

Odpady wydobywcze w gospodarce obiegu zamkniętego

Mining waste in the circular economy



Mgr Izabela Kotarska^{*)}



Mgr inż. Barbara Mizera^{*)}

Treść: Artykuł jest analizą możliwości wdrożenia idei gospodarki obiegu zamkniętego w obszarze wydobywania rud miedzi, a dokładniej - w obszarze postępowania z największymi ilościowo masami materiałów powstających w rezultacie prowadzenia eksploatacji złóż rud miedzi przez KGHM Polska Miedź SA. Przedstawiono w nim założenia i cele gospodarki o obiegu zamkniętym a następnie specyfikę materiałów towarzyszących procesowi wydobywania i wzbogacania rud miedzi, tj: skały płonnej i odpadów ze wzbogacania rud miedzi, wynikającą przede wszystkim z charakteru procesów, w których one powstają oraz wytwarzanych ich ilości. Omówiono własności tych materiałów oraz przedstawiono wdrożone sposoby postępowania z nimi, a także perspektywiczne technologie ich zagospodarowania, opracowane w ramach prac naukowo - badawczych. Z podanych przykładów wynika, że wdrożone metody zagospodarowania skały płonnej mogą być ilustracją i wzorem funkcjonowania gospodarki obiegu zamkniętego (czy też, innymi słowy, w tym przypadku gospodarki bezodpadowej). Natomiast, jeśli chodzi o odpady przerobcze, podkreślono fakt, iż od dziesięcioleci prowadzone są prace badawcze mające na celu poszukiwanie możliwości odzysku jak największej ilości tych odpadów. Tym niemniej - nawet przy hipotetycznym założeniu przewyższenia trudności technicznych związanych z niektórymi metodami odzysku, a także pominięciu wyników ekonomicznych, nie zawsze stanowiących przesłankę prowadzenia procesów odzysku - ilość powstających odpadów przerobczych nie daje możliwości ich wykorzystania w stopniu mogącym wypełnić założenia gospodarki o obiegu zamkniętym. Rozważania te prowadzą do wniosku, że obecnie jedynym realnie możliwym sposobem ich zagospodarowania jest ich bezpieczne dla środowiska składowanie, które to zadanie, przy skali przedsięwzięcia, jest wyzwaniem równie ambitnym.

Abstract: This paper is an analysis of the possibility of the application of the idea of the circular economy in the area of mining waste management. It describes the specificity of the material generated during the mining and the enrichment of copper ore, i.e. waste rock (gangue), tailings.

That specificity results first of all from the character of the processes where the waste are generated and the amount of them. The waste properties, the implemented methods of handling it as well as the prospective technologies of recovery developed in the range of research works have been presented. The presented examples show that the implemented methods of waste rock recovery can be an illustration and a model of the functioning of the circular economy (or in other words for this case wasteless economy). However, as it comes to the flotation tailings the fact has been emphasised that the research studies are being carried out for decades aimed to search a possibility to recover as much waste as possible. However, the amount of generated waste does not give any possibility to use it to the extent that could fulfil the assumptions of the circular economy. Those deliberations lead to the conclusion that at present in reality the only method of that waste management is to deposit it in an environmentally safe way.

Słowa kluczowe:

gospodarka obiegu zamkniętego, skała płonna, odpady ze wzbogacania rud miedzi

Keywords:

circular economy, waste rock, copper ore processing waste

1. Wprowadzenie

Idea gospodarki o obiegu zamkniętym (tzw. *circular economy*) polega na zamknięciu cyklu życia produktu, co oznacza sekwencję: produkcja - użytkowanie - wykorzystanie

odpadu w kolejnym cyklu produkcyjnym (ujęcie zwane „od kołyski do kołyski” - ang. *„from cradle to cradle”*). Istotą tego podejścia jest wykorzystanie odpadów powstałych w cyklu życia produktu i tym samym ograniczenie zużycia surowców, zmniejszenie ilości składowanych odpadów oraz zwiększenie strumienia odpadów wykorzystywanych w ramach odzysku i recyklingu.

