

OCENA MOŻLIWOŚCI REKULTYWACJI ODKRYWKOWYCH WYROBISK POEKSPLOATACYJNYCH Z WYKORZYSTANIEM KRUSZYW ZE SKAŁ TOWARZYSZĄCYCH POKŁADOM WĘGLA KAMIENNEGO NA PRZYKŁADZIE ZG JANINA

EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF RECLAMATION OF OPEN-PIT MINING EXCAVATIONS WITH THE USE OF AGGREGATES FROM THE ROCK ACCOMPANYING THE COAL SEAMS ON THE EXAMPLE OF JANINA MINE

Beata Kłojzy-Karczmarczyk, Janusz Mazurek, Jarosław Staszczak - Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Kraków

Jacek Mucha - WGGiOŚ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Krzysztof Paw - TAURON Wydobywanie S.A., Jaworzno

Wydobywanie węgla kamiennego jest źródłem powstawania znacznych ilości odpadów (skał płonnych), które deponowane na składowiskach nadpoziomowych przyczyniają się do degradacji krajobrazu i mogą zanieczyszczać środowisko gruntowo-wodne. Znaczna część odpadów wydobywczych nadaje się jednak do powtórnego wykorzystania lub też mogą one zostać uznane za surowiec. Jednym z perspektywicznych obszarów zagospodarowania materiału, jest wykorzystanie produkowanych z nich kruszyw do rekultywacji odkrywkowych wyrobisk pogórnich. Przeprowadzona w pracy wstępna analiza lokalizacji złóż surowców skalnych w regionach: śląskim, małopolskim i świętokrzyskim, (najbliżej kopalń GZW) wykazała, że znajduje się tam wiele wyrobisk odkrywkowych nadających się do rekultywacji z wykorzystaniem kruszyw produkowanych na bazie skał płonnych. Warunkiem jest, aby kruszywa do wypełniania rekultywowanych wyrobisk posiadały odpowiednie parametry jakościowe, zapewniające bezpieczeństwo dla środowiska gruntowo-wodnego w rejonie ich stosowania. Zdaniem autorów, jednym z ważniejszych kryteriów środowiskowych jest budowa hydrogeologiczna podłoża rekultywowanego wyrobiska (istnienie lub brak zbiorników wód podziemnych). Konieczne jest również stałe monitorowanie zanieczyszczeń obecnych w kruszywach (w tym siarki) poprzez wykonywanie systematycznego opróbowania dostarczanych partii kruszywa. Wstępne badania zawartości zanieczyszczeń, wykonane dla skał płonnych stanowiących bazę dla kruszyw produkowanych w ZG Janina, potwierdziły możliwość ich wykorzystania do rekultywacji wyrobisk odkrywkowych. Do weryfikacji wyników badań oraz poprawności stosowanych metod kontroli jakości kruszyw autorzy proponują zastosowanie wybranych metod analizy statystycznej.

Słowa kluczowe: górnictwo węglowe, skała płonna, odpady wydobywcze, kruszywa, rekultywacja wyrobisk odkrywkowych, środowisko gruntowo-wodne

Mining of hard coal is the source of generation of significant amounts of waste rock (gangue), which deposited in above-ground landfills contribute to the degradation of the landscape and may pollute the soil and water environment. Much of the mining waste is suitable, however, for reuse or it can be treated as a raw material. One of the promising areas of its utilization is the use of aggregates produced from the gangue for the reclamation of opencast post-mining pits. The analysis of the locations of rock mineral deposits showed that in the regions of Silesia, Lesser Poland and Świętokrzyskie (closest to the Upper Silesian Coal Basin mines) there is a number of opencast pits suitable for reclamation using aggregates produced on the basis of gangue. The condition is that the materials used for filling the excavations have adequate quality parameters, ensuring safety for the soil and water environment. One of the most important criteria is the hydro-geological structure of the bed of the reclaimed pit (the presence or absence of groundwater reservoirs). It is necessary to constantly monitor the impurities present in the aggregates (including sulfur) by conducting regular sampling of the supplied aggregates. A study conducted for the aggregates produced at Janina Mine confirmed the possibility of their use for reclamation of opencast mines. To verify the results of research and to validate the testing methods for the quality of aggregates, it is proposed to apply selected methods of statistical analysis.

Keywords: coal mining, gangue, mining waste, aggregates, reclamation of opencast mines, soil and water environment

Wprowadzenie

Węgiel kamienny jest kopalnią, która w Polsce odgrywa kluczową rolę w produkcji energii i jest surowcem strategicz-

nym, stanowiącym o bezpieczeństwie energetycznym kraju. Górnictwo węgla kamiennego jest jednak jedną z największych odpadotwórczych gałęzi przemysłu. Odpady wydobywcze stanowią nieodłączny element towarzyszący operacjom tech-

nologicznym związanym z wydobyciem i wzbogacaniem urobku węglowego. Powstają one w procesach urabiania górotworu, wydobywania węgla oraz jego przeróbki i uzdatniania, a ilość ich zależy głównie od budowy geologicznej górotworu, jakości i stanu złóż węglowych, metod urabiania pokładów węglowych i technologii wzbogacania urobku [1, 3, 5, 6, 7]. Przez lata odpady nagromadzone na składowiskach skały płonnej, obiektach unieszkodliwiania odpadów wydobywczych lub w osadnikach wód dołowych niekorzystnie kształtowały krajobraz terenów związanych z górnictwem oraz stwarzały potencjalne zagrożenie dla środowiska gruntowo-wodnego [2, 9, 12, 15, 18, 20]. W ostatnich latach znaczenie gospodarcze skał płonnych uległo zmianie i obecnie coraz częściej traktowane są one nie jako odpady ale jako źródło surowców mineralnych do wykorzystania gospodarczego i wykazują cechy charakterystyczne dla kopaliny towarzyszącej [4].

Zgromadzone na składowiskach odpady, głównie skały płonnej, powstałe w procesie wydobywania i wzbogacania węgla, zawierają zróżnicowane ilości minerałów, których rozpad jest przyczyną niekorzystnych procesów geochemicznych i może oddziaływać negatywnie na środowisko gruntowo-wodne [8, 12, 18, 20]. Dodatkowo niekorzystne oddziaływanie na krajobraz, skłania do poszukiwania innych sposobów zagospodarowania powstających odpadów lub do poszukiwania nowych metod zapobiegania ich powstawaniu. Jednym z możliwych rozwiązań tego problemu jest wykorzystanie niektórych rodzajów odpadów oraz produkowanych na bazie skały płonnej kruszyw do utwardzania terenów pod budowę dróg, zbiorników technologicznych, umocnień przeciwpowodziowych oraz do wypełniania rekultywowanych wyrobisk odkrywkowych [1, 3, 4, 6, 7, 14, 16, 19, 21, 22].

Jak wykazują badania własne oraz dane literaturowe dla próbek skał płonnych i produkowanych na ich bazie kruszyw, znaczna część tych materiałów charakteryzuje się w świetle obowiązujących przepisów, dobrymi parametrami fizykochemicznymi i może znaleźć zastosowanie do bezpiecznej rekultywacji wyrobisk odkrywkowych, składowisk odpadów oraz w innych zastosowaniach budowlanych (drogi, zbiorniki, umocnienia wałów). W Polsce obowiązuje szereg aktów prawnych odnoszących się w różnym stopniu do możliwości lokowania skalnych odpadów pogórnich w środowisku. Zasadniczym celem nadrzędnym jest aby lokowanie skały płonnej na powierzchni nie spowodowało szkód w środowisku. Istnieje jednak potrzeba wypracowania metodyki i sposobu postępowania przy ocenie stopnia oddziaływania tych materiałów na środowisko gruntowo-wodne.

Badania autorów wykonane dla kruszyw z ZG Janina w Libiążu wykazują, że kruszywa te w większości charakteryzują się właściwościami pozwalającymi na ich zastosowanie do rekultywacji wyrobisk odkrywkowych. W pracy przedstawiono proponowaną metodykę postępowania przy przeprowadzaniu oceny możliwości wykorzystania do rekultywacji wyrobisk odkrywkowych, materiałów skalnych powstających przy wydobyciu i wzbogacaniu węgla. Jednym z istotnych elementów prowadzonej oceny jest analiza statystyczna wyników badania kluczowych parametrów tych materiałów, jako narzędzie służące weryfikacji stosowanej metody oceny ich przydatności do rekultywacji wyrobisk pogórnich.

