

Wstępna ocena geologiczno-gospodarcza wybranych składowisk odpadów wydobywczych i ich wykorzystanie w gospodarce o obiegu zamkniętym

Preliminary Geological and Economic Assessment of Selected Mining Waste Deposits and Their Potential Utilisation within a Circular Economy Framework

Sławomir Szymanowicz, Amelia Zielińska, Urszula Koniuch^{*}

Słowa kluczowe: odpady wydobywcze, złoża antropogeniczne, gospodarka o obiegu zamkniętym, geoinżynieria, recykling

Streszczenie

Artykuł przedstawia wyniki wstępnej analizy geologiczno-gospodarczej wybranych składowisk odpadów wydobywczych. Zaproponowano metodykę badań obejmującą rozpoznanie geologiczne, badania laboratoryjne oraz analizę techniczno-ekonomiczną udostępnienia tzw. złóż antropogenicznych. Wstępne wyniki wskazują na duży potencjał gospodarczego wykorzystania materiałów zwałowych w inżynierii lądowej i wodnej, szczególnie w kontekście gospodarki o obiegu zamkniętym.

Keywords: mining waste, anthropogenic deposits, circular economy, geoen지니어ing, recycling

Abstract

The article presents the results of a preliminary geological and economic assessment of selected extractive waste disposal sites. A research methodology has been proposed, encompassing geological investigations, laboratory testing, and a technical and economic analysis of the potential utilization of so-called anthropogenic deposits. The preliminary findings indicate a high potential for the beneficial use of waste dump materials in civil and hydraulic engineering, particularly in the context of a circular economy approach.

1. Wstęp

Jednym ze skutków działalności górniczej jest powstawanie znacznych ilości odpadów wydobywczych. Wiele z nich traktowanych jest jako odpady jedynie z powodu braku ich zagospodarowania, podczas gdy w rzeczywistości mogą posiadać cechy kopaliny i stanowić wartościowy surowiec wtórny.

Pomimo wieloletnich działań ukierunkowanych na zagospodarowanie odpadów wydobywczych, ich nagromadzenie na hałdach i składowiskach utrzymuje się na wysokim poziomie i wykazuje tendencję wzrostową. W przypadku nieczynnego Wałbrzyskiego Zagłębia Węglowego, całkowita objętość odpadów wydobywczych zdeponowanych na hałdach o kubaturze przekraczającej 1 mln m³, szacowana jest na około 85 mln m³ [27,28]. Z kolei sumaryczna ilość odpadów wydobywczych wszystkich typów, wytworzonych przez zakłady górnictwa surowców skalnych w województwie dolnośląskim w latach 2010–2016, wyniosła około 6,18 mln Mg [6].

Dynamiczny rozwój sektora budowlanego i komunikacyjnego generuje systematyczny wzrost zapotrzebowania na materiały gruntowe, co jednocześnie podkreśla konieczność intensyfikacji badań nad możliwością ich zastępowania odpadami wydobywczymi.

Problematyka dokumentowania odpadów wydobywczych oraz ich wykorzystania w inżynierii lądowej i wodnej jest od wielu lat przedmiotem zainteresowania naukowców, zarówno w Polsce, jak i na świecie. W krajowej literaturze naukowej szeroko omawiano zagadnienia związane z dokumentowaniem złóż antropogenicznych [14,17], badaniami właściwości fizyko-mechanicznych odpadów wydobywczych [13,20] oraz możliwościami zastosowania materiałów odpadowych w budownictwie i drogownictwie. Natomiast w ujęciu międzynarodowym, szczególną uwagę poświęca się zagadnieniom gospodarki o obiegu zamkniętym oraz waloryzacji odpadów [1-2,16], które stanowią kluczowy kierunek współczesnych badań nad racjonalnym wykorzystaniem surowców wtórnych.

