



Przyjazna dla środowiska przeróbka surowców mineralnych – przegląd referatów zaprezentowanych podczas konferencji naukowo-technicznej KOMEKO 2023

Małgorzata MALEC¹⁾, Lilianna STAŃCZAK¹⁾

¹⁾ Instytut Techniki Górniczej KOMAG

<http://doi.org/10.29227/IM-2023-01-35>

Submission date: 19-05-2023 | Review date: 09-06-2023

Abstrakt

Artykuł stanowi przegląd wybranych referatów zaprezentowanych podczas konferencji KOMEKO 2023, zorganizowanej w Szczyrku przez Instytut Techniki Górniczej KOMAG w dniach od 27 do 29 marca br. Ich tematyka dotyczyła m.in. innowacyjnych rozwiązań technicznych i technologicznych

w zakresie przeróbki mechanicznej surowców mineralnych, racjonalnego gospodarowania odpadami zgodnie z wymaganiami Zielonego Ładu, wytwarzania wodoru i kompozytów geopolimerowych z odpadów pogórnich, wzbogacanie odpadów oraz kruszyw zawierających pierwiastki ziem rzadkich czy też recyklingu odpadów zawierających lit. Dużym zainteresowaniem uczestników konferencji KOMEKO 2023 cieszył się panel dyskusyjny poświęcony zautomatyzowanemu, zeroodpadowemu zakładowi przeróbczemu. Szczególną uwagę zwrócono na temat zagospodarowania odpadów wydobywczych w Polsce w świetle wyzwań europejskiej gospodarki o obiegu zamkniętym oraz na temat bezpieczeństwa eksploatacji maszyn i urządzeń przeróbczych w aspekcie wdrażania innowacyjnych rozwiązań. Konferencja naukowo-techniczna KOMEKO 2023 stanowiła forum interesującej wymiany wiedzy i doświadczeń zawodowych między naukowcami, producentami maszyn i urządzeń przeróbczych, a ich użytkownikami reprezentującymi sektor producentów surowców mineralnych. O sukcesie konferencji świadczą ożywione i owocne dyskusje między wszystkimi interesariuszami procesu przeróbki surowców mineralnych.

Słowa kluczowe: przeróbka surowców mineralnych, gospodarowanie odpadami, recykling odpadów, odpady pogórnice, maszyny i urządzenia przeróbcze

1. Wprowadzenie

Konferencja naukowo-techniczna KOMEKO 2023 została zorganizowana przez Instytut Techniki Górniczej KOMAG w okresie od 27 do 29 marca br. Na miejsce konferencji wybrano hotel "Klimczok" w Szczyrku, gdzie uczestnicy mogli w komfortowych warunkach brać udział w sesjach, dyskusjach oraz wydarzeniach towarzyszących. Honorowy patronat objęło Ministerstwo Aktywów Państwowych, natomiast partnerami konferencji byli: Jastrzębska Spółka Węglowa S.A., Polska Grupa Górnicza S.A. oraz HALDEX S.A., partnerami merytorycznymi zostali: Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk oraz Polskie Towarzystwo Przeróbki Kopaliny. Patronat medialny sprawowały czasopisma: "Inżynieria Mineralna" oraz "Mining Machines". Tematykę pięciu sesji konferencyjnych ukierunkowano na przemysł przyjazny dla środowiska. Program obejmował prezentację 25 referatów przygotowanych przez naukowców, producentów maszyn i urządzeń przeróbczych oraz ich użytkowników reprezentujących kopalnie surowców mineralnych. Konferencja KOMEKO 2023 stanowiła forum wymiany wiedzy i doświadczeń między interesariuszami procesów przeróbki surowców mineralnych. Na podkreślenie zasługuje fakt, że w wielu referatach zaprezentowano innowacyjne rozwiązania techniczne i technologiczne w zakresie przeróbki surowców mineralnych, racjonalnego gospodarowania odpadami, wytwarzania wodoru i kompozytów geopolimerowych z odpadów pogórnich, wzbogacania odpadów oraz kruszyw zawierających pierwiastki ziem rzadkich, rekuperacji ciepła z istniejących składowisk odpadów pogórnich, czy

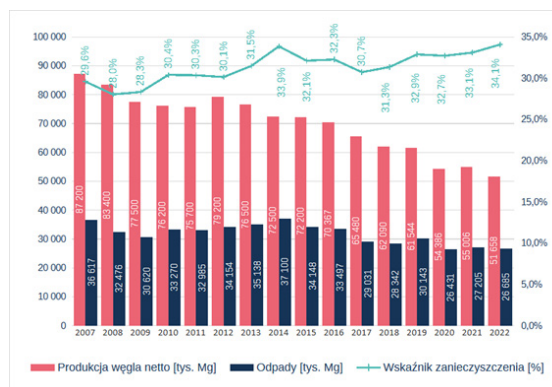
recyklingu odpadów zawierających lit. Konferencję rozpoczął panel dyskusyjny, którego tematyka była ukierunkowana na w pełni zautomatyzowany, zeroodpadowy zakład przeróbczy w aspekcie racjonalnego gospodarowania odpadami. W dyskusji uczestniczyli przedstawiciele następujących instytucji: KGHM Cuprum – Centrum Badawczo-Rozwojowe, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk oraz Politechnika Krakowska. Z dużym zainteresowaniem uczestnicy konferencji KOMEKO 2023 wysłuchali referatu przedstawiciela Wyższego Urzędu Górniczego na temat bezpieczeństwa eksploatacji maszyn i urządzeń w odkrywkowym zakładzie górnym. Tematyka poszczególnych sesji przedstawiała się następująco:

Sesja I – Zeroodpadowy zakład przeróbczy

Tematyka referatów dotyczyła zagospodarowania odpadów wydobywczych w Polsce w świetle wyzwań europejskiej gospodarki o obiegu zamkniętym, modernizacji zakładu przeróbczego w kierunku niskiej emisji i automatyzacji procesów, nowych sposobów zagospodarowania produktów procesu przeróbczego w polskim górnictwie oraz ekonomicznej oceny koncepcji budowy w pełni zautomatyzowanego, niskoemisyjnego zakładu przeróbczego w warunkach polskich.

Sesja II – Gospodarowanie odpadami

Tematyka referatów była ukierunkowana na odzysk litu z odpadów, nową technologię wytwarzania wodoru i kompozytów geopolimerowych z odpadów pogórnich, potencjał



Rys. 1. Węgiel kamienny a środowisko – odpady wydobywcze
Fig. 1. Hard coal and the environment – mining waste



Rys. 2. Odpady w produkcji węgla kamiennego
Fig. 2. Waste in hard coal production

finansowy i technologiczny recyklingu zużytych sprzętów elektrycznych i elektronicznych oraz na koncepcję przyjaznej dla środowiska technologii odzysku metali z zużytych płyt obwodów drukowanych.

Sesja III – Wykorzystanie odpadów

Zagadnienia, przedstawione w referatach wygłoszonych w tej sesji, były związane z ochroną powierzchni terenu przed szkodami górniczymi, wykorzystaniem kopaliny towarzyszącej wydobyciu węgla do produkcji kruszyw, efektywnym wykorzystaniem drobnopięknych surowców węglowych w procesach kompaktowania, prototypem dezintegratora, rozwojem technologii wychwytu CO₂ oraz rekuperacją ciepła z istniejących i budowanych składowisk odpadów pogórnich.