Aktualne kierunki wykorzystania kruszyw i odpadów z wydobycia i przeróbki węgla w ZG Janina

TAURON Wydobycie S.A. realizuje politykę ograniczania ilości wytwarzanych odpadów wydobywczych. Dokonane wdrożenia i zrealizowane innowacyjne inwestycje, pozwoliły na wypracowanie wspólnego ze spółkami energetycznymi Grupy Tauron modelu, pozwalającego na zagospodarowanie produktów ubocznych procesu produkcji węgla i wytwarzania energii. Poprzez wyselekcjonowanie odpowiednich frakcji skały płonnej na urządzeniach Zakładu Przeróbki Mechanicznej Węgla i właściwe ich wymieszanie z dobranymi popiołami uzyskano kruszywa i mieszanki kruszywowo-spoiwowe spełniające wymagania obowiązujące dla materiałów stosowanych w budowie dróg, autostrad i budowli hydrotechnicznych [19, 21, 22].

W latach 2009-2010 Południowy Koncern Węglowy S.A. obecnie TAURON Wydobycie S.A. wspólnie z Instytutem Badawczym Dróg i Mostów (IBDiM), Laboratorium Inżynierii Lądowej Labotest i Ecocoal Consulting Center, przeprowadził szereg badań określających przydatność skały płonnej wydzielanej w procesie wzbogacania węgla, jako kruszywa mającego zastosowanie w inżynierii komunikacyjnej i robotach inżynierskich. W badaniach zostały określone możliwości produkcji różnego rodzaju kruszyw pochodzących z bezpośredniej produkcji i hałd górniczych oraz mieszanin kruszywowych tworzonych na bazie wymienionych kruszyw i różnego rodzaju aktywnych popiołów z energetyki. Po spełnieniu wszystkich warunków TAURON Wydobycie S.A. mógł zaoferować klientom kruszywo skalne (kruszywo PKW) do zastosowania, zgodnie z uzyskaną aprobatą techniczną IBDiM. Dla ograniczenia ilości odpadów pochodzących z Zakładu Przeróbki Mechanicznej Węgla, TAURON Wydobycie S.A. przeprowadził modernizację poszczególnych elementów ciągu technologicznego. Podjęto działania racjonalizatorskie dla otrzymania kruszywa, jako produktu bezpośrednio z procesu wzbogacania węgla. Modernizacja procesu wzbogacania polega na wprowadzeniu rozdziału w hydrocyklonach zamiast klasy 0 - 0,5 mm, na klasę 0 - 0,1 mm oraz na oczyszczaniu, tj. płukaniu przez natryski i odwadnianiu produktów niewęglowych z wzbogacalników DISA - z cieczą ciężką z osadzarkę i spiral.

Ze względu na niski wskaźnik nośności, który ograniczał zastosowanie kruszywa PKW w różnego rodzaju robotach inżynierskich oraz w celu zmniejszenia współczynnika pęcznienia, dokonano polepszenia tych parametrów poprzez tworzenie mieszanek kruszywa PKW z dodatkami aktywnych popiołów i żużli, w tym z popiołami fluidalnymi pochodzącymi z elektrowni i elektrociepłowni Grupy TAURON oraz z dodatkiem cementu. Przeprowadzone badania potwierdziły oczekiwania odnośnie możliwości poprawy parametrów fizycznych opracowanych mieszanek i stały się podstawą do uzyskania w Instytucie Badawczym Dróg i Mostów Aprobaty Technicznej dla „Mieszanki stabilizowanej kruszywowo-popiołowej PKEW”. Wyniki badań, atesty higieniczne i uzyskane aprobaty techniczne pozwalają na wykorzystanie kruszyw w inżynierii komunikacyjnej do budowy nasypów, podbudów pomocniczych i zasadniczych stabilizowanych hydraulicznie, rekultywacji składowisk, niwelacji terenów, do budowy obiektów użyteczności publicznej o charakterze rekreacyjnym oraz w budownictwie hydrotechnicznym do budowy wałów przeciwpowodziowych (rys. 1-4). Zakończone powodzeniem prace

modernizacyjne i innowacyjne całości procesu przyniosły efekt w postaci sprzedaży kruszywa do budowy dróg oraz kruszywa do budowy wałów przeciwpowodziowych na Wiśle [19, 21].

ziemnych. Podjęte badania dotyczyły zarówno oceny jakości parametrów produkowanych kruszyw, w tym możliwości osiągnięcia długofalowej stabilności ich jakości oraz metod



Rys. 1. Budowa wału przeciwpowodziowego na rzece Wiśle w miejscowościach Gromiec-Mętków z wykorzystaniem kruszyw produkowanych w ZG Janina (materiały TAURON Wydobycie S.A., fot. K. Paw)

Fig. 1. The construction of the anti-flood embankment on the Vistula river in the towns Gromiec-Mętków with the use of aggregates produced at Janina Mine (courtesy of TAURON Wydobycie S.A., fot. K. Paw)

Rys. 2. Mieszanki kruszywowo–popiołowe TAURON Wydobycie S.A. wykorzystywane do budowy nasypów drogowych przy budowie dróg i obwodnic Chrzanowa, Jaworzna oraz węzła Mirowskiego w Krakowie (materiały TAURON Wydobycie S.A., fot. K. Paw)

Fig. 2. A mixture of ash and aggregates at TAURON Wydobycie S.A. used for the construction of road embankments in the construction of roads and bypasses of the cities Chrzanów, Jaworzno and the Mirowski highway junction in Krakow (courtesy of TAURON Wydobycie S.A., fot. K. Paw)



Rys. 3. Budowa osadników wód dołowych ZG Janina z zastosowaniem kruszywa TAURON Wydobycie S.A. (materiały TAURON Wydobycie S.A., fot. K. Paw)

Fig. 3. Construction of the settlers for pit water from Janina Mine with the use of aggregates provided by TAURON Wydobycie SA (courtesy of TAURON Wydobycie S.A., fot. K. Paw)

Rys. 4. Budowa obwodnicy Chrzanowa z wykorzystaniem kruszyw TAURON Wydobycie S.A. (materiały TAURON Wydobycie S.A., fot. K. Paw)

Fig. 4. Construction of the bypasses of the cities Chrzanów with the use of aggregates provided by TAURON Wydobycie SA (courtesy of TAURON Wydobycie S.A., fot. K. Paw)

W 2013 roku w TAURON Wydobycie S.A. podjęte zostały działania związane z poszukiwaniem nowych możliwości zastosowań kruszyw produkowanych w poszczególnych Zakładach Górniczych w zakresie ich wykorzystania do celów rekultywacji pogórnich wyrobisk odkrywkowych. Powstała konieczność wykonania wielokryterialnej oceny przydatności kruszyw i mułów filtracyjnych Zakładu Górniczego Janina do rekultywacji wyrobisk odkrywkowych, uwzględniającej warunki naturalne lokalizacji wyrobisk, w tym głównie wymogi ochrony środowiska wodno-gruntowego. Zakład Górniczy Janina w roku 2014 podjął we współpracy z Instytutem Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk prace badawcze nad możliwością wykorzystania kruszyw i innych materiałów poeksploatacyjnych ZG Janina do celów rekultywacji górniczych wyrobisk odkrywkowych z uwzględnieniem wymagań ochrony zbiorników wód pod-

kontroli i weryfikacji wyników opróbowania.

