

PROJEKT BADAWCZY „OD ODPADÓW WYDOBYWCZYCH PO CENNE ZASOBY: NOWE KONCEPCJE GOSPODARKI O OBIEGU ZAMKNIĘTYM” (MINRESCUE)

RESEARCH PROJECT „FROM MINING WASTE TO VALUABLE RESOURCE: NEW CONCEPTS FOR A CIRCULAR ECONOMY” (MINRESCUE)

Barbara Rogosz, Marta Resak, Jacek Szczepiński, Adam Bajcar - „Poltegor-Institut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław

W artykule zaprezentowane zostały cele i założenia projektu MINRESCUE „Od odpadów wydobywczych po cenne zasoby: nowe koncepcje gospodarki o obiegu zamkniętym” realizowanego w ramach Funduszu Badawczego Węgla i Stali i współfinansowanego przez polskie Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Słowa kluczowe: gospodarka obiegu zamkniętego, odpady powydobywcze, recykling, beton

The article presents the main aims of the project entitled „From Mining Waste to Valuable Resource: New Concepts for a Circular Economy” MINRESCUE, realized within Research Found for Coal and Steel and co-financed by Polish Ministry of Science and Higher Education.

Keywords: circular economy, waste dumps, coal mining waste, recycling, concrete

Wstęp

Dążąc do zrównoważonego rozwoju, współczesne społeczeństwa przechodzą obecnie zasadniczą zmianę z liniowego modelu gospodarki, tj. gospodarki opartej na wykorzystaniu produktów i usług, a dokładniej na schemacie „weź-wyprodukuj-zużyj-wyrzuć” na model gospodarki obiegowej oparty na recyklingu. Jego celem jest zarówno generowanie mniejszej ilości odpadów, jak i ponowne ich wykorzystanie jako nowych surowców w procesach przemysłowych. Jednym z kluczowych elementów realizacji flagowej inicjatywy Unii Europejskiej w zakresie efektywnego gospodarowania zasobami jest przekształcenie gospodarki Wspólnoty w gospodarkę obiegu zamkniętego, w celu ograniczenia wytwarzania odpadów, a także wykorzystywania tych już istniejących jako zasobów.

W związku z istniejącym zapotrzebowaniem na surowce energetyczne, w tym na węgiel pojawiły się ogromne ilości odpadów powydobywczych, co zmusza do szukania rozwiązań umożliwiających ograniczenie ich powstawania i racjonalne zagospodarowanie już istniejących. Pomimo nasilonych

działań Unii Europejskiej zmierzających do maksymalnego ograniczenia produkcji energii w oparciu o węgiel, ilość nagromadzonych odpadów powydobywczych jest ogromna i konieczne jest podjęcie działań umożliwiających ich racjonalne zagospodarowanie.

Przekształcanie geomateriałów odpadowych z górnictwa węglowego (CMWG- Coal Mining Waste Geomaterials) w użyteczne zasoby i materiały, w szczególności dla budownictwa, doskonale wpisuje się w założenia gospodarki obiegu zamkniętego oraz ograniczania negatywnego wpływu na środowisko zarówno wydobycia węgla jak i działalności budowlanej. Jednocześnie opracowanie zrównoważonych rozwiązań w zakresie wykorzystania CMWG, może również przyczynić się do ograniczenia zapotrzebowania na surowce naturalne niezbędne do prowadzenia prac budowlanych i infrastrukturalnych, szczególnie w okolicach, gdzie kiedyś toczyła się lub wciąż toczy się eksploatacja górnictwa [1], [2].