* KGHM Cuprum Sp. z o.o. Wrocław

Należy przy tym zaznaczyć, że filozofia gospodarki o obiegu zamkniętym odnosi się do wszystkich etapów życia produktu – od projektowania przez produkcję i konsumpcję, aż do kwestii bezpośrednio związanych z gospodarowaniem powstałymi odpadami. Jeżeli powstaniu odpadów przy pełnej staranności nie udało się zapobiec, założeniem jest pełne wykorzystanie ich potencjału surowcowego, a w dalszej kolejności energetycznego (Hansen i in. 2012, McDonough, Braungart 2002, Stahel 2012).

W obszarze powszechnie użytkowanych dóbr konsumpcyjnych (a w konsekwencji - odpadów komunalnych) nie jest trudno wyobrazić sobie realizację tej idei. Przywykliśmy już do segregowania codziennych odpadów na różne frakcje, uruchamiane są instalacje odzysku tworzyw sztucznych, kompostownie, odzysk złomu metali to oczywistość.

Jednak w przypadku przemysłu, zwłaszcza takiej jego gałęzi jaką jest górnictwo, idea gospodarki o obiegu zamkniętym, mimo niewątpliwie wartości wizerunkowej, jaką ze sobą niesie, może być bardzo trudna do realizacji.

Artykuł jest analizą możliwości wdrożenia idei gospodarki obiegu zamkniętego w obszarze wydobywania rud miedzi, a dokładniej - w obszarze postępowania z największymi ilościowo masami materiałów powstających w rezultacie prowadzenia eksploatacji złóż rud miedzi przez KGHM Polska Miedź SA.

2. Masy skalne i odpady przerobcze z procesu wydobywania rud miedzi

Materiałami odpadowymi powstającymi bezpośrednio w procesie wydobywania kopalni ze złóż oraz ich przeróbki (wzbogacania), są:

- skała płonna,
- odpady z flotacyjnego wzbogacania rud miedzi.

2.1. Skała płonna

Skała płonna wytwarzana w związku z eksploatacją złoża rud miedzi powstaje zarówno podczas prowadzenia robót udostępniających i przygotowawczych, jak i w procesie urabiania złoża rud miedzi. Masy skalne (skała płonna) towarzyszące rudzie miedzi to, z wyjątkiem rozdrobnienia, naturalny element litosfery, zbudowany głównie z piaskowców, dolomitów, anhydrytów, soli kamiennej z przerostami anhydrytów, a także wapieni, łupków i margli. Tworzą go następujące minerały: kalcyt, anhydryt, gips, minerały ilaste, kwarc, syderyt, muskowit, substancje organiczne.

Ilość skały płonnej wytworzonej w wyniku eksploatacji złóż rud miedzi wynosi około 3,5 - 4 mln Mg rok. Ograniczanie ilości wytwarzanej skały płonnej prowadzone jest przez stosowanie, w miarę możliwości, czystego, selektywnego wybierania złoża oraz prowadzenie wyrobisk w sposób ograniczający do minimum przybierki skały płonnej w stropie lub spągu złoża.

2.2. Odpady ze wzbogacania

Ruda miedzi dostarczana z kopalń KGHM Polska Miedź SA wzbogacana jest w procesie flotacji w instalacjach

Oddziału Zakładu Wzbogacania Rud, które znajdują się w sąsiedztwie kopalni, w rejonach Lubin, Polkowice i Rudna.

Poziom okruszczenia polskich rud miedzi nie przekraczający 2% powoduje, że w procesach ich wzbogacania w charakterze odpadów oddziela się około 94% wydobytej masy. Oznacza to, że przy obecnym wydobyciu na poziomie 30 mln Mg/rok wytwarzanych jest ponad 29 mln odpadów flotacyjnych.

Odpady z procesu flotacji są drobno zmieloną skałą płonną zawierającą śladowe ilości minerałów kruszczośnych. Podstawowymi składnikami odpadu są kwarc, dolomit, kalcyt i kaolinit. W odpadach z ZWR Polkowice dominują skały węglanowe (głównie dolomit), a w odpadach z ZWR Lubin i Rudna - piaskowiec. Różnice składu odpadów flotacyjnych z poszczególnych zakładów wzbogacania wynikają z różnego udziału tych minerałów w przerabianej rudzie. Poza składnikami podstawowymi odpady zawierają niewielkie ilości związków metali oraz węgla organicznego występującego w postaci związków bitumicznych w okruszczonych skałach łupkowych. Metale w odpadach flotacyjnych występują w postaci związków trudno rozpuszczalnych w wodzie, generalnie w postaci siarczków, siarkosoli, arsenków, metale szlachetne częściowo również w postaci rodzimej. Skład mineralogiczny odpadów flotacyjnych z poszczególnych rejonów wzbogacania podano w tabeli 1.

