenia odpadowego) z wykorzystaniem instalacji rurociągowych zabudowanych w wyrobiskach (np. instalacji podsadzkowych) lub głębokimi otworami z powierzchni bezpośrednio do zrobów. Wypełnienie ulegać będzie zestaleniu w przestrzeni międzyziarnowej gruzowiska. (Butra i współpr. 1997)

5. Koncepcje surowcowego wykorzystania odpadów flotacyjnych

W górnictwie światowym wzrastają koszty pozyskiwania surowców mineralnych i w związku z tym coraz częściej można spotkać się z coraz bardziej kompleksowym wykorzystaniem wydobytych surowców zwłaszcza różnych odpadów mineralnych. Instaluje się specjalne urządzenia np. wzbogacalniki grawitacyjne do odzysku śladowych, rozproszonych i cennych składników z odpadów flotacyjnych po wzbogacaniu rud, szczególnie rud metali nieżelaznych. O opłacalności przedsięwzięcia w takich przypadkach, poza stwierdzoną obecnością w odpadach, cennych i śladowych składników, decyduje fakt, że składniki te są już w stanie uwolnionym a zatem najdroższa operacja znamionująca każdy proces wzbogacania rud jaką jest rozdrabnianie dane jest niejako „za darmo”. Przykładem zastosowania takich technologii mogą być np. zakłady Palabora Mining w Republice Południowej Afryki czy Climax i Timmins w Kanadzie (Łuszczkiewicz 1994). Zakład *Palabora Mines* np. posiada największą w świecie tego typu instalację, gdzie na bieżąco, z całości odpadów po flotacji rud miedzi (ok. 12 mln. ton/rok), pozyskuje się metodami grawitacyjnymi (stożki Reicherta), rozproszone minerały uranu, cyrkonu i resztkowe minerały miedzi. Technologia ta jest oceniana jako wysoce opłacalna (Wills, 1985)

Koncepcja wykorzystania odpadów flotacyjnych z kopalń LGOM, podobna, do tych jakie tu opisano, została zaproponowana i wstępnie rozpoznana przez autora (Łuszczkiewicz inni 1992, Łuszczkiewicz 1996).

Faktem niezaprzeczalnym jest to, że uzysk miedzi i srebra w koncentratkach miedziowych w wyniku wzbogacania w zakładach przerobczych wydobywanych w LGOM rud miedzi nie przekracza odpowiednio 90 i 85 %. Zatem łatwo można wyliczyć, że na składowisko wraz z odpadami flotacyjnymi, kierowane jest co roku około 40 000 Mg miedzi i 100

Mg srebra. Drugim faktem jest to, że stosowane metody wzbogacania rud miedzi dotyczą wyłącznie minerałów siarczkowych i wszystkie inne minerały niesiarczkowe, muszą znaleźć się w odpadach. Wśród tych innych niesiarczkowych minerałów są i takie, które mogą być uznane za użyteczne. Powstaje zatem pytanie czy wymienione ilości metali (miedzi i srebra) i nie wymienione ilości uwolnionych użytecznych minerałów niesiarczkowych, pomnożone przez lata eksploatacji mogą być zasobami pozyskiwalnymi?

Poligonem doświadczalnym dla opracowania przyszłościowej koncepcji surowcowego wykorzystania mogą być składowiska nieczynne zwłaszcza składowisko „Gilów”. Już w trakcie jego eksploatacji, możliwość wykorzystania jego zawartości była przedmiotem licznych badań i rozważań. Składowisko to zawiera odpady flotacyjne powstałe w początkowej fazie eksploatacji złóż w rejonie Lubińsko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM) do roku 1976 i częściowo do 1980, kiedy to całość odpadów flotacyjnych skierowano do składowiska „Żelazny Most”. Odpady zgromadzone w „Gilowie” w wyniku początkowej niedoskonałości procesów wzbogacania są stosunkowo bogate w miedź i srebro.