Sesja IV – Zakład przeróbczy przyszłości

Referaty prezentowały kierunki działań modernizacyjnych w zakładach przeróbki mechanicznej, a także innowacyjną metodę wymiany taśmy w przenośniku taśmowym, informacje o komponentach ze stali trudnościeralnej stosowanych w zakładach przeróbczych, na temat nowoczesnych rozwiązań przeróbki mechanicznej węgla, poprawy własności użytkowych węgla oraz konsekwencji dla zakładów przeróbczych wynikających ze zmiany wymogów dla silników elektrycznych.

Sesja V – Innowacyjne rozwiązania

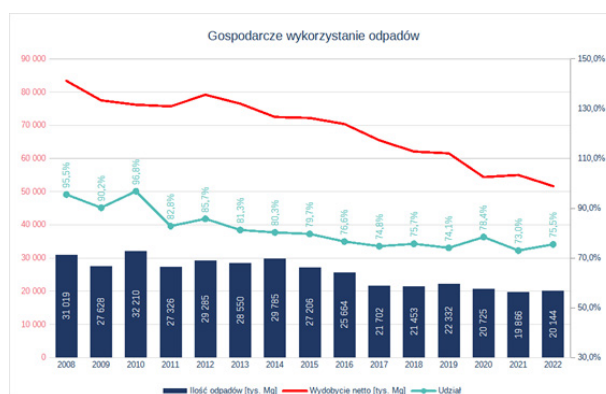
W ostatniej sesji konferencyjnej przedstawiono wyniki badań systemu do zabezpieczania kolejowych transportów węgla przed pyleniem wtórnym oraz działaniem czynników

atmosferycznych, informacje na temat wzbogacenia odpadów oraz kruszyw naturalnych zawierających pierwiastki ziem rzadkich, wyniki badań wpływu zakresu uziarnienia węgla koksowego na efektywność procesu flotacji pianowej oraz drogi rozwoju od maszyny do systemu mechatronicznego na przykładzie flotacji mułów węglowych.

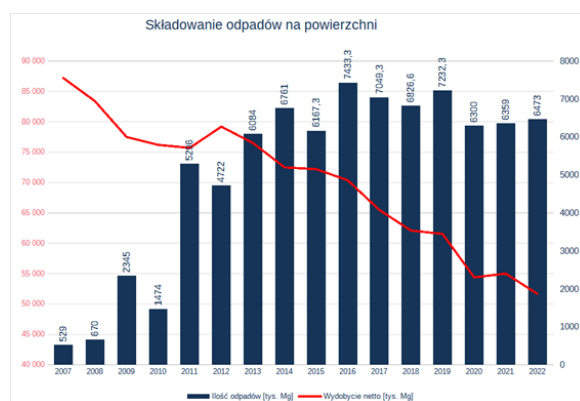
Uczestnicy konferencji zwracali uwagę na aktualność jej tematyki, zwłaszcza w aspekcie Sprawiedliwej Transformacji Rejonów Pogórnich, Gospodarki o Obiegu Zamkniętym oraz Zielonego Ładu. Podkreślali celowość organizacji tego typu wydarzeń, sprzyjających nie tylko wymianie doświadczeń naukowych, badawczych i technicznych, ale również integracji środowiska interesariuszy procesów przeróbki surowców mineralnych.

2. Przegląd literatury

Problematyka konferencji jest opisana w wielu dostępnych publikacjach zarówno krajowych, jak i zagranicznych. Jej aktualność oraz interdyscyplinarny charakter potwierdzają przeanalizowane artykuły, zawierające wyniki badań i analiz, w szczególności dotyczy to metod zarządzania środowiskiem na terenach pogórnich i transformacji terenów składowisk odpadów górniczych i przeróbczych na terenie Zagłębia Górnośląskiego, co było przedmiotem analiz, których wyniki opisano w [1]. Analizy dotyczyły składowisk różnej wielkości, stworzonych w różnych okresach czasu na przestrzeni wielu lat. Były tu składowiska o różnym kształcie i różnej szacie roślinnej na ich powierzchni. Zidentyfikowano obszary nagrzewania się składowisk. Palące się składowiska stanowią poważne zagrożenie dla środowiska, więc ich monitoring odgrywa bardzo ważną rolę, umożliwiając



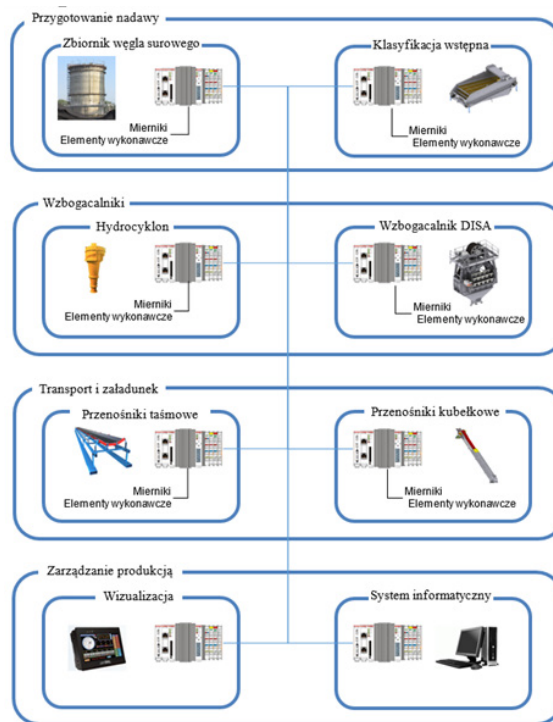
Rys. 4. Gospodarcze wykorzystanie odpadów
Fig. 4. Economic use of waste



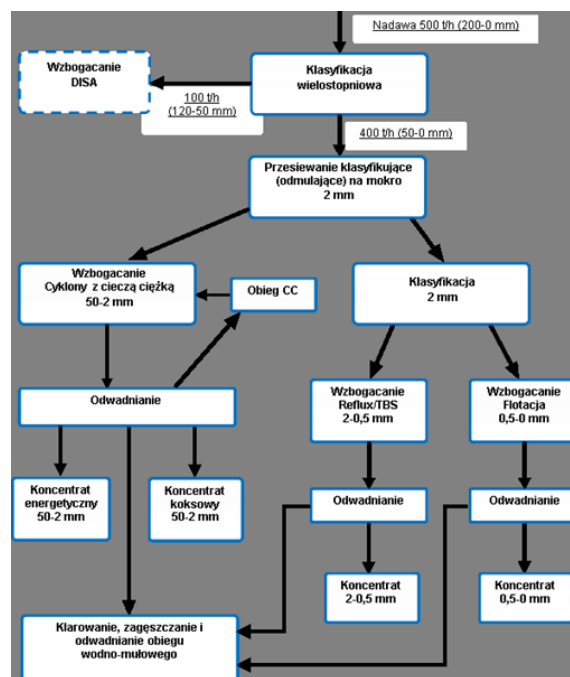
Rys. 3. Składowanie odpadów na powierzchni
Fig. 3. Storage of waste on the surface