Biorąc pod uwagę, obserwowany w ostatnich latach, intensywny wzrost inwestycji w sektorze komunikacyjnym i budowlanym, którym towarzyszą znaczne potrzeby materiałowe, oparte głównie na surowcach pierwotnych, zagospodarowanie odpadów wydobywczych jako potencjalnych złóż surowców wtórnych zyskuje obecnie na znaczeniu. Zwiększony popyt na materiał gruntowy, ograniczona dostępność nowych złóż oraz zaostrzające się regulacje środowiskowe, dotyczące ich udostępniania, stwarzają większe możliwości wykorzystania odpadów wydobywczych

^{*} Sławomir Szymanowicz, ID – 0000-0003-0274-5439, slawomir.szymanowicz@igo.wroc.pl; Amelia Zielińska, ID – 0000-0001-8018-1101, amelia.zielinska@igo.wroc.pl; Urszula Koniuch, urszula.koniuch@igo.wroc.pl; Poltegor-Institute” Opencast Mining Institute, Parkowa 25, 51-616 Wrocław, Poland; Autor korespondencyjny: Sławomir Szymanowicz, e-mail: slawomir.szymanowicz@igo.wroc.pl

w inżynierii lądowej i wodnej niż miało to miejsce w przeszłości. Duże ilości materiału zdeponowanego na hałdach mogą stanowić udokumentowaną i łatwo dostępną bazę zasobową dla przyszłych inwestycji infrastrukturalnych. Jednocześnie dokumentowanie odpadów wydobywczych pozostaje procesem złożonym, często wymagającym indywidualnego podejścia do poszczególnych frakcji materiałowych oraz stosowania niestandardowych procedur badawczych i projektowych. Z tego względu zagadnienie to ma szczególne znaczenie w kontekście wdrażania zasad gospodarki o obiegu zamkniętym, ukierunkowanej na zwiększenie efektywności ponownego wykorzystania zasobów i ograniczenia oddziaływań środowiskowych.

2. Gospodarcze i środowiskowe uwarunkowania zagospodarowania odpadów wydobywczych

Odpady wydobywcze pozostają istotnym, wciąż nierozwiązanym problemem zarówno dla przedsiębiorstw górniczych, jak i jednostek samorządu terytorialnego, funkcjonujących na obszarach objętych bieżącą lub historyczną eksploatacją złóż. Dobrym przykładem jest Dolny Śląsk, a w szczególności teren dawnego Zagłębia Wałbrzyskiego, gdzie pomimo upływu lat pozostałości działalności górnictwa węgla kamiennego, w postaci rozległych hałd odpadów wydobywczych, trwale wpisały się w krajobraz miejski i wiejski. Hałdy nie tylko zniekształcają walory wizualne otoczenia, ale także zajmują znaczne powierzchnie terenów, które mogłyby zostać użytkowane w sposób bardziej racjonalny i zgodny z zasadami zrównoważonego rozwoju.

Jedną z kluczowych szans na zagospodarowanie odpadów wydobywczych jest szczegółowe rozpoznanie ich właściwości surowcowych, w stopniu umożliwiającym formalne udokumentowanie zasobów. Przez „udokumentowanie” należy rozumieć uporządkowany proces badawczy i analityczny, którego efektem jest wiarygodna ocena ilości i jakości materiału zdeponowanego na zwałach. Zgodnie z aktualnym podejściem do zasobów antropogenicznych, udokumentowane odpady wydobywcze powinny stanowić perspektywiczne złoża surowców wtórnych i analogicznie do złóż kopalin naturalnych być ujmowane w krajowych bilansach zasobów oraz w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego [23].

Skład mineralogiczny, petrograficzny i granulometryczny odpadów wydobywczych jest ściśle powiązany z rodzajem eksploatowanej kopaliny, charakterem skały płonnej oraz procesami przerobczymi, stosowanymi w zakładzie górniczym. W konsekwencji odpady te cechują się znaczną niejednorodnością, zarówno w obrębie pojedynczego zwału, jak i pomiędzy zwałami pochodzącymi z różnych etapów eksploatacji. Zmienność ta w istotnym stopniu utrudnia ich gospodarcze wykorzystanie i stawia pytania o możliwość efektywnego włączenia tych materiałów do łańcucha surowcowego, np. w sektorze budownictwa czy inżynierii lądowej. Ważnym wyzwaniem pozostaje także przekonanie władz samorządowych, przedsiębiorców oraz branży budowlanej do postrzegania hałd jako realnego zasobu, a nie wyłącznie jako obciążenia środowiskowego.