Jedną z koncepcji wykorzystania tych odpadów jest potraktowanie składowisk lub ich części jako złoża antropogenicznego - rezerwy surowcowej miedzi. Kijewski i Downorowicz (1987), na podstawie badań około 800 próbek z ponad 50 odwiertów w składowisku „Gilów” stwierdzili, że ze względu na zawartość miedzi i srebra składowisko to można uznać za wtórne nagromadzenie o charakterze ubożego złoża okruchowego. Autorzy ci zauważyli także, że obecnie, nagromadzenie to nie kwalifikuje się do wykorzystania jako źródło miedzi i srebra ze względu na brak efektywnych technologii odzysku tych metali. Stwierdzeniu temu wychodzi naprzeciw Chmielewski ze współpr. (1995), rozważając koncepcję zastosowania ługowania cyjankowego odpadów flotacyjnych jako metody bardzo atrakcyjnej ekonomicznie i wbrew ogólnemu mniemaniu, wysoce bezpiecznej ekologicznie. Jak podają Butra i współprac. (1998), koncepcja ta została sprawdzona z pozytywnym skutkiem w skali ćwierć-technicznej, w ruchu ciągłym, w roku 1995, dla próbki odpadów z kopalni „Konrad” pobranej ze zbiornika „Wartowice”. Z powodu wątpliwości co do opłacalności procesu i prawdopodobnie barier psychologicznych badań tych nie kontynuowano. Liczne jednak przykłady ze świata, gdzie takie koncepcje dla odpadów flotacyjnych przebadano w skali pilotowej już ponad

30 lat temu (Rose et al. 1967) a zwłaszcza przykłady masowej (rzędu 20 mln Mg/rok) wtórnej przeróbki metodami cyjankowymi starych odpadów po przeróbce rud złota, sugerować mogą realną przyszłość tym metodom. Findlay (1992) opisuje taką technologię, przerabiającą 16 mln. Mg/rok odpadów, przy kosztach operacyjnych stanowiących około 17% ceny giełdowej uzyskiwanego złota. Szacunkowe przeliczenie w tej skali kosztów ługowania miedzi z odpadów np. „Gilowa”, w warunkach porównywalnych kosztów operacyjnych, teoretycznie dałoby koszt wytwarzania 1Mg miedzi poniżej \$1000.

Łuszczkiewicz (1994 i 1996) oraz Łuszczkiewicz i Sztaba (1994 i 1995) stwierdzili możliwość opłacalnego ekonomicznie odzysku, z odpadów flotacyjnych z bieżącej produkcji wszystkich trzech kopalń rud miedzi, cennych rozproszonych w nich składników drogą wzbogacania grawitacyjnego z wykorzystaniem odpadu grawitacyjnego jako standardowego materiału do podsadzki hydraulicznej w kopalniach podziemnych. Wydzielony z odpadów produkt nadający się do podsadzki składa się głównie z najgrubszych klas ziarnowych odpadów. Najgrubsze klasy ziarnowe odpadów wykorzystywane są do budowy obwałowań osadnika „Żelazny Most”, i w związku z tym ten kierunek wykorzystania odpadów flotacyjnych można rozważać pod warunkiem sporządzenia bilansu zapotrzebowania najgrubszych klas ziarnowych w osadniku lub odnosić do odpadów z nieczynnych składowisk. W tabeli 3 zestawiono wyniki wzbogacania grawitacyjnego odpadów flotacyjnych z poszczególnych kopalń KGHM. W tabeli 4 natomiast zestawiono składy chemiczne

Tabela 3.
Charakterystyki koncentratów grawitacyjnych wydzielonych z odpadów flotacyjnych z poszczególnych zakładów przerobczych KGHM „Polska Miedź” S.A.

Zakład wzbogacania	wychód %	miedź		srebro	
		zawartość, %	uzysk, %	zawartość, ppm	uzysk, %
„Lubin”	1,23	2,29	17,6	135	4,8
„Polkowice”	0,42	4,58	7,52	623	8,0
„Rudna”	1,22	2,57	11,5	47	2,2

frakcji minerałów ciężkich w uzyskanych koncentratów grawitacyjnych. Przedstawione wyniki wskazują na możliwość odzysku metodą grawitacyjną z odpadów co najwyżej około 15% miedzi i 5% srebra przechodzących do polimetalicznych koncentratów zawierających minerały baru i strontu, cyrkonu i tytanu oraz interesujące ilości złota i itru. Koncentrat taki może być dalej przerabiany metodami

Wyniki oznaczeń składu chemicznego minerałów ciężkich z koncentratów grawitacyjnych wydzielonych z badanych próbek odpadów flotacyjnych.

