

PORÓWNANIE ODDZIAŁYWANIA NA ŚRODOWISKO RÓŻNYCH METOD TECHNOLOGII UNIESZKODLIWIANIA ODPADÓW WYDOBYWCZYCH Z WYKORZYSTANIEM METODY AHP

Justyna Kubicz¹, Mateusz Hämmerling², Natalia Walczak²

¹ Instytut Inżynierii Środowiska Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Plac Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław, e-mail: kubicz.justyna@gmail.com

² Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94A, 60-649 Poznań, e-mail: mhammer@up.poznan.pl; natwal@wp.pl

STREESZCZENIE

Eksploatacja składowisk wszelkiego rodzaju odpadów niesie za sobą różnego rodzaju problemy dotyczące m. in. ich unieszkodliwiania oraz wpływu zgromadzonych zanieczyszczeń na środowisko naturalne. Na składowiskach gromadzone mogą być odpady np. poflotacyjne z zakładów wzbogacania rudy. Pomimo stosowania przez firmy/koncerny najnowocześniejszych metod wydobywania i przetwarzania rud miedzi oraz wprowadzenia nowoczesnych systemów organizacji i zarządzania produkcją obszar zlokalizowany najbliżej zbiornika jest narażony na jego działanie. Wiele rodzajów odpadów stanowi cenne źródło surowców wtórnych, które nadają się do wykorzystania przez różne gałęzie przemysłu. Przykładem takich surowców są odpady górnicze (poflotacyjne), zazwyczaj obojętne środowisku, których wytwarzana ilość w procesie eksploatacji kopalni jest znaczna. W artykule porównano różne metody technologiczne składowania odpadów wydobywczych z wykorzystaniem metody AHP i ich wpływ na środowisko.

Słowa kluczowe: hierarchiczna analiza problemu, odpady poflotacyjne, oddziaływanie na środowisko, zbiornik.

COMPARISON OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF DIFFERENT METHODS OF MINING WASTE DISPOSAL TECHNOLOGY USING AHP METHOD

ABSTRACT

Exploitation of tailing ponds sites for storing all types of waste materials creates multiple problems concerning waste disposal and the environmental impact of the waste. Tailing ponds waste may comprise e.g. flotation tailings from ore enrichment plants. Despite the fact that companies / corporations use state-of-the-art methods of extraction and processing of copper ore, and introduce modern systems of organization and production management, the area located closest to the reservoir is exposed to its negative effects. Many types of waste material are a valuable source of secondary raw materials which are suitable for use by various industries. Examples of such materials are mining waste (flotation tailings), usually neutral to the environment, whose quantities produced in the process of exploitation of minerals is sizeable. The article compares different technological methods of mining waste disposal using AHP method and their environmental impact.

Keywords: hierarchical problem analysis, flotation tailings, environmental impact, tailing pond.

WSTĘP

Współczesny rozwój gospodarczy w wielu przypadkach powoduje nadmierne obciążenie środowiska przyrodniczego. W następstwie procesów wydobywania i przeróbki surowców mineralnych powstaje znaczna ilość odpadów, które

powodują zanieczyszczenia wód i powietrza, degradację gleb, niszczenie flory i fauny. Rezultatem tego jest naruszenie równowagi biologicznej w przyrodzie. Dlatego należy dążyć do współzależności i równowagi między rozwojem społecznym – gospodarczym, a zagospodarowaniem przestrzennym danego kraju [Alwaeli i Czech 2009].

Zbiorniki gromadzące odpady z przeróbki surowców mineralnych stanowią zazwyczaj olbrzymie budowle hydrotechniczne. Ich konstruowanie jest wysokiej klasy zadaniem inżynierskim szczególnie wtedy gdy do budowy zapór składowiska wykorzystuje się materiał tam deponowany. Wśród głównych funkcji technologicznych tego typu obiektów wymienia się magazynowanie odpadów poflotacyjnych, retencjonowanie nadmiaru wody kopalniano-technologicznej w okresach między zrzutami, magazynowanie wody do flotacji, podsadzki i przepłuczki, odbieranie wód z odwodnienia kopalń i przelewów technologicznych. Tego rodzaju obiekty w związku z tak rozbudowanym zakresem zadań wymagają ciągłego monitoringu, który służy m. in. do weryfikacji założeń projektowych.

