



Przeróbka surowców na Wydziale Górnictwa i Geoinżynierii Akademii Górniczo-Hutniczej

Processing of raw materials at the Faculty of Mining and Geoen지니어ing of the AGH University of Science and Technology

Prof. dr hab. inż. Barbara Tora^{*)}

Treść: 20 października 1919 r. Naczelnik Państwa Marszałek Józef Piłsudski dokonał uroczystego otwarcia Akademii Górniczej w Krakowie. W 2019 roku AGH obchodziła uroczyste jubileusz stulecia. Z tej okazji Przegląd Górniczy poświęcił dwa numery (nr 1163, październik 2019 i nr 1164, listopad 2019) historii Wydziału Górnictwa i Geoinżynierii. Przedstawiono osiągnięcia naukowo-badawcze Katedr: Inżynierii Górniczej i Bezpieczeństwa Pracy, Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki oraz Ekonomiki i Zarządzania w Przemysle. W niniejszym artykule przedstawiono historię specjalności przeróbka surowców na Wydziale Górnictwa i Geoinżynierii oraz wybrane osiągnięcia naukowo-badawcze Katedry Inżynierii Środowiska.

Abstract: On October 20, 1919, Marshal Józef Piłsudski solemnly opened the Akademia Górnicza (current name - AGH University of Science and Technology in Krakow). In 2019, AGH celebrated the jubilee of the century. On this occasion, Polish Mining Review (Przegląd Górniczy) devoted two issues (No. 1163, October 2019 and No. 1164, November 2019) to the history of the Faculty of Mining and Geoen지니어ing. The scientific and research achievements of the Departments were presented: Mining Engineering and Occupational Safety, Geomechanics, Construction and Geotechnics as well as Economics and Management in Industry. This article presents the history of the specialty of raw materials processing at the Faculty of Mining and Geoen지니어ing and selected scientific and research achievements of the Department of Environmental Engineering

Słowa kluczowe:

przeróbka surowców, Katedra Inżynierii Środowiska AGH, prace badawcze

Key words:

mineral processing, Department of Environmental Engineering AGH UST, research works

1. Wprowadzenie

20 października 1919 r. Naczelnik Państwa Marszałek Józef Piłsudski dokonał uroczystego otwarcia Akademii Górniczej w Krakowie. W 2019 roku AGH obchodziła uroczyste jubileusz stulecia. Z tej okazji Przegląd Górniczy poświęcił dwa numery (nr 1163, październik 2019 i nr 1164, listopad 2019) historii Wydziału Górnictwa i Geoinżynierii. Przedstawiono osiągnięcia naukowo-badawcze Katedr: Inżynierii Górniczej i Bezpieczeństwa Pracy, Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki oraz Ekonomiki i Zarządzania w Przemysle. Niniejszy artykuł dotyczy specjalności przeróbka surowców prowadzonej na Wydziale Górnictwa AGH.

Przedmiot nauczania *Przeróbka mechaniczna węgla i rud* znalazł się w programie nauczania Akademii Górniczej prawie sto lat temu - w 1922 r - jako jeden z dwudziestu czterech przedmiotów objętych egzaminami wymaganymi do uzyskania dyplomu inżyniera na Wydziale Górnictwa i Hutnictwa (*Czterdziestolecie ... 1992*, <http://www.kisips.agh.edu.pl/historia>).

Twórcą koncepcji prowadzenia zajęć z tego przedmiotu był Prof. zw. inż. Henryk Czeczott, wybitny specjalista w dziedzinie aerologii górniczej i przeróbki. Przed roz-

poczęciem pracy w Akademii Górniczej w Krakowie, był profesorem Instytutu Górniczego w Petersburgu i głównym założycielem Instytutu Mechanobr. Na prośbę Komitetu Organizacyjnego Akademii Górniczej, kierowanego przez prof. Józefa Morozewicza, w 1922 roku wrócił do Polski i rozpoczął pracę w nowo powołanej uczelni o profilu górniczym. W roku akademickim 1925/26 prof. Czeczott został dziekanem Wydziału Górniczego.

Przeróbka podlegała wówczas Katedrze Górnictwa I i mieściła się w budynku przy ul. Krzemionki 11. W tym budynku prof. Czeczott założył laboratorium przeróbki.

Po śmierci prof. Czeczotta, w 1928 wykłady z przeróbki przejął pierwszy w Polsce doktor górnictwa Witold Budryk. W roku 1931/32 Witold Budryk został dyrektorem Zakładu Górnictwa I i Przeróbki Mechanicznej.

W ciągu pięciu lat utworzono specjalne laboratoria dla przeróbki: pracownię rozdrabniania, laboratorium analityczne, laboratorium flotacyjne, pracownię wzbogacania suchego, pracownię wzbogacania mokrego.

W roku akademickim 1933/34 powstał (wówczas jedyny w Polsce) oddzielny Zakład Przeróbki Mechanicznej. W roku akademickim 1936/37 uruchomiono laboratorium analityczne do badań rud i węgla. Zakład rozwinął działalność naukową nad możliwością zastosowania nowoczesnych metod wzbogacania w czterech kopalniach Zagłębia Górnośląskiego

^{*)} AGH, Akademia Górniczo-Hutnicza, WGiG

i Dąbrowskiego. Powadzono badania nad polepszeniem właściwości węgla do procesu koksowania poprzez optymalizację procesu wzbogacania flotacyjnego, a także nad wzbogacaniem polskich fosforytów oraz rud żelaza i rud cynkowo-olowiowych.

Po wojnie, w roku 1950/51, Zakład Górnictwa i Przeróbki Mechanicznej działający pod kierownictwem prof. Witolda Budryka został przeniesiony z Krzemionek do nowo wybudowanego budynku A-1, gdzie znajduje się do dzisiaj. W roku akademickim 1952/53 utworzono na Wydziale Górniczym specjalizację Przeróbka Mechaniczna Kopalni pod kierownictwem zastępcy profesora mgr. inż. Włodzimierza Stępińskiego, wybitnego specjalisty w dziedzinie wzbogacania rud cynkowo-olowiowych. Prof. Stępiński był rzeczywistym, głównym twórcą specjalności Przeróbka Mechaniczna Kopalni na Wydziale Górniczym AGH. W tamtym czasie rozpoczęli pracę późniejsi długoletni pracownicy i profesorowie: mgr inż. Władysław Krukowiecki, prof. dr hab. Władysław Pilch, prof. dr hab. inż. Wiktor Pudło, prof. dr hab. inż. Kazimierz Sztaba, prof. dr hab. inż. Józef Stachurski, doc. inż. Wiesław Długosz, doc. dr hab. inż. Zbigniew Michałek.

W roku akademickim 1969/70 w wyniku wprowadzenia nowej struktury uczelni wyższych w miejsce Katedry powołano Instytut Przeróbki Surowców Mineralnych. Kolejna zmiana organizacyjna nastąpiła w 1993 r. Instytut zostaje Zakładem Przeróbki Kopalni, Ochrony Środowiska i Utylizacji Odpadów. Problematyka gospodarki odpadami ma istotne znaczenie przy tworzeniu na Wydziale nowego kierunku studiów: inżynieria środowiska (rok 1995).

