

Piotr MATUSIAK
Daniel KOWOL
Rafał BARON

Instytut Techniki Górniczej KOMAG w Gliwicach

H2GEO – INNOWACYJNE TECHNOLOGIE PRZETWARZANIA I KIERUNKI WYKORZYSTANIA ODPADÓW POGÓRNICZYCH

Działalność górnicza generuje znaczne ilości odpadów, które składowane na hałdach; prowadzą do degradacji środowiska, zanieczyszczenia wód oraz emisji toksycznych gazów. W obliczu tych zagrożeń kluczowe staje się wdrażanie metod rekultywacji i ponownego wykorzystania odpadów zgodnie z zasadami gospodarki o obiegu zamkniętym. Prowadzone od wielu lat w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG badania nad rozdziałem i odzyskiem odpadów kopalnianych przyczyniły się do rozpoczęcia w 2023 r. projektu H2GEO, współfinansowanego przez Fundusz Badawczy Węgla i Stali. Celem projektu jest opracowanie technologii umożliwiającej przetwarzanie odpadów kopalnianych na kompozyty geopolimerowe oraz produkcję wodoru poprzez zgazowanie frakcji energetycznych. Wdrożenie rezultatów projektu na efektywne wykorzystanie historycznych zasobów odpadów i zmniejszenie negatywnego wpływu na środowisko. Realizacja projektu przyczyni się do rekultywacji zdegradowanych terenów pogórnich, poprawy jakości środowiska oraz rozwoju nowych branż technologicznych.

1. WSTĘP

Działalność górnicza i eksploatacja złóż surowców mineralnych, w tym węgla kamiennego, generują znaczne ilości odpadów, które muszą być składowane na hałdach, które zajmują rozległe tereny, często przekształcając je w nieużytki i prowadząc do degradacji środowiska naturalnego. Składowiska odpadów górniczych stanowią istotny problem ekologiczny i przestrzenny, ponieważ nie tylko ograniczają dostępność gruntów do innych celów, ale również mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia ludzi i funkcjonowania lokalnych ekosystemów.

Jednym z głównych problemów związanych z hałdami odpadów pochodzących z eksploatacji węgla kamiennego jest zanieczyszczenie wód gruntowych i powierzchniowych. Wskutek procesów wymywania, do środowiska przedostają się metale ciężkie, siarczany i chlorki, które mogą powodować długotrwałe skażenie zasobów wodnych.

Ponadto, odpady te często zawierają substancje łatwo utleniające się, jak węgiel i piryt, co może prowadzić do ich spontanicznego samozapłonu. W efekcie do atmosfery uwalniane są toksyczne gazy, w tym tlenki siarki, które przyczyniają się do pogorszenia jakości powietrza.

Skutki środowiskowe składowania odpadów górniczych są wielowymiarowe – od degradacji gleby i zmniejszenia bioróżnorodności po negatywny wpływ na zdrowie mieszkańców terenów sąsiadujących. Dodatkowo, obecność rozległych składowisk odpadów znacząco obniża walory krajobrazowe i może negatywnie wpływać na rozwój społeczno-gospodarczy regionów górniczych. W obliczu tych zagrożeń konieczne jest wdrażanie skutecznych metod rekultywacji terenów pogórnich obejmujących zarówno działania techniczne, jak i biologiczne.

W ramach dążeń do zrównoważonego rozwoju oraz ochrony środowiska, coraz większy nacisk kładzie się na efektywne zarządzanie zasobami i minimalizowanie wpływu działalności człowieka na przyrodę. W kontekście górnictwa, szczególnie w odniesieniu do odpadów górniczych, kluczowym zagadnieniem staje się wykorzystanie odpadów jako surowców wtórnych w ramach zasad gospodarki o obiegu zamkniętym, tj. wykorzystywania zasobów w sposób maksymalnie efektywny dla ich ponownego wprowadzenia do obiegu.