Z perspektywy podmiotów gospodarczych kluczowe jest precyzyjne określenie właściwości surowcowych odpadu oraz wielkości i struktury zasobów, a także oszacowanie kosztów ich potencjalnego pozyskania. Wobec losowej zmienności składu i niejednorodności materiału zdeponowanego na zwałach, optymalnym rozwiązaniem badawczym byłoby wykonanie otworów wiertniczych do powierzchni podłoża i pobranie próbek odcinkowych z warstw o zróżnicowanych cechach litologicznych. Pozwoliłoby to na szczegółowe rozpoznanie budowy wewnętrznej zwału, precyzyjne określenie jego geometrii oraz rzetelną ocenę jakości materiału [14].

Rezultatem prac dokumentacyjnych powinna być kompleksowa dokumentacja zasobowa, obejmująca ocenę ilościową i jakościową surowca wraz z analizą jego potencjalnej przydatności gospodarczej. Ocena ta wymaga na ogół wykonania szerokiego zakresu badań,

obejmującego właściwości fizyko-mechaniczne, geotechniczne oraz chemiczne, przy czym kluczowe jest uzyskanie materiału reprezentatywnego pod względem jednorodności i powtarzalności parametrów. Istotnym elementem dokumentacji jest także wstępna analiza ekonomiczna, obejmująca wstępny projekt techniczno-ekonomiczny udostępnienia „złoża antropogenicznego”, a także identyfikacja lokalnego zapotrzebowania na dany rodzaj surowca. W analizach tych należy uwzględnić m.in. Miejscowe Plany Zagospodarowania Przestrzennego oraz planowane inwestycje infrastrukturalne, budowlane i komunikacyjne w najbliższej okolicy.

3. Stan wiedzy i kontekst badań nad dokumentowaniem oraz zagospodarowaniem odpadów wydobywczych

Problematyka dokumentowania odpadów wydobywczych oraz ich wykorzystania jako surowców wtórnych na potrzeby inżynierii lądowej i wodnej jest przedmiotem badań w Polsce i za granicą od kilkudziesięciu lat, czego odzwierciedleniem jest bogaty dorobek literaturowy i liczne opracowania eksperckie. Wśród najważniejszych krajowych dokumentów strategicznych należy wymienić „Podsumowanie realizacji i wdrażania Polityki Surowcowej Państwa 2050”, które wskazuje na konieczność pozyskiwania surowców ze złóż antropogenicznych oraz wspierania gospodarki o obiegu zamkniętym [8].

Znaczący wkład w rozwój metod dokumentowania odpadów wydobywczych i złóż antropogenicznych wnieśli wspomniani już Nieć [17], Kokesz i Mucha [14], ale także Nieć i Radwanek-Bąk [18] oraz Nieć i Sobczyk [19]. Zagadnienia prawne towarzyszące dokumentowaniu odpadów zostały omówione przez Ubermana [23] oraz cytowanych już Niecia i Radwanek-Bąk [18].

Liczne publikacje poświęcono również właściwościom fizyko-mechanicznym odpadów wydobywczych i możliwości zastosowania ich jako materiałów budowlanych [4,9,11,13,20,21]. Z kolei w zakresie zastosowania odpadów z górnictwa i hutnictwa w drogownictwie istotne są prace Wowkonowicza i in. [29]. Problematyką gospodarczych zastosowań odpadów wydobywczych zajmowali się również Kania i in. [12] oraz Witt i in. [25,26]. Istotną pozycją z zakresu badań laboratoryjnych odpadów przemysłowych jest również opracowanie Sybilskiego i współautorów [21].

W kontekście lokalnym ważną rolę odgrywają prace Wójcika [27,28], który przeprowadził inwentaryzację hałd Zagłębia Wałbrzyskiego i wskazał wstępne kierunki wykorzystania zgromadzonych tam odpadów, jako potencjalnych surowców wtórnych. W badaniach nad wykorzystaniem odpadów procesowych w budownictwie, szczególnie odpadów po flotacji rud miedzi, odnotować należy pracę Kudelki i Nitka [15]. Istotnym narzędziem wspierającym identyfikację zasobów antropogenicznych jest „Geobaza Hałdy” Państwowego Instytutu Geologicznego [10]. Ważną pozycją dla oceny ilości i jakości odpadów górnictwa surowców skalnych jest z kolei raport dotyczący inwentaryzacji ilości zdeponowanych odpadów eksploatacyjnych na terenie województwa dolnośląskiego wykonana przez Politechnikę Wrocławską [6], która dostarczyła kompleksowych danych o zasobach odpadów oraz możliwości ich wykorzystania w przemyśle.