Omawiane odpady powstają w procesie flotacji, który dzięki wykorzystaniu różnic we właściwościach powierzchniowych wzbogacanych minerałów umożliwia oddzielenie ich od skały płonnej i skoncentrowanie [Sanak - Rydlewska 2009]. Są produktem ubocznym w górnictwie węgla kamiennego oraz w uzyskiwaniu surowców metalicznych, takich jak Cu czy Zn i Pb. Każdy z nich różni się właściwościami fizykochemicznymi, jak również składem mineralnym [Wdowin, Gruszecka 2012, Bauerek i in. 2009]. W zależności od rudy oraz technologii przeróbki, odpad poflotacyjny charakteryzuje się znacznym stopniem okruszenia oraz zróżnicowaną budową litogeniczną. W efekcie powstają odpady flotacyjne różniące się właściwościami fizycznymi oraz składem chemicznym i mineralogicznym [Krajeński i in. 2000]. Wpływa to na dobór późniejszej metody gospodarowania odpadami i ich unieszkodliwiania. Celem optymalnej gospodarki odpadami jest maksymalne zmniejszenie ich objętości oraz racjonalne i bezpieczne wtórne ich zagospodarowanie, z minimalizacją negatywnego wpływu na środowisko [Gudelis-Matys 2007].

Przykładem miejsca w którym prowadzona jest gospodarka odpadami powstałymi z wydobycia rudy jest kopalnia Milla Site, zlokalizowana w Village of Questa, CMI (dawniej Molycorp). Podczas badań na tym obiekcie Blodgett i in. [2012] porównali dwie metody składowania odpadów w postaci mokrej lub zagęszczonej pasty. Na podstawie badań stwierdzili, że korzystniejsze jest zagospodarowanie odpadów pogórnich w postaci pasty ze względów ekonomicznych, obszarowych (zajmują mniej miejsca) i chemicznych (są mniej zanieczyszczone). Odpady w ten sposób groma-

dzone pozwalają wcześniej zrehabilitować miejsca ich składowania. Do takich samych wniosków doszli Marques i Pérez [2013], którzy poszukiwali metody zagospodarowania osadów bardziej przyjaznych dla środowiska w Brazylii.

Do dnia dzisiejszego nie znaleziono innego zastosowania odpadów poflotacyjnych niż wbudowanie ich w strukturę składowiska lub wypełnianie pustek poeksploatacyjnych. Eksperymentalnie bada się ich zastosowanie jako sorbentów gazów kwaśnych, które powinny charakteryzować się dobrymi właściwościami sorpcyjnymi. Zapewnia to duża powierzchnia właściwa oraz duża pojemność jonowymienna. Dlatego, aby rozpocząć tego typu rozważania, konieczne jest przeprowadzenie podstawowych badań mineralogicznych, chemicznych i tekstualnych [Wdowin i Gruszecka 2012].

Badania Karczewskiej i Lizurka [2004] wskazują na pozytywne działanie osadów poflotacyjnych na właściwości fizyczne i fizykochemiczne gleb doliny Bobrzycy. Jednocześnie zwracają uwagę, że w przypadku oddziaływania osadów poflotacyjnych na jakość gleb należy liczyć się z zagrożeniem podwyższonym stężeniem metali ciężkich.

METODYKA BADAŃ

Celem niniejszej pracy była ocena wpływu dwóch metod deponowania odpadów z przeróbki rudy miedzi na środowisko i wybór bardziej korzystnej. Analizując skomplikowane problemy podejmowanie decyzji należy koncentrować się na wazieniu możliwości, które spełniają zbiór pożądaných celów. Decyzja polega na wybraniu jednej spośród wielu możliwości [Adamus i Łask 2010]. W celu jej ułatwienia w latach 70 tych Thomas L. Saati stworzył metodę Analytical Hierarchy Process (AHP). Liczne zastosowania tej metody we wspomaganii decyzji ekonomicznych, technicznych czy społecznych potwierdzają jej przydatność szczególnie tam, gdzie doświadczenie oceniającego stanowi główne źródło ocen, a znaczna część kryteriów oceny jest subiektywna. Metoda AHP najbardziej przydatna jest gdy hierarchia kryteriów oceny reprezentuje różny poziom szczegółowości, większość kryteriów oceny ma charakter jakościowy, a nie ilościowy i występuje pełna porównywalność wariantów.

