



Michał POTEMPA*, Artem SHYRIN**

Ekologiczna i geologiczna ocena obiektów możliwego składowania odpadów pogórniczych w kamieniołomie w Płazie

Streszczenie: Utylizacja odpadów wydobywczych jest jednym z ważniejszych problemów w Polsce i na Ukrainie. W artykule przedstawiono jeden z wariantów lokowania odpadów górniczych w wyrobisku kopalni wapieni w Płazie. W tym celu przeprowadzono analizę bazy zasobowej złoża oraz rozmieszczenia zasobów w ustalonych granicach. Złoże wapieni Płaza zlokalizowane jest w zachodniej części województwa małopolskiego, w całości na terenie gminy Chrzanów. Złoże budują węglanowe utwory triasu środkowego reprezentowane przez wapienno-dolomitowe warstwy olkuskie, wapienno-margliste warstwy gogolińskie oraz podścielające je dolomityczne utwory retu. Największą wartość surowcową posiadały czyste wapienie ze spągowej części warstw olkuskich, obecnie niemal całkowicie wyeksploatowane. W artykule przedstawiono obecny stan zasobów przemysłowych oraz ich jakość (właściwości chemiczne i fizyczne), a także potencjalnych odbiorców surowca i możliwości przedłużenia żywotności pracy kopalni. Zgodnie z wynikami monitoringu środowiska przeprowadzono ocenę warunków gruntowych i hydrogeologicznych, której wyniki pozwoliły na zaproponowanie nowego wydajniejszego wykorzystania obszaru funkcjonującego kamieniołomu dla celu lokowania odpadów górniczych. W opracowaniu przedstawiono koncepcyjny schemat transportu odpadów, planowanego ich rozmieszczenia i zagęszczenia w wyrobisku odpadów wydobywczych pierwszej, drugiej i trzeciej grupy oraz następnie rekultywacji powierzchni terenu. Ze względu na brak analogii takiego rozwiązania, proponuje się traktowanie funkcjonującego wyrobiska jako jednolitego zintegrowanego systemu geomechanicznego, działającego w warunkach niepewności. W celu zbadania dynamiki rekonsolidacji odpadów, przewidziano środki techniczne służące do ciągłego monitorowania ich osiadania. Proponowane rozwiązania dotyczące synchronicznego składowania odpadów wydobywczych oraz jednoczesnej eksploatacji pozostałych zasobów złoża pozwolą wydłużyć żywotność pracy kopalni na następne 15–20 lat.

Słowa kluczowe: składowanie, monitoring środowiska, odpady wydobywcze, utylizacja odpadów

* Mgr inż., Geobit, Polska; e-mail: mpotempa@interia.pl

** Dr inż., Narodowy Uniwersytet Górniczy, Ukraina; e-mail: shyryn.a.l@nmu.one

Ecological and geological assessment of possible disposal of mining waste in the Plaza quarry

Abstract: The utilization of mining waste is an important problem in Poland and Ukraine. The article presents one of the variants of waste mining in the quarry in Plaza. An analysis of the resource base of the deposit and their location at the area of Plaza deposit is carried out. The Plaza deposit is located in the western part of the Malopolskie province, in the entire Chrzanów commune. The Plaza deposit is constructed of Middle Triassic carbonates represented by the limestone-dolomite Olkusz Formation and the limestone-marlized Gogolin Formation. The deposit series lies on the dolomites of Röt age (Lower Triassic – Olenekian). The most valuable raw material was the pure limestone from the lower part of the Olkusz Formation, now almost completely exploited. The article presents the current state of mineable reserves of the deposit and their quality (chemical and physical characteristics). Moreover the article shows potential consumers of raw material and the possibility of extending the life of the mine work. According to the results of the environmental monitoring the ground and hydrogeological conditions were evaluated, the results of which allowed a more efficient use of the existing quarry area for mining waste disposal to be proposed. The paper presents a conceptual waste transport scheme, planned distribution and compaction of wastes belonging to the first, second and third group and then a surface reclamation. In view of the absence of similar decisions analogs, the consideration of the open-pit as a one solid geomechanical system functioning under the conditions of uncertainty is suggested. In order to examine the dynamics of the waste compaction process, some measures are foreseen to constantly observe their subsidence. The proposed measures for the synchronous disposal of mining waste in the worked-out area of the open-pit and the simultaneous mining operation in the quarry will allow the life cycle of the open-pit to be prolonged for 15–20 years.