Kwestia zagospodarowania odpadów wydobywczych w kontekście gospodarki o obiegu zamkniętym, jest również szeroko analizowana w literaturze światowej. Wśród kluczowych opracowań znajduje się wspomniana publikacja Acordiego i in. [1], prezentująca waloryzację odpadów górnictwa węgla w brazylijskim stanie Santa Catarina, z wykorzystaniem kryteriów środowiskowych, fizykochemicznych oraz ekonomicznych. W literaturze międzynarodowej zagadnienia te mieszczą się w szeroko definiowanym obszarze „Circular economy and applications of waste geomaterials” [2,3,5,7,16,22,24].

Powyższy przegląd literatury wskazuje na rosnące zainteresowanie zagospodarowaniem odpadów wydobywczych i włączaniem ich

do krajowych oraz międzynarodowych łańcuchów gospodarczych. Szczególną rolę odgrywa tutaj koncepcja „złoża antropogenicznego”, definiowanego jako zasób odpadów wydobywczych, podlegający dokumentowaniu w analogicznym zakresie jak złoża naturalne. Mimo że termin ten nie został dotychczas formalnie wprowadzony do Prawa geologicznego i górniczego, jego stosowanie jest szeroko postulowane przez wielu badaczy, zajmujących się tematyką odpadów wydobywczych [14,18,19,23]. Równocześnie, pomimo wieloletnich badań, problem dokumentowania złóż antropogenicznych oraz ich praktycznego wykorzystania w inżynierii drogowej i wodnej nadal pozostaje otwarty.

W niniejszym artykule zaproponowano nowoczesne podejście do dokumentowania odpadów wydobywczych, rozszerzając jego zakres o szczegółowe badania fizyczno-mechaniczne, chemiczne oraz wstępną ocenę techniczno-ekonomiczną udostępnienia złoża antropogenicznego wraz z oceną możliwości technologicznej przeróbki materiału.

4. Materiały i metody

Wstępne badania geologiczne i laboratoryjne próbek odpadów z Zagłębia Wałbrzyskiego wykonano w „Poltegor-Instytut”, w ramach projektu Funduszu Węgla i Stali „MINRESCUE” pn. „Od odpadów po cenne zasoby: nowe koncepcje gospodarki o obiegu zamkniętym”. Badania zostały przeprowadzone w obrębie hałd nr 235, 236 oraz obrzeżenia osadnika nr 234 w Wałbrzychu (rys.1).



Rys. 1 Lokalizacja punktów opróbowania na tle granic współczesnych zwałowisk. Opracowano na podstawie Google Earth i Geobazy Hałdy (stan na 14.12.2018). Granice hałd odpadów pogórnich (235, 236) oznaczono kolorem żółtym, a osadnika (234) kolorem zielonym

Fig. 1 Sampling point locations overlaid on the current boundaries of mine waste dumps. Based on Google Earth and the Haldy Geodatabase (status as of 14 December 2018). The boundaries of the mine waste dumps (235, 236) are shown in yellow, and the settling pond (234) in green

Wyznaczono zestaw punktów opróbowania, których rozmieszczenie umożliwiło pozyskanie materiału reprezentatywnego dla badań laboratoryjnych oraz szczegółowe rozpoznanie budowy wewnętrznej zwałowisk. Materiał do analiz pobierano zarówno z partii powierzchniowych, jak i z większych głębokości. Próby powierzchniowe pobierano ręcznie, przy użyciu łopaty, z preferencją dla odsłoniętych fragmentów osadnika i hałd pozbawionych pokrywy roślinnej (rys. 2). Materiał z głębszych warstw pozyskiwano natomiast przy zastosowaniu ręcznego zestawu do wierceń geotechnicznych, z głębokości sięgających do 6 m.