W literaturze można znaleźć wiele informacji opisujących podstawy teoretyczne metody AHP.

Analiza problemu z wykorzystaniem metody AHP jest przeprowadzana w czterech krokach. Pierwszy z nich związany jest z określeniem celu nadrzędnego oraz wyrysowaniem drzewa hierarchicznego powiązań między poszczególnymi czynnikami mającymi wpływ na badany problem. Drzewo buduje się od kryteriów ogólnych, podstawowych, które następnie są uszczegółowiane. W kolejnym etapie następuje porównanie parami kryteriów oraz wariantów decyzyjnych znajdujących się na tym samym poziomie drzewa zdarzeń względem wyższej gałęzi i przypisanie im odpowiednich wag zgodnie z skalą opracowaną przez Saatiego [2004] (tabela 1).

W trzecim etapie badań na podstawie otrzymanych wag tworzy się i rozwiązuje macierze. Wartościami liczbowymi uzyskanymi z porównań między poszczególnymi kryteriami, wypełnia się macierze nad przekątną. Wartości pod przekątną stanowią odwrotność wyrazów nad przekątną. W dalszej kolejności sumowane są znormalizowane wiersze macierzy i wyliczany jest jej wektor własny (tzw. wektor priorytetów). Im wyższa wartość wektora priorytetów, tym istotniejszy jest dany element. Sprawdzenie wiarygodności wyników porównań parami, których dokonują eksperci, polega na obliczeniu wartości własnej macierzy porównań λ_{sr} , współczynnik niespójności IR

Tabela 1. Wagi wg Saatiego [2004]

| Ocena liczbowa | Ocena werbalna |
|----------------|---|
| 1 | Porównywalna warianty decyzyjne, kryteria są równoznaczne |
| 2 | Decydent waha się między równoznacznością decyzyjne, kryteria a niewielką przewagą pierwszego obiektu |
| 3 | Niewielka przewaga pierwszego decyzyjne, kryteria nad drugim |
| 4 | Decydent waha się między niewielką a dużą przewagą pierwszej decyzji, kryterium nad drugim |
| 5 | Duża przewaga pierwszego obiektu nad drugim |
| 6 | Decydent waha się między dużą a istotnie dużą przewagą pierwszego obiektu nad drugim |
| 7 | Istotnie duża przewaga pierwszego obiektu nad drugim |
| 8 | Decydent waha się między istotnie większą a ogromną przewagą pierwszego obiektu nad drugim |
| 9 | Ogromna przewaga obiektu pierwszego nad drugim |

Tabela 2. Wartość indeksu losowego

| n | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----|---|------|------|------|------|------|------|
| RI | 0 | 0,58 | 0,90 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 |

oraz współczynnik konsekwencji CI .

$$\lambda_{sr} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (1)$$

gdzie: n – wymiar macierzy,

λ_i – wartość własna macierzy.

Im dalej λ_{sr} odbiega od wymiaru macierzy n , tym większy błąd jest popełniany.

$$CI = \frac{n - \lambda_{sr}}{n - 1} \quad (2)$$

Jeśli wartość wskaźnika CI nie przekracza 0,1, to znaczy, że oceny ekspertów są zgodne [Skorupka i Duchaczek 2010].

$$IR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

gdzie: RI – to indeks losowy, zależny od stopnia macierzy odczytywany na podstawie tabeli 2.

Wartość współczynnika niespójności IR nie powinna przekraczać 0,2 [Tułcecki i Król 2007]. Kolejnym, a zarazem ostatnim etapem jest wyznaczenie preferencji globalnych oraz uporządkowanie oraz klasyfikacja wariantów decyzyjnych z wykorzystaniem wcześniejszych obliczeń.