Keywords: storage, environmental monitoring, mining waste, waste utilization

Wprowadzenie

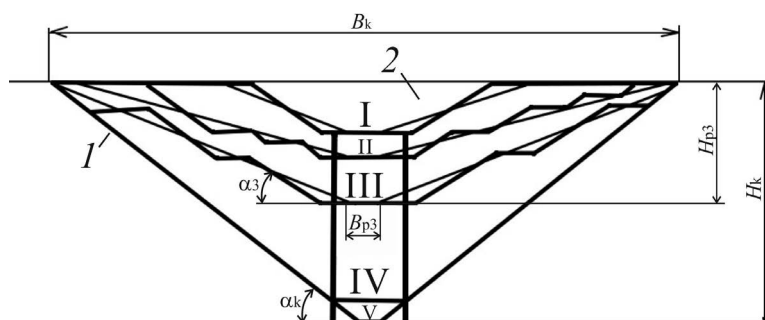
Intensywny rozwój przemysłowy przedsiębiorstw pociągnął za sobą techniczne, technologiczne, ekologiczne i społeczne problemy związane ze składowaniem i gromadzeniem odpadów pochodzących z procesów produkcji. Wzrost ilości wytwarzanych odpadów przemysłowych i komunalnych oraz skomplikowane procesy ich chemicznego przetwarzania zwiększają zagrożenie dla zdrowia ludzi i stanu środowiska przyrodniczego. Szczególne niebezpieczeństwo wywołują składowiska odpadów górniczych, hutniczych i przemysłu chemicznego. Tradycyjną metodą rozwiązania problemu ich utylizacji jest ich deponowanie na składowiskach, a w szczególnych przypadkach w obiektach unieszkodliwiania, gdzie prowadzona jest np. utylizacja termiczna.

Dotychczasowa analiza rozwiązań technicznych stosowanych w składowaniu odpadów wydobywczych pokazała jednak, że na ogół nie spełniają wymogów w świetle obowiązujących przepisów. Uwarunkowane jest to tym, że przepisy polskie, a także stosowane w innych krajach Unii Europejskiej dopuszczają składowanie odpadów na składowiskach, lokalizowanych na wytypowanych obszarach odległych od rejonów zurbanizowanych lub na terenach rolniczych o nieurodzajnych glebach (Dyrektywa... 1985; Gesetz... 1986; Rozporządzenie... 2013).

Składowiska odpadów wydobywczych oddziałują na otaczające środowisko naturalne i wymagają prowadzenia stałego monitoringu środowiska, a w szczególności obserwacji zjawisk hydrogeologicznych i geochemicznych (Kłojzy-Karczmarczyk i in. 2016). Ponadto nadziemne składowiska odpadów wydobywczych często naruszają stabilność podłoża gruntowego prowadzącego do obniżenia stateczności formowanych skarp, a procesy te należy

objąć stałym monitoringiem geotechnicznym. Zjawiska takie notowano np. w przypadku zwałowisk w górnictwie siarki w Polsce (Freiwald i Szługaj 2003).

W związku z powyższym czynne kopalnie odkrywkowe można uznać za alternatywne obiekty składowania odpadów wydobywczych, po wcześniejszym sporządzeniu dla nich projektu rekultywacji i uzyskaniu stosownych pozwoleń w postaci decyzji administracyjnych o kierunku rekultywacji oraz na przetwarzanie odpadów poza instalacjami. Eksploatacja kopalni złóż metodą odkrywkową (Drizhenko 1988) zasadniczo prowadzi do wytworzenia pięciu etapów rozwoju poziomów roboczych kopalni (rys. 1).