Dyrektorem Instytutu Przeróbki Surowców Mineralnych został kierownik Katedry, już prof. nadzw. dr hab. inż. Kazimierz Sztaba, który wzbogacał jej profil zawodowy, powiększając równocześnie obsadę personalną o matematyków, fizyków, chemików i biologów. Instytut składa się wówczas z pięciu zakładów. Prof. dr hab. inż. Kazimierz Sztaba w latach 1969–1972 pełni równocześnie funkcję Prorektora AGH ds. Kształcenia Kadr. Instytut Przeróbki Surowców Mineralnych brał aktywny udział w pracach badawczych na rzecz dynamicznie rozwijającego się polskiego górnictwa, współpracując z różnymi instytucjami do tego powołanymi. Współpraca ta owocuje dużą liczbą publikacji i referatów na konferencjach krajowych i międzynarodowych.

W roku 1969 prof. zw. dr hab. inż. Kazimierz Sztaba zorganizował, jako jedno z pierwszych na Uczelni, Studium Doktoranckie „Przeróbka Surowców Mineralnych” oraz studia podyplomowe „Przeróbka Surowców Mineralnych” – jedynych w tym okresie w kraju w celu kształcenia młodej kadry niebędącej absolwentami wydziału.

W katedrze prowadzono prace badawcze dotyczące kompleksowego wykorzystania surowców mineralnych, odsiarczania węgla, szeroko pojętej problematyki klasyfikacji ziarnowej, przesiewania, a także identyfikacji – oceny właściwości ziaren.

Na początku lat 70. ubiegłego wieku zostało zorganizowane laboratorium mikrobiologiczne. Dzięki badaniom z tego zakresu nastąpiło wprowadzenie metod biotechnologicznych do przeróbki surowców mineralnych.

O bardzo aktywnej działalności naukowej katedry może świadczyć pozyskiwanie wielu projektów badawczych. Efektem m.in. tych prac było opublikowanie kilkudziesięciu monografii i publikowanie rocznie przez pracowników kilkudziesięciu artykułów rocznie w znaczących wydawnictwach naukowych, a także udział pracowników w międzynarodowych kongresach przeróbki Surowców (IMPC), Przeróbki Węgla (ICPC) oraz konferencjach międzynarodowych i krajowych. Zakład był organizatorem konferencji przeróbki surowców (MEC). Zakład poszerza tematykę badawczą, zmienia profil dydaktyczny.

W 1997 Uczelnia wróciła do tradycji akademickiej i zakład zostaje przekształcony w Katedrę Przeróbki Kopalni Ochrony Środowiska i Utylizacji Odpadów. Katedra wspólnie z Katedrą Ekologii Terenów Przemysłowych (utworzoną w 1998 roku) realizuje dydaktykę na kierunku Inżynieria Środowiska. W roku 2010 obie jednostki zostają połączone, tworząc Katedrę Inżynierii Środowiska i Przeróbki Surowców. Jej kierownikiem zostaje prof. dr hab. inż. Maciej Mazurkiewicz. 1 lipca 2019 roku do katedry włączono zespoły wentylacji i klimatyzacji oraz rekultywacji terenów zdegradowanych, tworząc Katedrę Inżynierii Środowiska.

Tematyka prac prowadzonych w katedrze została poszerzona o zagadnienia odzysku odpadów w górnictwie, podziemnego składowania odpadów niebezpiecznych, pozagórniczego wykorzystania odpadów przemysłowych i gospodarki odpadami komunalnymi. Rozpoczęto analizę problematyki sekwestracji CO₂, prace nad odzyskiem i unieszkodliwianiem odpadów ze spalarni odpadów niebezpiecznych, podjęto problematykę hydrologiczną, zagadnienia zarządzania odpadami komunalnymi, a także ekologii terenów przemysłowych, edukacji ekologicznej, statystycznego opracowania wyników badań środowiskowych oraz metrologii i informatyki w inżynierii środowiska.

2. Działalność naukowa

Obecny zakres działalności Katedry obejmuje zarówno zagadnienia związane z przeróbką kopalni i innych surowców, jak również szeroko rozumianej inżynierii środowiska. Wśród tematów realizowanych w Katedrze warto wyróżnić następujące zagadnienia tematyczne:

- Badania zjawisk podstawowych zachodzących w układach wodnych wieloskładnikowych
- Metody wydzielania i koncentrowania składników cennych lub toksycznych z wód i ścieków
- Określenie oddziaływań na granicach międzyfazowych w układach flotacyjnych
- Dobór nowych reagentów w procesach wzbogacania surowców mineralnych
- Badania podstawowe i technologiczne procesów klasyfikacji i rozdrabniania surowców mineralnych
- Zagospodarowanie odpadów
- Badania w zakresie identyfikacji technologicznej procesów flotacji
- Modelowanie procesów przeróbczych przy pomocy różnych metod modelowania
- Rola dokładności pomiarów, kwalifikacji danych oraz precyzji prognoz (przewidywań)
- Badania nad rozdziałem składników deterministycznych i losowych w przebiegu procesów oraz nowe techniki stochastycznego opisu procesów przeróbczych i materiałów uziarnionych
- Modelowanie procesów przeróbczych przy pomocy różnych metod modelowania
- Różne metody badawcze składów ziarnowych produktów, głównie drobno uziarnionych
- Wykorzystanie metod rozpoznawania obrazów w identyfikacji właściwości surowców i odpadów
- Badania w zakresie zbierania danych przemysłowych, ich obróbki oraz systemów automatyzacji procesów w zakładach przeróbczych
- Modelowanie procesów przeróbczych przy pomocy różnych metod modelowania
- Badanie powierzchni właściwej materiałów głównie metodami przepływowymi
- Gospodarka odpadami komunalnymi (technologie odzysku i unieszkodliwiania), zarządzanie odpadami (organizacja

systemów zbiórki odpadów w gminie, plany gospodarki odpadami)