Wstępna analiza bazy wyrobisk odkrywkowych w regionach śląskim, małopolskim i świętokrzyskim

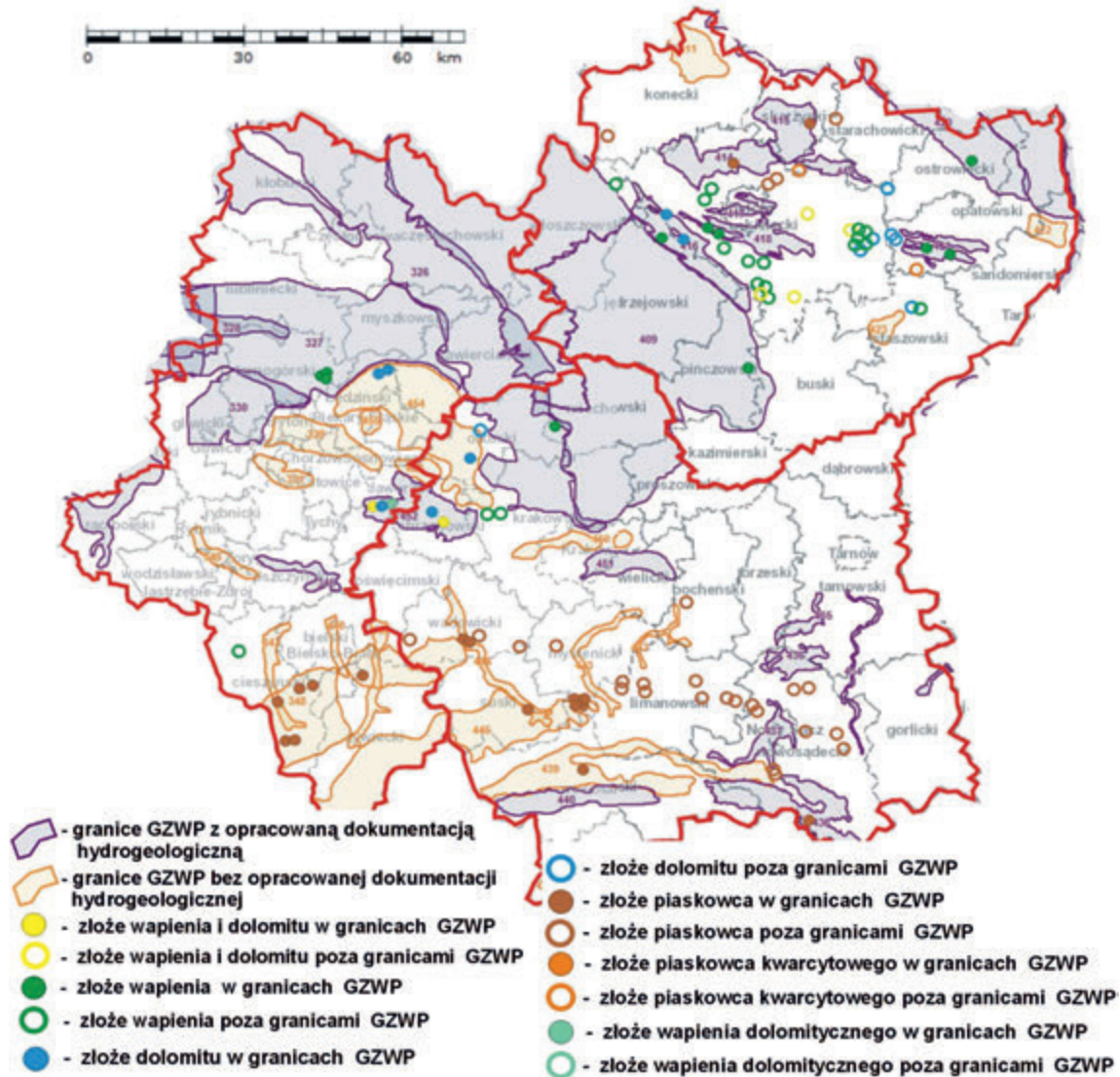
Przeprowadzono rozpoznanie uwarunkowań lokalizacyjnych czynnych wyrobisk odkrywkowych w wybranych regionach Polski południowej, dla których istnieje potencjalna możliwość przeprowadzenia rekultywacji (poprzez wypełnianie) z wykorzystaniem kruszyw produkowanych w TAURON Wydobycie S.A. Lokalne zakłady górnicze, posiadające przewidziane w przyszłości do rekultywacji poeksploatacyjne wyrobiska odkrywkowe, mogą stanowić poważną grupę odbiorców kruszyw produkowanych na bazie skały płonnej z górnictwa węglowego. Najważniejsze kryteria decydujące o możliwości rekultywacji wyrobisk takimi materiałami to: kryterium

opłacalności (koszt dostawy i możliwości logistyczne) oraz kryterium środowiskowe (głównie warunki hydrogeologiczne) determinujące jednoznacznie wymaganą jakość materiału rekultywacyjnego. Analizie poddano wyrobiska na terenie trzech województw: małopolskiego, śląskiego i świętokrzyskiego, w których eksploatowane są głównie kopaliny skalne, zaklasyfikowane w „Bilansie zasobów złóż kopaliny w Polsce” [24] jako kamienie łamane i bloczne, obejmujące 33 odmiany litologiczne skał magmowych, osadowych i metamorficznych. W analizie nie uwzględniono dość powszechnych złóż skał okruchowych (piaski, żwiry) ponieważ ich wyrobiska są przeważnie niewielkie, często usytuowane na terenach zalewowych i w znacznej części zawodnione, co nie jest korzystne dla lokowania w ich obrębie kruszyw czy też odpadów skalnych, częściowo podatnych na ługowanie niektórych grup zanieczyszczeń np. związków siarki.

Na omawianym obszarze trzech województw znajduje się łącznie 95 eksploatowanych złóż surowców skalnych z grupy „kamienie łamane i bloczne” (rys. 5). Aż 38 spośród 95 eksploatowanych złóż (stan na koniec 2014 r.) znajduje się na obszarach Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP) (rys. 6). Najbardziej liczną grupę eksploatowanych złóż sta-

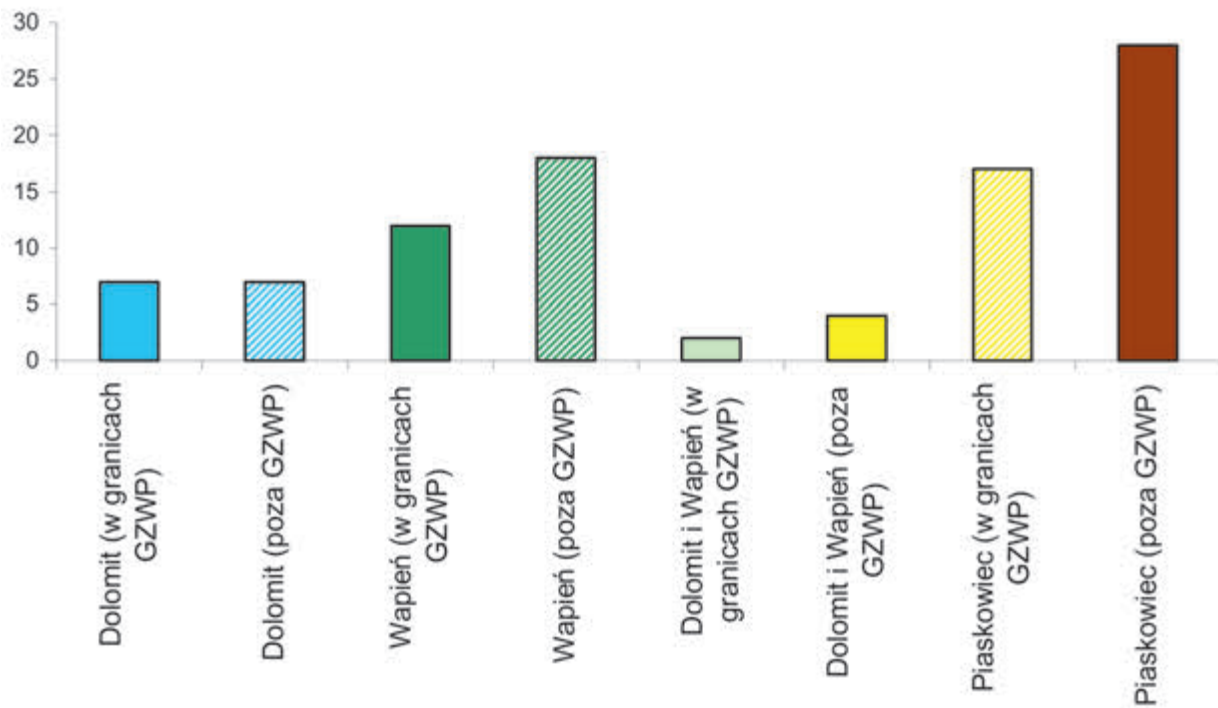
nowią złoża piaskowców w liczbie 43, z czego 17 znajduje w granicach GZWP. Eksploatowanych złóż wapienia jest 29 (11 na obszarach GZWP), dolomitu 14 (7 na obszarze GZWP), złóż wapieni i dolomitów 6 (2 na obszarach GZWP), wapienia dolomitycznego 1 (na obszarze GZWP) oraz 2 złoża piaskowca kwarcytowego (obydwa poza obszarem GZWP). Ponadto w województwie małopolskim zlokalizowane są również dwa eksploatowane złoża skał magmowych (diabazu oraz porfiru - obydwu poza granicami GZWP).