Rys. 1. Charakter zmian parametrów strefy roboczej wyrobiska w okresach eksploatacji złoża (Drizhenko 1988)
1 – ostateczny kontur obszaru górniczego; 2 – obszar wyeksploatowany

Fig. 1. Characterization of changes in the parameters of the quarry's working area during the period of exploitation of the deposit
1 – the final outline of the mining area; 2 – the exploited area

W pierwszym etapie usuwa się warstwy nadkładu H_{p1} . W przypadku złoża wapieni Płaza grubość nadkładu waha się od 1 do 4 m. W drugim etapie prowadzona jest eksploatacja poziomu złożowego. Trzeci etap eksploatacji złoża, tzw. główny, charakteryzuje się stabilną wysokością poziomu roboczego i równomiernym zwiększaniem głębokości odkrywki. W czwartym etapie wysokość strefy poziomów roboczych stopniowo zmniejsza się wraz ze wzrostem głębokości kopalni, a wysokość skarp docelowych intensywnie rośnie. W piątym etapie wysokość strefy poziomów roboczych zmniejsza się, co prowadzi w efekcie do zakończenia prac górniczych. Prace przygotowawcze w nadkładzie są praktycznie zatrzymane. Zgodnie z literaturą (Drizhenko 1988) wysokość poziomów roboczych wyrobiska przy konturze skarp ostatecznych wyznacza się według wzoru:

$$H_{p_n} = 0,5(B_k - B_{p_n}) \pm H_k \operatorname{ctg}\beta / \operatorname{ctg}\alpha_p \pm \operatorname{ctg}\beta$$

gdzie:

- B_k – szerokość obszaru roboczego wyrobiska, m,
- B_{p_n} – szerokość danego poziomu wydobywczego, m,
- H_k – ostateczna głębokość wcięcia, m.

Według powyższego wzoru i schematu prac wydobywczych można prognozować ostateczną głębokość kopalni i odpowiednio zaplanować pracę dla jej prawidłowego funkcjonowania i późniejszego wykorzystania do celów lokowania odpadów pogórnich.

W górnictwie odkrywkowym znane są technologie, kiedy rekultywacja wyrobiska odkrywkowego następuje równocześnie z prowadzeniem prac górniczych (Terehow 2015). Jako przykład można uznać warunki działalności górniczej w kopalni wapieni Płaza w Chrzanowie.

1. Charakterystyka złoża i zakładu górniczego

Teren Zakładu Górniczego Płaza zlokalizowany jest w zachodniej części województwa małopolskiego, w całości na terenie gminy Chrzanów. Kopalnia eksploatuje wapienie, dolomity i margle dolomityczne ze złoża Płaza, znajdującego się w granicach terenu górniczego Płaza i ustanowionego koncesją Nr 82/92 z dnia 21 października 1992 roku z późniejszymi zmianami, wydaną przez Ministra Ochrony Środowiska i Leśnictwa. Jednocześnie prowadzona jest etapowa rekultywacja w kierunku leśnym wyeksploatowanego terenu.

Powierzchnia obszaru górniczego wynosi obecnie 35 ha 13 a i 69 m² (351 369 m²), a terenu górniczego 111 ha 81a i 81,51 m² (1 118 181,51 m²).

Lokalizację przedmiotowego terenu wraz z jego otoczeniem przedstawiono na mapie topograficznej oraz ortofotomapie zamieszczonych poniżej (rys. 2 i 3).

Złoże Płaza budują węglanowe utwory triasu środkowego reprezentowane przez wapienno-dolomitowe warstwy olkuskie, wapienno-margliste warstwy gogolińskie oraz podścielające je dolomityczne utwory retu. Największą wartość surowcową posiadały czyste wapienie ze spągowej części warstw olkuskich, obecnie niemal całkowicie wyeksploatowane.