- Gospodarka mineralnymi odpadami przemysłowymi (odpady z górnictwa węgla, rud metali nieżelaznych, odpady energetyczne, odpady hutnicze), technologie ich odzysku w różnych przemysłach. Szczególne osiągnięcia posiadamy w zakresie odzysku odpadów w technologiach górniczych
 - Problematyka podziemnych składowisk odpadów niebezpiecznych. Przygotowujemy warunki wydzielania rejonów na składowiska w likwidowanych kopalniach. Problematyka odpadów niebezpiecznych, a w szczególności popiołów ze spalarni odpadów, jest również realizowana z uwzględnieniem ich odzysku
 - Problematyka sekwestracji CO₂. Rozpoczęliśmy ją przy okazji badań nad transportem tego medium do zrobów w kopalniach. Aktualnie kontynuujemy badania mające na celu poszerzenie wiedzy o sekwestracji na drodze karbonatyzacji minerałów i odpadów
 - Formalna i nieformalna edukacja ekologiczna w Polsce i innych krajach UE oraz kreowanie postaw proekologicznych
 - Rewitalizacja terenów poprzemysłowych - szczegółowo badamy stan gleb i szaty roślinnej w rejonach eksploatacji cynku i ołowiu. Nowe formy rewitalizacji
 - Monitoring środowiska z wykorzystaniem metod pomiarów elektronicznych
 - Ocena oddziaływania na środowisko (w szczególności przemysłu wydobywczego-przetwórczego)
 - Zagadnienia odbioru społecznego działań rekultywacyjnych
 - Usprawnienie systemów zarządzania gospodarką odpadami komunalnymi na terenach wiejskich
- Pracownicy naukowcy katedry zajmują się następującą problematyką:
- metody przeróbki i wzbogacania surowców mineralnych, naturalnych i odpadowych,
 - odzysk i unieszkodliwianie odpadów,
 - paliwa alternatywne, w tym odnawialne,
 - rozdrabnianie, klasyfikacja, odwadnianie,
 - gospodarka wodno-ściekowa,
 - badania właściwości surowców mineralnych i odpadowych,
 - modelowanie i optymalizacja procesów w zakładach przerobczych, w tym systemów kontroli i automatyzacji procesów,
 - minimalizacja uciążliwości oddziaływania przemysłu wydobywczego na środowisko („czystsza produkcja”),
 - wykonywanie przeglądów ekologicznych instytucji, ocen oddziaływania zakładów i obiektów przemysłowych na środowisko, opracowania planów gospodarki odpadami,
 - odzysk i składowanie odpadów w kopalniach,
 - składowanie odpadów niebezpiecznych w pustkach podziemnych,
 - likwidacja kopalń,
 - zagospodarowanie terenów poprzemysłowych,
 - opracowanie nowych technologii uszlachetniania, recyklingu i utylizacji różnych odpadów,
 - monitoring składowisk odpadów węglowych.

Katedra współpracuje ze wszystkimi znaczącymi jednostkami przemysłowymi w branży surowcowej, między innymi: KGHM Polska Miedź SA w Lubinie, ZGH „Bolesław” SA, Jastrzębska Spółka Węglowa SA, Lubelski Węgiel „Bogdanka” SA w Puchaczowie, Polska Grupa Górnicza SA w Katowicach, PG „Silesia” Sp. z o.o. w Czechowicach-Dziedzicach, Famur SA w Katowicach, Comex SA, a także szkołami wyższymi: Politechnika Śląska w Gliwicach, Politechnika Wroclawska we Wrocławiu, VSB (Technical University) w Ostrawie i inne.

Katedra współpracuje także z zakładami przemysłu surowców skalnych i ceramicznych, m.in.: Kopalnią Wapienia „Czatkowice”, Kopalnią Porfiru i Diabazu w Krzeszowicach, Kopalniami Surowców Mineralnych „Surmin-Kaolin” SA w Nowogrodzcu oraz „Ekoceramika” Sp. z o.o. w Bolesławcu

Katedra współpracuje ponadto z innymi podmiotami przemysłu surowcowego oraz samorządu terytorialnego, a także branżowymi instytutami naukowo-badawczymi m.in.: Instytutem Metali Nieżelaznych w Gliwicach, Instytutem Mineralnych Materiałów Budowlanych w Krakowie, Głównym Instytutem Górnictwa w Katowicach, Centrum Badawczo-Projektowym Miedzi „Cuprum” we Wrocławiu, Instytutem Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie oraz Centrum Innowacji Technicznych INOVA sp.z o.o. w Lubinie jak i KGHM Ecoren SA w Legnicy.

W ramach prac naukowych oraz wdrożeniowych nawiązano współpracę z takimi przedstawicielami przemysłu, jak:

- CUPRUM Sp. z o.o. we Wrocławiu,
- Konsorcjum Naukowe Grupy Kapitałowej KGHM Polska Miedź SA i CUPRUM Sp. z o.o. Lubin-Wrocław,
- Polska Grupa Górnicza S.A. w Katowicach,
- Rafineria Trzebinia S.A. w Trzebinii,
- Elektrownia Skawina S.A. w Skawinie,
- Jastrzębska Spółka Węglowa (JSW) SA w Jastrzębiu Zdroju,
- Lubelski Węgiel „Bogdanka” S.A. w Puchaczowie,
- PG Silesia w Czechowicach Dziedzicach,
- Tauron Wydobywanie SA w Jaworznie,
- Małopolsko-Podkarpacki Klaster Czystej Energii w Krakowie,
- UTEX w Rybniku,
- Madrohut w Krakowie,
- SARPI w Dąbrowie Górniczej,
- Haldex S.A. w Katowicach,
- Składowiska odpadów i kompostownie w Krakowie i Nowym Sączu.

Wybrane projekty badawcze zrealizowane w Katedrze Inżynierii Środowiska

W wyniku podpisania Porozumienia pomiędzy Narodowym Centrum Badań i Rozwoju (NCBR) a KGHM Polska Miedź S.A. powstało wspólne przedsięwzięcie o nazwie **CuBR**, polegające na wsparciu badań naukowych oraz prac rozwojowych dla przemysłu metali nieżelaznych. **Podstawowym celem** przedsięwzięcia jest podjęcie wspólnych działań na rzecz opracowania i wdrożenia innowacyjnych technologii, urządzeń, materiałów i wyrobów, w celu podniesienia konkurencyjności polskiej branży metali nieżelaznych, jako uczestnika globalnego rynku i gospodarki światowej, co z kolei przyczyni się do osiągnięcia pozycji światowego lidera przez polski przemysł metali nieżelaznych, szczególnie w zakresie produkcji miedzi (**CuBR ... 2019**).



Katedra uczestniczy w realizacji kilku projektów badawczych finansowanych w ramach CuBR, wybrane zakończone projekty przedstawiono poniżej.

A. Opracowanie innowacyjnej technologii wysokoefektywnego wzbogacania rud metali nieżelaznych - High Copper

Liderem projektu jest Politechnika Wroclawska.
Opis zagadnienia badawczego:

Celem zagadnienia było opracowanie innowacyjnej techniki i technologii wysokoefektywnego wzbogacania polimetalicznych rud siarczkowych zawierających minerały ilaste, w oparciu o aktualnie dostępne najnowsze światowe rozwiązania oraz zaprojektowane w ramach projektu nowe urządzenia niezbędne w opracowanych technologiach.

W wyniku realizacji projektu został uzyskany kompletny zestaw informacji i szczegółowych wytycznych dotyczących technologii wzbogacania, niezbędna dokumentacja techniczna instalacji potrzebnych do osiągnięcia celu. Wynikiem realizacji zadania jest również powstanie prototypowej linii technologicznej i prototypów urządzeń wzbogacających, w skali laboratoryjnej oraz w skali pilotażowej, umożliwiającą weryfikację osiągniętych efektów w stosunku do przyjętych założeń, w zależności od wyników realizacji etapów teoretycznych.

Przedmiotowe badania obejmują zarówno nowe technologie wzbogacania oparte na zjawiskach fizycznych i chemicznych, jak również technologie wzbogacania flotacyjnego w oparciu o nowe konstrukcje maszyn dostosowane do charakterystyk nadaw w poszczególnych etapach projektowanej technologii. Dotyczy to zarówno opracowania nowej, kompleksowej technologii wzbogacania, jak również istotnej modyfikacji istniejących układów i urządzeń. Temat nie obejmuje zagadnień związanych z opracowaniem nowych odczynników flotacyjnych, za wyjątkiem sytuacji, gdy zastosowanie nowych odczynników jest wymagane ze względu na zastosowane urządzenia lub układy technologiczne.