Tabela 1. Orientacyjny skład mineralogiczny odpadów flotacyjnych (Badura i in. 2007, Kotarska i in. 2007)

Table 1. Average mineral composition of flotation tailings (Badura i in. 2007, Kotarska i in. 2007)

Minerał	Rejon ZWR / Zawartość [%]	
	Lubin, Rudna	Polkowice
Dolomit	29,95	58,3
Kwarc	44,46	6,85
Kalcyt	7,70	7,82
Kaolinit	4,76	3,29
Gips	1,65	4,70
Biotyt	3,30	1,12
Skalenie	1,35	0,82
Substancje ilasto-węgliste	8,35	4,78
Minerały kruszczowe	1,10	1,32

Cechą charakterystyczną rud wydobywanych i przerabianych w zakładach wzbogacania jest zasadowy charakter skały płonnej wynikający z obecności dolomitu i kalcytu. Obecność minerałów węglanowych zapobiega zjawisku zakwaszenia środowiska i utleniania siarczków, a tym samym zapobiega ługowaniu metali z odpadów zarówno w trakcie przerobu rud, jak i podczas transportu.

Ze względu na sposób prowadzenia wzbogacania, odpad ma postać drobnego szlamu, w którym przeważającą część masy stanowi frakcja o średnicy ziarn poniżej 75 µm, a wielkość ziarna ciała stałego generalnie nie przekracza 2 µm – tabela 2.

Tabela 2. Skład ziarnowy odpadów flotacyjnych z przerobu rud miedzi (Kotarska i in. 2007, Kotarska 2013)

Table 2. Average grain size composition of flotation tailings from individual concentrators (Kotarska i in. 2007, Kotarska 2013)

ZWR	Uziarnienie (udział %)				
	> 0,2 mm	0,2 – 0,1 mm	0,1 – 0,075 mm	0,075 – 0,045 mm	< 0,045 mm
ZWR Polkowice	-	-	1,87	8,29	89,84
ZWR Lubin	3,4	23,1	23,1	11,7	38,7
ZWR Rudna	5,4	31,1	8,7	7,2	47,6

3. Sposób postępowania z odpadami wydobywczymi

Skąła płonna zagospodarowywana jest w procesach odzysku pod ziemią, w technikach górniczych, to jest:

- do wypełniania wyeksploatowanych wyrobisk górniczych i pustek poeksploatacyjnych, w charakterze materiału do tzw. podsadzki suchej,
- do wypełniania zrobów, które powstały w wyniku eksploatacji jako materiał doszczelniający,
- do wypełniania wyrobisk górniczych wymagających wzmocnień i stabilizacji, w tym:
 - pod stopy podporowe jako podsypka,
 - do stosów podporowych jako materiał wypełniający,
- do utwardzenia dróg na dole kopalni.

Jednym słowem, odpadowa skąła płonna zostaje na dole w kopalni. Wykorzystanie skąły płonnej w podziemnych technikach górniczych jest najbardziej korzystnym, w aspekcie oddziaływania na środowisko, sposobem jej zagospodarowania, który pozwala na wyeliminowanie jej negatywnego oddziaływania na środowisko przyrodnicze, a jednocześnie wpływa na ograniczenie bezpośrednich skutków eksploatacji na powierzchni terenu, związanych z powstawaniem pustek poeksploatacyjnych.

Odpady przeróbcze z procesu wzbogacania rud miedzi kierowane są do jedynego czynnego obiektu unieszkodliwiania (OUOW „Żelazny Most”), położonego w sąsiedztwie instalacji.

Odpady dostarczane są na składowisko rurociągami w postaci zawiesiny w wodzie technologicznej. Zawiesina rozprzodzana jest rurociągami biegnącymi po zaporze składowiska i wprowadzana do jego wnętrza. Odpady o większym uziarnieniu zrzucają przy zaporze, a odpady drobne do wnętrza. Ziarna odpadów sedymentują tworząc plaże, a woda technologiczna, wraz z drobnymi frakcjami odpadów odpływa do centrum składowiska, tworząc akwen.