ANALIZA WYNIKÓW

Przykładową analizę przeprowadzono z udziałem ekspertów z różnych dziedzin naukowych (hydrologia, hydrogeologia, klimatologia i meteorologia, zarządzanie środowiskiem, inżynieria środowiska, ochrona środowiska). W oparciu o przygotowane ankiety eksperci dokonali porównań parami wszystkich elementów na poszczególnych poziomach względem każdego elementu wyższego. Na tej podstawie wyceniono, który z czynników ma wyższą rangę w realizacji wybranego kryterium lub celu głównego. W celu dobrego zobrazowania zależności między elementami struktury hierarchicznej uzyskane wyceny pokazano w postaci wag. Waga bliska wartości 8 świadczy o silnym oddziaływaniu danego wskaźnika, natomiast waga o wartości bliskiej 2 o porównywalnej sile oddziaływania.

Opracowanie obejmuje porównanie oddziaływania na środowisko dwóch metod deponowania odpadów z wydobycia i przeróbki rudy miedzi, dotychczasową metodą tzw. „na mokro” (metoda 1) oraz metodę składowania odpadów w postaci zageszczonej (metoda 2). Analizę wykonano przy zastosowaniu metody AHP. Na podstawie wydzielonych czynników zbudowano model hie-

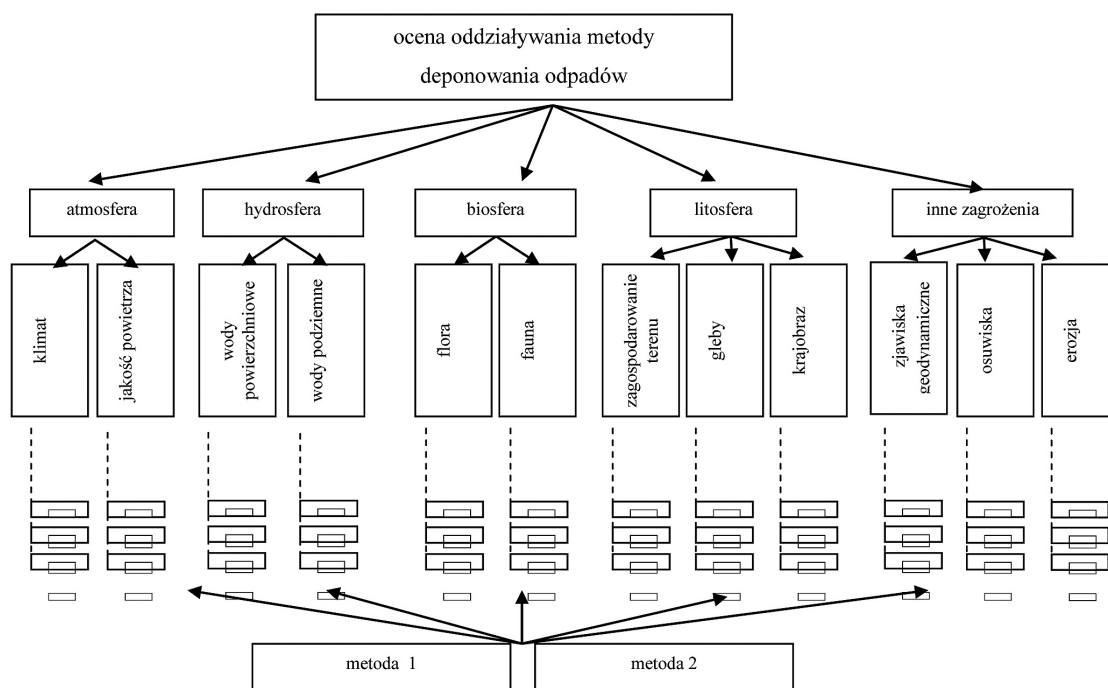
rarchiczny. Pierwszy poziom modelu składa się z jednego elementu, celu zadania: oceny oddziaływania metody deponowania odpadów z wydobycia i przeróbki rud miedzi. Na kolejnym poziomie przyjęto grupę kryteriów o znaczeniu ogólnym (naturalne atmosfera, litosfera, biosfera, zagrożenia naturalne). Trzeci poziom modelu obejmuje tzw. subkryteria, będące szczegółowymi rozwinięciami kryteriów głównych (rysunek 1).