Niezbędny dla uzyskania wyższej jakości koncentratów wzrost uwolnienia minerałów miedzionośnych pociąga za sobą zmniejszenie uziarnienia materiału kierowanego do procesu wzbogacania. Ze względu na wielostadialność procesów wzbogacania, nadawy kierowane do poszczególnych stadiów wzbogacania różnią się od siebie (pod kątem uziarnienia i gęstości zawiesiny), co wpływa na znaczne różnice w ich flotowalności i wymagań dotyczących parametrów procesu wzbogacania (gęstość, lepkość, energia kinetyczna niezbędna do zaistnienia aktu flotacji, czas agitacji zbieraczy).

Powoduje to, że stosowana obecnie technologia wzbogacania i maszyny flotacyjne osiągają granicę możliwości optymalizacji i uzyskiwania koncentratów zadowalającej jakości przy zachowaniu akceptowalnego poziomu uzysków i kosztów prowadzenia procesu.

W związku z powyższym niezbędne jest opracowanie nowej technologii umożliwiającej wydajną produkcję koncentratów wysokiej jakości, spełniających wymagania pirometalurgicznej technologii zawiesinowej z nadaw pochodzących z polskich złóż miedzi.

B. Opracowanie efektywnej technologii klasyfikacji granulometrycznej szerokich klas ziarnowych dla materiałów drobno uziarnionych - OPTICLASS

Lider Akademia Górniczo-Hutnicza,

Opis zagadnienia badawczego

Celem zagadnienia, realizowanego w konsorcjum z Instytutem Metali Nieżelaznych w Gliwicach, było opracowanie innowacyjnej technologii wysokoefektywnej klasyfikacji granulometrycznej wodnych zawiesin rozdrobnionego materiału skalnego zawierającego minerały rudne metali nieżelaznych, minerały skałotwórcze, w tym minerały ilaste i zanieczyszczenia wynikające z prowadzonych technologii eksploatacji, transportu i rozdrabniania materiału skalnego.

Zadanie obejmuje opracowanie nowych urządzeń i procesów technologicznych do klasyfikacji zawiesin w obiegach mielenia i wzbogacania rud metali nieżelaznych wraz z układami kontroli i sterowania zapewniających ostrość klasyfikacji na poziomie 85%.

W wyniku realizacji projektu uzyskano kompletny zestaw informacji i szczegółowych wytycznych dotyczących technologii klasyfikacji granulometrycznej, niezbędną dokumentację techniczną wyposażenia techniczno-technologicznego wymagane do osiągnięcia celu. Wynikiem realizacji zadania jest również powstanie prototypowej linii technologicznej i prototypów urządzeń klasyfikujących, w skali laboratoryjnej i w skali pilotażowej, umożliwiającą weryfikację osiągniętych efektów w stosunku do przyjętych założeń, w zależności od wyników realizacji etapów teoretycznych.

Uzasadnienie potrzeby podjęcia badań

Urobek trafiający do Oddziału Zakłady Wzbogacania Rud KGHM Polska Miedź S.A. (O/ZWR) ma zróżnicowany skład, stąd też poszczególne Zakłady Wzbogacania w KGHM posiadają indywidualne ciągi technologiczne zależne od jej składu i własności. Jakość uzyskiwanych koncentratów uzależniona jest zatem od czynników naturalnych oraz techniczno-technologicznych w poszczególnych zakładach.

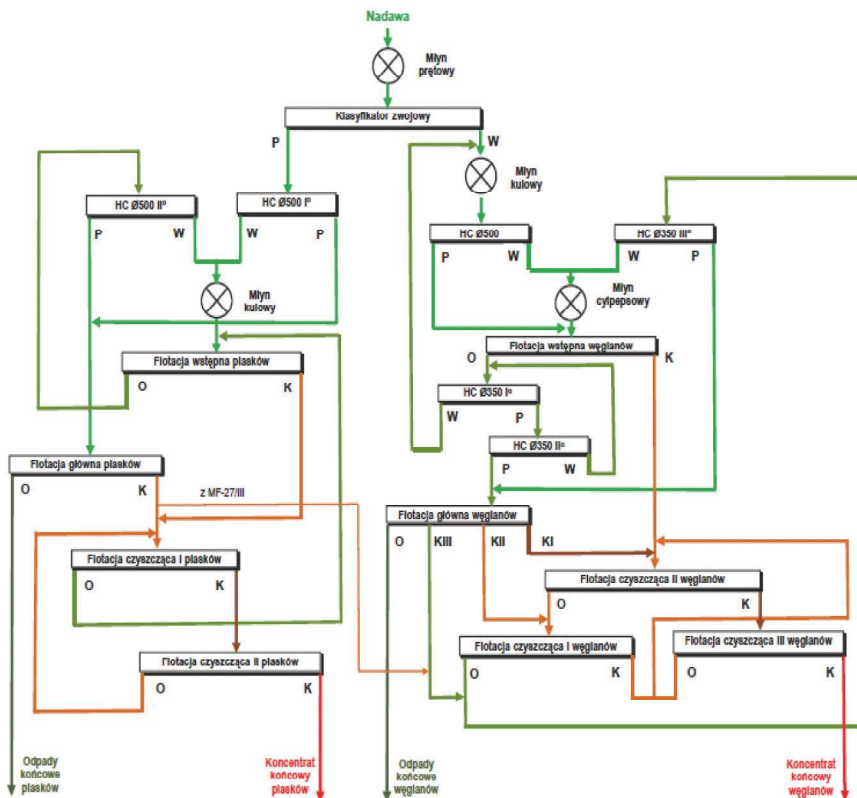
W O/ZWR Rejon Lubin i Rudna technologia wzbogacania dostosowana jest do przerobu urobku piaskowcowo-węglanowego na odrębnych ciągach, natomiast w Rejonie Polkowice do urobku typu łupkowo-węglanowego. Na rysunku 1 przedstawiono uogólniony schemat technologiczny O/ZWR z podziałem na operacje główne, na przykładzie O/ZWR Rejon Polkowice.

Przesiewanie urobku jest pierwszą z operacji przygotowania rudy do mielenia. Przesiewacze pracujące w układach z kruszarkami młotkowymi pozwalają z nadawy o uziarnieniu poniżej 500 mm uzyskać produkt o granulacji poniżej 40 mm. Produkt górny przesiewania jest rozdrabniany w kruszarkach młotkowych (w przypadku Rejonu Lubin także w kruszarce stożkowej), a następnie z produktem dolnym przesiewaczy transportowany jest przenośnikami taśmowymi do kolejnego etapu: mielenia i klasyfikacji (rys.2).