Aktualnie głównym kierunkiem w odzyskiwaniu odpadów flotacyjnych jest ich wykorzystywanie w miejscu składowania: w obiekcie unieszkodliwiania odpadów z flotacji: gruboziarniste odpady przeróbcze są wykorzystywane do budowy zapór obiektu, a drobnoziarniste wykorzystywane są jako środek uszczelniający dno zbiornika wodnego w obiekcie. W ten sposób wykorzystywanych jest około 18 mln Mg odpadów przeróbczych rocznie. Ilość unieszkodliwianych

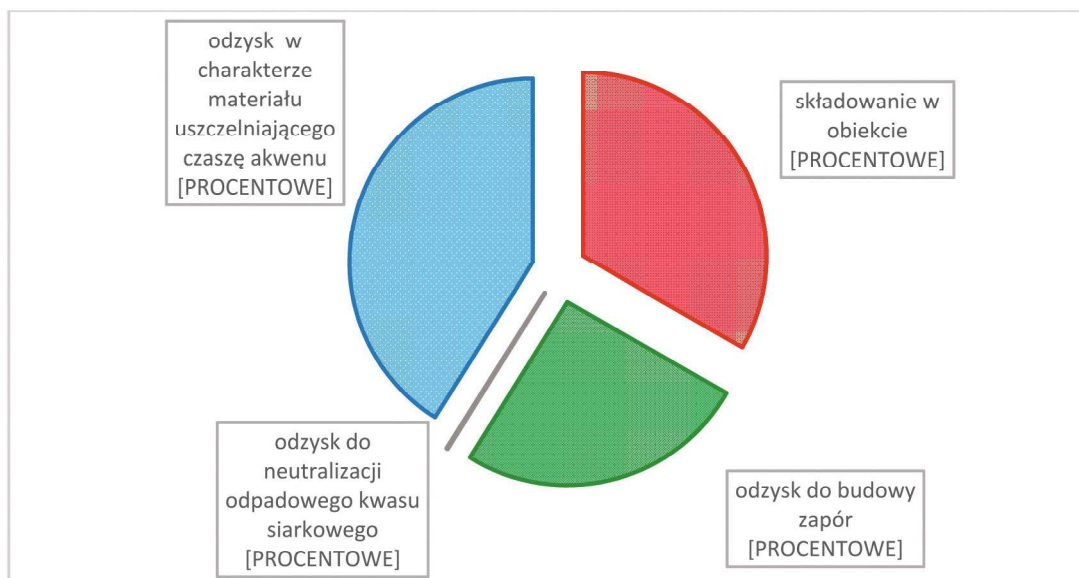
(składowanych w OUOW) odpadów wynosi ok. 9 milionów Mg rocznie. Pewna ilość (ok. 40 000 Mg rocznie) odpadów flotacyjnych wykorzystywana jest w procesie neutralizacji kwasu siarkowego (McDonough, Braungart 2002).

W praktyce nie ma innych metod odzyskiwania odpadów flotacyjnych. Zatem w rzeczywistości odpady nie są wykorzystywane w nowych przedsięwzięciach, nie są alternatywą dla naturalnych materiałów mineralnych.

4. Możliwości i kierunki zagospodarowania odpadów przeróbczych

Działania zmierzające do opracowania efektywnej technologii odzysku odpadów z flotacji w innych procesach są prowadzone praktycznie od początku funkcjonowania przemysłu miedziowego w Polsce. Opracowane zostały technologie i przeprowadzone próby wykorzystania odpadów:

- do produkcji materiału budowlanego - opracowano polimeryczny materiał budowlany na bazie siarki odpadowej i odpadów z flotacji rud miedzi, (Patent PL 215185). Udział odpadu z flotacji w mieszaninie stanowi 25 % wagowych;
- do produkcji spoiwa mineralnego – odpady po procesie prażenia w temperaturze 750°C do 850°C wykazują własności wiążące, porównywalne z własnościami wapna hydraulicznego, (Rajczyk 2017),
- do produkcji betonu komórkowego i pianobetonu - do produkcji betonu komórkowego nadają się odpady piaskowcowe, do pianobetonu odpady węglanowe, uzyskane produkty spełniały wymagania norm (Łuszczkiewicz 2000);
- do produkcji kruszyw porowatych – wykazano możliwość produkcji z odpadów kruszyw metodą aglomeracji po korekcie składu krzemionką i szlamem gliniastym (Kudęłko Nitek 2011),
- do produkcji betonitów górniczych - mogą zostać zastosowane odpady flotacyjne po zmieszaniu z popiołami paleniskowymi, uzyskano parametry wytrzymałościowe zbliżone do wyrobów z materiałów naturalnych,
- w budownictwie drogowym - przeprowadzono próby zastosowania odpadów jako mączki mineralnej do mas bitumicznych, do doziarniania warstwy gruntu stabilizowanej cementem, jako dodatku do warstw mrozoodpornych