Składnik	Polkowice (1995)	Rudna (1994)	Lubin (1992)]	Składnik	Polkowice (1995)	Rudna (1994)	Lubin (1992)]
	Zawartość, %	Zawartość, %	Zawartość, %		Zawartość, ppm	Zawartość, ppm	Zawartość, ppm
SiO ₂	12,92	10,49	27,28	Zn	1692	721	409
TiO ₂	1,85	9,29	9,78	Ag	623	47	135
Al ₂ O ₃	2,25	2,50	3,92	Co	110	74	220
Fe ₂ O ₃	9,34	5,65	7,65	As	530	160	320
MgO	5,48	1,90	1,30	Th	48	62	130
CaO	13,69	4,18	2,28	U	21	46	130
Ba	14,40	24,60	20,92	Se	120	12	160
Sr	2,23	4,44	2,11	Y	125	257	1000
Zr	0,64	2,44	7,57	Ni	98	34	58
Hf	0,015	0,056	0,18	Cd	8,3	5,7	2,8
Cr	0,57	0,11	0,43	V	42	60	83
Cu	4,58	2,57	2,29	Au	125	0,36	14,2
Pb	0,63	0,25	0,34	Sc	6	17	44
Na ₂ O	0,11	0,17	0,33	Ta	4	11	12
K ₂ O	0,27	0,30	0,30	W	39	3	54
P ₂ O ₅	0,12	0,38	0,34	Sb	140	6,3	13
MnO	0,29	0,15	0,12	Bi	30	10	1

przeróbczymi i hydrometalurgicznymi lub może być przedmiotem handlu.

Z przedstawionych tabel 3 i 4 widać, że metodą grawitacyjną z odpadów flotacyjnych, można odzyskać niewielkie ilości miedzi i srebra natomiast otrzymany koncentrat grawitacyjny może być źródłem innych, nie związanych z siarczkami, pierwiastków towarzyszących miedzi i rozproszonych w wydobywanych rudach. W badaniach mineralogicznych produktów wzbogacania stwierdzono, większość siarczków miedzi w odpadach flotacyjnych znajduje się w postaci mikrowrostków i bardzo drobnych wprysnięć w ziarnach płonnych praktycznie nie zwiększających gęstości tych ziarn. Czyni to metody grawitacyjne mało skutecznymi dla miedzi i srebra.

W innych pracach autora (Łuszczkiewicz 1999) stwierdzono, że z odpadów flotacyjnych pochodzących z bieżącej przeróbki rud w zakładach wzboga-

ciania LGOM możliwe jest wydzielenie koncentratów zawierających reszkowe minerały miedzi i metale towarzyszących przez zastosowanie dodatkowej, krótkiej flotacji w prostych urządzeniach przepływowych składających się ze zbiornika z aeratorem. Urządzeniami tymi mogą być bezwirnikowe maszyny flotacyjne pneumatyczne. W trakcie eksperymentów z odpadami pochodzącymi z ZWR (Zakłady Wzbogacania Rud) Polkowice i ZWR Rudna, dzięki podawaniu niewielkiej ilości standardowych, stosowanych w ZWR-ach odczynników flotacyjnych oraz napowietrzaniu zawiesiny, wydzielano produkty pianowe zawierające głównie substancję łupkową. Ruda łupkowa, trafiająca bowiem z nadawą do zakładów wzbogacania, jako frakcja trudnowzbogacalna, w dużym stopniu przechodzi do odpadów niewzbogaconych. Opisywane koncentraty wydzielono, dla odpadów z ZWR Polkowice i ZWR Rudna z wychodem odpowiednio 0,17 i 0,27% przy za-

wartości 3,0 – 3,5% Cu (tabela 5). Zastosowanie zatem tego sposobu „doflotowania” odpadów w połączeniu ze wzbogacaniem grawitacyjnym pozwoliłoby odzyskać z odpadów flotacyjnych dodatkowo do 15 – 20% traconej z nimi miedzi.

leży się liczyć, z koniecznością drastycznego ograniczenia możliwości składowania tych odpadów na składowiskach terenowych. Zarówno przyszłe ustawodawstwo jak i konieczność obniżki kosztów wytwarzania metali, zmusi producenta tych odpadów

Wyniki „doflotowania” odpadów flotacyjnych z bieżącej produkcji

Zakład wzbogacania	wychód %	miedź		srebro	
		zawartość %	uzysk %	zawartość ppm	uzysk %
„Polkowice”	0,17	3,08	2,03	69	2,00
„Rudna”	0,27	3,52	4,32	102	3,44