Próba sprostania wyzwaniom związanym z wytwarzaniem dużej ilości odpadów przez górnictwo węglowe podjęta jest

w projekcie MINRESCUE „Od odpadów wydobywczych po cenne zasoby: nowe koncepcje gospodarki o obiegu zamkniętym”, realizowanym przez „Poltegor-Instytut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego w ramach Funduszu Badawczego Węgla i Stali, przy wsparciu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Partnerzy projektu MINRESCUE

Projekt MINRESCUE rozpoczął się 1 września 2020 roku i trwać będzie 36 miesięcy, do 31 sierpnia 2023 roku. Realizowany jest on w międzynarodowym konsorcjum w skład którego wchodzi zarówno jednostki naukowe, jak i partnerzy przemysłowi z kilku europejskich krajów. Liderem projektu jest University of Warwick z Wielkiej Brytanii. Ponadto w projekcie biorą udział: University of Exeter z Wielkiej Brytanii, Subterra Ingenieria SL z Hiszpanii, Detek Energy Limited Liability z Ukrainy, Universite de Cergy-Pontoise oraz Bureau de Recherches Geologiques et Minieres z Francji, Politecnico di Milano i Nuova Tesi System SRL z Włoch, a także czterech partnerów z Polski: „Poltegor-Instytut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Główny Instytut Górnictwa, Lubelski Węgiel Bogdanka S.A. oraz Polska Grupa Górnicza S.A.

Cele projektu MINRESCUE

Celem projektu MINRESCUE jest sprostanie jednemu z głównych wyzwań stojących przed przemysłem węglowym w Europie: opracowaniem innowacyjnych koncepcji zarządzania, recyklingu i upcyklingu geomateriałów odpadowych wytwarzanych przez górnictwo węglowe na naszym kontynencie. Problem geomateriałów odpadowych pochodzących z górnictwa węglowego jest szczególnie istotny, ponieważ ilość odpadów produkowanych w czasie wydobywania węgla kamiennego jest bardzo duża. Głównym celem projektu jest opracowanie i zatwierdzenie strategii

wykorzystania CMWG jako składników zrównoważonych materiałów i produktów budowlanych. Realizacja celów zaplanowanych w projekcie MINRESCUE przyczyni się do dalszego rozwoju i promocji gospodarki o obiegu zamkniętym w obszarach związanych z górnictwem węglowym.

Projekt MINRESCUE dostarczy innowacyjnych rozwiązań w zakresie recyklingu CMWG i ich zastosowania w budownictwie, co w konsekwencji rozwiąże szereg kluczowych problemów związanych z istniejącymi i tworzonymi składowiskami odpadów górniczych, a także umożliwi większe wykorzystanie nieprzetworzonych geomateriałów w praktyce inżynierskiej. Projekt jest ukierunkowany na następujące działania i cele badawcze:

- charakterystykę mechanicznych i chemicznych właściwości odpadów górniczych,
- opracowanie zoptymalizowanych metod obróbki i rekultywacji oraz opracowanie mieszanin komponentów dopasowanych do zastosowań geotechnicznych,
- budowanie modeli numerycznych do przewidywania zachowań przetworzonych CMWG,
- opracowanie koncepcji odzyskiwania i ponownego wykorzystania ulepszonych komponentów,
- ocenę i zademonstrowanie trwałości i zwiększenia żywotności materiałów i zastosowań geostrukturalnych wykonanych przy użyciu CMWG w warunkach rzeczywistych,
- dostarczenie wytycznych do projektowania materiałów konstrukcyjnych i (geo)konstrukcji z udziałem przetworzonych CMWG,
- uzasadnienie redukcji wpływu na środowisko poprzez dobrze przemyślaną ocenę cyklu życia (LCA - Life Cycle Assessment),
- utworzenie drogi do wprowadzenia na rynek technologii unowocześnienia przetwarzania i upcyklingu CMWG, poprzez wstępną budowę prototypu oraz monitorowanie i ocenę cyklu życia.