Rys. 1. Zagospodarowanie odpadów z flotacji rud miedzi

Fig. 1. Flotation tailings management – current state

nych, do budowy nasypów, do wbudowania w podłoża dróg - badania wykazały dobrą przydatność odpadów jako wypełniacza asfaltu oraz możliwość zastosowania względnie niewielkich dodatków odpadów w przypadku pozostałych kierunków (Sobczyk i in. 2004),

- w technologiach górniczych - do zestalania zrobów zawałowych.

Najciekawszymi rozpoznanymi kierunkami odzysku odpadu - z powodu możliwej do wykorzystania ilości - były możliwości zastosowania odpadów z flotacji jako materiału do podszadania zrobów oraz w drogownictwie.

W pracy badawczej (Dębkowski i in. 2007), określono kryteria warunkujące możliwości lokowania odpadów w zrobach oraz pojemności zrobów przydatnych do wykorzystania w lokowaniu odpadów flotacyjnych.

W wyniku przeprowadzonych analiz i obliczeń oszacowano, że:

- w przypadku starych zrobów (to jest pustek powstałych w wyniku eksploatacji zrealizowanej w ostatnich 20 latach) pojemność zrobów najbardziej przydatnych do lokowania odpadów można oszacować na 9,3 mln m³,
- w przypadku pustek poeksploatacyjnych, których powstanie przewidziano w wyniku wydobycia prognozowanego do roku 2055, pojemność ta kształtować się będzie w granicach od 7,83 mln m³/rok do 5,22 mln m³/rok (po roku 2035).

Z uwagi na konwergencję wyrobisk poeksploatacyjnych przyjęto, że maksymalny współczynnik wykorzystania pustek poeksploatacyjnych wynosi 65%. Stwarza to perspektywę zagospodarowania (w optymalnym układzie) około 30% rocznej ilości powstających odpadów, przy czym należy mieć na uwadze, że przedsięwzięcie pod względem ekonomicznym jest przedsięwzięciem nieefektywnym.

Kolejnym kierunkiem, dającym szansę wykorzystania znacznych ilości odpadów z flotacji jest drogownictwo. W tabeli 3 wskazano ilości odpadów z flotacji, które można by wykorzystać na różnych etapach budowy dróg (Sobczyk i in. 2004).

Analizując program budowy dróg w województwie dolnośląskim (Ministry ... 2017), oszacowano, że teoretycznie - przy maksymalnym wykorzystaniu odpadów z flotacji w tym procesie (i przy wyeliminowaniu producentów konkurencyjnych

Tabela 3. Zastosowanie odpadów z flotacji w budownictwie drogowym

Table 3. Use of waste from the flotation process in road engineering

Rodzaj robót drogowych	Potrzebna ilość odpadów
Nasypy drogowe 12 m wysokości, 1 mb długości, droga III klasy	18 Mg
Nasypy drogowe 1 m wysokości, 1 mb długości autostrady	30 Mg
Warstwa ulepszona podłoża, stabilizacja emulsją - 0,2 m grubości	0,38 Mg/m ²
Podbudowy stabilizowane mechanicznie - 0,2 m	0,030 Mg/m ²
Masa mineralno - asfaltowa na podbudowy dla średniego ruchu, 0,10 m grubości	0,100 Mg/m ²
Beton asfaltowy - 0,10 m grubości	0,070 Mg/m ²
Zapotrzebowanie odpadów na 1 km drogi III klasy do nasypu o wysokości 1 m oraz w konstrukcji nawierzchni dla ruchu bardzo ciężkiego	21 400 Mg
Zapotrzebowanie odpadów do budowy 1 km autostrady z nasypem 1 m wysokości	40 200 Mg

materiałów) - możliwe wykorzystanie odpadu kształtuje się na poziomie 0,5 - 1 mln Mg/rok i tym samym nie rozwiązuje problemu zagospodarowania odpadów przerobczych, wytwarzanych - przypomnijmy - w ilości blisko 30 mln Mg/rok. Należy przy tym zauważyć, że jeśli chodzi o drogownictwo, to wykorzystanie odpadów w charakterze substytutów surowców mineralnych znacznie utrudnia zawartość wody; przed zastosowaniem odpady trzeba by wysuszyć, co znacznie zwiększa koszty i czyni proces odzysku nieoptymalnym.