Odzysk i ponowne wykorzystanie odpadów niesie ze sobą wiele korzyści. Po pierwsze zmniejszeniu ulega zapotrzebowanie na wydobycie nowych surowców naturalnych co ogranicza degradację środowiska związaną z ich wydobyciem. Kolejną zaletą przetwarzania odpadów zalegających składowiska jest stała redukcja zagrożeń środowiskowych. Wykorzystanie odpadów zamiast ich składowania umożliwia również zmniejszenie zajmowanej przez nie powierzchni, co z kolei umożliwia przywrócenie tych terenów do innych celów użytkowych, jak tereny rekreacyjne, rolnicze czy budowlane, a także poprawia walory krajobrazowe.

2. CEL PROJEKTU H2GEO

Duża liczba składowisk odpadów górniczych węgla kamiennego zajmujących znaczne obszary oraz ich negatywny wpływ na środowisko sprawiają, że niezbędne jest ich efektywne rekultywowanie. W Instytucie Techniki Górniczej KOMAG od wielu lat prowadzone są prace, których celem jest rozdział i odzysk odpadów górniczych deponowanych na składowiskach [1–4]. Analiza stanu istniejącego wskazała na zasadność realizacji prac umożliwiających rozwój dostępnych i opracowanie nowych metod przetwarzania, odzysku i ponownego wykorzystania materiałów zalegających składowiska odpadów górniczych, w aspekcie wymagań GOZ i w sposób przyjazny dla środowiska [5–8].

W 2023 r. Instytut Techniki Górniczej wraz z partnerami krajowymi i międzynarodowymi rozpoczął realizację projektu dofinansowanego przez Fundusz Badawczy Węgla i Stali (RFCS) – *New technology for hydrogen and geopolymer composites production*

from post-mining waste – Nowa technologia produkcji wodoru i kompozytów geopolimerowych z odpadów pogórnich [9]. Celem projektu o akronimie H2GEO jest opracowanie kompleksowej technologii zagospodarowania hałd pokopalnianych w myśl gospodarki obiegu zamkniętego.

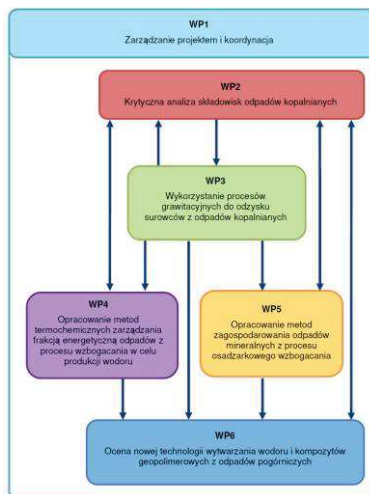
W skład konsorcjum projektowego wchodzi:

Instytut Techniki Górniczej KOMAG – Lider Konsorcjum, Główny Instytut Górnictwa – Państwowy Instytut Badawczy, Institute of Construction and Architecture of SAS (Słowacja), Instytut Technologii Paliw i Energii, VSB – Technical University of Ostrava, Politechnika Wrocławska, Haldex S.A. – partner przemysłowy.

Projekt H2GEO zaprezentuje rozwiązanie umożliwiające wykorzystanie historycznych zasobów odpadów górniczych, promując recykling odpadów i identyfikując nowe możliwości rynkowe. Główną ideą projektu jest wykorzystanie wydzielonych frakcji mineralnych z dodatkiem popiołu lotnego oraz wykorzystaniem (użytkowaniem) CO₂ do produkcji kompozytów geopolimerowych. Równie ważnym aspektem projektu jest określenie możliwości pozyskiwania wodoru ze zgazowania frakcji energetycznych. Wysoką jakość surowców do produkcji geopolimerów i wodoru zapewni zastosowanie innowacyjnego mobilnego separatora do przetwarzania odpadów kopalnianych.