Tabela 5

Ostatnio realizowane w zespole autora badania flotacji odpadów z nieczynnego składowiska „Gilów”, wykazały znaczny stopień utlenienia minerałów miedzi w materiale pochodzącym z górnych warstw (do 0,6m. głębokości) korony obwałowania osadnika (Poręba 1998). Stwierdzono, że około 65% miedzi zawartej w badanym materiale znajduje się w stanie utlenionym co praktycznie wyklucza zastosowanie standardowych metod flotacji siarczków (zbieraczami tiolowymi) do odzysku miedzi i srebra. W cytowanej pracy zastosowano kombinowaną hydrometalurgiczno-flotacyjną metodę przeróbki opisaną w pracy Łuszczkiewicza i Chmielewskiego (1999), czym wykazano, że z odpadów flotacyjnych możliwe jest usunięcie około 80% zawartej w nich miedzi z tym, że w wyniku utlenienia minerałów siarczkowych, około 65% jej pierwotnej ilości przechodzi do roztworu a około 15% można wydzielić drogą flotacji z użyciem zbieraczy tiolowych. Otrzymane w tej pracy odpady po ługowaniu i flotacji zawierały 0,05 – 0,07% Cu, która stanowiła już tylko 20% jej pierwotnej ilości. Materiał po takiej przeróbce mógłby być rozważany także jako surowiec krzemionkowo - glinowo - wapniowo – magnezowy. Pozostała w odpadach miedź występowała w formie bardzo drobnych rozproszeń siarczków w minerałach krzemianowych, z których jest ona praktycznie nie uwalnialna bez głębokiego i kosztownego mielenia.

6. Podsumowanie

Biorąc po uwagę, przedstawiony w ogólnym zarysie, obecny stan gospodarki odpadami flotacyjnymi z kopalń LGOM oraz rozważania dotyczące realnych kierunków wykorzystania tych odpadów, należy stwierdzić, że czas niczym praktycznie nie ograniczonego składowania odpadów flotacyjnych z polskiego przemysłu miedziowego dobiega końca. Na-

do sprowadzania ich z powrotem pod ziemię, do wypełniania pustek poeksploatacyjnych. Niewątpliwie takie rozwiązanie dotyczyć będzie głównie odpadów z bieżącej produkcji i w mniejszym stopniu odpadów już zeskładowanych.

W świetle aktualnych wyników badań, realnym kierunkiem wykorzystania pewnych ilości odpadów flotacyjnych, głównie z nieczynnych i całkowicie odwodnionych składowisk, jest ich zastosowanie jako wypełniacza mas bitumicznych w budownictwie drogowym. W związku z planowaną budową autostrad, zwłaszcza w regionie dolnośląskim, pojawi się olbrzymie zapotrzebowanie na mączki mineralne, których rolę doskonale mogą spełniać odpady flotacyjne.

Mimo tych zachęcających prognoz, należy się jednak liczyć z faktem, że w przyszłości, w rejonie dzisiejszego działania przemysłu miedziowego mimo zamierania wydobywania rud miedzi pozostaną znaczące nagromadzenia odpadów o charakterze złóż antropomorficznych nie stanowiące, w świetle dzisiejszych kryteriów, dramatycznego zagrożenia ekologicznego. Gdyby znane dziś lub nowe, odkryte w przyszłości, metody odzysku metali ze starych odpadów flotacyjnych, zostały wykorzystane jako opłacalne, to przyszłe pokolenia będą musiały postawić sobie pytanie czy warto naruszać pewną równowagę, jaka prawdopodobnie się wytworzy w składowiskach, aby pozyskać ponad 1mln Mg miedzi, kilkaset Mg srebra oraz znaczne ilości minerałów baru, strontu, cyrkonu i niektórych metali rzadkich jak itr czy złoto.

Nie jest wykluczone jednak, że ewentualne przyszłe wykorzystanie nieczynnych składowisk odpadów flotacyjnych jako źródła miedzi i innych cennych składników może stworzyć podstawy do ich pełnego zagospodarowania z wykorzystaniem zawartych w nich zasobów wapnia i magnezu. Realizacja koncepcji surowcowego wykorzystania odpadów flotacyjnych jedynie jako źródła miedzi i innych cennych składników rozproszonych, nie zmieni faktu, że nowo powstałe wówczas odpady „wtórne” stworzyć mogą poważniejsze niż obecnie zagrożenia ekologiczne. Usunięcie jednak tych cennych składników z materiału będzie równocześnie usunięciem większości metali ciężkich a zatem realnymi wówczas mogą się stać te kierunki zastosowań, dla któ-

rych obecna zawartość metali ciężkich w odpadach flotacyjnych jest dyskwalifikująca.