Fot.1. Stok najwyższej hałdy w Wałbrzychu w rejonie kopalni Victoria (fot. C. Sroga, 2016)
Photo 1. The slope of the highest heap in Wałbrzych in the area of Victoria mine (photo C. Sroga, 2016)

Aby osiągnąć cele szczegółowe, w ramach projektu MIN-RESCUE zaproponowano całościowy i zintegrowany plan badań obejmujący gromadzenie danych, badania eksperymentalne w zakresie fizyki, geotechniki i struktury materiałów, rozważania teoretyczne, wdrożenia numeryczne, zaawansowane modelowanie, analizę danych oraz badania cyklu życia. Wyzwaniem dla działań badawczych jest opracowanie niezawodnych rozwiązań w zakresie recyklingu CMWG do zastosowań w budownictwie wysokiej jakości.

Działania przewidziane w projekcie MINRESCUE

Projekt MINRESCUE podzielony został na trzy zasadnicze pakiety robocze obejmujące: zaawansowaną fizyczną i chemiczną charakterystykę CMWG i metod ich przetwarzania, prace eksperymentalne dotyczące właściwości mechanicznych i zaawansowane modelowanie krótko- i długoterminowego zachowania się przetworzonych CMWG oraz zastosowanie CMWG w budownictwie, a także dwa dodatkowe pakiety



Fot. 2. Hałda popłuczkowa i osadnik mułów powęglowych (fot. C. Sroga, 2016)
Photo 2. Heap built of waste material from coal washing plant and coal sludge pond (photo C. Sroga, 2016)



Fot 3. Wierzchowina hałdy z osadnikiem mułów powęglowych (fot. C. Sroga, 2016)
Photo 3. The top of a heap with a coal sludge settlement (photo C. Sroga, 2016)

dotyczące zarządzania oraz szerokiego promowania wyników badań i rezultatów całego projektu.

Głównym założeniem pierwszego z pakietów roboczych jest opracowanie i zastosowanie innowacyjnych metod charakterystyki CMWG dla uzyskania wiarygodnych danych, które mogą być wykorzystane do opracowania odpowiednich technik ich przetwarzania, a następnie recyklingu ich cennych komponentów, a tym samym optymalizacji wartości zasobów. Uzyskanie informacji o CMWG takich jak skład chemiczny, porowatość, właściwości hydrogeochemiczne oraz inne właściwości geotechniczne i geologiczne jest ważnym kluczem do klasyfikacji różnych CMWG w różnych kategoriach, które mogą być użyte do określenia ich właściwego wykorzystania lub zaprojektowania niezbędnych metod obróbki i remediacji. Dobra znajomość właściwości CMWG jest warunkiem wstępnym do każdej analizy zastosowania, a także do opracowania wiarygodnej metodologii recyklingu ich użytecznych i cennych komponentów. Ponadto, mimo że istnieją pewne techniki przetwarzania mające na celu poprawę jakości geomateriałów odpadowych w przemyśle budowlanym, ogromne ilości odpadów

górnictwa węglowego jest nowością i przewiduje się, że będą one bardzo przydatne dla osiągnięcia celów projektu. W ramach projektu zastosowany zostanie skaningowy mikroskop elektronowy (SEM) w połączeniu ze spektroskopią rentgenowską z dyspersją energii (EDX) do określania morfologii i składu pierwiastkowego CMWG.

Kolejny pakiet roboczy przewidziany w projekcie MIN-RESCUE obejmować będzie eksperymentalne prace dotyczące właściwości mechanicznych i zaawansowane modelowanie krótko- i długoterminowego zachowania się przetworzonych CMWG. Podstawowym warunkiem zastosowania CMWG w budownictwie jest zagwarantowanie ich długotrwałego działania przez cały okres użytkowania konstrukcji, która ma być z nich wykonana. Powoduje to, że na etapie projektowania i budowy należy przewidzieć wszelkie możliwe zmiany właściwości użytkowych przetworzonych CMWG, wynikające z narażenia na warunki klimatyczne (np. zawilgocenie i wysuszenie) lub z funkcji samej konstrukcji (np. ługowanie w wypełnieniach ziemnych, utlenianie w produktach betonowych, itp.). Ogromne ilości odpadów górniczych nadal nie są ponownie wykorzystywane głównie