3. ZAKRES PROJEKTU H2GEO

Projekt złożony jest z sześciu głównych pakietów roboczych, których układ i współzależność przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat współpracy w projekcie H2GEO
Fig. 1. The scheme of collaboration in the H2GEO project

W kolejnych punktach opisano cele szczegółowe każdego pakietu oraz przedstawiono najważniejsze informacje o wykonywanych i zaplanowanych pracach.

3.1. ZARZĄDZANIE PROJEKTEM I KOORDYNACJA (PAKIET 1)

Celem tego pakietu jest koordynacja i zarządzanie projektem H2GEO dla zapewnienia skutecznej komunikacji pomiędzy partnerami, realizacji kolejnych pakietów roboczych i terminowego dostarczania raportów technicznych i finansowych. Niezwykle istotnym aspektem jest rozpowszechnianie wyników projektu, które odbywa się licznymi formami rozpowszechniania w postaci strony internetowej projektu, publikacji i prezentacji oraz warsztatów.

3.2. KRYTYCZNA ANALIZA SKŁADOWISK ODPADÓW KOPALNIANYCH (PAKIET 2)

W ramach projektu dokonano inwentaryzacji czynnych i zrekultywowanych składowisk odpadów wydobywczych w wybranych krajach Europy, która pozwoliła na pozyskanie szczegółowych informacji dotyczących m.in. lokalizacji, wolumenu składowanych odpadów i ewentualnych stwierdzonych ryzyk środowiskowych. Pozyskane dane mogą stanowić cenne źródło informacji dla realizacji i po zakończeniu projektu, wspierając działania mające na celu zrównoważony rozwój społeczności lokalnych, ochronę środowiska oraz poprawę efektywności ekonomicznej poprzez odzysk surowców i ich przemysłowe wykorzystanie.



Rys. 2. Przykładowy widok składowiska odpadów górniczych [10]
Fig. 2. Example view of a mining waste dump [10]

Przeprowadzono szczegółowe analizy laboratoryjne prób materiałów zalegających składowiska (hałdy) dla określenia ich właściwości w aspekcie możliwości ich ponownego przemysłowego wykorzystania.

Ponadto opracowywana jest baza danych, której celem jest ciągła archiwizacja odpowiednich danych pomiarowych i obliczeniowych z projektu.

3.3. WYKORZYSTANIE PROCESÓW GRAWITACYJNYCH DO ODZYSKU SUROWCÓW Z ODPADÓW KOPALNIANYCH (PAKIET 3)

Zaplanowane rozwiązania wymagały potwierdzenia możliwości ich wprowadzenia, dlatego w trakcie projektu wykonano badania gęstościowego rozdziału odpadów w warunkach laboratoryjnych. Przeprowadzone badania pozwoliły na określenie wpływu wybranych parametrów procesowych na skuteczność rozdziału odpadów oraz umożliwiły wstępny dobór rozwiązań konstrukcyjnych dla nowego urządzenia przemysłowego.

Aktualnie opracowywany jest projekt przemysłowego mobilnego systemu do rozdziału odpadów górniczych, którego zasada działania opiera się wykorzystaniu różnic w gęstościach poszczególnych ziaren odpadów, a ich rozdział następuje w pulsującym ośrodku wodnym. Opracowana jednostka będzie wyposażona w innowacyjny system sterowania, który umożliwi skuteczną separację odpadów i pozyskiwanie wysokojakościowych produktów umożliwiających ich wykorzystanie dla dalszego przetwarzania.