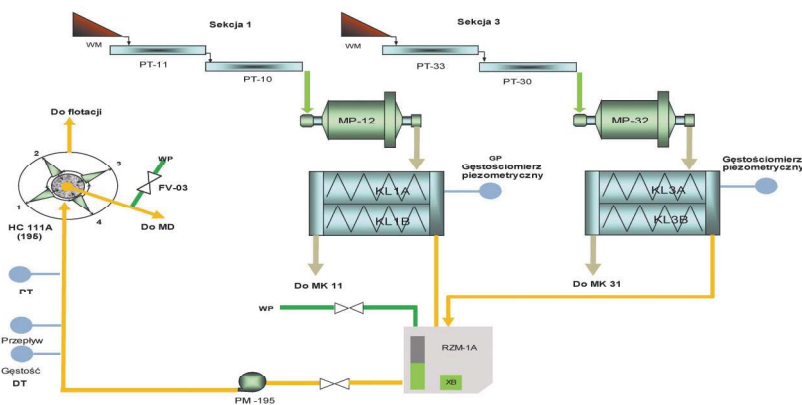
Celem procesów mielenia i klasyfikacji jest maksymalne uwolnienie minerałów miedzionośnych ze zrostów ze skałą płonną. Proces ten odbywa się na mokro, w układach trójstopniowych. Układy mielenia O/ZWR opierają się na energochłonnych urządzeniach. Produkty mielenia poddawane są klasyfikacji w klasyfikatorach spiralnych i hydrocyklonach (rys.3). Przygotowany materiał, o uziarnieniu spełniającym wymogi flotacji, kierowany jest do procesu wzbogacania.

Od czasu powstania Zakładów Wzbogacania w KGHM do roku 2011 układy klasyfikacji pozostawały praktycznie w formie pierwotnej i charakteryzowały się stosunkowo niską ostrością rozdziału produktów. Niska ostrość rozdziału wpływa na tworzenie się dużych zawrotów w obiegach mielenia i domielenia, co powoduje skrócenie czasu mielenia i wzrost energochłonności procesu produkcji. Ostrość klasyfikacji wpływa również na jakość przygotowania materiału do wzbogacania flotacyjnego, jej zwiększenie wpływa na wydłużenie czasu flotacji poprzez zmniejszenie zawrotów i wzrost uzysku miedzi poprzez wzbogacanie materiału lepiej przygotowanego.

KGHM Polska Miedź S.A. aktywnie poszukuje nowych rozwiązań w zakresie klasyfikacji. Obecnie w Spółce zrealizowano projekt modernizacji układów klasyfikacji, w oparciu o wiodące konstrukcje hydrocyklonów, których baterie wyposażone są w układy kontroli i sterowania. Obecnie największym wyzwaniem związanym z tym projektem jest optymalizacja ciągu technologicznego, ze względu na zmiany wprowadzone poprzez wprowadzenie nowych urządzeń. Realizacja projektu pozwala na podniesienie ostrości rozdziału do poziomu około 82% w zmodernizowanych układach, wpływając w sposób istotny na poprawę efektywności ekonomicznej procesu produkcji koncentratów z krajowych rud miedzi w KGHM.



Rys. 1. Uproszczony schemat ideowy przeróbki rud miedzi
 Fig. 1. A simplified scheme of the processing of copper ores



Rys. 2. Układ klasyfikacji wyposażony w hydrocyklon IMN-Zanam
 Fig. 2. Classification system equipped with IMN-Zanam hydrocyclone



Rys. 3. Hydrocyklony o średnicy 500 mm, produkcji IMN - Zanam
 Fig. 3. Hydrocyclones 500 mm, manufactured by IMN - Zanam

Stosowane obecnie urządzenia są stosunkowo wrażliwe zarówno na wahania parametrów reologicznych klasyfikowanych zawieszin, jak również na szerokość zakresów uziarnienia klasyfikowanej nadawy. Powoduje to, że wartość ostrości klasyfikacji na poziomie 82% stanowi górną wartość możliwą do osiągnięcia w warunkach przemysłowych, wartość ta jest również trudna do utrzymania na tym poziomie podczas wahań parametrów nadawy związanych z prowadzonymi procesami rozdrabniania i wzbogacania oraz zmianami charakterystyki urobku poddawanego procesom przeróbczym.

W ramach realizacji Projektu uzyskano:

- Założenia projektowanej wysokoefektywnej technologii klasyfikacji.
- Opis istotnych cech procesów i zasady działania urządzeń w projektowanej technologii w tym:
 - model procesu klasyfikacji zawieszin dla zastosowanej metody rozdziału ziaren o różnych wielkościach, warunków pracy urządzeń klasyfikujących w projektowanej technologii,
 - opracowanie optymalnych parametrów pracy wszystkich elementów technologii i urządzeń w zakresie sposobu i natężenia oddziaływań na ziarna o kształcie regularnym i nieregularnym (metody bezsitowe i sitowe), zakresu wartości elektrycznych, magnetycznych, mechanicznych, niezbędnych do zastosowania w projektowanej technologii;
- W zakresie budowy prototypów urządzeń:
 - opis konstrukcji wszystkich ich elementów z ujęciem kształtów geometrycznych, wymiarów i parametrów materiałowych, niezbędnych do zastosowania w projektowanej technologii,
 - wytyczne do doboru technologii wykonania lub zakupu elementów urządzeń z wyszczególnieniem parametrów zaferowanych odpornych na zużycie materiałów oraz sposobu ich połączenia z pozostałymi elementami urządzeń i zabezpieczenia otoczenia przed oddziaływaniami ze strony urządzeń,
 - metodyka napraw i zabezpieczeń elementów urządzeń niezbędnych do zastosowania w projektowanej technologii, przed korozją mechaniczną, chemiczną i innymi oddziaływaniami w zależności od zastosowanej technologii,
 - instrukcje technologiczne oraz procedury nadzoru i eksploatacji urządzeń w projektowanej technologii,
 - dokumentacja techniczna prototypu (prototypów) nowych urządzeń niezbędnych do próbnej eksploatacji w laboratorium oraz na potrzeby budowy instalacji pilotowej,
 - prototyp (prototypy) nowych urządzeń niezbędnych do zastosowania projektowanej technologii w skali laboratoryjnej.
- Dokumentacja niezbędna do zabudowy linii pilotowej w skali umożliwiającej wiarygodną transformację wyników badań na skalę przemysłową.
- Linia pilotowa projektowanej technologii.
- Opracowanie wyników badań technologii w skali laboratoryjnej.
- Opracowanie wyników badań eksperymentalnych przeprowadzonych w uzgodnionej skali pilotowej w zakresie rzeczywistej wydajności, efektywności i innych własności eksploatacyjnych projektowanej technologii.

Inne projekty finansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR).

C. Układ mielenia surowców mineralnych w młynie elektromagnetycznym wraz z systemem sterowania jego pracą, zapewniający wysoką efektywność technologiczną i niską energochłonność w zastosowaniach mikro i makro przemysłowych



Projekt realizowany przez czteropodmiotowe Konsorcjum, w skład którego wchodzi:



Ciągłe poszukiwania rozwiązań umożliwiających osiągnięcie odpowiednich efektów rozdrobnienia surowców przy jak najmniejszych kosztach operacyjnych doprowadziły do realizacji projektu SYSMEL PBS3/B3/28/201, którego zadaniem jest opracowanie nowoczesnego układu drobnego mielenia z recyrkulacją ziaren niespełniających wymagań jakościowych.

Jedną z zalet młyna elektromagnetycznego (rys. 4) jest możliwość intensyfikacji wielu procesów technologicznych poprzez prowadzenie mielenia w obszarze, w którym na skutek działania wirowego pola elektromagnetycznego rotują pręty ferromagnetyczne (mielniki) o odpowiednio dobranym stosunku długości do średnicy. Przeprowadzenie badań umożliwi określenie wpływu zmian parametrów młyna i rozdrabnianego materiału na efektywność mielenia w młynie, co umożliwi określenie sterowań dla potrzeb ciągłej jego pracy.