Materiał następnie suszono na powietrzu, po okresie 3 do 5 dni osiągał wilgotność poniżej 1 %. Wysuszone próbki przesiewano z użyciem przesiewacza firmy Scorpion®. Zastosowano zestaw sit o oczkach 20,0 x 20,0, 10,0 x 10,0, 6,3 x 6,3 oraz 4,0 x 4,0 mm. Probki materiału odpadowego pochodzącego z Hałdy Wałbrzyskiej poddano wstępnym analizom laboratoryjnym zgodnie z zestawieniem zawartym w tab. 1, stosując metody znormalizowane.



Rys. 2 Przykładowe miejsca poboru próbek powierzchniowych, zlokalizowane na obszarze hałdy nr 235

Fig. 1 Representative locations of surface sampling points situated within the area of spoil heap No. 235

Tabela 1 Zakres badań materiału odpadowego z Zagłębia Wałbrzyskiego
Table 1 Scope of testing of waste material from the Wałbrzych Coal District

	Analizowany parametr	Metoda analizy	Norma
Własności chemiczne: wymywalność	Metale ciężkie: Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn	ICP-OES	PN-EN ISO 11885:2009
Analiza uziarnienia	Zawartość frakcji granulometrycznych $\phi < 10$ mm, 5 – 10 mm, $\phi < 5$ mm, $\phi > 2$ mm (żwir), 2.0 – 0.063 mm (piasek), 0.063 – 0.002 mm (pył) i $\phi < 0.002$ mm (il)	Separacja mechaniczna (przesiewanie materiału odpadowego)	PN-EN 933-1:2012
Własności fizyko-mechaniczne	1. Gęstość właściwa,	1. Metodą piknometryczną, kolby Le Chateliera	1. PN-EN 1097-6 (kruszywa); PN-EN ISO 17892-3 (grunty)
	2. Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego, 3. Wilgotność optymalna,	2. i 3. Próbką Proctora	2. i 3. Standard Proctor – PN-B-04481 lub EN ISO 17892-12
	4. Kohezja i kąt tarcia wewnętrzne-go.	4. Trójosiowe badanie ściskania (triaxial test); Badania bezpośredniego ścinania (direct shear test)	PN-EN ISO 17892-8 PN-EN 933-5:2023-05 PN-EN 933-5:2023-06

Pobrane próbki materiałów odpadowych poddano rozdrobnieniu do frakcji $\phi < 4$ mm oraz $\phi < 1$ mm, a następnie przeprowadzono testy wymywalności. W otrzymanych eluatach oznaczono zawartości metali ciężkich z użyciem ICP-OES. Szczegółowy opis zastosowanych procedur przygotowania próbek i analizy instrumentalnej przedstawiono w pracy Zielińskiej [30].

5. Wyniki badań wstępnych

Uzyskane wyniki badań laboratoryjnych wskazują, że analizowany materiał odznacza się stosunkowo małą zmiennością gęstości właściwej, której średnią wartość określono na $2,31 \text{ Mg/m}^3$. Skład granulometryczny jest zdominowany przez frakcję żwirową, stanowiącą przeciętnie ponad 53% wag.. Parametry zagęszczalności również wykazują ograniczoną zmienność – średnią wilgotność optymalną określono na 1,72%, natomiast maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego osiąga wartość średnią $11,27 \text{ kN/m}^3$.

Parametry wytrzymałościowe materiału cechują się większym zakresem zmienności. Wartość kohezji mieści się w przedziale od 14,74 do 57,31 kPa, przy średniej 25,27 kPa. Kąt tarcia wewnętrznego waha się od 21° do $32,5^\circ$, osiągając wartość średnią $28,12^\circ$. Uzyskane wyniki wskazują, że pomimo wewnętrznej heterogeniczności odpadów, ich właściwości fizyczne i mechaniczne pozostają na poziomie umożliwiającym ich potencjalne wykorzystanie w zastosowaniach inżynierskich.

Stężenia metali ciężkich tj. Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn znalazły się poniżej granic oznaczalności stosowanej metody analitycznej. Uzyskane wyniki wskazują, że potencjał migracji metali ciężkich z odpadów pogórnich do środowiska wodnego jest znikomy i nie powinien stanowić zagrożenia w typowych warunkach środowiskowych.

6. Koncepcja dokumentowania odpadów wydobywczych

Zaproponowany model dokumentowania złóż antropogenicznych obejmuje trzy komplementarne etapy: (I) identyfikację obszarów badań, (II) szczegółowe rozpoznanie terenowe i laboratoryjne oraz (III) opracowanie dokumentacji zasobowej wraz z analizą możliwości gospodarczego wykorzystania materiału.