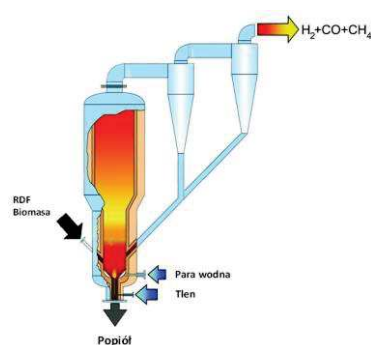
3.4. OPRACOWANIE METOD TERMOCHEMICZNYCH ZARZĄDZANIA FRAKCJĄ ENERGETYCZNĄ ODPADÓW W CELU PRODUKCJI WODORU (PAKIET 4)

Jednym z głównych celów tego projektu jest opracowanie i optymalizacja metody umożliwiającej produkcję wodoru o wysokiej wartości z frakcji zawierających węgiel pozyskanych w procesie wzbogacania odpadów kopalnianych.

Produkcja wodoru wymaga wcześniejszego zgazowania materiału węglonośnego w celu pozyskania gazu syntezowego, tzw. syngazu, złożonego z wodoru i tlenku węgla. Proces zgazowania frakcji węglonośnych jest testowany przy użyciu dwóch metod: zgazowania plazmowego metodą VSB oraz zgazowania w reaktorze fluidalnym.



Rys. 3. Schemat reaktora
do zgazowania plazmowego [11]
Fig. 3. Diagram of the plasma
gasification reactor [11]



Rys. 4. Schemat reaktora zgazowania
ze złożem fluidalnym [12]
Fig. 4. Diagram of gasification reactor
with a fluidized bed [12]

3.5. OPRACOWANIE METOD ZAGOSPODAROWANIA ODPADÓW MINERALNYCH Z PROCESU OSADZARKOWEGO WZBOGACANIA (PAKIET 5)

Głównym kierunkiem prac badawczych w zakresie wykorzystania wydzielonych frakcji mineralnych jest opracowanie nowej technologii produkcji geopolimerów, które dzięki swoim właściwościom mechanicznym i odporności na działanie czynników atmosferycznych, mogą znaleźć zastosowanie w budownictwie i inżynierii lądowej, zastępując tradycyjne materiały cementowe.



Rys. 5. Przykład kostek geopolimerowych [13]

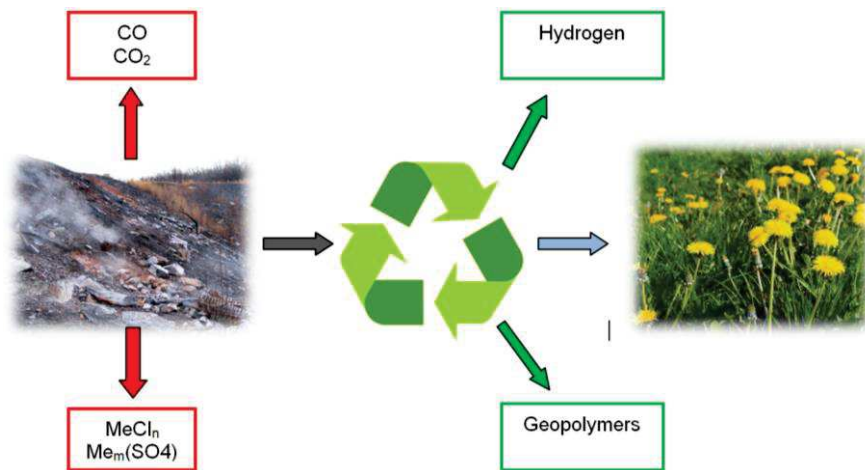
Fig. 5. An example of geopolymer cubes [13]

Na podstawie określonych właściwości produktów wzbogacania zostaną wskazane także inne kierunki zagospodarowania odpadów wydobywczych. Przeanalizowane zostaną możliwości ich wykorzystania do produkcji materiałów budowlanych i drogowych, w inżynierii środowiska i górnictwie, rolnictwie i rekultywacji gruntów. Przewidziano również opracowanie technologii rekultywacji gleby po zakończeniu zagospodarowania składowiska, przy wykorzystaniu do tego celu bioodpadów.