optymalne zarządzanie składowiskami odpadów z punktu widzenia ochrony środowiska. Innowacyjną metodę monitorowania neutralizacji odpadów pochodzących z procesów przerobczych przedstawiono w [2]. Wykorzystano w niej zależność między wapniem i siarką występującymi w odpadach. Metoda ta pozwala skutecznie wyeliminować tworzenie się kwasów w odpadach powstałych w wyniku przeróbki węgla. W literaturze można znaleźć interesujące publikacje dotyczące rekultywacji terenów zajmowanych przez składowiska odpadów pogórnich w aspekcie wtórnego wykorzystania minerałów odzyskanych ze składowisk oraz tworzenia nowych ekosystemów na rekultywowanych terenach [3]. Wpływ odpadów górniczych i energetycznych na jakość gleby zaprezentowano w [4]. Analizowano zawartość metali ciężkich (Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) z zastosowaniem metody spektrometrii emisyjnej (ICP-AES) oraz dyfrakcji z zastosowaniem promieni Roentgena (XRD). Materiały odzyskane ze składowisk mogą stanowić cenny surowiec dla budownictwa, w wielu przypadkach zastępujący cement [5]. Geomateriały pochodzące ze składowisk są wykorzystywane jako kruszywa. W [6] przedstawiono wyniki badań ukierunkowanych na określenie przydatności odpadów górniczych i przerobczych do produkcji cegieł, stwierdzając, że może to być surowiec alternatywny. W [7] podano przykłady wykorzystania odpadów węglowych, pochodzących z recyklingu, jako materiału do budowy dróg. W procesie wzbogacania minerałów stosowane są różne technologie m.in. klasyfikatory z autogenicznym łóżem zawieszynowym [8] czy osadzarki

do wzbogacania węgla koksowego [9]. Aspekt ochrony środowiska analizowano w przypadku wód odprowadzanych z nieczynnej kopalni w Północnej Portugalii [10]. Badano 46 parametrów jakościowych wody pochodzącej z wyrobisk, stwierdzając, że zarówno pod względem chemicznym, jak i fizycznym, woda ta nie stanowi zagrożenia dla środowiska. Jedną z metod wykorzystania drobnych sortymentów węgla oraz popiołów lotnych jest ich granulowanie i brykietowanie [11]. Jak już wcześniej wspomniano [1], palące się składowiska odpadów górniczych na górnym Śląsku są przedmiotem badań oraz działań zaradczych, realizowanych od wielu lat różnymi metodami, których skuteczność nie jest satysfakcjonująca. Zmiany w glebie wywołane przez palące składowiska przeanalizowano w [12]. Zarządzanie składowiskami odpadów wymaga współpracy między przedstawicielami przemysłu, urzędnikami na szczeblu państwowym, regionalnym i lokalnym, a także naukowcami i interesariuszami procesu zagospodarowania składowisk, którzy reprezentują różne grupy społeczne [13]. System ten efektywnie funkcjonuje w Australii. Wyniki wielu projektów naukowo-badawczych w zakresie mechanicznej przeróbki surowców mineralnych, innowacyjnych rozwiązań maszyn i urządzeń, gospodarowania odpadami w aspekcie ich ponownego wykorzystania zgodnie z wymaganiami gospodarki o obiegu zamkniętym przedstawiono w [14]. Przegląd literatury stanowił dla Autorów istotną wskazówkę ułatwiającą wybór referatów przedstawionych podczas konferencji KOMIEKO 2023 do zaprezentowania w niniejszym artykule.



Rys. 5. Porównanie istniejącego i planowanego układu wzbogacania
 Fig. 5. Comparison of the existing and planned enrichment system



Rys. 6. Uproszczony schemat technologiczny nowego zakładu przerobczego
 Fig. 6. Simplified technological scheme of the new processing plant

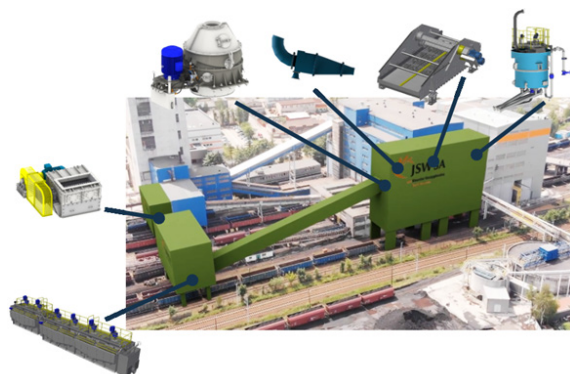
3. Przegląd wybranych referatów

Autorki publikacji postanowiły dokonać wyboru sześciu referatów, które ich zdaniem przedstawiały problematykę przeróbki surowców mineralnych w sposób interdyscyplinarny oraz miały charakter rozwiązań innowacyjnych, a także dotyczyły zagadnień gospodarki o obiegu zamkniętym, Sprawiedliwej Transformacji Rejonów Pogórnicych oraz Zielonego Ładu.

• Gospodarka o obiegu zamkniętym - unijne wymagania w odniesieniu do odpadów wydobywczych [15]

W Unii Europejskiej obowiązują trzy dyrektywy dotyczące zagospodarowania odpadów wydobywczych w kontekście gospodarki o obiegu zamkniętym:

- Dyrektywa 2006/21/WE określa zasady postępowania z odpadami wydobywczymi oraz wymagania w zakresie ochrony środowiska i zdrowia człowieka,



Rys. 7. Proponowana lokalizacja nowego Zakładu Przeróbczego
Fig. 7. Proposed location of the new Processing Plant



Rys. 8. Mobilny system wzbogacania odpadów
Fig. 8. Mobile waste enrichment system

- Dyrektywa 2008/98/WE promuje gospodarkę o obiegu zamkniętym poprzez minimalizowanie ilości odpadów, maksymalizowanie odzysku surowców oraz zmniejszanie emisji gazów cieplarnianych i zanieczyszczeń.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2018/851 z 30 maja 2018 roku zmieniająca dyrektywę 2008/98/WE w sprawie odpadów.

Dyrektywa Rady Europy 2006/21/WE określa szczegółowe wymagania dotyczące gospodarowania odpadami wydobywczymi oraz ustanawia zasady ich przemieszczania i unieszkodliwiania w sposób bezpieczny dla środowiska. Jej założenia obejmują m.in. minimalizację ilości odpadów poprzez wykorzystanie najlepszych dostępnych technologii i procesów produkcji, selekcję odpadów, które mogą być poddane odzyskowi surowców wtórnych lub wykorzystaniu w inny sposób, oraz wprowadzenie procedur postępowania z odpadami, określenie wymagań dotyczących planowania, projektowania, budowy i eksploatacji składowisk odpadów, zwiększenie odpowiedzialności producentów za odpady, m.in. poprzez wprowadzenie obowiązku dostarczania informacji na temat właściwości odpadów, sposobów ich przechowywania i transportu. Wprowadza wymagania wdrożenia systemu monitorowania emisji i działań na rzecz ochrony środowiska, a także wspierania innowacji i rozwoju technologii, które pozwolą na lepsze wykorzystanie surowców wtórnych. Na rys. 1-4 przedstawiono informacje na temat odpadów pochodzących z górnictwa węgla kamiennego.