Pierwszy etap obejmuje rozpoznanie obszarów o istotnym potencjale surowcowym, z wyłączeniem hałd zrekultywowanych lub trudno dostępnych terenowo. Analiza opiera się na materiałach archiwalnych, dokumentacjach geologicznych, opracowaniach naukowych, planach zagospodarowania przestrzennego oraz danych pozyskanych z administracji publicznej i sektora prywatnego.

Działania te uzupełni wizja terenowa, ukierunkowana na ocenę budowy geologicznej hałd, wstępną identyfikację parametrów litologicznych i petrograficznych oraz ocenę możliwości prowadzenia badań szczegółowych. Wyniki analiz posłużą do wytypowania lokalizacji do dalszych prac badawczych. Etap ten opiera się na procedurach desk research, gromadzeniu i selekcji danych oraz przygotowaniu struktury bazy danych.

Szczegółowe badania terenowe i laboratoryjne to elementy etapu drugiego. Wykonane zostaną wiercenia badawcze oraz pobór próbek zgodnie z normami geotechnicznymi. Dokumentacja makroskopowa przewierczanych osadów obejmie opis litologiczny oraz pełną dokumentację fotograficzną.

Próbki poddane zostaną badaniom fizyczno-mechanicznym i chemicznym, pozwalającym na ocenę parametrów gruntów i kruszyw – obejmującą m.in. uziarnienie, gęstość, konsystencję, wytrzymałość, filtrację, właściwości geometryczne, odporność mechaniczną oraz badania chemiczne.

Końcowy etap obejmuje przygotowanie dokumentacji złoża antropogenicznego, obejmującej bilans zasobów, charakterystykę parametrów fizyczno-mechanicznych materiału oraz ocenę jego przydatności w zastosowaniach gospodarczych.

Integralną częścią etapu jest wstępna analiza techniczno-ekonomiczna udostępnienia złoża oraz ocena kosztów pozyskania i przetwarzania materiału. Pozwoli to na wskazanie najbardziej racjonalnych kierunków gospodarczego wykorzystania odpadów, ze szczególnym uwzględnieniem sektora budowlanego i inżynierii lądowej i wodnej.

Zaproponowana koncepcja stanowi nowoczesne podejście do dokumentowania odpadów wydobywczych, rozszerzając zakres rozpoznania o szczegółowe analizy chemiczne i fizyczno-mechaniczne materiału oraz wstępną ocenę techniczno-ekonomiczną udostępnienia złoża antropogenicznego wraz z analizą możliwości jego technologicznej przeróbki.

7. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wstępne potwierdzają, że odpady wydobywcze zdeponowane na obszarze dawnego Zagłębia Wałbrzyskiego, stanowią istotny i wciąż niewykorzystany zasób surowcowy, mogący pełnić funkcję substytutu materiałów naturalnych w wybranych zastosowaniach inżynierskich. Jednocześnie uzyskane wyniki podkreślają złożoność i heterogeniczność tych materiałów, co wymaga stosowania procedur badawczych dostosowanych do specyfiki złóż antropogenicznych.

Zaproponowana w pracy koncepcja dokumentowania odpadów wydobywczych, łącząca rozpoznanie geologiczne z analizami fizyczno-mechanicznymi, chemicznymi oraz oceną techniczno-ekonomiczną, może stanowić podstawę do prowadzenia kompleksowej waloryzacji tego typu zasobów w kontekście gospodarki o obiegu zamkniętym.

Najważniejsze wnioski płynące z badań i analiz przedstawionych w artykule można ująć następująco:

1. Odpady wydobywcze stanowią realny potencjał surowcowy, zarówno w skali lokalnej jak i krajowej, wpisując się w założenia gospodarki o obiegu zamkniętym oraz polityki racjonalnego gospodarowania zasobami.
2. Właściwości fizyczne, mechaniczne i chemiczne badanych materiałów potwierdzają możliwość ich wykorzystania w inżynierii lądowej i wodnej, szczególnie w zastosowaniach wymagających materiałów gruboziarnistych.
3. Duża niejednorodność granulometryczna i mineralogiczna odpadów wymaga indywidualnego podejścia w procesie dokumentowania, obejmującego reprezentatywny pobór próbek i szeroki zakres badań laboratoryjnych.
4. Zintegrowane dokumentowanie złóż antropogenicznych powinno uwzględniać aspekty geologiczne, geotechniczne, środowiskowe i ekonomiczne, co pozwala na rzetelną ocenę ich przydatności i efektywności eksploatacji.
5. Zaproponowany trójetapowy model dokumentowania może stać się podstawą do opracowywania standardów rozpoznawania złóż antropogenicznych, zapewniając porównywalność wyników oraz poprawę jakości danych zasobowych.

Finansowanie

Badania zrealizowano w ramach projektu z Funduszu Węgla i Stali (RFCS) *“From Mining Waste to Valuable Resource: New Concepts for a Circular Economy* („Od odpadów wydobywczych po cenne zasoby – nowa koncepcja gospodarki o obiegu zamkniętym” (Umowa nr 899518 – MINRESCUE).