W obszarze atmosfera wyznaczono jako subkryterium klimat i jakość powietrza, w obszarze hydrosfera wody powierzchniowe i podziemne. W obszarze biosfera oceniono florę i faunę. W obszarze litosfera pod uwagę wzięto zagospodarowanie terenu, gleby oraz krajobraz. Ostatnie kryterium inne zagrożenia oceniono pod kątem możliwości wystąpienia, zjawisk geodynamicznych, osuwisk skarpy oraz erozji. Na poziomie IV każdemu z zaimplementowanych subkryteriów przypisano wartości liczbowe, które opisują stopień ich oddziaływania na rozważane warianty. Ostatni poziom modelu, czyli podstawa hierarchii reprezentowany jest przez alternatywne warianty.

Przedstawiona na rysunku 1 struktura hierarchiczna stanowiła podstawę do obliczeń analitycznych, czyli do oceny ważności wszystkich jej elementów składowych. Ocenę ważności wyrażono w postaci wag, czyli priorytetów. Ocenę przeprowadzono na podstawie ankiet wypełnionych przez ekspertów z różnych dziedzin nauki. Dla każdego czynnika obliczono wagi (preferen-

cje) lokalne i globalne. W celu oceny ważności elementów zbudowano macierze ocen porównań parami wydzielonych czynników danego poziomu względem poziomu wyższego. Skalę ocen przyjęto według tabeli 1. Elementy znajdujące się na poziomie II hierarchii oceniono pod kątem ich oddziaływania na element wyżej położony, czyli optymalny wariant budowlę piętrzącej. Rozwiązano macierz $M_{I,II}$ o wymiarze (5×5) , która była wynikiem porównań parami kryteriów poziomu II względem poziomu I. Na poziomie III hierarchii rozwiązano pięć macierzy o wymiarach: (2×2) , (2×2) , (2×2) , (3×3) , (3×3) . Poziom IV wymagał oceny 12 macierzy.

Przykładowy proces otrzymywania wag kryteriów przedstawiają tabele 3 i 4. Obejmują uśrednione wyniki porównań parami kryteriów poziomu II i odpowiedzi na pytanie, na który z elementów środowiska metoda technologii składowania odpadów wydobywczych wpływa bardziej i w jakim stopniu. W analogiczny sposób uzyskano wagi dla niższych poziomów hierarchii. Analizując wpływ metody technologii składowania odpadów wydobywczych na poszczególne czynniki środowiska, w pierwszej kolejności należy zwrócić uwagę na kryteria poziomu II. Z wyodrębnionych pięciu grup najbardziej czuła na oddziaływanie jest hydrosfera (waga: 0,31), następnie litosfera (waga: 0,27), biosfera (waga: 0,14), atmosfera (waga: 0,17). Najmniejsza istotność dotyczy innych zagrożeń (waga: 0,11). W przypadku czynników poziomu



Rys. 1. Struktura hierarchiczna modelu

Tabela 3. Porównanie zmiennych parami ze względu na oddziaływanie różnych metod składowania odpadów wydobywanych na środowisko

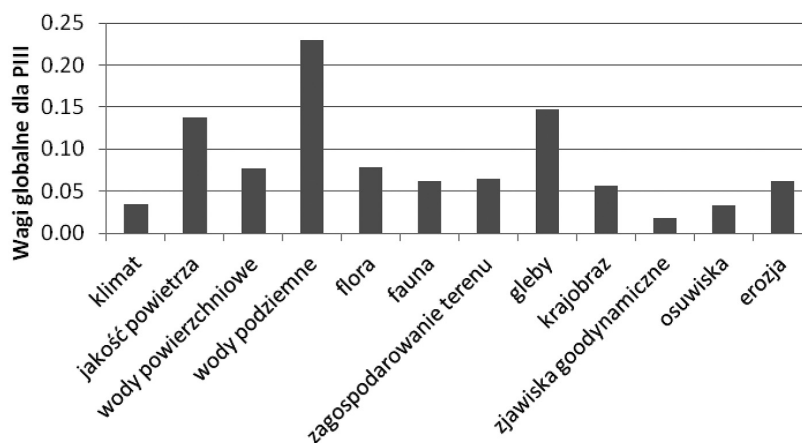
| Zmienna | Wynik porównania parami | Zmienna |
|---------|-------------------------|---------|
| C1 | atmosfera | -3 |
| C2 | hydrosfera | 2 |
| C3 | atmosfera | 2 |
| C4 | hydrosfera | 1 |
| C5 | atmosfera | -2 |
| C1 | atmosfera | 2 |
| C2 | hydrosfera | 2 |
| C3 | atmosfera | -1 |
| C4 | hydrosfera | 1 |
| C5 | atmosfera | 3 |