W Polsce zdefiniowano gospodarkę o obiegu zamkniętym w "Mapie drogowej transformacji w kierunku gospodar-

ki o obiegu zamkniętym" w 2019 roku. Odpady, powstające przy wydobyciu węgla kamiennego, w 2022 roku wyniosły 20,14mln ton, z czego 75% zostało gospodarczo wykorzystanych na powierzchni. W przypadku górnictwa węglowego około 5 milionów ton składowanych odpadów wydobywczycy może być wykorzystanych do produkcji metakaolinitu, zeolitu, geopolimerów oraz kruszyw lekkich.

• **Modernizacja zakładu przeróbczego w kierunku niskiej emisji i automatyzacji procesów – innowacyjność przeróbki przyszłości [16].**

Istotnym elementem w ciągu technologicznym produkcji węgla, jako produktu handlowego, są zakłady mechanicznej przeróbki węgla, których kluczowym zadaniem jest wytworzenie produktu zgodnego ze zróżnicowanym zapotrzebowaniem poszczególnych segmentów rynkowych. Produkcja węgla kamiennego o wysokich parametrach jakościowych wymaga automatyzacji procesów przeróbczych, innowacyjnych rozwiązań urządzeń oraz technologii wzbogacania. Obecnie wzbogacanie węgla kamiennego w polskich zakładach przeróbczych opiera się na technologii cieczy ciężkiej zawieszinowej dla ziaren > 20 (30) mm, osadzarkach pulsacyjnych dla ziaren < 20(30)mm oraz na zastosowaniu flotacji dla ziaren < 0,5 mm w przypadku wzbogacania węgla koksowych.

Za granicą proces wzbogacania odbywa się wyłącznie w cieczy ciężkiej zawieszinowej. Zawężanie klas ziarnowych, kierowanych do wzbogacania, zwłaszcza w przypadku ziaren drobnych, ma istotny wpływ na skuteczność procesu wzbogacania, toteż celowe jest zastosowanie wzbogalnika z au-



Rys. 9. Kostki wykonane z geopolimerów

Fig. 9. Cubes made of geopolymers



Rys. 10. Przykładowe zastosowanie geopolimerów: a) poziomowanie b) wypełnianie kawern c) wsparcie strukturalne

Fig. 10. Example application of geopolymers: a) leveling b) cavities filling c) structural support

togenicznym łóżem zawieszinowym do wzbogacania ziaren 2-0,5mm.

Automatyzacja procesów przeróbczych obejmuje całokształt zagadnień związanych z automatyzacją kierowania nadawy i zasilania poszczególnych urządzeń, a także ich sterowanie i blokady. Obejmuje również sterowanie i zarządzanie dyspozytorskie, automatykę obiegu cieczy ciężkiej, regulację i sterowanie procesami technologicznymi. Nowy paradygmat rozwoju społeczno-gospodarczego, jakim jest zasobooszczędność i gospodarka o obiegu zamkniętym uwzględnia fakt, że odpady górnicze i odpady przeróbcze, poza substancją węglową, zawierają wiele surowców i pierwiastków, które mogą zostać wykorzystane na skalę przemysłową. Są to przede wszystkim piaskowce, mułowce, ilowce i łupki węglowe, które mogą być wykorzystane w budownictwie. Na rys.5-7 pokazano informacje na temat układu wzbogacania oraz nowego zakładu przeróbczego.

Zastosowanie nowoczesnych rozwiązań techniczno-technologicznych w postaci cyklonów z cieczą ciężką oraz wzbogacalników zawieszinowych umożliwi zwiększenie efektywności procesów wzbogacania węgla koksowego i w efekcie zwiększoną produkcję koncentratu koksowego dla założonej zawartości popiołu oraz uzyskanie korzystniejszych parametrów jakościowych produktu odpadowego, co zostało potwierdzone wynikami badań laboratoryjnych zrealizowanych w ITG KOMAG. System rozproszonego sterowania zwiększy zakres automatyzacji, zapewniając optymalizację produkcji i zużycia energii, a także niezawodność i bezpieczeństwo procesu wzbogacania.

• **Nowa technologia wytwarzania wodoru i kompozytów geopolimerowych z odpadów pogórnich [17]**

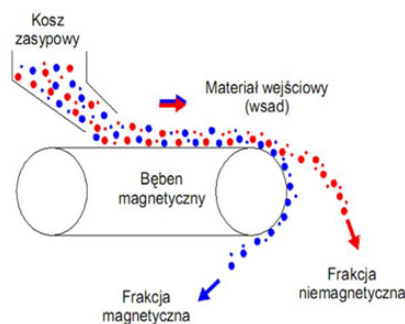
W referacie przedstawiono główne cele projektu europejskiego koordynowanego przez ITG KOMAG, realizowanego w ramach Funduszu Badawczego Węgla i Stali. Celem projektu jest opracowanie nowej technologii przetwarzania odpadów mineralnych i popiołów lotnych z wykorzystaniem CO₂ do produkcji kompozytów geopolimerowych. Projekt określi kierunki zagospodarowania frakcji energetycznej wydzielonej z odpadów. Zaplanowane badania będą ukierunkowane na opracowanie efektywnej metody produkcji wodoru z gazu

syntezowego otrzymywanego w procesie zgazowania frakcji węglowych. W celu uzyskania wysokiej jakości materiałów z odpadów wydobywczych zostanie opracowana koncepcja i dokumentacja mobilnego systemu wzbogacania odpadów kopalnianych, który będzie wyposażony w innowacyjny system sterowania umożliwiający efektywną separację odpadów. Technologie przetwarzania odpadów pogórnich, opracowane w ramach projektu pozwolą na likwidację hałd, co jest spójne z wizją gospodarki o obiegu zamkniętym, w której odpady powstałe na etapie produkcji mogą zostać poddane recyklingowi i stać się zasobem. Na rys.8 pokazano mobilny system wzbogacania odpadów, który zostanie zbudowany w ramach projektu.

Składowiska odpadów kopalnianych, powstałe głównie w wyniku mechanicznej przeróbki węgla kamiennego, degradują środowisko i stwarzają wiele zagrożeń, do których należy zaliczyć pożary i związane z nimi wydzielanie gazów zanieczyszczających atmosferę, a także zanieczyszczanie wód powierzchniowych i gruntowych poprzez wymywanie ze składowisk chlorków i siarczanów. Składowiska zajmują znaczne powierzchnie gruntu, który staje się nieużytkiem. Wykorzystanie odpadów, zalegających na składowiskach, wpisuje się w politykę zrównoważonego rozwoju, gdyż przyczynia się do zmniejszenia ilości składowanych odpadów oraz uzyskania oszczędności w nieodnawialnych zasobach surowców naturalnych. Po odpowiedniej przeróbce odpady kopalniane można wykorzystać jako:

- mieszanki kruszyw wzbogaczonych innymi mrozoodpornymi kruszywami,
- materiały do budownictwa hydrotechnicznego,
- składnik do produkcji materiałów budowlanych,
- składnik do podbudów zasadniczych i pomocniczych,
- materiał podsadzkowy do podsadzania wyrobisk podziemnych,
- materiał podsypkowy do zimowego utrzymania dróg oraz stabilizacji i wypełniania gruntów.