3.6. OCENA NOWEJ TECHNOLOGII WYTWARZANIA WODORU I KOMPOZYTÓW GEOPOLIMEROWYCH Z ODPADÓW POGÓRNICZYCH (PAKIET 6)

Wyniki prac uzyskane w trakcie realizacji projektu zostaną wykorzystane dla osiągnięcia najważniejszego celu – opracowania koncepcji pełnego łańcucha technologicznego do produkcji wodoru i geopolimerów z przetwarzanych z hałd odpadów górniczych na skalę komercyjną. Opracowany zostanie schemat technologii, podstawowe parametry technologiczne, opis obiektów i urządzeń, charakterystyka produktów energetycznych i surowców mineralnych, ogólny bilans masowy i energetyczny dla proponowanej koncepcji technologicznej.

Określone zostaną ekonomiczne, ekologiczne, społeczne i prawne aspekty opracowanej technologii przetwarzania hałd w zakresie wytwarzania kompozytów geopolimerowych i wodoru z odpadów górniczych.



Rys. 6. Wpływ rozwiązań technologicznych w projekcie H2GEO
 Fig. 6. Effect of technological solutions in the H2GEO project

4. PODSUMOWANIE

Opracowanie w ramach projektu H2GEO i wdrożenie kompleksowej technologii przetwarzania odpadów zalegających składowiska kopalniane powinno spowodować intensyfikację działań w zakresie rekultywacji zdegradowanych terenów pogórnich, co ma kluczowe znaczenie dla poprawy jakości środowiska naturalnego oraz odzyskiwania cennych zasobów. Zastosowanie nowoczesnych metod technologicznych pozwoli na skuteczne wykorzystanie odpadów kopalnianych, które dotychczas stanowiły obciążenie dla środowiska, przekształcając je w użyteczne materiały. Opracowanie efektywnych procesów przetwarzania tych odpadów, jak produkcja geopolimerów i wodoru, nie tylko przyczyni się do zmniejszenia ilości odpadów, ale także zapewni wykorzystanie alternatywnych surowców, zmniejszając tym samym presję na zasoby naturalne.

Dodatkowo, wdrożenie technologii zgodnych z zasadami gospodarki o obiegu zamkniętym umożliwi ponowne wykorzystanie materiałów odpadowych, co jest zgodne z globalnym trendem zrównoważonego rozwoju. Dzięki temu procesy przemysłowe staną się bardziej ekologiczne, a konieczność eksploatacji nowych zasobów naturalnych zostanie zminimalizowana. Opracowanie metod przetwarzania odpadów w ramach projektu H2GEO będzie miało także wpływ na rozwój nowych branż, jak produkcja energii z wodoru czy przemysł geopolimerów, co otworzy nowe możliwości rynkowe i technologiczne.

Konsekwentnie prowadzona rekultywacja składowisk kopalnianych, dzięki innowacyjnym rozwiązaniom, pozwala na systematyczną redukcję zagrożeń środowi-

skowych związanych z niekontrolowanym składowaniem odpadów. Zrehabilitowane tereny będą mogły zostać ponownie zagospodarowane, co przyczyni się do poprawy jakości życia w tych obszarach, umożliwiając ich wykorzystanie do celów rolniczych, leśnych, a także jako przestrzeń dla inwestycji przemysłowych lub rekreacyjnych. Długofalowo projekt H2GEO ma zatem na celu nie tylko poprawę stanu środowiska, ale także przekształcenie zdegradowanych terenów w przestrzeń o wartości użytkowej i ekologicznej, co będzie miało pozytywny wpływ na rozwój regionów pogórnich.