Generalnie, odpady flotacyjne jako drobno zmielony materiał skalny mogą być wykorzystywane wszędzie tam, gdzie materiał tego rodzaju jest stosowany w charakterze materiału konstrukcyjnego lub wypełniacza. Przy czym, nawet przy optymalnym wdrożeniu technologii odzysku, możliwość wykorzystania odpadu nie przekracza 30% ilości wytwarzanej rocznie. Zatem - ani aktualnie, ani w perspektywie - nie ma alternatywy dla zagospodarowania odpadów w obiekcie unieszkodliwiania.

Nie bez znaczenia jest w tej sytuacji fakt, iż jest to obecnie najtańszy sposób postępowania z odpadami, gdyż - mimo koniecznych, niebagatelnych nakładów na utrzymanie obiektu, za składowanie odpadów wydobywczych, zgodnie z prawem, ich posiadacz nie wnosi żadnej opłaty.

5. Wnioski

Z przeglądu aktualnego stanu zagospodarowania odpadów wydobywczych oraz rezultatów przykładowych prac badawczych związanych z możliwym ich wykorzystaniem wynika, że:

- wdrożone metody zagospodarowania skały płonnej mogą być ilustracją i wzorem funkcjonowania gospodarki obiegu zamkniętego (czy też, innymi słowy w tym przypadku, gospodarki bezodpadowej),
- natomiast w przypadku odpadów przerobczych, nawet przy hipotetycznym założeniu przewyższenia trudności technicznych związanych z niektórymi metodami odzysku, a także przy pominięciu wyników ekonomicznych, nie zawsze stanowiących przesłankę prowadzenia wykorzystania odpadów - ilość powstających odpadów przerobczych nie daje możliwości ich wykorzystania w stopniu mogącym wypełnić założenia gospodarki obiegu zamkniętego. Wobec powyższego, obecnie jedynym realnie możliwym sposobem ich zagospodarowania jest ich bezpieczne dla środowiska składowanie, które to zadanie, przy skali przedsięwzięcia, jest wyzwaniem równie ambitnym.

Zatem w rzeczywistości odpady przerobcze nie są wykorzystywane w nowych przedsięwzięciach, nie są alternatywą dla naturalnych materiałów mineralnych:

- nie z powodu braku aktywności ich wytwórcy na tym polu - KGHM Polska Miedź SA angażuje znaczne środki i czynnie poszukuje alternatywnych możliwości wykorzystania odpadów z flotacji,
- nie z powodu składu i własności odpadu - jest to materiał, którego własności umożliwiają wykorzystanie go w większości obszarów, w których stosowane są materiały mineralne,
- jak również nie z powodu braku innowacyjnych rozwiązań w obszarze wykorzystania materiału - wśród opracowanych metod odzysku są również metody bardzo nowatorskie - praktycznie każdego roku powstaje - potwierdzona patentem - nowa metoda wykorzystania odpadów z flotacji,
- lecz z powodu skali, z jaką mamy do czynienia; każdego roku powstaje blisko 30 mln Mg odpadów z flotacji i to

jest istotą i przyczyną takiego, a nie innego postępowania z odpadami przerobczymi.

Tak więc należy zaakceptować fakt, że nie zawsze możliwe jest podążanie za nowymi trendami w gospodarce - nawet najszlachetniejszymi. I, jak pokazuje praktyka (Dold 2008, Dudka, Domy 1995, Mining ... 2013, Patent PL 222233, Stefanek, Serwicki 2014, Stefaniak i in. 2017) rozwiązania wdrożone lata temu często sprawdzają się najlepiej. Postępowanie z odpadami przerobczymi w KGHM Polska Miedź SA stanowi zatem realizację innej, równie istotnej idei gospodarki - to jest, działania zgodnie z zasadami najlepszych dostępnych technik (BAT).