Z analizy literatury wynika, że zawartość węgla w odpadach wydobywczych może sięgać nawet 30%. Frakcje mine-



Rys. 11. Separator magnetyczny – zasada działania
Fig. 11. Magnetic separator – principle of operation



Rys. 12. Separator magnetyczny – podajnik wibracyjny materiału
Fig. 12. Magnetic separator – material vibrating feeder



Rys. 13 Separator magnetyczny – odbiór materiału diamagnetycznego
Fig. 13 Magnetic separator – collection of diamagnetic material

ralne i energetyczne, odzyskane w wyniku procesu wzbogacania w osadzkach, mogą stanowić surowiec do dalszego przetwarzania z wykorzystaniem innych materiałów odpadowych. Jednym z kierunków jest możliwość wytworzenia geopolimerów, które znalazły szerokie zastosowanie w transporcie, metalurgii, materiałach filtracyjnych i utylizacji odpadów jądrowych. Na rys. 9 pokazano kostki wykonane z geopolimerów.

Do zalet geopolimerów należy zaliczyć doskonałe właściwości mechaniczne oraz odporność na działanie wysokich temperatur i kwasów, natomiast ich wadą jest wyższa temperatura utwardzania, gdyż temperatura otoczenia nie jest wystarczająca, krótki czas wiązania oraz stosunkowo wysoka cena. W przypadku utwardzania w temperaturze otoczenia geopolimery mają niższą wytrzymałość i twardość. Na rys. 10 przedstawiono przykładowe zastosowanie geopolimerów.

Należy podkreślić fakt, że w ramach projektu zostanie przeprowadzona inwentaryzacja czynnych i rekultywowanych składowisk odpadów kopalnianych w wybranych krajach Europy, będą przeprowadzone badania fizykochemicznych i mechanicznych właściwości odpadów wydobywczych oraz zostanie opracowana baza danych. Realizacja projektu przyczyni się do osiągnięcia następujących celów:

- środowiskowe: lepsza efektywność wykorzystania zasobów i zredukowany wpływ na środowisko, zmniejszenie ilości odpadów zalegających na hałdach kopalnianych,
- ekonomiczne: pozyskanie inwestycji, wdrożenie innowacyjnych rozwiązań i stworzenie nowych miejsc pracy, odzysk i recykling materiałów z odpadów kopalnianych,
- społeczne: opracowanie modelu przekształcenia terenów pogórnich, utworzenie nowych miejsc pracy,

- techniczne/ technologiczne: wdrożenie nowych produktów i usług,
- naukowe: wzmocnienie Europejskiej Przestrzeni Badawczej i promocja europejskiego przywództwa w dziedzinie innowacji środowiskowych.

Podsumowując można stwierdzić, że projekt wprowadzi nowe praktyki w zakresie przetwarzania odpadów górniczych ze składowisk. Zostanie stworzona baza danych zwałowisk odpadów górniczych w wybranych krajach europejskich, będzie określona charakterystyka zdeponowanych odpadów i opracowany system wzbogacania odpadów kopalnianych oraz zostanie określona możliwość wykorzystania odpadów mineralnych do produkcji kompozytów geopolimerowych. Dla opracowanego systemu zostaną wykonane analizy ekonomiczne, środowiskowe, społeczne i prawne.

• **Wzbogacanie odpadów oraz kruszyw naturalnych zawierających pierwiastki ziem rzadkich [18].**

Prezentacja dotyczyła ilościowej analizy zawartości pierwiastków ziem rzadkich (REE) w następujących materiałach: muły węglowe, odpady energetyczne, kruszywo bazaltowe oraz kruszywa naturalne. Wykorzystano technikę spektrometrii mas plazmowych dla materiału, który poddano klasyfikacji granulometrycznej oraz separacji magnetycznej. Pierwiastki ziem rzadkich dzielą się na dwie grupy: lantanowce i skandowce. Do potencjalnych źródeł pierwiastków ziem rzadkich należą: węgiel kamienny, popiół węgla kamiennego, odpad energetyczny, złoża piasków i żwirów, zużyty sprzęt elektroniczny, a także odpad fosfogipsowo-artytowy.

Tab. 1. Zestawienie produktów rozkładu masowego separacji magnetycznej
Tab. 1. List of mass decomposition products of magnetic separation

Lp.	Identyfikacja próbki	Natężenie pola mag. [V]	Masa próbki [g]	Oznaczenie próbki, masa produktu paramagnetycznego mocniejszego [g]	Oznaczenie próbki, masa paramagnetycznego słabszego [g]
1	Kruszywo 2-0	25	90	189/21/P1 1,06	-
2	Muły węglowe	25	90	173/21/P10 0,46	173/21/P11 1,41
3	Kruszywo bazaltowe	25	90	180/21/P16 2,84	189/21/P11 5,04
4	Kruszywo bazaltowe 0,125-0	25	90	180/21/P13 3,05	180/21/P14 2,91
5	Kruszywo bazaltowe 0,5-0,125	25	90	180/21/P9 2,06	180/21/P10 4,19
6	Odpad energetyczny Kraków	25	90	189/21/P3 24,06	189/21/P6 7,92
7	Odpad energetyczny Kraków 0,125-0	25	90	189/21/P2 4,0	189/21/P5 1,82
8	Odpad energetyczny Kraków 0,5-0,125	25	90	189/21/P7 4,04	189/21/P4 8,25

Tab. 2. Total content of rare earth elements in magnetic separation products
Tab. 2. Sumaryczne zawartości pierwiastków ziem rzadkich w produktach separacji magnetycznej

Lp	Identyfikacja próbki	Surowy materiał	Produkt paramagnetyczny mocniejszy		Produkt paramagnetyczny słabszy	
		Zawartość pierwiastków ziem rzadkich [ppm]	Numer próbki	Zawartość pierwiastków ziem rzadkich [ppm]	Numer próbki	Zawartość pierwiastków ziem rzadkich [ppm]
1	Kruszywo 2-0	252,85	189/21/P1	96,06	brak produktu	
2	Muły węglowe	263,8	173/21/P10	40,45	173/21/P11	36,29
3	Kruszywo bazaltowe	190,0	180/21/P16	26,35	189/21/P11	212,87
4	Kruszywo bazaltowe 0,125-0 mm	190,0	180/21/P13	151,54	180/21/P14	150,5
5	Kruszywo bazaltowe 0,5-0,125 mm	190,0	180/21/P9	250,22	180/21/P10	229,54
6	Odpad energetyczny Kraków	261,5	189/21/P3	177,44	189/21/P6	66,16
7	Odpad energetyczny Kraków 0,125-0	261,5	189/21/P2	206,14	189/21/P5	179,12
8	Odpad energetyczny Kraków 0,5-0,125	261,5	189/21/P7	200,06	189/21/P4	109,56

Badaniom poddano muły węglowe pochodzenia górniczego pozyskane ze składowiska w okolicach Nowej Rudy, odpad energetyczny był mieszaniną żużli oraz popiołów lotnych pozyskanych ze składowiska zlokalizowanego w Krakowie, kruszywo bazaltowe pochodziło z kopalni bazaltu znajdującej się w południowo-zachodniej Polsce, a kruszywo 2-0 mm było odpadem uzyskanym z wzbogacalników strumieniowo-zwojowych pracujących w jednej z górnośląskich kopalń węgla kamiennego. Na rys.11-13 przedstawiono realizację badań intensyfikacji REE w klasach ziarnowych 0-0,125 oraz 0,125 - 0,5 mm z wykorzystaniem separatora magnetycznego.