Pomimo rozwoju technik rekultywacyjnych, wciąż dużym problemem jest zagospodarowanie wyrobiska odkrywkowego po zakończeniu eksploatacji złoża. Istnieje jednak coraz więcej sposobów rekultywacji i zagospodarowania, co świadczy o dynamice rozwoju tej dziedziny nauki [6, 14]. Celem nadrzędnym prowadzenia procesów rekultywacji z wykorzystaniem kruszyw na bazie skały płonnej z wydobycia węgla, powinna być minimalizacja potencjalnego negatywnego oddziaływania na środowisko. Zastosowanie kruszyw do wypełniania wyrobisk jest możliwe praktycznie dla wszystkich podstawowych kierunków rekultywacji: rolnego, leśnego, rekreacyjnego oraz budowlanego. Wybór kierunku rekultywacji zależy od warunków hydrogeologicznych, lokalizacyjnych oraz stanu zago-



Rys. 5. Lokalizacja eksploatowanych złóż surowców skalnych na obszarze województw: małopolskiego, śląskiego i świętokrzyskiego na tle głównych zbiorników wód podziemnych [24] (opracowano na podkładzie mapy GZWP PIG-PIB, Warszawa 2016 - <http://epsh.pgi.gov.pl/epsh>)

Fig. 5. Location of operated rock mineral deposits in the area of the provinces of Lesser Poland, Silesia and Świętokrzyskie against major groundwater basin [24] (developed on the background of the maps of MGB developed by the Polish Geological Institute, Warsaw 2016 - <http://epsh.pgi.gov.pl/epsh>)



Rys. 6. Zestawienie rodzajów kopaliny eksploatowanych ze złóż surowców skalnych zlokalizowanych w granicach oraz poza obszarami GZWP na obszarze województw: małopolskiego, śląskiego i świętokrzyskiego [24]

Fig. 6. List of types minerals exploited from opencast mines located over the areas of MGB and outside those areas in the provinces of Lesser Poland, Silesia and Świętokrzyskie [24]

spodarowania rekultywowanego terenu. Niewykluczona jest rekultywacja z odtworzeniem naturalnej rzeźby terenu sprzed rozpoczęcia eksploatacji z przywróceniem pierwotnych funkcji. Wypełnianie wyrobiska poeksploatacyjnego materiałem obcym stanowi podstawowy etap fazy technicznej procesu rekultywacji w kopalniach górnictwa skalnego [17].

Uwarunkowania prawne rekultywacji wyrobisk odkrywkowych z wykorzystaniem skały płonnej w aspekcie zapewnienia ochrony środowiska gruntowo-wodnego

Aktualnie w polskim prawodawstwie funkcjonuje kilka aktów prawnych, których jednoczesne zastosowanie pozwala na bezpieczne wypełnianie wyrobisk odkrywkowych. Jednocześnie, co nie jest zbyt korzystne, obserwuje się częste zmiany uregulowań prawnych w zakresie możliwości wykorzystania produktów ubocznych z wydobycia węgla kamiennego do wypełniania różnego rodzaju wyrobisk [m.in. 4, 6, 7, 10]. W związku z powyższym przy projektowaniu rekultywacji z wykorzystaniem odpadów wydobywczych lub produktów na bazie skały płonnej, należy każdorazowo dokonać szerokiej analizy możliwości wykorzystania tych materiałów do celów rekultywacyjnych, co jest zagadnieniem dość skomplikowanym.

Możliwości prawne wykorzystania skał płonnych jako skały towarzyszącej (surowca) wynikają bezpośrednio z ustawy Prawo ochrony środowiska [28] oraz z ustawy o ochronie gruntów rolnych i leśnych [29]. Natomiast możliwości prawne wykorzystania odpadowych skał płonnych jako odpadu, w procesie ich odzysku do celów rekultywacji i zagospodarowania wyrobisk odkrywkowych, wynikają ponadto z ustawy o odpadach [26] oraz ustawy o odpadach wydobywczych [25]. Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska w sprawie katalogu odpadów [31], odpady powstające w trakcie robót

górnictwych i przygotowawczych to głównie odpady o kodzie 01 01 02 - odpady z wydobywania kopaliny innych niż ruda metali, natomiast odpady z przeróbki mechanicznej węgla to odpady o kodzie 01 04 12 - odpady powstające przy płukaniu i oczyszczaniu kopaliny inne niż wymienione w 01 04 07 i 01 04 11 oraz o kodzie 01 04 81 - odpady z flotacyjnego wzbogacania węgla. Zgodnie z ustawą o odpadach, w przypadku poddawania odpadów procesowi odzysku polegającemu na wypełnianiu terenów niekorzystnie przekształconych, konieczne jest uzyskanie zezwolenia na przetwarzanie odpadów. Zezwolenie na przetwarzanie odpadów poprzedzone jest decyzją o środowiskowych uwarunkowaniach przedsięwzięcia, o ile jest ona wymagana. Uzyskanie decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach jest lub może być wymagane dla planowanych przedsięwzięć mogących zawsze znacząco oddziaływać na środowisko oraz dla planowanych przedsięwzięć mogących potencjalnie znacząco oddziaływać na środowisko. W świetle powyższego, inwestor powinien uzgodnić z odpowiednimi organami, czy rekultywacja wyrobiska (wypełnianie wyrobiska) z wykorzystaniem odpadów z przemysłu górnictwa lub skały płonnej jako produktu wymaga uzyskania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach, przed uzyskaniem decyzji o pozwoleniu na budowę, decyzji o zatwierdzeniu projektu budowlanego, decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu czy też decyzji zezwalającej na przetwarzanie odpadów.

Aktualne akty wykonawcze dotyczące procesu odzysku odpadów związanego z rekultywacją obszarów czy wyrobisk to rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie odzysku odpadów poza instalacjami i urządzeniami [32] oraz rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie procesu odzysku R10 [33]. Spośród grup odpadów dopuszczonych do odzysku w procesie rekultywacji, najszersze zastosowanie mogą mieć odpady o kodzie 01 01 02 oraz 01 04 12. W rozporządzeniach podano jedynie ogólne warunki prowadzenia procesu odzysku.

Najważniejszym z nich, stawianym dla wypełniania wyrobisk odpadami jest zapewnienie, że planowane działanie nie spowoduje bezpośredniego zagrożenia szkodą w środowisku. Jest to warunek ogólny i w efekcie nakłada na rekultywującego obowiązek samodzielnego zakwalifikowania przedsięwzięcia pod kątem spełnienia szeregu norm i rozporządzeń w zakresie ochrony środowiska, głównie gruntowo-wodnego, w rejonie prowadzonej rekultywacji w celu udowodnienia, że materiały wykorzystane do rekultywacji będą bezpieczne dla środowiska w odpowiednio długim okresie czasu. W praktyce oznacza to, że zanieczyszczenia wymywane z bryły obiektu po zakończonym wypełnianiu i rekultywacji (takie jak chlorki, siarczany, metale ciężkie) powinny być uwalniane w tempie nie zagrażającym środowisku, w ilościach dopuszczonych dla danego środowiska gruntowego lub wodnego. Tak sformułowane wymagania formalno-prawne wymagają zachowania szczególnej ostrożności przy wydawaniu decyzji na rekultywację poeksploatacyjnych wyrobisk odkrywkowych oraz decyzji na odzysk odpadów poza instalacjami na terenach szczególnie wrażliwych, bez przeprowadzenia szczegółowej oceny zagrożeń środowiska.

Podstawą do rekultywacji wyrobisk z wykorzystaniem surowców obcych oraz odpadów, jest ustalony kierunek rekultywacji oraz zatwierdzona dokumentacja rekultywacyjna. Jednym z istotnych warunków umożliwiających wypełnianie terenów niekorzystnie przekształconych zarówno materiałem surowcowym jak też odpadowym, jest wymóg aby planowane działanie było dozwolone w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego lub w studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy albo było zgodne z decyzją o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu, albo zostało określone w decyzji w sprawie rekultywacji i zagospodarowania gruntów rolnych lub leśnych. Działania te nie mogą spowodować szkody w środowisku lub nawet stanowić bezpośredniego zagrożenia szkodą w środowisku. W związku z tym materiały stosowane do wypełniania rekultywowanych wyrobisk na terenach, gdzie warunki hydrogeologiczne są bardziej skomplikowane, powinny charakteryzować się odpowiednimi parametrami jakościowymi (zawartość zanieczyszczeń poniżej wartości dopuszczalnych) oraz zapewniać w trakcie dostaw surowca odpowiednią stabilność parametrów dla dużych partii materiału (małe zróżnicowanie zawartości składników, które mogą stanowić źródło zanieczyszczenia wód podziemnych w przypadku ich uwalniania do środowiska na drodze wymywania).