Literatura

- BADURA J. i inni. 2007 - Monografia KGHM Polska Miedź SA. Wydawca – KGHM CUPRUM Sp. z o.o. CBR, Wrocław. Część 5, Składowiska odpadów z flotacji rud miedzi, Rozdział 5.3 Składowisko Żelazny Most, s. 603-609.
- DĘBKOWSKI R., SZCZAP J., KAZIENKO J. 2007 - O możliwości zagospodarowania odpadów flotacji w technologiach górniczych kopalń LGOM (On possibilities of utilization of flotation wastes in mining technologies in Legnica-Głogów Copper Region mines), [in:] Sustainable utilization of resources in Europe – raw materials from wastes. Publishing House of the Mineral&Energy Economy Research Institute, Kraków, Poland (in Polish).
- DOLD B. 2008 - Sustainability in metal mining: from exploration, over processing to mine waste management, *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, ISSN: 1569-1705 (Print) 1572.
- DUDKA S., DOMY C.A. 1995 - Environmental Impacts of Metal Ore Mining and Processing: A Review, Vol. 26 No. 3, p. 590-602.
- HANSEN K., BRAUNGART M., MULHALL D. 2012 - "Resource Repletion", in Meyers, Robert A. (ed.), *The Springer Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*, Springer Reference, Berlin, Heidelberg.
- KOTARSKA I. i inni. 2007 - Monografia KGHM Polska Miedź SA. Wydawca – KGHM CUPRUM Sp. z o.o. CBR, Wrocław. Część 7, Ochrona Środowiska, Rozdział 7.6 Gospodarowanie odpadami przemysłowymi, str.1005.
- KOTARSKA I. 2013 - State Policy and Legal Framework as Promoting and Limiting Factors of Mining Waste Management in Poland, [in:] 13th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2013, book 5, vol. 2, pp. 735–742.
- KUDELKO J., NITEK D. 2011 - Using wastes from mining activity as a substitute for raw materials (in Polish), *Cuprum Ore Mining Scientific and Technical Magazine* No.3, pp. 51 – 63.
- ŁUSZCZKIEWICZ A. 2000 - Koncepcje wykorzystania odpadów flotacyjnych z przeróbki rud miedzi w regionie legnicko-głogowskim, IM, styczeń – czerwiec, s. 25.
- MCDONOUGH W., BRAUNGART M. 2002 - *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*, New York: North Point Press.
- Mining** Waste Management in the Baltic Sea Region (2013) MINNOVATION project ed. Marek Cała, Kraków.
- Ministry** of Infrastructure, Poland, (2017) Plan of national roads development for 2014 – 2023.
- Patent** PL 215185 Sposób wytwarzania polimerycznego materiału budowlanego na bazie siarki odpadowej i odpadów flotacyjnych z flotacji rudy miedzi, W.Mysłowski United States Patent 215185 USA.
- Patent** PL 222233. 2015 - Sposób otrzymywania mineralnego materiału wiążącego z odpadów flotacyjnych rud miedzi. Katarzyna Rajczyk, KGHM METRACO SA.
- RAJCZYK K. 2017 - Spoiwo mineralne uzyskane w wyniku prażenia odpadów flotacyjnych powstających w KGHM Polska Miedź SA. *Cement, Wapno, Beton* 22/84 nr 3, str. 239 – 248.
- SOBCZYK D., SOCHA D., WIĘCKOWSKA J. 2004 - Wykorzystanie odpadów poflotacyjnych w drogownictwie, *Prace naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej*, Vol. 107, nr 39.
- STAHEL W. 2012 - "Service, Performance or Goods". *Circular Economy Network*, Ellen MacArthur Foundation, (uploaded 1 June 2012) (<http://de.slideshare.net/CircularEconomy/service-performance-or-goods-by-walter-stahel>)
- STEFANEK P., SERWICKI A. 2014 - Reduction of environmental impact of Żelazny Most Tailings Storage Facility (in Polish), *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie*, No.6 (238)/2014 pp.36–42.
- STEFANIAK K., WRÓŻYŃSKA M., KRÓL M. 2017 - Application of post-flotation tailings in hydroengineering structures, *JEE*, Volume 18, Issue 1, pages 113–118.

Artykuł wpłynął do redakcji – październik 2018
Artykuł akceptowano do druku 17.01.2019