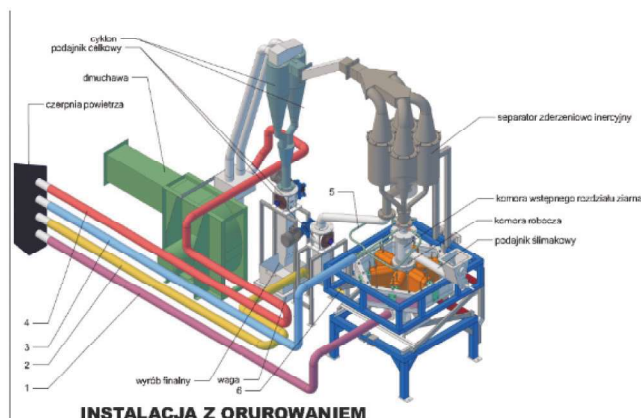
Celem projektu było opracowanie optymalnego rozwiązania technicznego w zakresie urządzeń, przesiewania, kruszenia i mielenia, stanowiącego jednocześnie kompleksowy układ technologiczny dostosowany do właściwości rudy przerabianej w KGHM PM S.A., składającej się z trzech typów litologicznych rudy o silnie zmiennych właściwościach fizycznych.

Realizowany projekt będzie obejmował szerokie badania podstawowe układów technologicznych rozdrabniania i klasyfikacji rudy miedzi w celu przygotowania jej do wzbogacania przy uwzględnieniu obniżenia ilości energii zużywanej na rozdrabnianie oraz minimalizacji strat powstających w wyniku przemielania składników użytecznych rudy.

Realizacja celu głównego projektu zakłada osiągnięcie dla projektowanego układu i wchodzących w jego skład urządzeń wysokiej sprawności w przekazywaniu energii na rozdrobnienie w stosunku do obecnie wykorzystywanych urządzeń.

Ciągłe poszukiwania rozwiązań umożliwiających osiągnięcie odpowiednich efektów rozdrobnienia surowców przy jak najmniejszych kosztach operacyjnych doprowadziły do realizacji projektu SYSMEL PBS3/B3/28/201, którego zadaniem jest opracowanie nowoczesnego układu drobnego mielenia z recyrkulacją ziaren niespełniających wymagań jakościowych.

Jedną z zalet młyna elektromagnetycznego jest możliwość intensyfikacji wielu procesów technologicznych poprzez prowadzenie mielenia w obszarze, w którym na skutek działania wirowego pola elektromagnetycznego rotują pręty ferromagnetyczne (mielniki) o odpowiednio dobranym stosunku długości do średnicy. Przeprowadzenie badań umożliwi określenie wpływu zmian parametrów młyna i rozdrabnianego materiału na efektywność mielenia w młynie, co umożliwi określenie sterowań dla potrzeb ciągłej jego pracy.



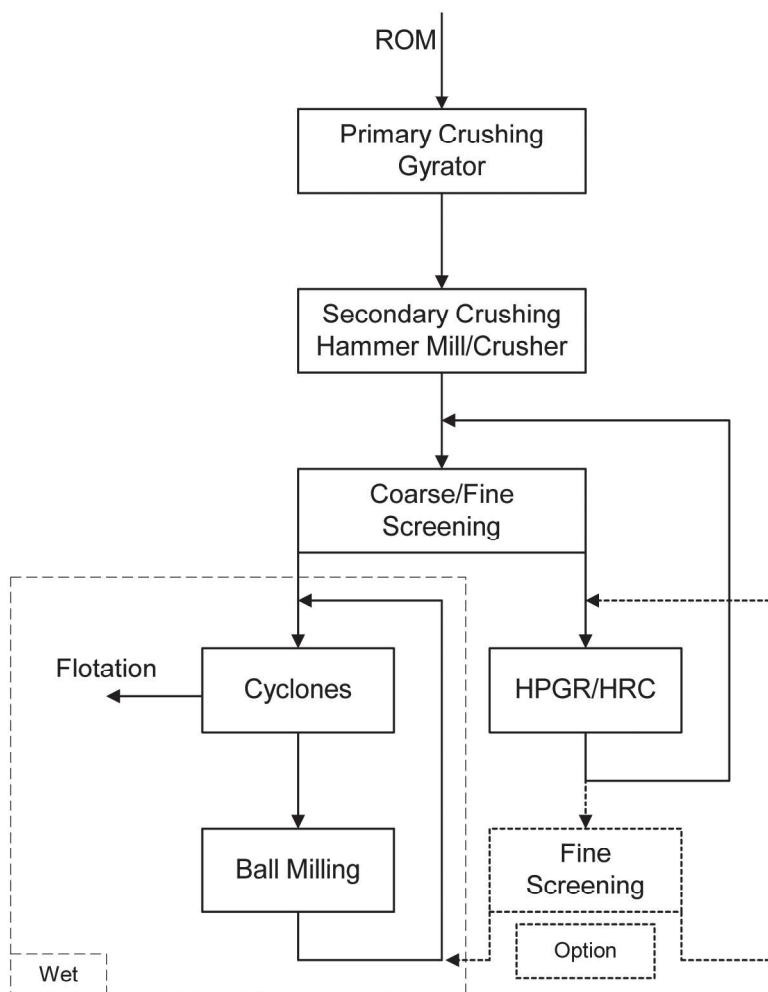
Rys. 4. Młyn elektromagnetyczny i schemat instalacji młyna
 Fig. 4. Electromagnetic mill and mill installation diagram

D. Ocena technologii wzbogacania rudy cynkowej ze złoża Gamsberg w RPA (Zlecenie firmy: Minamento Mining Private Limited, Delhi, India)

Surowa ruda poddawana jest wstępnemu procesowi rozdrabniania w kruszarce stożkowej typu Gyrotor, z której uzyskuje się produkt <300 mm. Na drugim stadium pracuje kruszarka udarowa młotowa, która nie jest tak wrażliwa na zmianę wielkości uziarnienia nadawy oraz udział drobnych ziaren po pierwszym etapie kruszenia jak kruszarka stożkowa (Cone Crusher). Produkt opuszczający ruszt kruszarki jest również stabilny pod względem uziarnienia (max ziarno produktu 30-40 mm) oraz ze względu na występujący udar podczas rozdrabniania produkt posiada większą ilość ziaren drobnych (uwolnionych składników użytecznych rudy w pyłach), które należy skierować do klasyfikacji w przesiewaczu (dwu-pokładowym), następnie hydrocyklonu, tworząc tzw. proces selektywnego kruszenia i klasyfikacji. Produkty grube z przesiewacza kierowane są do HPGR w układzie zamkniętym, gdzie po odsianiu <3(5) mm ruda trafia do hydrocyklonów, przelew do flotacji wstępnej, a wylew do mielenia w obiegu zamkniętym mielenia.