Technologie podziemnego składowania odpadów mineralnych w tym technologie wykorzystania odpadów flotacyjnych z przeróbki rud metali nieżelaznych są w świecie opanowane i coraz powszechniej stosowane jako najbardziej racjonalne rozwiązania najtrudniejszych (największych ilościowo) problemów ekologicznych związanych z górnictwem rud metali nieżelaznych. Zastosowanie tych metod w krajowym górnictwie miedziowym, w niedalekiej przyszłości, stanie się zapewne koniecznością związaną zarówno z wymuszaniem obniżki kosztów produkcji jak i z racjonalną gospodarką złożem.

7. Bibliografia

1. Brackenbusch F.W., (1994), *Basics paste backfill systems. Mining Engineering*, vol. 46, No.10, 1175-1178.
2. Brok S., Bułkowski B., Dudek R., Spalińska B., (1996), *Zakłady wzbogacania KGHM Polska Miedź SA. W: Nowoczesne techniki i technologie w zakładach wzbogacania KGHM Polska Miedź SA, Materiały Konferencyjne, Lubiatów, 25.10.1996, 11-24.*
3. Butra J., Dębowski R., Mizera A., (1997), *Zagospodarowanie odpadów poflotacyjnych. Rudy i Metale Nieżelazne, R 42, nr 8, 322-328.*
4. Butra J., Dębowski R., Grotowski A., Mizera A., (1998), *Technologie zagospodarowania odpadów flotacyjnych z przeróbki rud miedzi. Materiały IV Konf. Problemy zagospodarowania odpadów mineralnych. Wista, 8-10 czerwca 1998, (referat udostępniony przez autorów).*
5. Chmielewski T., Grotowski A., Kołodziej B., Adamski Z., (1995), *Możliwości zastosowania lutowania cyjankowego do odzysku miedzi z odpadów flotacyjnych. Rudy i Metale Nieżelazne, R. 40, nr 8, 318-321.*
6. Cieszkowski H., Butra J., Dębowski R., (1996), *Kierunki i możliwości zagospodarowania odpadów flotacji w technologiach górniczych kopalń LGOM. Materiały I Międzynar. Konf. Zagospodarowanie i utylizacja odpadów górniczych i hutniczych. Polanica Zdrój, 16-18 października 1995. Wyd.: KGHM Polska Miedź S.A., CBPM Cuprum Sp. z o.o., Instytut Metali Nieżelaznych, Wrocław, marzec 1996, 173-1181.*
7. Cincilla W., Landriault D., Newman P., Verburg R., *Paste Disposal. Mining and Environmental Management, Vol.6, No.3, 11-15.*
8. Downorowicz S. (1996), *Lityfikacja urobku poflotacyjnego w modelu gospodarki bezodpadowej górnictwa miedziowego. Materiały I Międzynar. Konf. Zagospodarowanie i utylizacja odpadów górniczych i hutniczych. Polanica Zdrój, 16-18 października 1995. Wyd.: KGHM Polska Miedź S.A., CBPM Cuprum Sp. z o.o., Instytut Metali Nieżelaznych, Wrocław, marzec 1996, 329-334.*
9. Dudek-Basiński J., (1992), *Ocena jakości odpadów z flotacji rud miedzi i ich wpływ na środowisko. Opracowanie Z.B.i P.M. „Cuprum”, marzec 1992, 1-6.*
10. Dulewski J., Wtorek L., (1996), *Gospodarka odpadami w górnictwie. Miesięcznik WUG - Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, nr 10, 21-25.*
11. East Rand Gold (1997) *Production Statistics. East Rand Gold, <http://www.aac.co.za/gold/ar-er-96/gago9653.htm>*
12. El-Equip (1997), *Underground paste backfilling utilizes leaky feeder. El-Equip Newsletter, 1997, El-Equip Inc., <http://www.el-equip.com/backfill.html>, 1-2.*
13. Janiec R., Nowak J. (1973), *Odpady z przeróbki rud i ich mieszaniny z piaskiem jako materiał podszadzkowy. Rudy i Metale Nieżelazne, R. 18, nr 9, 428-432.*