Zestawienie produktów rozkładu masowego separacji magnetycznej przedstawia Tabela 1.

Badania zawartości pierwiastków ziem rzadkich w próbkach materiałów przeprowadzono w Laboratorium Inżynierii Materiałowej i Środowiska ITG KOMAG. Wykorzystano metody spektrometrii mas z jonizacją w plazmie indukcyjnie

sprężonej (ICP-MS). Metoda polega na pomiarze intensywności jonów powstałych w strumieniu plazmy. Rys.14 przedstawia spektrometr ICP-MS wykorzystany w badaniach ze względu na drobne uziarnienie materiału oraz zróżnicowany skład chemiczny próbek.

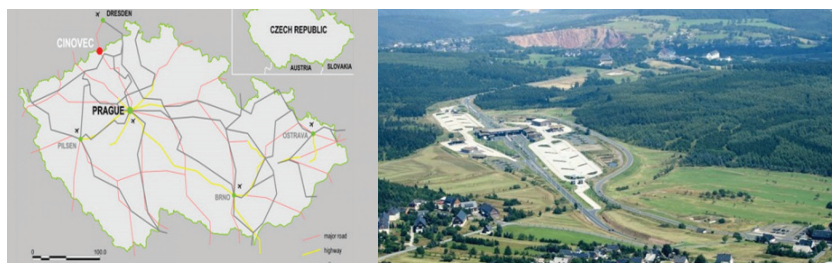
W Tabeli 2 przedstawiono sumaryczne zawartości pierwiastków ziem rzadkich w produktach separacji magnetycznej.

Brak wzrostu lub niewielki wzrost zawartości pierwiastków ziem rzadkich w produktach poddanych procesowi separacji magnetycznej może wskazywać na zbyt niskie natężenie zastosowanego pola magnetycznego. Dalszy etap prac badawczych powinien uwzględnić wielowariantowe badania natężenia pola magnetycznego lub zastosowanie innej metody wzbogacania np. separacja magnetyczna w ośrodku wodnym.

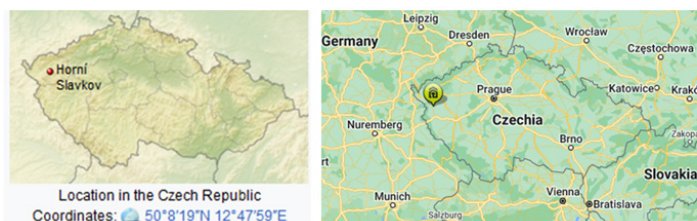
• **Recykling odpadów zawierających lit z rejonu Krušné Hory w Czechach [19]**



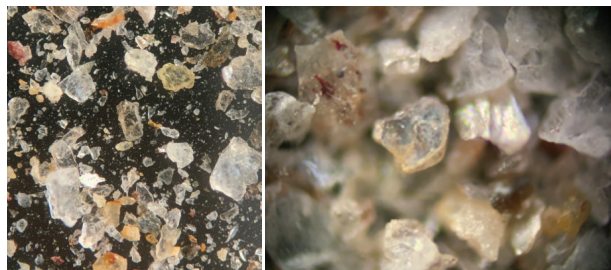
Rys. 14. Spektrometr ICP-MS
Fig. 14. ICP-MS spectrometer



Rys. 15. Lokalizacja kopalni Cinovec
Fig. 15. Location of the Cinovec mine



Rys. 16. Lokalizacja kopalni Horni Slavkov
Fig. 16. Location of the Horni Slavkov mine



Rys. 17. Ziarna zinnwaldytu
Fig. 17. Zinnwaldite grains

Zasoby litu na świecie wynoszą około 22 mln ton, natomiast produkcja światowa dochodzi do 82 tys. ton/rok. Biorąc pod uwagę fakt, że w 2022 roku cena LiCO_3 wynosiła 81 130 USD/tonę, to wartość rocznej produkcji dochodzi do około 6 mld 653 mln USD. Polska jest piątym na świecie dostawcą litowo-jonowych akumulatorów samochodowych lub ich komponentów, natomiast w Europie jest na pierwszym miejscu. W 2021 r. nasz kraj zaspokajał około 60% europejskiego popytu na akumulatory do pojazdów elektrycznych. Na rys. 15 pokazano lokalizację kopalni Cinovec w Czechach, gdzie prowadzono badania.

Kopalnia Cinovec posiada 3,5 mln ton odpadów, w których zawartość litu wynosi 0,2%. Stosuje się wzbogacanie grawitacyjne magnetyczne oraz flotację. Rys. 16 przedstawia lokalizację kopalni Horni Slavkov w Czechach.

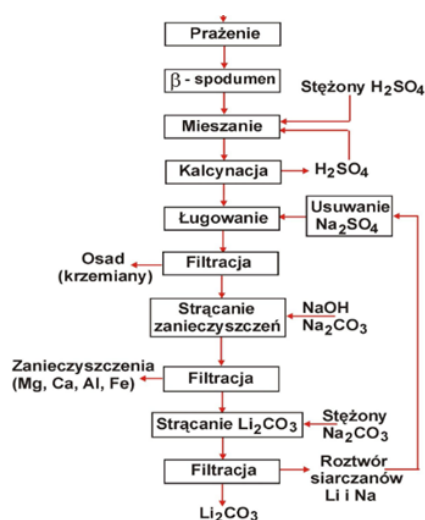
Do wzbogacania zaproponowano separację magnetyczną na makro o dużym natężeniu pola (WHIMS) celem oddzie-

lenia miki zawierającej lit (zinnwaldyt) i uzyskania produktu magnetycznego - koncentratu miki. Separacja magnetyczna jest właściwa w tym przypadku, ponieważ zinnwaldyt zawiera w sieci żelazo i jest paramagnetyczny. Na rys. 17 przedstawiono ziarna zinnwaldytu.

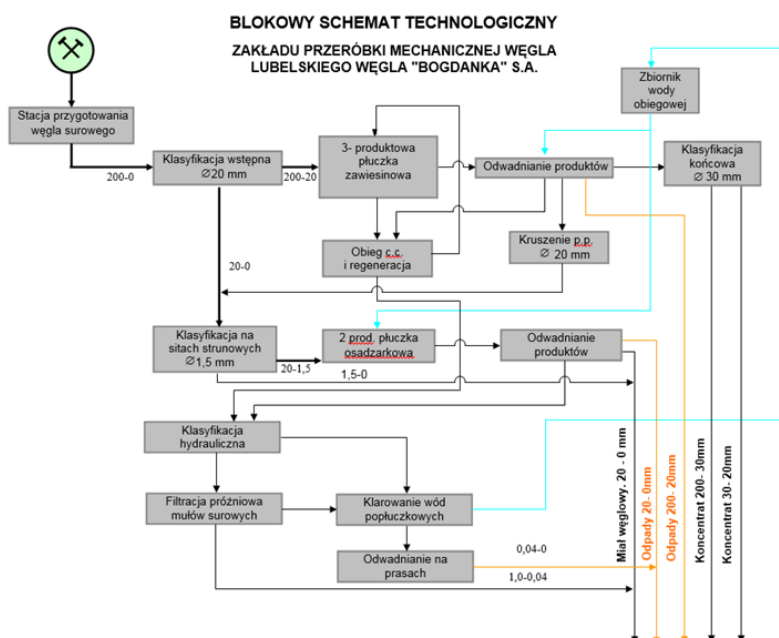
Schemat procesu wzbogacania przedstawiono na rys. 18

Lit znajduje obecnie szerokie zastosowanie w napędach elektrycznych samochodów, samolotów, pociągów, autobusów, e-rowerów, ciężarówek oraz hulajnóg. W 2010 roku w USA lit wykorzystywano do produkcji szkła i ceramiki (29%), baterii i akumulatorów (27%), smarów (12%), odlewania ciągłego (5%), oczyszczania powietrza (4%), produkcji polimerów (3%), produkcji aluminium (2%), produkcji farmaceutyków (2%) oraz innych wyrobów (16%).