Wybór HPGR jest uzasadniony tym, że ruda jest słabo abrazywna, co wydłuża żywotność okładzin rolek. Wraz ze wzrostem głębokości wydobycia, ruda staje się coraz twardsza. Należy więc przypuszczać, że twardsza ruda podniesie koszty przemiału, natomiast rozdrabnianie twardszej rudy w HPGR będzie przynosić większe oszczędności w domielaniu rudy w młynach ze względu na powstawanie mikrokraków.

Opcjonalnie przewiduje się przesiewanie materiału po HPGR na przesiewaczu do drobnej klasyfikacji (*fine screening*) w zależności od ilości zawracającej masy materiału z powrotem do HPGR (linia przerywana).



Rys. 5. Schemat wzbogacania rudy cynkowej w Gamsberg
 Fig. 5. Zinc ore enrichment scheme in Gamsberg

W procesie domielania rudy w układzie flotacji proponuje się młyn pionowy Vertimill, który jest alternatywą dla młynów bębnowych do mielenia drobnego i ultradrobno. Może być stosowany do mielenia suchego lub mokrego. Młyn Vertimill mieli nadawę o uziarnieniu do 6 mm, a produktem mielenia są ziarna od 2 do 74 mikrometrów. Ze względu na występującą w nim wewnętrzną klasyfikację produktów z zawrotem, proces domielania może być prowadzony selektywnie z korzyścią dla flotacji.

E. Bezodpadowa technologia przerobu hałd rejonu bytomskiego z pozyskaniem koncentratów dla produkcji Zn-Pb

W ramach inicjatywy Wspólne Przedsięwzięcie NCBR i NFOŚiGW zrealizowano projekt GEKON – Generator Koncepcji Ekologicznych (Gekon ... 2019).

Celem przedsięwzięcia było zwiększenie innowacyjności polskiej gospodarki poprzez rozwój technologii proekologicznych; opracowanie i wdrożenie nowego instrumentu finansowego do wspierania rozwoju technologii proekologicznych; opracowanie i wdrożenie nowych, innowacyjnych technologii proekologicznych w polskiej gospodarce; pobudzenie współpracy sektora przedsiębiorstw z jednostkami naukowymi.

Gekon jest zarządzany wspólnie przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.



Lider projektu: ZGH „Bolesław”, uczestnicy konsorcjum: IMN, AGH



W ramach realizacji projektu Gekon przeprowadzono badania mające na celu określenie możliwości zagospodarowania odpadów o obniżonej zawartości metali. Zbadano odpady flotacyjne powstałe w wyniku procesów przeróbki hałdy z rejonu bytomskiego.

W ramach badań wykonano oznaczenie właściwości fizykochemicznych odpadów, dotyczących wymagań środowiskowych, jak i wymagań technicznych/specjalistycznych związanych z danym kierunkiem wykorzystania.

Odpady o obniżonej zawartości metali wykazywały następujące właściwości:

- wilgotność: 15,8%;
- gęstość rzeczywista: 2,98 g/cm³;
- straty prażenia: 29,1%;
- zawierały głównie frakcje pyłową i piaskową;
- zawierały głównie składniki takie jak: CaO, MgO, SiO₂ oraz SO₃;
- pod względem mineralogicznym odpad stanowi głównie dolomit oraz kwarc, kalcyt, bassanit i glinokrzemiany;
- wartość odczynu pH wyciągu wodnego spełnia wymaga-

nia oraz zawartość w nim metali ciężkich jest niższa od dopuszczalnej w ściekach, określona w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz.U 2014, poz. 1800). Jedynie wartość siarczanów przekracza ilość dopuszczalną;

- wskaźniki radioaktywności wynoszą $f_1=0,17$ i $f_2=27$ Bq/kg, co oznacza, że odpad ten może być wykorzystywany jako materiał w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi, w drogownictwie czy robotach inżynierskich.

Badania miały także na celu określenie możliwości wykorzystania odpadów w technologiach górniczych, w budownictwie i drogownictwie, a także w robotach inżynierskich. Uzyskane wyniki zostały odniesione do wymagań określonych w normach branżowych oraz rozporządzeniach związanych z danym kierunkiem zastosowania.

Badany odpad o zmniejszonej ilości metali spełniał wymagania dotyczące aktywności izotopów promieniotwórczych (izotopów radu ²²⁶Ra + ²²⁸Ra), która była zdecydowanie niższa niż dopuszczalna w normach górniczych.

Wykonane badania składu ziarnowego wykazały, że badany odpad zawiera 51% frakcji poniżej 0,1 mm, przy dopuszczalnej 20% zawartości frakcji 0–0,1 mm w materiałach do podsadzki hydraulicznej. Wobec tego odpad nie może być stosowany jako materiał do podsadzki hydraulicznej.

Przeprowadzone badania dotyczące wykorzystania odpadu w technologiach zawieszinowych wykazały, że odpad nie posiada właściwości wiążących w połączeniu z wodą, wobec tego musi być dodawany do zawiesiny sporządzonej z materiałem wiążącym np. popiołem lotnym ze spalania węgla w kotle fluidalnym. Obecność odpadu w zawieszinie znacznie zmienia ich właściwości, przede wszystkim obniża odporność zestalonych zawiesin na działanie wody (próbki pękają w wodzie), co jest niedopuszczalne, wobec tego w zależności od stosowanego popiołu może zachodzić konieczność dodawania hydraulicznych materiałów wiążących zwiększających parametry wytrzymałościowe zawiesin np. cementu. Zawiesiny, w skład których wchodził badany odpad, popiół lotny z kotła fluidalnego i cement mogą być jedynie stosowane do doszczelniania zrobów zawałowych.

Badania możliwości wykorzystania odpadów o obniżonej zawartości metali w budownictwie prowadzone były pod kątem wykorzystania ich jako zamiennika cementu oraz kruszywa w zaczynach i zaprawach. Oznaczono również aktywność pucolanową odpadu. W tym celu sporządzono zaczyny oraz zaprawy, w których odpad zastępował część cementu (zaczyny oraz zaprawy) lub część piasku (zaprawy). Uzyskane wyniki wykazały, że badany odpad znacznie obniża parametry wytrzymałościowe zaczynów i zapraw w porównaniu do prób kontrolnych, po 28 dniach sezonowania. Ponadto odpad wydłuża czas wiązania. Wobec tego nie może być stosowany jako zamiennik cementu i kruszywa w materiałach budowlanych. Odpad nie wykazuje również aktywności pucolanowej 28-dniowej. Brak aktywności, skład ziarnowy, skład chemiczny i wymywalność zanieczyszczeń chemicznych powoduje, że odpad ten nie może być stosowany jako hydrauliczne spoiwo drogowe w mieszankach kruszywowo-spoiwowych, a także jako materiał na podbudowę stabilizowaną mechanicznie.

Jedynym kierunkiem, który może być rozpatrywany, jest dodawanie go w ilości 10% jako dodatku – wypełniacza cementowych lub popiołowych zaczynów iniekcyjnych.

Analiza składu granulometrycznego pokazała, iż badany materiał uziarnieniem odpowiada piaskom pylastym. Wartości wskaźnika różnoziarnistości i krzywizny uziarnienia pozwalają sklasyfikować analizowany odpad jako materiał równo-

ziarnisty. Właściwości geotechniczne odpadu wskazują na możliwość zastosowania go jako materiału do wbudowania w nasypy, skarpy. Z punktu widzenia środowiskowego (wymywalność zanieczyszczeń chemicznych, skład chemiczny) konieczne jest jego zmieszanie z gruntem rodzimym i wykorzystanie sporządzonej mieszanki do robót ziemnych wykonywanych w ramach prac drogowych czy rekultywacyjnych.