LITERATURA

- [1] Acordi Juliana, Simão Lisandro, Faraco Morgana N.S., Borgert C.H., Olivo Eduarda F., Montedo Oscar R.K., Raupp-Pereira Fabiano. 2023. „Waste valorization of coal mining waste from a circular economy perspective”. *Resources Policy* 80.
- [2] Adams Tebbatt Katherine, Thorpe Tony, Osmani Mohamed, Thornback Jane. 2017. „Circular economy in construction: current awareness, challenges and enablers”. *Waste and Resource Management* 170 (1): 15–24.
- [3] Adiansyah J.S., Rosano M., Biswas W., Haque N. 2017. „Life cycle cost estimation and environmental valuation of coal mine tailings management”. *Journal of Sustainable Mining* 16: 114–125.
- [4] Batog Adam, Hawrysz Marek. 2010. „Przydatność mieszanek popioło-gruntowych do budowy nasypów komunikacyjnych”. *Górnictwo i Geoinżynieria* 34 (2): 69–75.
- [5] Beylot A., Muller S., Descat M., Ménard Y., Villeneuve J. 2018. „Life Cycle Assessment of the French Municipal Solid Waste Incineration Sector.” *Waste Management* 80 (10): 144–153.
- [6] Blachowski Jan i in. 2018. „Inwentaryzacja ilości zdeponowanych odpadów eksploatacyjnych powstających przy wydobywaniu i przeróbce surowców skalnych na terenie woj. dolnośląskiego w latach 2010–2016 w czynnych zakładach górniczych”. Raport końcowy, Politechnika Wrocławska.
- [7] Caneda-Martínez L., Sánchez J., Medina C., de Rojas M. I. S., Torres J., Frías M. 2019. „Reuse of coal mining waste to lengthen the service life of cementitious matrices”. *Cement and Concrete Composites* 99: 72–79.
- [8] Dziadzio Piotr. 2023. Polityka surowcowa Państwa. Podsumowanie realizacji i wdrażania Polityki Surowcowej Państwa 2050. Warszawa.
- [9] Filipowicz Piotr, Borys Marek. 2008. „Wykorzystanie odpadów przemysłowych do budowy i umacniania wałów przeciwpowodziowych”. *Rocznik Ochrona Środowiska* 10: 633–644.
- [10] Geobaza Haldy. <https://cbdgportal.pgi.gov.pl/haldy/> [dostęp: 16.11.2025].
- [11] Grodecki Marcin, Pabian Zbigniew, Truty Andrzej, Zapał Arkadiusz. 2001. „Możliwość wykorzystania skały płońskiej do nadbudowy wałów przeciwpowodziowych – badania laboratoryjne i analiza numeryczna”. XIII Konferencja Naukowa: *Metody komputerowe w projektowaniu i analizie konstrukcji hydrotechnicznych*, Korbielew.
- [12] Kania Marcin, Zielińska Amelia, Pomorski Andrzej, Gunia Piotr, Majcher Arkadiusz. 2021. „Badania mineralogiczno-petrograficzne i chemiczne gnejsu jako klucz do racjonalnej gospodarki złożem”. *Górnictwo Odkrywkowe* 62 (3): 4–18.
- [13] Kawalec Bogdan. 2007. „Badania laboratoryjne i polowe gruntów gruziarnistych na przykładzie odpadów kopalnianych”. *Inżynieria Środowiska* 54: 37–46.
- [14] Kokesz Zbigniew, Mucha Jacek. 2010. „Dokumentowanie złóż antropogenicznych na przykładzie wybranych składowisk odpadów przemysłu górniczego”. *Górnictwo Odkrywkowe* 51 (2): 17–24.
- [15] Kudelko Jan, Nitek Dorota. 2011. „Wykorzystanie odpadów z działalności górniczej jako substytutów surowców mineralnych”. *Cuprum* 3 (60): 51–63.
- [16] Lottermoser B. G. 2011. „Recycling, reuse and rehabilitation of mine wastes”. *Elements* 7 (6): 405–410.
- [17] Nieć Marek. Zasady dokumentowania złóż kopalni stałych. Warszawa 1999, 2002: Ministerstwo Środowiska, Komisja Zasobów Kopalni
- [18] Nieć Marek, Radwanek-Bąk Barbara. 2014. *Ochrona i racjonalne wykorzystanie złóż kopalni*. IGSMiE PAN; PIG-PIB; Komitet Zrównoważonej Gospodarki Surowcami Mineralnymi PAN, Kraków.
- [19] Nieć Marek, Sobczyk J. 2017. „Polskie zasady dokumentowania i klasyfikacji zasobów”. *Górnictwo Odkrywkowe* 58 (4): 34–37.
- [20] Skarżyńska Krystyna M. 1997. *Odpady powęglowe i ich zastosowanie w inżynierii lądowej i wodnej*. Wydawnictwo Akademii Rolniczej, Kraków.
- [21] Sybilski Dariusz, Duszyński Andrzej, Wileński Piotr, Kraszewski Cezary, Pachowski Jan. 2004. „Ocena i badania wybranych odpadów przemysłowych do wykorzystania w konstrukcjach drogowych”. Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa.
- [22] Tam V.W.Y. 2018. „Economic comparison of concrete recycling: A case study approach.” *Resources, Conservation and Recycling* 52 (5): 821–828.
- [23] Uberman Ryszard. 2012. „Złoża antropogeniczne – problem wirtualny czy realny?”. *Górnictwo Odkrywkowe* 53 (1–2): 5–8.
- [24] Villeneuve J., Muller S., Laurent F. 2018. *Monetization of externalities: the case of mineral resources extraction and use*. Raport BRGM MODEXT (BRGM/RC-68291-FR).
- [25] Witt Andrzej, Schmidt Zbigniew, Pomorski Andrzej, Majcher Arkadiusz. 2015. „Potencjalne kierunki zagospodarowania kopalni skalenionowych wraz z produktami słabozbywalnymi powstającymi w procesie produkcyjnym kopalni gnejsu ‘Doboszowice I’”. *Górnictwo Odkrywkowe* 56 (6): 55–62.
- [26] Witt Andrzej, Schmidt Zbigniew, Pomorski Andrzej. 2016. „Aktualne kierunki wykorzystania gnejsów ze złóż dolnośląskich i opolskich oraz perspektywy zastosowania ich w nowych gałęziach przemysłu”. *Górnictwo Odkrywkowe* 57 (1–2): 47–57.
- [27] Wójcik Jan. 2012. „Wałbrzyskie haldy i osadniki kopalniane jako źródło surowców wtórnych – wstępne wyniki inwentaryzacji”. *Przegląd Geologiczny* 60 (4): 212–219.
- [28] Wójcik Jan. 2018. „Tereny pokopalniane Zagłębia Wałbrzyskiego 20 lat po zamknięciu kopalń węgla”. *Przegląd Geograficzny* 90 (2): 267–290.
- [29] Wowkonowicz Paweł, Bojanowicz-Babłok Anna, Gworek Barbara. 2018. „Wykorzystanie odpadów z przemysłu wydobywczego i hutnictwa w drogownictwie”. *Rocznik Ochrona Środowiska* 20 (2): 1335–1349.
- [30] Zielińska Amelia. 2024. „Wymywanie metali ciężkich z odpadów pobranych z haldy wałbrzyskiej – badania wstępne”. *Górnictwo Odpadowe* 64(3): 4–8.