• Innowacyjne i nowoczesne rozwiązania współczesnej przeróbki mechanicznej węgla na przykładzie LW "Bogdanka" S.A. [20]



Rys. 18. Schemat procesu wzbogacania
Fig. 18. Scheme of the enrichment process



Rys. 19. Blokowy schemat technologiczny Zakładu Przetórk w LW "Bogdanka" (ZPMW)
Fig. 19. Block diagram of the Processing Plant at LW "Bogdanka" (ZPMW)

Historia Zakładu Przetórk Mechanicznej Węgla w LW "Bogdanka" S.A. sięga 1987 roku, gdy oddano do eksploatacji pierwsze obiekty budowlane, maszyny i urządzenia związane z placem składowania węgla, klasyfikacją grubych sortymentów i załadunkiem surowego mialu do wagonów. W 1992 roku zakończono budowę zakładu, oddając do ruchu płuczkę mialową. W 2009 roku przystąpiono do rozbudowy celem zwiększenia wydajności z 1200 Mg/h do 2400Mg/h. Rozbudowę zakończono w 2014 roku. Technologia Zakładu Przetórkowego składa się z następujących elementów:

- Przygotowanie i klasyfikacja węgla surowego.
- Wzbogacanie węgla surowego 200 - 20 mm w separatorach cieczy ciężkiej.
- Wzbogacanie węgla surowego 20 - 1,5 (0) mm w osadzarkach wodnych.
- Klasyfikacja i filtracja mułów.

- Odstawa, załadunek i magazynowanie produktów wzbogacania.

Blokowy schemat technologiczny Zakładu Przetórk Mechanicznej Lubelskiego Węgla "Bogdanka" przedstawiono na rys. 19.

Maszyny i urządzenia w ZPMW pracują w bardzo trudnych warunkach. Są narażone na korozję i erozję. Do najważniejszych rozwiązań technologicznych należą półki przesypowe, blachy napawane, kompozyty polimerowe, rury polietylenowe oraz zdzieraki z węglikiem napawanym zabudowane w miejscach transportu urobku z dużą prędkością, przy znacznej różnicy wysokości. Dzięki wdrożonym rozwiązaniom półek przesypowych wyeliminowano problem zużywających się blach wkładkowych większości przesypów, a także uszkodzeń taśm przenośników. Blachy napawane są stosowane w miejscach transportu urobku z dużą prędkością,



Rys. 20. System monitoringu ciągłego Zakładu Przeróbki Mechanicznej Węgla
Fig. 20. Continuous monitoring system of the Mechanical Coal Processing Plant



Rys. 21. Instalacja zraszająca przeciwpożarowa
Fig. 21. Fire sprinkler system

gdy nie ma możliwości stosowania półek przesypowych. Blachy te mają dużą twardość (ok. 63 HB) oraz wysoką odporność na ścieranie. Kompozyty polimerowe są wykorzystywane do napraw, regeneracji i zabezpieczeń, do których należy zaliczyć wyklejanie magnesów na wale rekuperatora, naprawy ubytków pras filtrujących i wykładzin trudnościeralnych wirówek sedimentacyjno-sitowych. Dzięki zastosowanym rozwiązaniom wydłużono okresy międzyremontowe eksploatowanych maszyn i urządzeń, zwiększono trwałość i ulepszone parametry pracy zespołów pompowych. Natomiast rury polietylenowe są stosowane do transportu wszystkich mediów (wody płuczkowe zawierające ziarna ilaste, jak i ciężkie ciecze magnetytowe). Wykazują dużą odporność na ścieranie, nie korodują i są łatwe w montażu. Dzięki temu wdrożeniu wyeliminowano problem eksploatacji rurociągów. Zdzieraki z węglikiem spiekany służą do czyszczenia taśm przenośnikowych podczas transportu materiałów lepkich, zabłoconych i trudnych do usunięcia. Zdzieraki skutecznie czyszczą taśmy przenośnikowe. Najnowsze działania modernizacyjne w Zakładzie Przeróbki Mechanicznej Węgla obejmują instalację centralnego odkurzania, podglądy na pracę węzła hydroklastyfikacji, system wspomagający produkcję, dyspozytornię, zwałowarki gąsienicowo-obrotowo-taśmowe, instalację zraszającą przeciwpożarową, wykorzystanie sit strunowych do "odmulania na sucho" oraz mobilne urządzenie dźwigowe do opuszczania i podnoszenia ludzi. Technologie usprawniające i modernizujące pracę ZPMW wprowadzono w celu optymalizacji i unowocześnienia procesu wzbogacania, szybszego reagowania na usterki i awarie układu technologicznego, wdrożenia programu Solaris Helios do systemów predykcji-

nych monitorujących pracę maszyn, szybszego przepływu informacji między pracownikami węzła produkcyjnego oraz zwiększenia kontroli podczas etapów wzbogacania. Na rys.20 przedstawiono system ciągłego monitoringu ZPMW zawierający w systemie dyspozytorskim 50 kamer i w systemie stanowiskowym 42 kamery.

Do najnowszych modernizacji należy zaliczyć instalację zraszającą przeciwpożarową. Kurtyny wodne wyposażono w tryskacze z ampułkami, które pękają powyżej 57°C, po czym następuje wypływ wody. Jednocześnie zostaje zatrzymany ruch przenośnika, co przedstawiono na rys.21.

Należy również wspomnieć o wielu projektach racjonalizatorskich ukierunkowanych m.in. na zautomatyzowanie pomiaru jakości węgla podawanego do osadzarek, zastosowanie automatycznych szufladowych próbobierników w przesypach z przenośników taśmowych, zabudowę siłowników hydraulicznych do przestawiania kłap przesypowych na zwałowiskach odpadów pogórnich oraz zastosowanie elastomerów jako wykładki zsuwni nadawczych do wzbogacalników DISA.

4. Podsumowanie

- Uczestnicy konferencji KOMENKO 2023 zwracali uwagę na aktualność jej tematyki, zwłaszcza w aspekcie Sprawiedliwej Transformacji Rejonów Pogórnich, wyzwań europejskiej gospodarki o obiegu zamkniętym oraz Zielonego Ładu.
- Dużym zainteresowaniem cieszyła się prezentacja, dotycząca zagospodarowania odpadów wydobywczych w kontekście gospodarki o obiegu zamknię-

tym, w której określono zasady postępowania z odpadami wydobywczymi oraz wymagania w zakresie ochrony środowiska i zdrowia człowieka. Istota działań polega na minimalizowaniu ilości odpadów, maksymalizowaniu odzysku surowców oraz zmniejszeniu emisji gazów cieplarnianych i zanieczyszczeń.