III największe znaczenie w ocenie oddziaływania, a tym samym w wyborze optymalnego wariantu ma wpływ na wody podziemne (waga: 0,23). Na drugim miejscu znajduje się gleba (waga: 0,15). Nieznacznie mniejszą wartość wagową wykazuje jakość powietrza (waga: 0,14). Najmniejsze znaczenie ma oddziaływanie na zaistnienie zjawisk geodynamicznych (waga: 0,02) i osuwisk (waga: 0,03) i zmian klimatu (waga: 0,03). Wyniki tej części obliczeń przedstawia rysunek 2.

Wynikiem końcowym jest stwierdzenie mniejszego oddziaływania środowiskowego nowej metody składowania odpadów w formie pasty (metoda 2). Waga dla tej metody wynosi 0,19, natomiast dla metody deponowania odpadów na mokro 0,81. Wynik analizy potwierdza, że zmiana technologii deponowania odpadów z mokrej na formę pasty, korzystnie wpłynie na otoczenie obiektu. Wśród głównych korzyści wymienić należy zmniejszenie pylenia i ograniczenie infiltracji zanieczyszczonych wód. Zmniejszony wpływ na jakość powietrza (wagi: 0,80 metoda 1, 0,20 metoda 2), w porównaniu z metodą na mokro, jest spowodowany możliwością wprowadzenia dodatkowych technologii kontrolowania ilości i miejsca ilości frakcji pylastej, która będzie trafiać na plażę obiektu. Nowa metoda będzie stosowana równocześnie z dotychczasowym deszczowaniem, kurtynami wodnymi czy stabilizacją przy użyciu emulsji asfaltowych. Zastosowanie technologii odpadów zagęszczonych w formie pasty spowoduje eliminację zalegania wody w centralnej części obiektu, jak to ma miejsce w dotychczasowej metodzie. Nastąpi ograniczenie wypływu tych wód poza obiekt i zanieczyszczania wód podziemnych i powierzchniowych (wagi dla wód podziemnych i powierzchniowych: 0,86 metoda

Tabela 4. Macierz M_{II} porównań parami kryteriów w odniesieniu do poziomu I

| Zmienna | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | wi – wektor własny | |
|--|------------|-----|------|----|-----|--------------------|------|
| C1 | atmosfera | 1 | 0.33 | 2 | 0.5 | 2 | 0.17 |
| C2 | hydrosfera | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 0.31 |
| C3 | biosfera | 0.5 | 0.5 | 1 | 1 | 1 | 0.14 |
| C4 | litosfera | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0.27 |
| C5 | zagrożenia | 0.5 | 0.5 | 1 | 0.3 | 1 | 0.11 |
| $\lambda_{max} = 5,26$; CI = 0,07; IR = 0,06; RI = 1,12 | | | | | | Suma = 1 | |

**Wyróżnione czynniki dla subkryteriów P II drzewa****Rys. 2.** Preferencje globalne subkryteriów poziomu III

1, 0,14 metoda 2). Mniejsze pylenie oraz zmniejszona infiltracja wysokozmineralizowanych wód w podłoże oznacza również zminimalizowanie oddziaływania na jakość gleb (wagi: 0,83 metoda 1, 0,17 metoda 2). Wśród różnic należy także wymienić wzrost bezpieczeństwa obiektu z uwagi na brak akwenu w centralnej jego części. Analiza dotychczasowych katastrof tego typu obiektów wykazała, że istnienie akwenu było najczęstszym powodem powstawania szkód [Chambers i Higman 2011]. Dodatkowo odpady zagęszczone wykazują lepsze parametry wytrzymałościowe, czyli zwiększa się odporność na niekorzystne warunki geologiczne w rejonie.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W artykule została przedstawiona metodyka wyboru korzystniejszej dla środowiska naturalnego metody unieszkodliwiania odpadów wydobywczych rudy miedzi (Analytic Hierarchy Process). Pokazana w przykładzie próba implementacji metody AHP ma charakter pogładowy, a jej celem było przedstawienie możliwości jej wdrożenia do rozwiązania opisywanego problemu decyzyjnego. Wynikiem opracowanego modelu jest stwierdzenie mniejszej szkodliwości dla środowiska metody deponowania odpadów w postaci zagęszczonej. Z analiz wynika, że przy zastosowaniu tej metody następuje wyraźne ograniczenie oddziaływania na jakość powietrza, wód i gleb.