Fot. 4. Hałda popłuczkowa i osadnik mułów powęglowych (fot. C. Sroga, 2016)

Photo 4. Heap built of waste material from coal washing plant and coal sludge pond (photo C. Sroga, 2016)

górnictwa nadal nie są ponownie wykorzystywane ze względu na niepewność co do funkcji, jaką odpady te mogłyby pełnić, gdyby zostały odpowiednio przetworzone, a także długoterminowej trwałości budowanych z ich udziałem konstrukcji.

Projekt MINRESCUE dąży do wykorzystania nowoczesnych technologii, w celu sprostania różnym wyzwaniom w zakresie efektywnej charakterystyki odpadów górniczych, w szczególności wykorzystując zaawansowane techniki analityczne, w tym: masową spektrometrię plazmową indukcyjnie sprzężoną (ICP-MS) dla określenia stężeń cennych składników w ramach CMWG, dyfrakcję rentgenowską (XRD) dla określenia składu mineralogicznego, analizę powierzchni BET dla określenia powierzchni właściwej, TOC dla określenia całkowitej zawartości węgla organicznego i XPS dla określenia stanu walencji pierwiastkowej. Zastosowanie tych technik w sektorze

dlatego, że nie można wykazać trwałości przetworzonych geomateriałów. Aby zbadać wydajność mechaniczną i trwałość CMWG w zależności od rodzaju zastosowania, warunków terenowych i klimatycznych, pierwszym krokiem badawczym jest wskazanie kluczowych czynników mających wpływ na zmianę właściwości mechanicznych odpadów górniczych w kilku kontekstach. Należy zbadać wzajemne oddziaływanie na poziomie pierwiastków i cząstek oraz związki pomiędzy warunkami panującymi w terenie, a zachowaniem hydro-mechanicznym.

Środki stabilizujące są stosowane od dziesięcioleci w celu poprawy zachowania się geomateriałów o słabych właściwościach mechanicznych. Jednak w badaniach terenowych tylko w ograniczonym stopniu podjęto próbę oceny długoterminowych właściwości np. nasypów, kilka lat po zakończeniu ich budowy. Dlatego w ramach projektu planowane jest opracowa-

nie nowych modeli materiałowych, które wykorzystane zostaną na etapie analizy, projektowania lub budowy, aby przewidzieć długoterminowe zachowanie się CMWG, biorąc pod uwagę ich specyficzne cechy i stosując dobrze ugruntowane metody określania parametrów modelu. Obecnie, potencjał przetwarzania nie może być w pełni wykorzystany w wysokiej jakości zastosowaniach inżynierskich, ponieważ istniejące modele nie uwzględniają wyraźnie wpływu przetwarzania na reakcję mechaniczną CMWG. W celu zrozumienia mechanizmów wietrzenia i zmian geomateriałów z przetworzonych odpadów, wyniki badań zostaną połączone z metodami numerycznymi w kontekście zrozumienia i ilościowego określenia parametrów krytycznych, które wpływają na długoterminową stabilność i trwałość przetworzonych CMWG, jako funkcji tych parametrów. Tym samym określona zostanie całościowa strategia analizowania i przewidywania trwałości przetworzonych geomateriałów odpadowych.