LITERATURA

- [1] KOWOL D., MATUSIAK P., *Use of a jig beneficiation process for obtaining mineral raw materials*, IOP Conference Series, Materials Science and Engineering, 2019, Vol. 545.
- [2] KOWOL D., MATUSIAK P., ŁAGÓDKA M., *Badania laboratoryjne skuteczności osadzarkowego wzbogacania odpadów powęglowych w klasach ziarnowych 35–3 mm oraz 35–0 mm*, Maszyny Górnicze, 2017, nr 2, 3–15.
- [3] MATUSIAK P., KOWOL D., *Zastosowanie inteligentnych rozwiązań w procesach produkcji kruszyw mineralnych*, [w:] W. Glapa (red.), *Kruszywa mineralne*, t. 2, Oficyna Wydawnicza PWr, Wrocław 2023, 133–142.
- [4] MATUSIAK P., KOWOL D., *Technologia odzysku koncentratu węglowego z odpadów pogórnich poprzez wdrożenia urządzeń typu KOMAG*, Maszyny Górnicze, 2017, nr 2, 42–52.
- [5] GALOS K., SZLUGAJ J., *Wastes from mining industry and from hard coal processing as materials for production of mineral aggregates*, Cuprum, 2012, No. 4 (65), 79–93.
- [6] MABROUM S., MOUKANNAA S., EL MACHI A., TAHA Y., BENZAAZOUA M., HAKKOU R., *Mine wastes based geopolymers: A critical review*, Cleaner Engineering and Technology, 2020, Vol. 1, 100014.
- [7] MIDILLI A., KUCUK H., TOPAL M., AKBULUT U., DINCER I., *A comprehensive review on hydrogen production from coal gasification: Challenges and Opportunities*, International Journal of Hydrogen Energy, 2021, Vol. 46, Issue 50, 25385–25412.
- [8] ZÁSTĚROVÁ P., MARSCHALKO M., NIEMIEC D., DURĎÁK J., BULKOR., VLČEK J., *Analysis of Possibilities of Reclamation Waste Dumps after Coal Mining*, Procedia Earth and Planetary Science, 2015, Vol. 15, pp. 656–662.
- [9] MATUSIAK P., KOWOL D., *Nowa technologia wytwarzania wodoru i kompozytów geopolimerowych z odpadów pogórnich. KOMEKO 2023*, Konferencja Naukowo-Techniczna Przemysł Przyjazny dla Środowiska, Gliwice 2023, 68–79.
- [10] <https://www.slaskibiznes.pl/wiadomosci,raport-nik-czy-haldy-stanowia-zagrozenie,wia5-1-1240-1.html> [dostęp: 7.03.2025].
- [11] <https://www.nucoal.pl/> [dostęp: 7.03.2025].
- [12] <https://cen.acs.org/articles/94/i15/Air-Products-retreats-wasteenergy.html> [dostęp: 7.03.2025].
- [13] <https://housing.com/news/geopolymer-concrete/> [dostęp: 7.03.2025].

H2GEO project has received funding from the Research Fund for Coal and Steel (RFCS) under GRANT AGREEMENT No. 101112386.

Praca naukowa opublikowana w ramach projektu międzynarodowego współfinansowanego ze środków programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pn. „PMW” w latach 2023–2026; umowa nr 5676/FBWiS/2023/2024/2.



**Co-funded by
the European Union**



H2GEO – INNOVATIVE PROCESSING TECHNOLOGIES AND DIRECTIONS FOR THE UTILIZATION OF POST-MINING WASTE

Mining activities generate significant amounts of waste, which, when stored in heaps, lead to environmental degradation, water contamination, and the emission of toxic gases. In light of these threats, the implementation of reclamation methods and the reuse of waste in accordance with the principles of a circular economy has become crucial. Research conducted for many years at the KOMAG Institute of Mining Technology on the separation and recovery of mining waste contributed to the launch of the H2GEO project in 2023, co-financed by the Research Fund for Coal and Steel. The aim of the project is to develop a technology that enables the processing of mining waste into geopolymer composites and the production of hydrogen through the gasification of energy fractions. The implementation of the project results will allow for the effective utilization of historical waste resources and the reduction of their negative environmental impact. The project's realization will contribute to the reclamation of degraded post-mining areas, the improvement of environmental quality, and the development of new technological sectors.