Przedstawiony w opracowaniu wielokryterialny model ze skalą oddziaływania jest modelem uniwersalnym, łatwym do implementacji w ocenie oddziaływań różnych metod technologii składowania odpadów wydobywczych. Do modelu w prosty sposób można włączać nowe elementy oraz opinie dodatkowych ekspertów. Dużą zaletą przedstawionej metodyki jest łatwość jej wdrożenia, stosunkowo niskie nakłady finansowe i możliwość wykorzystania szerokiej wiedzy dostępnej w różnych źródłach danych. Zastosowanie metody AHP, jak przedstawiono w artykule, stanowi dobre wsparcie podczas sporządzania raportu oddziaływania przedsięwzięcia na środowisko naturalne oraz może posłużyć jako uzasadnienie wyboru proponowanego wariantu przedsięwzięcia.

LITERATURA

1. Adamus W., Łask P., 2010. Zastosowanie metody AHP do wyboru umiejscowienia nadzoru nad

rynkiem finansowym. *Bank i Kredyt* 41(4), 73–100.

2. Alwaeli M., Czech Ł., 2009. Możliwości gospodarczego wykorzystania odpadów poflotacyjnych. *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska*, 11(3), 47–62.

3. Bauerek A., Cabała J., Smieja-Król B., 2009. Mineralogical Alterations of Zn-Pb Flotation Wastes of Mississippi Valley-Type Ores (Southern Poland) and Their Impact on Contamination of Rainwater Runoff. *Polish Journal of Environmental Studies*, 18(5), 781–788.

4. Blodgett S., Kuipers J.R., Kuipers P.E., 2012. Converting to Paste Tailings at the Chevron Mining, Inc. Molybdenum Mine Questa, Prepared for Red River Restoration Group (R3G).

5. Chambers D.M., Higman B., 2011. Long-term Risk of Tailings Dam Failure.

6. Gudelis-Matys K. 2007. Problemy użytkowników instalacji flotacyjnych – zagospodarowanie osadów poflotacyjnych. *Technologia przetwórstwa rybackiego*, 3(957), 27–29.

7. Kraczevska A., Lizurek S., 2004. Właściwości gleb w dolinie potoku Bobrzyce w 35 lat po katastrofie zbiornika osadów poflotacyjnych Iwny. *Roczniki Gleboznawcze*, tom LV, (47), 51–61.

8. Krajeński J., Babińska M., Horodecki W., 2000. Problemy rekultywacji składowisk odpadów z flotacji rud miedzi. Centrum Badawczo-Projektowe Miedzi „Cuprum” we Wrocławiu.

9. Marques e Silva M., Pérez F.A. 2013. Trends in mine tailings disposal from a global perspective and in Brazil, *Paste* 2013, R.J. Jewell, A.B. Fourie, J. Cadwell and J. Pimenta, Australian Centre for Geomechanics, Perth.

10. Saaty T.L., 2004. Decision making the Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP). *Journal of Systems Science and Systems Engineering* 13(1), 1–35.

11. Sanak-Rydlowska S., 2009. Wybrane technologie wzbogacania flotacyjnego. *Przegląd Górniczy*, 65, 5-6, 117–121.

12. Skorupka D., Duchaczek A., 2010. Zastosowanie metody AHP w optymalizacji procesów decyzyjnych związanych z realizacją przedsięwzięć logistycznych. *Zeszyty Naukowe WSOWL*, 3(157), 54–62.

13. Tułeczki A., Król S., 2007. Modele decyzyjne z wykorzystaniem metody Analytic Hierarchy Process (AHP) w obszarze transportu, *Problemy Eksploatacji*, 2, 171–180.

14. Wdowin M., Gruszecka A. 2012. Charakterystyka mineralogiczno-chemiczna i teksturalna odpadów poflotacyjnych z przemysłu Zn-Pb pod kątem dalszych rozważań wykorzystania ich jako sorbentów. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 28(3), 55–69.