Propozycja oceny jakości podstawowych parametrów fizykochemicznych kruszyw do rekultywacji

Punktem wyjścia w ocenie jakości surowców stosowanych do rekultywacji jest ustawa Prawo ochrony środowiska [28], stanowiąca, że gleba i ziemia używane do prac ziemnych nie mogą przekraczać standardów jakości, określonych w przepisach dla gleb i ziemi w miejscu zagospodarowania. Jednym z podstawowych parametrów warunkujących możliwość zastosowania odpadów wydobywczych i produkowanych z nich kruszyw do rekultywacji, jest zawartość siarki całkowitej i podatność materiału na wymywanie siarczanów. Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi [34] pozwala na zaklasyfikowanie gleby lub ziemi do zanieczyszczonych lub nie, z uwzględnieniem ich funkcji aktualnej lub planowanej. Rozporządzenie nie określa

jednak wymagań stawianych dla zawartości siarki całkowitej. Siarka, jako istotny parametr jakości odpadów wydobywczych została uwzględniona w Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie kryteriów zaliczania odpadów wydobywczych do odpadów obojętnych [35] poprzez określenie maksymalnej zawartości siarki siarczkowej w odpadach wydobywczych klasyfikowanych jako obojętne dla środowiska. W przypadku wykorzystywania, jako materiału do rekultywacji odpadów wydobywczych lub innych produktów pochodzących z górnictwa węgla kamiennego, poziom zawartości siarki ma kluczowe znaczenie dla przewidywania potencjalnego oddziaływania na środowisko gruntowo-wodne. Zaklasyfikowanie analizowanych materiałów skalnych do obojętnych ze względu na siarkę, ułatwia podjęcie wniosku o bezpieczeństwie ich deponowania w środowisku gruntowo-wodnym. Doniesienia literaturowe jednoznacznie wskazują na znaczną zmienność zawartości siarki siarczkowej w materiale oraz na możliwość utleniania siarczków i w konsekwencji uruchamiania siarczanów ze składowisk odpadów górniczych [9, 11, 13, 15, 18, 20].

Sugeruje się, że odpady wydobywcze lub surowce na bazie skały płonnej (kruszywa), mogą być wykorzystywane do rekultywacji jeżeli zawartość siarki całkowitej jest w nich niższa od 1% a wskaźnik potencjału neutralizacji jest większy niż 3. Jest to warunek podstawowy ale nie jedyny. W materiale stosowanym do rekultywacji nie mogą znajdować się również podwyższone ilości metali. Dokonując oceny zawartości metali w próbkach kruszyw należy uwzględnić wymagania rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie kryteriów zaliczania odpadów wydobywczych do odpadów obojętnych [35] oraz porównać wyniki z wartościami dopuszczalnymi określonymi w rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi [34].

Dla prawidłowej oceny jakości odpadów wydobywczych oraz kruszyw produkowanych na bazie skały płonnej konieczne jest również przeprowadzenie testów wymywalności zanieczyszczeń. Pozwala to w ogólny sposób określić zagrożenie dla środowiska wodnego. Najczęściej wykonuje się klasyczne testy wymywalności – metodą wyciągów wodnych 1:10 (odpady/woda dejonizowana). Wyniki analiz porównuje się do wartości dopuszczalnych, podawanych w różnych aktach wykonawczych, wynikających głównie z ustawy Prawo wodne [27]. Wyniki analiz wyciągów wodnych porównuje się najczęściej z wartościami dopuszczalnymi określonymi w rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody powierzchniowe wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia [36] dla kategorii A1. Jakość wyciągów wodnych powinna również odpowiadać dobremu stanowi chemicznemu wód podziemnych, zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych [37]. Wskaźniki zanieczyszczeń oznaczane w wyciągach wodnych powinny spełniać również wymagania dotyczące ścieków wprowadzanych do wód lub do ziemi [35]. Wyniki badań wyciągów wodnych uzyskane metodą statyczną nie odzwierciedlają całkowitej zawartości danego składnika np. siarki, w kruszywach lub odpadach, mogącego ulec uruchomieniu w środowisku [10, 15, 18, 20]. Pozwalają one jednak na uzyskanie przybliżonej oceny potencjalnego zagrożenia (zgodnie z wymogami aktualnych rozporządzeń), jakie stwarza dla środowiska w danym czasie konkretny materiał. Wynika z tego konieczność zapewnienia niskiej zawartości

zanieczyszczeń (głównie siarki a tym samym siarczków) w materiale przeznaczonym do wypełniania rekultywowanych wyrobisk. W związku z powyższym badania zawartości całkowitej poszczególnych elementów w materiale rekultywacyjnym powinny być prowadzone w sposób ciągły, z częstotliwością umożliwiającą weryfikację wyników z zastosowaniem metod analizy statystycznej.

Wstępna ocena przydatności kruszyw ZG Janina jako materiału do rekultywacji poprzez wypełnianie wyrobisk odkrywkowych

Zawartość siarki w odpadach wydobywczych może zmieniać się w szerokim zakresie. W odpadach wydobywczych z ZG Janina zawartość siarki w zależności od miejsca ich powstania, waha się od 0,4 do 3% [19]. Dla wstępnego zbadania zmienności zawartości siarki całkowitej w kruszywach, z materiału odpadowego ZG Janina pobrano 8 prób surowych (7 prób o masach około 200 kg i jedna próba o masie około 100 kg). Próby pobierano w odstępach 2-3 tygodniowych. Pobór prób następował bezpośrednio z urobku (po zatrzymaniu taśmociągu transportującego odpady na zwałowisko). Analizom poddano zatem materiał surowy pochodzący bezpośrednio z wydobywania.

(S_t^d) dla prób pierwotnych od 1 do 8, obliczone na podstawie oznaczeń dla rozsianych prób surowych. Wartości te uwzględniają masę poszczególnych frakcji oraz zawartość w nich siarki całkowitej w zakresie całej masy próby pobranej.

Wstępne badania przeprowadzone przez autorów, wykonane dla 8 prób surowych skały płonnej będącej podstawowym materiałem do produkcji wyselekcjonowanych frakcji kruszyw w ZG Janina wykazały, że większość badanych frakcji (praktycznie > 16 mm) charakteryzuje się zawartością siarki całkowitej na poziomie <1%, co może okazać się wystarczające dla zapewnienia ochrony środowiska gruntowo-wodnego zgodnie z obowiązującymi wartościami granicznymi wskaźników zanieczyszczenia, wynikającymi z odpowiednich aktów wykonawczych do odpowiednich ustaw. Jak wynika z przeprowadzonych badań, zawartość siarki zależy wyraźnie od uziarnienia materiału i spada po przekroczeniu określonej średnicy ziaren. Z wykonanych wstępnych badań wynika, że kruszywa produkowane na bazie tych skał po odrzuceniu najdrobniejszych frakcji (poniżej średnicy 16 mm) będą zawierały siarkę w ilości poniżej 1%, co przy spełnionych innych warunkach (wysoki >3 wskaźnik potencjału neutralizacji) daje podstawy do ich wykorzystania, jako materiał do rekultywacji wyrobisk odkrywkowych.

Tab. 1. Zawartość procentowa siarki całkowitej w próbach pierwotnych skały płonnej stanowiącej bazę do produkcji kruszywa w ZG Janina Tauron Wydobycie S.A.

Tab. 1. Percentage sulfur content in the samples of raw waste rock which is the base for the production of aggregates in Janina Mine at Tauron Wydobycie S.A.