- W Polsce zdefiniowano gospodarkę o obiegu zamkniętym w "Mapie drogowej transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym" w 2019. W 2022 r. ilość odpadów powstających przy wydobyciu węgla kamiennego, wyniosła 20,14 mln ton, z czego 75% zostało gospodarczo wykorzystanych na powierzchni.
- Nowy paradygmat rozwoju społeczno-gospodarczego, jakim jest zasobooszczędność i gospodarka o obiegu zamkniętym uwzględnia fakt, że odpady górnicze i odpady przerobcze, poza substancją węglową, zawierają wiele surowców i pierwiastków, które mogą zostać wykorzystane na skalę przemysłową. Są to przede wszystkim piaskowce, mułowce, ilowce i łupki węglowe, które mogą być wykorzystane w budownictwie.
- Wykorzystanie odpadów, zalegających na składowiskach, wpisuje się w politykę zrównoważonego rozwoju, gdyż przyczynia się do zmniejszenia ilości składowanych odpadów oraz uzyskania oszczędności w nieodnawialnych zasobach surowców naturalnych.

Literatura – References

1. Abramowicz, A., Rahmonov, O., & Chybiorz, R. (2020). Environmental management and landscape transformation on self-heating coal-waste dumps in the Upper Silesian Coal Basin. *Land*, 10(1), 23.
2. de Jesús López-Saucedo, F., Batista-Rodríguez, J. A., Carrillo-Pedroza, F. R., Díaz-Martínez, R., & Ramos-Méndez, K. L. (2023). Demonstration of a methodology for measuring the neutralization potential in coal waste. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 43(4), 666-676.
3. Pawul, M., Kępyś, W., & Śliwka, M. (2022). The Role of Natural Succession in the Reclamation of Mining Waste Disposal Facilities. *Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society* (2), str.159-165
4. Marcisz, M., Adamczyk, Z., Gawor, Ł., & Nowińska, K. (2021). The impact of depositing waste from coal mining and power engineering on soils on the example of a central mining waste dump. *gospodarka surowcami mineralnymi*, 37(2).
5. Vo, T. L., Nash, W., Del Galdo, M., Rezania, M., Crane, R., Nezhad, M. M., & Ferrara, L. (2022). Coal mining wastes valorization as raw geomaterials in construction: A review with new perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 336, 130213.
6. Binal, G., & Bacaksizoglu, A. (2023). Brick production and characterization containing coal mining waste. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 43(1), 135-147.
7. Kien, T. T., & Lanh, P. T. V. (2021). UTILIZATION OF RECYCLED COAL MINING WASTE FOR ROAD FOUNDATION LAYERS IN VIETNAM. *GEOMATE Journal*, 21(87), 11-18.
8. Kowol, D., & Kurama, H. (2020). Recovery of fine coal grains from post-mining wastes with use of autogenous suspending bed technology. *Management Systems in Production Engineering*, 28(4), 220-227.
9. Matusiak, P., & Kowol, D. (2020). Use of state-of-the-art jigs of KOMAG type for a beneficiation of coking coal. *Mining Machines*.
10. Mansilha, C., Melo, A., Flores, D., Ribeiro, J., Rocha, J. R., Martins, V., ... & Espinha Marques, J. (2021). Irrigation with coal mining effluents: Sustainability and water quality considerations (São Pedro da Cova, North Portugal). *Water*, 13(16), 2157.
11. Borowski, G., Alsaqoor, S., & Alahmer, A. (2021). Using Agglomeration Techniques for Coal and Ash Waste Management in the Circular Economy. *Advances in Science and Technology. Research Journal*, 15(3).
12. Kruszewski, Ł., Kisiel, M., & Cegiłka, M. (2021). Soil development in a coal-burning environment: The Upper Silesian waste heaps of Poland. *Geological Quarterly*, 65.
13. Ofori, P., Hodgkinson, J., Khanal, M., Hapugoda, P., & Yin, J. (2022). Potential resources from coal mining and combustion waste: Australian perspective. *Environment, Development and Sustainability*, 1-18.
14. Lutyński, A. (2021). KOMAG activities in the domestic and international research areas. *Mining Machines*, (4).
15. Kulpa J., Jarosz J. (2023): Charakterystyka zagospodarowania odpadów wydobywczych w Polsce w świetle wyzwań europejskiej gospodarki o obiegu zamkniętym. Prezentacja podczas konferencji KOMEKO 2023, Szczyrk, 27-29 marca 2023 r. - niepublikowana

16. Matusiak P., Kowol D. (2023): Modernizacja zakładu przerobczego w kierunku niskiej emisji i automatyzacji procesów - innowacyjność przeróbki przyszłości. Prezentacja podczas konferencji KOMEKO 2023, Szczyrk, 27-29 marca 2023 r. - niepublikowana
17. Matusiak P., Kowol D. (2023): Nowa technologia wytwarzania wodoru i kompozytów geopolimerowych z odpadów pogórnich. Prezentacja podczas konferencji KOMEKO 2023, Szczyrk, 27-29 marca 2023 r. - niepublikowana
18. Lutyński M., Baron R. (2023): Wzbogacanie odpadów oraz kruszyw naturalnych zawierających pierwiastki ziem rzadkich z zastosowaniem separacji magnetycznej. Prezentacja podczas konferencji KOMEKO 2023, Szczyrk, 27-29 marca 2023 r. - niepublikowana
19. Tora B., Olkuski T. et al. (2023): Recykling odpadów zawierających lit z rejonu Krusne Hory w Czechach. Prezentacja podczas konferencji KOMEKO 2023, Szczyrk, 27-29 marca 2023 r. - niepublikowana
20. Świercz M., Sołtys K. (2023): Innowacyjność i nowoczesne rozwiązania współczesnej przeróbki mechanicznej węgla na przykładzie LW "Bogdanka" S.A. Prezentacja podczas konferencji KOMEKO 2023, Szczyrk, 27-29 marca 2023 r. - niepublikowana

Environmentally Friendly Processing of Mineral Resources - Review of Papers Presented during the KOMEKO 2023 Scientific and Technical Conference

The article is an overview of selected papers presented during the KOMEKO 2023 conference, organized in Szczyrk by the KOMAG Institute of Mining Technology from 27 to 29 March this year. Their topics included innovative technical and technological solutions in the field of mechanical processing of mineral raw materials, rational waste management in accordance with the requirements of the Green Deal, production of hydrogen and geopolymer composites from post-mining waste, enrichment of waste and aggregates containing rare earth elements or recycling of waste containing lithium. Participants of the KOMEKO 2023 conference were very interested in the discussion panel devoted to the automated, zero-waste processing plant. Particular attention was paid to the management of mining waste in Poland in the light of the challenges of the European circular economy and the safety of operation of processing machines and devices in the aspect of implementing innovative solutions. The KOMEKO 2023 scientific and technical conference was a forum for an interesting exchange of knowledge and professional experience between scientists, manufacturers of machinery and processing equipment, and their users representing the sector of mineral raw material producers. The success of the conference is evidenced by lively and fruitful discussions between all stakeholders in the mineral processing process.

Keywords: *processing of mineral resources, waste management, waste recycling, post-mining waste, machinery and processing equipment*