Wyniki przeprowadzonych doświadczeń vegetacyjnych oraz testów toksyczności odpadów względem roślin pokazały korzystny wpływ odpadów na kiełkowanie i wczesny rozwój roślin testowych przy odpowiednio dobranej dawce odpadów wprowadzanych do gleby.

Testy fitotoksyczności wyciągu wodnego z odpadów względem roślin testowych wykazały stymulację ich wzrostu, jedynie przy stężeniu wyciągu wodnego z odpadów o wartościach powyżej 50% zaobserwowano nieznaczne ograniczenie rozwoju ryzofery roślin.

W wyniku przeprowadzonych doświadczeń wazonowych stwierdzono, że zawartość odpadów w ilości 10-30% w podłożu stymulowała kiełkowanie roślin w porównaniu z obiektami kontrolnymi. Przy większym udziale odpadów w podłożu wystąpiło zjawisko hamowania kiełkowania nasion.

Obserwacje wczesnego wzrostu roślin wykazały stymulację przyrostu części nadziemnych roślin testowych w obiektach doświadczalnych o zawartości do 30% odpadów w podłożu. Przy większym udziale odpadów zaobserwowano mniejsze przyrosty części nadziemnych. W przypadku ryzofery nie stwierdzono zahamowania rozwoju strefy korzeniowej.

Testowe gatunki roślin użyte w doświadczeniach to gatunki rekomendowane do testów oceny fitotoksyczności, zasadna jest kontynuacja doświadczeń vegetacyjnych opartych o gatunki roślin stosowanych w biologicznej rekultywacji, do obudowy biologicznej obiektów inżynierskich lub gatunków rodzimych przystosowanych do lokalnych warunków siedliskowych (wybranych na podstawie badań fitosocjologicznych). Doświadczenia takie powinny być prowadzone przez co najmniej jeden sezon vegetacyjny w warunkach polowych, przy dodatku do odpadu gruntu rodzimego, który będzie docelowo stosowany w procesie rekultywacji.

Uzyskane rezultaty

Odzysk odpadów z hałdy rejonu bytomskiego skutkować może wieloma korzyściami zarówno wymiernymi, jak i niepoddającymi się parametryzacji. Likwidacja obiektu spowoduje korzyści ekologiczne:

- odzysk odpadów;
- odzyskanie terenu, gdzie odpady były składowane;
- poprawę jakości środowiska przez eliminację oddziaływania składowiska.
- Określono charakterystykę odpadów zgodnie z wymaganiami stosownych norm, związanych z kierunkiem wykorzystania odpadów.

Zbadano następujące kierunki wykorzystania:

- Technologia górnictwa:
 - podsadzka hydrauliczna, zestalana,
 - doszczelnianie zrobów zwałowych,
 - likwidacja wyrobisk korytarzowych, szybów i szybków,
 - wypełnianie pustek i wyrobisk.
- Budownictwo, drogownictwo jako kruszywo i kruszywo wypełniające do produkcji betonów i zapraw stosowanych w budynkach, produkcji prefabrykowanych elementów betonowych, budowie dróg i innych obiektów budowlanych.
- W robotach inżynierskich do kształtowania powierzchni terenu.

Dla oceny efektywności ekonomicznej instalacji przerobu odpadów ze składowisk w rejonie bytomskim przyjęto wiel-

kość przerobu 360 tys. ton rocznie. Przyjęto efektywny czas pracy instalacji 330 dni rocznie. We wstępnym etapie wzbogacania wydzielany jest kamień dolomitowy – wychód 7%, do wzbogacania flotacyjnego kieruje się 334 800 ton nadawy.

Po wzbogaceniu uzyskuje się 1,15 ton/godz. koncentratu (wychód 2,71%) i 41,15 ton/godz. odpadów, w skali roku ilość koncentratu wynosi 9 078,5 ton oraz ilość odpadów 325 921,5 ton. W tabeli 1. przedstawiono bilans produktów wzbogacania.

Tabela 1. Bilans produktów wzbogacania odpadów ze składowisk z rejonu Bytomia

Table 1. Balance of waste enrichment products from landfills from the Bytom region

Założenia	Wychód [%]	Wydajność [ton/rok]
Wielkość przerobu odpadów ze zwał	100,00	360 000
Kamień dolomitowy	7,00	25 200
Nadawa do wzbogacania	93,00	334 800
Przyjęta ilość nadawy do wzbogacania		335 000
Efektywny czas pracy instalacji wzbogacania		330 dni/rok
Dobowa wydajność instalacji wzbogacania		1 015,15 t/d
Wydajność godzinowa		42,30 t/h
Ilość koncentratu	2,71%	1,15 t/h 9 078 t/rok
Ilość odpadów	97,29%	41,15 t/h 325 921 t/rok

Dla założonej wielkości przerobu odpadów 360 tys. ton/rok, wartość produkcji wyniesie ok. 37 mln zł, koszty wzbogacania wyniosą około 9 mln zł, zatem efektywność procesu wyniesie blisko 28 mln zł/rok.

Szacunkowy koszt instalacji wzbogacania wyniesie 45 mln zł – wartość przyjęto w oparciu m.in. o koszt wybudowania (w 2016 r.) instalacji wzbogacania odpadów poflotacyjnych w ZGH Bolesław.

Zagospodarowanie materiału z hałd rejonu bytomskiego może być prowadzone na miejscu – wybudowanie instalacji do przeróbki odpadów (optymalnie instalacji mobilnej) lub transport materiału z hałd do zakładu wzbogacania rudy cynkowo-olowiowej Olkusz Pomorzany. Odległość wynosi ok. 60 km, założona wielkość przerobu ok. 360 tys. ton rocznie, więc koszt transportu rocznie wyniosłby ok. 5 mln zł.

3. Podsumowanie

Aktualnie w Katedrze Inżynierii Środowiska prowadzonych jest kilkanaście projektów badawczych finansowanych przez NCBiR oraz na rzecz jednostek gospodarczych. Wyniki są przedmiotem patentów, a także są publikowane na konferencjach i w czasopismach (www.sysmel.pl)

Literatura

- Czterdziestolecie** specjalności Przeróbka Surowców Mineralnych w AGH – w: Materiały XXIV Krakowskiej Konferencji Naukowo-Technicznej Przeróbki Kopalni, red. Zofia Blaschke, 1992.
<http://www.kisips.agh.edu.pl/historia/>, dostęp 5.09.2019
- CuBR** - <https://www.ncbr.gov.pl/programy/programy-krajowe/wspolne-przedsiwziecia/cubr/> dostęp 5.09.2019
- Gekon** - <https://www.ncbr.gov.pl/programy/programy-krajowe/wspolne-przedsiwziecia/gekon/>, dostęp 5.09.2019
www.sysmel.pl, dostęp 5.09.2019
<http://www.kisips.agh.edu.pl/>, dostęp 29.02.2020

Artykuł wpłynął do redakcji – luty 2019

Artykuł akceptowano do druku – 25.03.2020