Nr próby surowej (pierwotnej)	Zawartość procentowa siarki całkowitej w stanie suchym w próbach pierwotnych S_t^d [%]			
	całość próby surowej 0-200 mm	frakcje 25-200 mm	frakcje 20-200 mm	frakcje 16-200 mm
próba 1	2,24	0,78	0,88	1,08
próba 2	3,94	1,27	1,42	1,53
próba 3	1,66	0,42	0,57	0,72
próba 4	0,43	0,23	0,28	0,29
próba 5	1,37	0,35	0,38	0,42
próba 6	1,15	0,30	0,43	0,52
próba 7	1,85	1,18	1,25	1,29
próba 8	1,67	0,40	0,45	0,53
wartość średnia (średnia arytmetyczna)	1,79	0,61	0,71	0,79

Tak pobrane próby surowe rozsiano na 14 frakcji ziarnowych w zakresie od 0 do 200 mm (0-6, 6-8, 8-10, 10-16, 16-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-50, 50-60, 60-80, 80-120, 120-200 mm) oraz powyżej 200 mm [39]. Wyniki oznaczeń zawartości procentowej siarki wykazały, że we frakcjach kruszywa (odpadów górniczych) o większych średnicach ziaren zawartość uśredniona siarki całkowitej jest na tyle niska, że można ten materiał uznać za obojętny dla środowiska. Kluczowym zagadnieniem w tej sytuacji było określenie dolnej granicy frakcji materiału skalnego, powyżej której średnie zawartości siarki z małym i możliwym do praktycznego zaakceptowania ryzykiem błędnie przekroczą wartości granicznej postawionej na poziomie 1% (założono, że wskaźnik potencjału neutralizacji jest większy od 3). Badania zawartości całkowitej siarki w poszczególnych frakcjach rozsianych z prób surowych prowadzono metodą wysokotemperaturową (Laboratorium ZG Janina). W tabeli 1 zestawiono zawartości procentowe siarki w stanie suchym

Metody statystycznej weryfikacji jakości kruszyw (wyznaczenie frakcji kruszywa o zawartości siarki mniejszej od 1%)

Przy ocenie wyników badań parametrów kruszywa (szczególnie procentowej zawartości siarki) oraz dla wyznaczenia najbardziej wiarygodnej dolnej granicy średnicy ziaren kruszywa spełniającej warunek $S_t^d < 1\%$ można posłużyć się metodami analizy statystycznej. Poniżej przedstawiono proponowany przez autorów sposób postępowania wskazujący na uzyskanie wiarygodnych wyników. Warunkiem poprawności proponowanej metody jest posiadanie odpowiednio dużego zbioru wyników opróbowania prób pobieranych losowo z partii surowca (kruszywa) przeznaczonego do stosowania, jako materiał rekultywacyjny.

Przedmiotem szczegółowej analizy statystycznej była zawartość siarki całkowitej (w stanie suchym), jako jednego

Tab. 2. Statystyka zawartości siarki całkowitej w 8 próbach surowych (pierwotnych)

Tab. 2. Statistics of total sulfur content in the 8 primary samples

Liczba prób	Średnia arytmetyczna [%]	Współczynnik zmienności [%]	Min/Max [%]	Test normalności Shapiro-Wilka	Przedziały ufności dla średniej dla poziomu prawdopodobieństwa P
8	1,79	56	0,43/3,94	P-value=0,23	P=0,95: [0,96; 2,62] P=0,99: [0,56; 3,02]

Tab. 3. Wyznaczenie dolnych granic frakcji (kolor zielony) powyżej których prawdopodobieństwo przekroczenia referencyjnej zawartości siarki $S_t^d=1\%$ wynosi 0,05 i 0,01Tab. 3. Determination of the lower limits of the fractions (green) above which the probability of exceeding the reference sulfur content of $S_t^d=1\%$ is equal to 0,05 and 0,01

Frakcja [mm]	Średnia arytmetyczna zawartość siarki (S_t^d) [%]	Współczynnik zmienności [%]	Górna granica zawartości siarki dla prawdopodobieństwa jej przekroczenia P	
			P=0,05 [%]	P=0,01 [%]
>8	1,01	49,3	1,34	1,53
>10	0,94	49,7	1,26	1,44
>16	0,79	53,9	1,08	1,24
>20	0,71	56,5	0,97	1,13
>25	0,61	62,9	0,87	1,02
>30	0,56	67,0	0,81	0,95

z ważniejszych parametrów decydujących o przydatności skał towarzyszących węglom kamiennym i uzyskiwanych przy okazji ich eksploatacji kruszyw, do wypełniania poeksploatacyjnych wyrobisk odkrywkowych. Podstawę wstępnych badań stanowiły wyniki opróbowania odpadów produkcyjnych i rozdzielanie materiału z 8 pobranych prób. Zawartości siarki dla prób pierwotnych wykazują duży rozrzut od około 0,5% do 4%. Statystyka zawartości siarki w próbach pierwotnych wskazuje na jej dużą zmienność, która wyrażona współczynnikiem zmienności wynosi 56% przy średniej arytmetycznej zawartości równej 1,79% (tab. 2). Potwierdzają to także szerokie przedziały ufności obliczone dla rzeczywistej średniej zawartości siarki, których górna granica sięga 2,62% dla poziomu prawdopodobieństwa $P=0,95$ i 3,02% dla $P=0,99$. Test normalności Shapiro-Wilka nie daje podstaw do odrzucenia hipotezy o normalności rozkładu zawartości siarki na poziomie istotności $\alpha=0,05$ ($P\text{-value}=0,23$) (tab. 2).

Masy poszczególnych frakcji dla połączonego materiału 8 prób pierwotnych są silnie zróżnicowane z wyraźną dominacją masy dla najdrobniejszej frakcji (0-6 mm). Zawartości siarki we frakcjach są silnie zróżnicowane (od około 0,5% do 4,5%) i wykazują wyraźną tendencję malejącą ze wzrostem rozmiarów frakcji. Dowodzi to możliwości uzyskiwania kruszywa o założonej dopuszczalnej zawartości siarki przez eliminację najdrobniejszych frakcji.

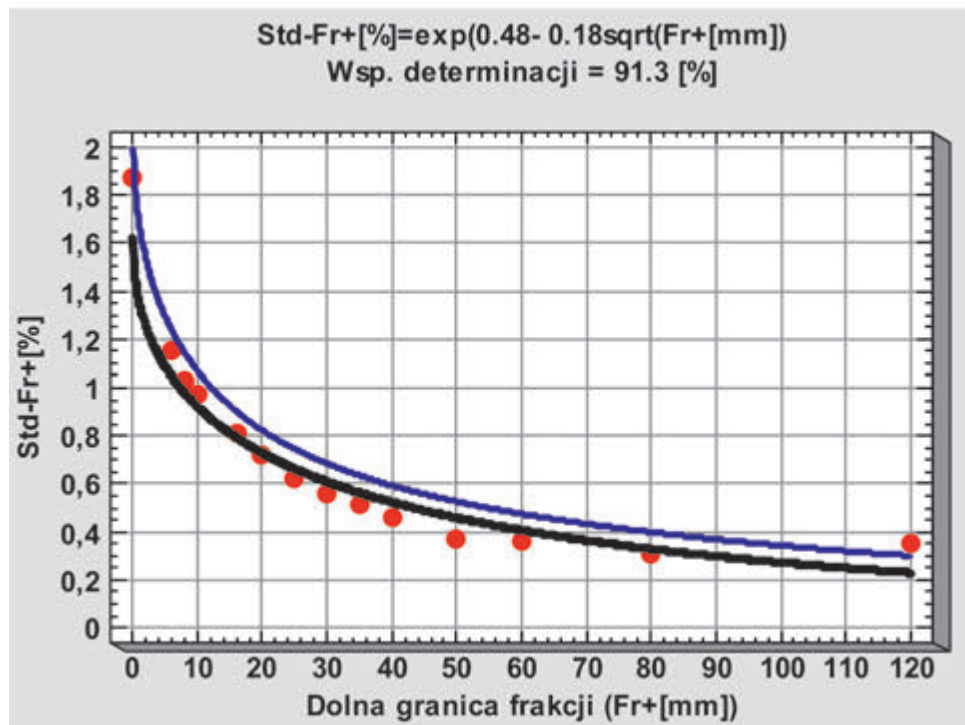
Dla wyznaczenia dolnych granic frakcji, powyżej których zawartość siarki nie przekroczy referencyjnej dla odpadów obojętnej zawartości równej 1%, obliczono średnie zawartości siarki w materiale skalnym po eliminacji kolejnych frakcji, od najdrobniejszej poczynając. Dane zamieszczone w tabeli 3 pokazują, że średnie zawartości siarki już w materiale o frakcji >10 mm są mniejsze od przyjętej granicy 1%. Jednak z uwagi na dużą zmienność zawartości siarki dla kolejnych dolnych granic frakcji, rzędu 49-67 % (tab. 3) można przyjąć, że w kolejnych partiach powstającego materiału odpadowego będzie

dochodzić do częstego przekroczenia wartości referencyjnej. Dla rozpatrywanych wariantów dolnych granic frakcji, test normalności Shapiro-Wilka nie daje, podobnie jak w przypadku próbek pierwotnych, podstaw do odrzucenia hipotezy o normalności rozkładu zawartości siarki. Ułatwia to znacznie stosowanie różnorodnych metod statystycznych do rozwiązania postawionych zadań.