14. Kijewski P., (1995), *Występowanie metali ciężkich na obszarze środkowego nadodrza w strefie oddziaływania przemysłu miedziowego. Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii, Nr 29, 47-54.*
15. Kijewski P., Downorowicz S., (1987), *Odpady poflotacyjne rudy miedzi jako potencjalna rezerwa surowcowa. Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii, Nr 19, 205-211.*
16. Lewiński J., Wolski W., (1996), *Składowiska odpadów. W: Monografia KGHM Polska Miedź S.A., Praca Zbiorowa pod red. A. Piestrzyńskiego. CPBM „Cuprum” Sp. z o.o., Lubin, 787-791.*
17. Levens R.L., Boldt C.M.K., (1994) *Bulk infilling of underground mines. Mining and Environmental Management, Vol.2, No.4, 16-20.*
18. Łuszczkiewicz A., (1994), *Ocena zawartości minerałów ciężkich w wybranych odpadach mineralnych. Raport Nr I-11/S-20/94, Instytut Górnictwa Politechniki Wrocławskiej.*
19. Łuszczkiewicz A., (1996) *Ocena stabilności zawartości wybranych składników użytecznych w odpadach flotacyjnych z zakładów wzbogacania rud KGHM "Polska Miedź" S.A. Raport Nr I-11/20/96, Politechnika Wroclawska, Instytut Górnictwa, Wrocław, Czerwiec 1996.*
20. Łuszczkiewicz A., (1999), *Wstępna ocena zawartości flotowalnych składników w odpadach flotacyjnych kierowanych do składowiska "Żelazny Most". Sprawozdanie z badań. Archiwum Zakładu Przeróbki Kopalni i Odpadów, Politechnika Wroclawska, Instytut Górnictwa, Wrocław, Grudzień, 1-16*
21. Łuszczkiewicz A., Chmielewski T., (1999), *Acid treatment of copper sulfide concentrate in the flotation circuit. Materiały V Międzynarod. Konf. Przeróbki Rud Met. Nieżelazn, Szklarska Poręba, 25-27.10.1999, KGHM Polska Miedź S.A., CBPM Cuprum, IMN.*
22. Łuszczkiewicz A., Fiszer A., Mazurkiewicz M., (1992), *Ocena przydatności flotacyjnych odpadów piaskowcowych do podszadzki w wyrobiskach poeksploatacyjnych, Praca Nr 1/92, Aurum, Inc., Wrocław, lipiec.*
23. Łuszczkiewicz A., Sztaba K., (1994) *Wykorzystanie odpadów flotacyjnych powstających przy przeróbce krajowych rud miedzi. Materiały Konferencyjne: XI Gliwickie Sympozjum Naukowo-Techniczne Przeróbki Kopalni, Politechnika Śląska, Gliwice, 4-9.*
24. Łuszczkiewicz A., Sztaba K.S., (1995), *Beneficiation of flotation tailing from Polish copper sulfide ores. Proceedings, XIX International Mineral Processing Congress (San Francisco 1995), vol.4, Soc. Min. Metall. Explor, Inc., Littleton, Col. USA, 121-124.*
25. *MAG Engineering (1998), Backfill systems in Canadian mines. Cost comparison. MAG Engineering and Construction International Ltd., Sudbury, Ont. Canada, <http://www.isys.ca/mag/1.-5.html>*
26. Mazij S., Czaban S., (1972), *Przydatność odpadów flotacji rud miedzi do podszadzania wyrobisk górniczych w świetle badań odsączalności. Rudy Metale Nieżelazne, R. 20, nr 2 1972, 58-61.*
27. Mazur S., Kowal A., Ambrożewicz G., Lorenz K., (1965), *Problem wykorzystania odpadów flotacyjnych rud miedzi rejonu Lubina. Przegląd Górniczy, Nr 12, 525-535*
28. Mazurkiewicz M., (1995), *Sozotechniczne aspekty deponowania odpadów w pustkach podziemnych. Zeszyty Naukowe AGH, Górnictwo, R.19, Zeszyt 1, 41-50.*
29. Mizera A., Nierzewska M., (1996), *Metody ograniczania emisji pyłów ze składowiska odpadów „Żelazny Most”.*

Miesięcznik WUG - Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, nr 10, 42-47.