Trzeci z pakietów roboczych przewidzianych w projekcie obejmuje badania nad zastosowaniem CMWG w budownictwie. Wykorzystanie materiałów z recyklingu jako składników betonu, w częściowym lub nawet całkowitym zastąpieniu materiałów konwencjonalnych, od spoiwa cementowego do kruszyw naturalnych, jest obecnie uważane za obiecujący sposób zmniejszenia zużycia zasobów naturalnych i związanej z tym emisji CO₂, a także ograniczenia obciążenia dla środowiska związanego z działalnością budowlaną. W ramach projektu podjęte zostaną aspekty technicznej i ekonomicznej możliwości wykorzystania CMWG jako składników materiałów betonopodobnych, zarówno z osnową cementową, jak i polimerową. Obejmą one cały łańcuch wartości procesu, począwszy od koncepcji składu mieszanki, poprzez ocenę krótko- i długoterminowych właściwości mechanicznych, w tym trwałości w zamierzonych scenariuszach użytkowania konstrukcji, aż po zachowanie się elementów konstrukcyjnych i komponentów zbudowanych z nowo opracowanych betonów, a także w celu sprawdzenia wiarygodności procedur projektowych stosowanych obecnie dla konwencjonalnych elementów betonowych.

W związku z tym, że brak jest analiz LCA (Life Cycle Assessment - ocena cyklu życia) dla konstrukcji ziemnych wykonanych z geomateriałów odpadowych oraz analiz oceniających wykorzystanie geomateriałów odpadowych jako składnika materiałów budowlanych w praktyce inżynierskiej, w ramach projektu przewiduje się wykonanie analizy LCA dla różnych wariantów

przetwarzania CMWG, w porównaniu z dotychczasową praktyką polegającą na przyjmowaniu odpadów przerobczonych lub ich składowaniu. Wygenerowane zostaną zbiory danych dla LCI (Life Cycle Inventory - analiza zbiorów wejść i wyjść), specyficzne dla szeregu metod przetwarzania, bazujące na określonych w projekcie MINRESCUE danych dotyczących trwałości. W trakcie realizacji projektu zostaną również obliczone reprezentatywne wartości zużycia energii poprzez uwzględnienie niezbędnych zabiegów zmierzających do upscalingu przemysłowego.

Planuje się, że projekt MINRESCUE obejmie kilka kontekstów zastosowań i typów CMWG, a w ramach podjętych badań opracowane zostaną wytyczne techniczne, które będą miały zastosowanie do każdego rodzaju geomateriału odpadowego z górnictwa węglowego, co w przyszłości umożliwi dużo lepsze zagospodarowanie odpadów powydobywczych.

Podsumowanie

Problem racjonalnego gospodarowania zasobami naturalnymi oraz redukcja powstawania odpadów jest zagadnieniem niezwykle istotnym. Zaplanowane w projekcie MINRESCUE działania przyczynią się do szerszego zastosowania geomateriałów odpadowych pochodzących z górnictwa węglowego w budownictwie, między innymi poprzez wykorzystanie materiałów z recyklingu jako składników betonu. W konsekwencji, w przyszłości możliwe będzie lepsze zagospodarowanie istniejących hałd powydobywczych oraz znaczące ograniczenie powstawania nowych.

Projekt finansowany ze środków Funduszu Badawczego Węgla i Stali (Umowa nr 899518 — MINRESCUE

This project has received funding from the Research Fund for Coal and Steel under grant agreement No 899518 — MINRESCUE

Praca naukowa opublikowana w ramach projektu międzynarodowego współfinansowanego ze środków programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pn. „PMW” w latach 2020-2023; umowa nr 5153/FBWiS/2020/2

Research published in frame of an international project co-financed by the program of the Minister of Science and Higher Education entitled „PMW” in 2020-2023; contract No. 5153/FBWiS/2012/2



Literatura

- [1] Santos, C.R., Ramos, Filho, J.R., Tubino, R.M.C., Schneider, I.A.H. 2013. Use of Coal Waste as Firm Aggregates In Concrete Paving Blocks. *Geomaterials*, 3, 54-59.
- [2] Stolboushkin, A. Yu., Ivanov, A.I., Fomina, O.A. 2016. Use of Coal-Mining and Processing Wastes in Production of Bricks and Fuel for Their Burning. *Procedia Engineering* 150 (2016) 1496 – 1502