Dla określenia „bezpiecznych” dolnych granic frakcji, powyżej których prawdopodobieństwo przekroczenia zawartości referencyjnej będzie małe, zastosowano dwie techniki statystyczne. W pierwszej kolejności korzystając z rozkładu t-Studenta obliczono górne granice przedziału ufności dla rzeczywistej średniej zawartości siarki z ryzykiem ich przekroczenia, mierzonym prawdopodobieństwem wynoszącym 0,05 i 0,01. Są one jednocześnie dolnymi granicami frakcji powyżej których zawartości siarki będą z małym ryzykiem błędu mniejsze od 1%. Wyniki zawarte w tab. 3 pokazują, że dla prawdopodobieństwa $P=0,05$ warunek ten jest spełniony dla frakcji >20 mm natomiast dla prawdopodobieństwa $P=0,01$ począwszy od frakcji >30 mm.

W drugiej kolejności wykorzystano model zależności nieliniowej wiążącej zawartość siarki z dolną granicą frakcji materiału skalnego a w szczególności górne granice przedziału ufności dla krzywej zależności z prawdopodobieństwem ich przekroczenia równym 0,05 i 0,01 (rys. 7). Model ten wyznaczony metodą najmniejszych kwadratów jest statystycznie istotny i w sposób wysoce satysfakcjonujący przybliży empiryczną zależność obu zmiennych ze współczynnikiem determinacji $R^2=91,3\%$, co oznacza, że skonstruowany model regresji wyjaśnia aż 91,3% zmienności zawartości siarki. Odczytane z modelu i górnych granic przedziału ufności prognozowane zawartości siarki dla kilku dolnych granic frakcji materiału (tab. 4) pokazują, że począwszy od frakcji >16 mm zawartości siarki będą mniejsze od 1% zarówno dla ryzyka błędu 0,05 jak i 0,01.

Wyniki uzyskane przy zastosowaniu dwóch technik



Rys. 7. Model zależności zawartości siarki całkowitej (S_t^d) od dolnej granicy frakcji materiału skalnego (linia czarna) wraz z górną granicą przedziału ufności (linia niebieska) dla poziomu prawdopodobieństwa $P=0,99$ (program: STATGRAPHICS [23])

Fig. 7. The model of dependence of the total sulfur content (S_t^d) from the lower limit of the rock fraction (black line) with the upper limit of the confidence interval (blue line) for the probability level $P=0,99$ (program: STATGRAPHICS [23])

Tab. 4. Dolne granice frakcji dla których średnia zawartość siarki całkowitej nie przekroczy referencyjnej zawartości 1% z prawdopodobieństwem 0,05 i 0,01 wyznaczone z modelu regresji nieliniowej

Tab. 4. The lower limits of the fraction for which the average sulfur content does not exceed the reference content of 1% with probability of 0,05 and 0,01 determined from the non-linear regression model

Frakcja [mm]	Średnia zawartość siarki całkowitej (S_t^d) prognozowana z modelu regresji [%]	Górna granica prognozowanej z modelu regresji średniej zawartości S_t^d [%] z prawdopodobieństwem jej przekroczenia P	
		P=0,05	P=0,01
>10	0,92	1,02	1,07
>16	0,79	0,86	0,90
>20	0,73	0,79	0,82

statystycznych różnią się nieco od siebie, co może być spowodowane zróżnicowanymi masami poszczególnych frakcji materiału skalnego w próbach pierwotnych. Bardziej rygorystycznych ale i bezpieczniejszych oszacowań dostarcza metoda oparta na wyznaczaniu górnej granicy przedziału dla nieznannej średniej zawartości siarki niż metoda oparta na modelu zależności nieliniowej. Kierując się pierwszą z metod, w zależności od decyzji co do dopuszczalnego ryzyka błędu można przyjąć, że zawartości siarki poniżej zawartości referencyjnej (1%) uzyska się po odsianiu z materiału skalnego frakcji <20 mm z prawdopodobieństwem błędu 0,05 lub frakcji <30 mm z prawdopodobieństwem błędu 0,01.

Podsumowanie i wnioski

Wypełnianie wyrobisk poeksploatacyjnych górnictwa odkrywkowego odpadami wydobywczymi górnictwa węgla kamiennego lub kruszywami produkowanymi na bazie skały płonnej, powinno się odbywać z uwzględnieniem wymogów ochrony środowiska, ze szczególnym uwzględnieniem gleb, wód powierzchniowych i podziemnych. Prawidłowa ocena

przedsięwzięcia, jakim jest rekultywacja z wykorzystaniem odpadów wydobywczych lub kruszyw czy innych surowców skalnych wymaga przeprowadzenia wielokryterialnej analizy, która powinna wykazać czy materiał użyty do rekultywacji spełni wymagania szeregu norm i rozporządzeń w zakresie ochrony środowiska, właściwych dla rejonu prowadzonej rekultywacji. W odniesieniu do kruszywa, jako produktu na bazie skały płonnej, można zastosować analizę porównawczą do wymagań prawnych przypisanych dla odpadów obojętnych dla środowiska naturalnego oraz jednocześnie do wymagań prawnych stosowanych dla zapewnienia bezpieczeństwa dla środowiska gruntowo-wodnego.

Wstępne badania przeprowadzone przez autorów, wykonane dla kilku partii wyselekcjonowanych frakcji kruszyw wyprodukowanych na bazie skały płonnej w ZG Janina wykazały, że w większości charakteryzują się one zawartością procentową siarki poniżej 1%, która będzie wystarczająca dla zapewnienia ochrony środowiska gruntowo-wodnego zgodnie z przyjętymi wartościami granicznymi wskaźników zanieczyszczenia. Jak wynika z wykonanych badań, dla każdej z prób można określić dolną granicę wielkości ziaren, powyżej której obserwuje się

spadek całkowitej zawartości siarki poniżej 1% w próbie. Daje to podstawę do podjęcia dalszych prac w celu całkowitego potwierdzenia przydatności produkowanych kruszyw do celów rekultywacyjnych. Zakłady górnicze dysponują odpowiednimi technologiami, pozwalającymi na produkcję kruszywa w żądanym przedziale ziarnowym, po dostosowaniu również na skalę przemysłową.

Do określania dolnych granic frakcji materiału skalnego, w którym zawartość siarki nie przekroczy przyjętej dopuszczalnej wielkości z powodzeniem mogą być stosowane metody statystyczne badań oparte na konstrukcji górnych przedziałów ufności dla wartości średniej lub modeli regresyjnych. Dodatkowo dla rozwiązania tego zadania celowe jest zastosowanie testu t-Studenta w którym należy przyjąć dla różnych dolnych granic frakcji hipotezę zerową o zawartości siarki równej war-

tości referencyjnej wobec hipotezy alternatywnej, że zawartość siarki jest od niej mniejsza. Wymienione metody statystyczne mogą być stosowane dla wyznaczania dolnych granic frakcji materiału skalnego z punktu widzenia dopuszczalnych wartości innych parametrów (np. zawartości metali ciężkich). Przedstawiony w artykule przykład zastosowań metod statystycznych dla wydzielenia frakcji kruszyw z KWK Janina w których zawartość siarki nie przekroczy dopuszczalnej wielkości (1%) należy traktować jako badania wstępne z uwagi na małą próbę statystyczną utworzoną z oznaczeń siarki w wyróżnionych frakcjach zaledwie 8 prób surowych (pierwotnych). Konieczne jest zweryfikowanie poprawności uzyskanych wyników dla poszerzonego zbioru danych podstawowych przez zwiększenie ilości prób pierwotnych.