30. Parzonka W., Sajkiewicz J., (1971), Utylizacja odpadów flotacji rud miedzi - wyniki dotychczasowych badań i kierunki dalszych prac. Mat. III Krajowego Zjazdu Górnictwa Rud, Cz.II, wyd. SITG, Lubin, wrzesień, 155-183.
31. Poręba J., (1998), Ocena możliwości odzysku miedzi z odpadów flotacyjnych z nieczynnego osadnika „Gilów” koło Lubina. Praca Magisterska, Politechnika Wroclawska, Wydział Górniczy.
32. Rempé N.T., (1997), Waste disposal in underground mines - a technology partnership to protect the environment. Mining and Environmental Management, Vol.5, No.3, 49-52.
33. Rose D.H., Lessels V., Buckwalter D.J., (1967), Pilot plant testing of cyanide leaching of copper from White Pine tailings. Transactions of the Society of Mining Engineers of AIME, vol. 238, 221-224.
34. Szuwarzyński M., Kryza A., (1993), Problem odpadów flotacyjnych w górnictwie rud cynku i ołowiu na obszarze Śląsko-Krakowskiej prowincji złożowej. Przegląd Geologiczny, vol.41, nr 9, s. 629-633.
35. Spearing A.J.S., (1996), The disposal of metallurgical tailings underground in South African gold mines. *Materiały I Międzynar. Konf. Zagospodarowanie i utylizacja odpadów górniczych i hutniczych. Polanica Zdrój, 16-18.10.1995.* Wyd.: KGHM Polska Miedź S.A., CBPM Cuprum Sp. z o.o., Instytut Metali Nieżelaznych, Wrocław, marzec 1996, 197-211.
36. Traczyk St., (1997), Gospodarka mineralnymi surowcami odpadowymi z górnictwa i energetyki. Przegląd Geologiczny, vol. 45, nr 5, 500-504.
37. Wills B.A., 1985, Mineral Processing Technology, 3rd Ed. (International series on material science and technology v. 29), Pergamon Press, Oxford, N.York, Toronto, Sydney.
38. Zou D.H.S., (1997). An innovative technology for tailings treatment. Proceedings: Tailings and Mine Waste'97, Fort Collins, Colorado, pp. 633 - 642.
39. Zou D.H., Li L. and Huang, Y., (1997). Laboratory study of strength characteristics of solidified tailings. Proceedings of the 99th CIM Annual General Meeting, Vancouver, BC.
40. Żylińska-Dusza D., Jaworski A., Lewiński J., Mizera A. (1996), Przeróbka rud a środowisko przyrodnicze. W: Monografia KGHM Polska Miedź S.A., Praca Zbiorowa pod red. A. Piestrzyńskiego. CPBM „Cuprum” Sp. z o.o., Lubin, 753-774.

A concept of management of flotation tailings of Polish copper industry

Flotation tailing of Polish copper sulfide ores represents more than 94% of the mass of run-of-mine ore. The ore is of sedimentary origin and the tailing contains mainly quartz, dolomite, clay minerals, traces of sulfides, and some accessory minerals. Waste handling and disposal system includes traditional slurry transport combined with a hydraulic placement in an impoundment. Nearly 600 million Mg of copper flotation tailings were up to now deposited in the Legnica-Glogow region. In this work, main future trends in accumulation of the copper ore flotation tailings and results of numerous investigations on the utilization of these tailings are presented. It was confirmed that the most rational and environmentally sound solution to increasing quantity of flotation tailings is to dispose them underground where the ore was previously extracted from. The flotation tailings, dewatered to a paste form and containing certain amount of binding agents, can be used as hardened backfilling material for structural support in underground mines. Other feasible directions of utilization of the copper ore flotation tailing are also discussed in the paper. Attention was paid to many encouraging results of investigations on application of the tailings as a secondary raw material. It can be used as a filler for bituminous pavement and also as a source of rare accessory minerals dispersed in the original ore and residual principal metals (copper and silver) remaining in tailing. All minerals of the tailing are well liberated, and therefore, any further beneficiation process applied to the tailing is expected to be inexpensive. In this work results of investigations on gravity separation of flotation tailing providing a concentrate of heavy minerals, a source of valuable rare elements, are presented. It was also found that additional aeration of the stream of the transported flotation tailing slurry provides mineralized froth containing bituminous matter rich in significant amount of copper. This quasi-flotation operation for the flowing tailing pulp can be performed in a simple intermediate tank while overflowing froth is directed to a hydrometallurgical processing and it can significantly reduce total loss of copper in the disposed tailings.