Publikacja została zrealizowana częściowo w ramach prac statutowych IGSMiE PAN

Autorzy składają podziękowania TAURON Wydobywanie S.A. w Jaworznie za udostępnienie danych i umożliwienie realizacji niniejszej pracy.

Literatura

- [1] Baic, I., Witkowska-Kita, B. 2011 - Technologie zagospodarowania odpadów z górnictwa węgla kamiennego - diagnoza stanu aktualnego, ocena innowacyjności i analiza SWOT. Rocznik Ochrona Środowiska - Annual Set The Environment Protection t. 13, s. 1315–1326. ISSN 1506-218X
- [2] Bojarska, K. Bzowski, Z., 2012 - Wyniki badań wyciągów wodnych odpadów wydobywczych z kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego w aspekcie wpływu na środowisko. Górnictwo i Geologia t. 7, z. 2, s. 101–113
- [3] Galos K., Szlugaj J., 2014 - Management of hard coal mining and processing wastes in Poland, Gospodarka Surowcami Mineralnymi - Mineral Resources Management, t.30, z.4, s.51-61
- [4] Galos K., Szlugaj J., 2010 - Skąły przywęglowe w górnictwie węgla kamiennego – odpady czy kopaliny towarzyszące?, Górnictwo Odkrywkowe, s. 25-31 ISSN 0043-2075
- [5] Gawenda T., Olejnik T., 2008 - Produkcja kruszyw mineralnych z odpadów powęglowych w Kompanii Węglowej S. A. na przykładzie wybranych kopalń. Gospodarka Surowcami Mineralnymi PAN. Komitet Gospodarki Surowcami Mineralnymi; t. 24 z. 2/1 s. 27–42, Wyd. IGSMiE PAN Kraków ISSN 0860-0953
- [6] Góralczyk, S. Baic, I., 2009 - Odpady z górnictwa węgla kamiennego i możliwości ich gospodarczego wykorzystania. Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal t.12, z. 2/2, s. 145-157.
- [7] Góralczyk, S. red. 2011. Gospodarka surowcami odpadowymi z węgla kamiennego. IMBiGS Warszawa, s. 327
- [8] Kłojzy-Karczmarczyk, B., 2003 - Zastosowanie odpadów energetycznych w ograniczaniu transportu zanieczyszczeń ze składowisk odpadów górniczych. Studia, Rozprawy, Monografie Nr 117, IGSMiE PAN, Kraków
- [9] Kłojzy-Karczmarczyk B., Mazurek J., 2014 - Badania zawartości rtęci i siarki w odpadach z obszaru nieczynnej hałdy odpadów górnictwa węgla kamiennego. Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal, t.17, z.4, s.289-302 ISSN 1429-6675
- [10] Kłojzy-Karczmarczyk B., Mazurek J., 2015 - Uwarunkowania prawne i środowiskowe rekultywacji wyrobisk odkrywkowych z wykorzystaniem odpadów górnictwa węgla kamiennego lub produktów na bazie skały płonnej. Zeszyty Naukowe IGSMiE PAN, nr 90, 2015 s. 67-78, Kraków ISSN 2080-0819
- [11] Kokesz Z., 2010 - Geostatystyczna analiza zmienności zawartości siarki w wybranych pokładach węgla GZW. Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management t. 26, z. 3, s. 95–110. ISSN 0860-0953
- [12] Korban, Z., 2011 - Problem odpadów wydobywczych i oddziaływania ich na środowisko, na przykładzie zwałowiska Nr 5A/W-1 KWK „X”. Górnictwo i Geologia t. 6, z. 1, s.109-120
- [13] Mucha J., Wasilewska M., 2005 - Dokładność interpolacji zawartości siarki i popiołu w wybranych pokładach węgla kamiennego GZW. Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management t. 21, z. 1, s.5-21. ISSN 0860-0953
- [14] Ostrega A. Uberman R., 2010 - Kierunki rekultywacji i zagospodarowania – sposoby wyboru, klasyfikacja i przykłady. Górnictwo i Geoinżynieria, 34.4 s.445-461. ISSN 1732-6702
- [15] Rosik-Dulewska C., Karwaczyńska U., 2008 - Metody ługowania zanieczyszczeń z odpadów mineralnych w aspekcie ich zastosowania w budownictwie hydrotechnicznym. Rocznik Ochrona Środowiska - Annual Set The Environment Protection t. 10, s.205-219. ISSN 1506-218X

- [16] Rosik-Dulewska C., 2012 - Podstawy gospodarki odpadami. Wyd. V, Wydawnictwo Naukowe PWN, 379 s. ISBN: 9788301163532
- [17] Strzałkowski P., Kaźmierczak U., 2014 - Zakres prac rolnego i leśnego kierunku rekultywacji w kopalniach górnictwa skalnego. Mining Science - Mineral Aggregates vol. 21(1), s.203-213
- [18] Szczepańska J., Krawczyk J., 1993 - Zanieczyszczenie środowiska wodnego siarczanami tworzącymi się na składowiskach odpadów górnictwa węgla kamiennego. Gospodarka Surowcami Mineralnymi - Mineral Resources Management t. 9, z.3. ISSN 0860-0953
- [19] Szymkiewicz A., Fraś A., Przysaś R., 2009 - Kierunki zagospodarowania odpadów wydobywczych w Południowym Koncernie Węglowym S.A., Wiadomości Górnicze, s. 435-441
- [20] Twardowska I., Szczepańska J., Witczak S. 1988. Wpływ odpadów górnictwa węgla kamiennego na środowisko wodne. Ocena zagrożenia, prognozowanie, zapobieganie. Prace i Studia 35, IPIŚ PAN
- [21] Wróbel J., Fraś A., Przysaś R., Hycnar J.J., 2013 - Gospodarka odpadami poprodukcyjnymi w kopalniach Południowego Koncernu Węglowego SA. Konferencja Naukowo-Techniczna XXII Szkoła Eksploatacji Podziemnej, Kraków 18-22.02
- [22] Wróbel J., Fraś A., Pierzchała T., Przysaś R., Machnik A., Hycnar J.J., 2012 - Konsolidacja działań Południowego Koncernu Węglowego SA. ze spółkami energetycznymi Grupy TAURON w zakresie gospodarowania produktami ubocznymi. Materiały XXVI Konferencji Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej, Zakopane, s.113-127. ISBN 978-83-62922-07-9
- [23] STATGRAPHICS® Centurion XVII User Manual (2014)
- [24] Szufficki M., Malon A., Tyminski M. (red). 2015 - Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2014 r. Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy, 473s ISSN 2299-4459
- [25] Ustawa z dnia 10 lipca 2008 r. o odpadach wydobywczych (t.j. Dz.U. z 2013 r. poz. 1136 ze zm).
- [26] Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz. U. z 2013 r. poz. 21 ze zm.)
- [27] Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne (t.j. Dz.U. z 2015 r. poz. 469 ze zm.)
- [28] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (t.j. Dz.U. z 2013 r. poz. 1232 ze zm.)
- [29] Ustawa z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych (t.j. Dz.U. z 2013 r. poz. 1205 ze zm.)
- [30] Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze (t.j. Dz.U. z 2015 r. poz. 196 ze zm.)
- [31] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. z 2014 r. poz. 1923)
- [32] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 maja 2015 r. w sprawie odzysku odpadów poza instalacjami i urządzeniami (Dz.U. z 2015 r. poz. 796).
- [33] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 stycznia 2015 r. w sprawie procesu odzysku R10 (Dz.U. z 2015 r. poz. 132)
- [34] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 roku w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U. z 2002 r. Nr 165, poz. 1359)
- [35] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 15 lipca 2011 r. w sprawie kryteriów zaliczania odpadów wydobywczych do odpadów obojętnych (Dz.U. z 2011r. Nr 175, poz. 1048)
- [36] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 listopada 2002 r. w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody powierzchniowe wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia (Dz.U. z 2002 r. Nr 204, poz. 1728)
- [37] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 21 grudnia 2015 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych (Dz.U. z 2016 r. poz. 85)
- [38] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz.U. z 2014 r. poz. 1800)
- [39] Kłojzy-Karczmarczyk, B., Mazurek J., Paw K., Możliwości zagospodarowania odpadów i kruszyw górnictwa węgla kamiennego z ZG Janina w procesach rekultywacji wyrobisk odkrywkowych, 2016 - praca w przygotowaniu do publikacji w: Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management. ISSN 0860-0953