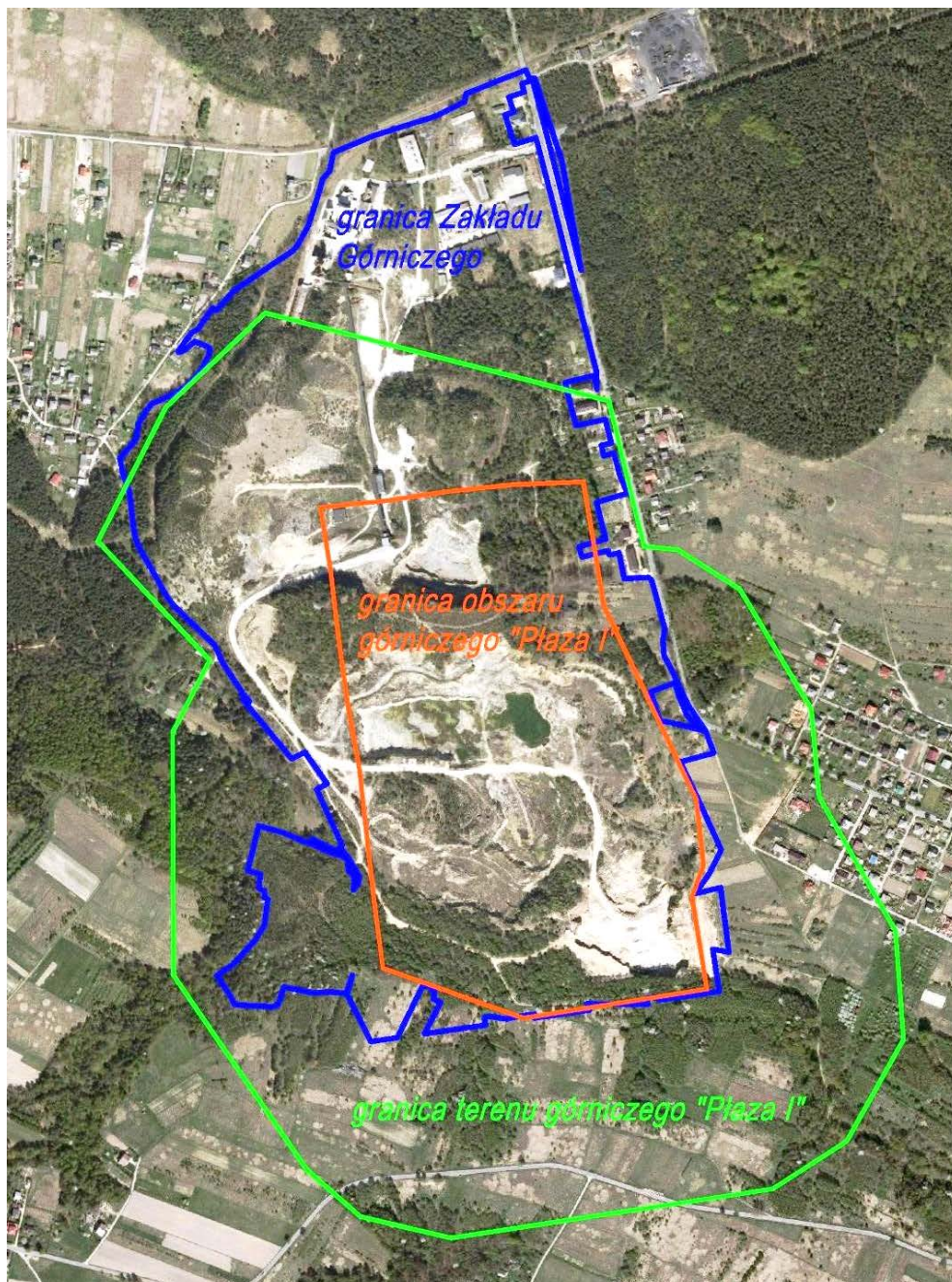
Wszystkie utwory zapadają pod kątem kilku stopni ku NE. Obszar objęty dotychczasową eksploatacją przecięty jest uskokiem o równoleżnikowym przebiegu i zrzucie 20–30 m ku północy. Ogranicza on zasięg występowania warstw olkuskich – na południe od niego występują warstwy gogolińskie oraz ret.

W nadkładzie utworów triasowych występowały utwory czwartorzędowe: zwietrzliny wapienne, piaski oraz lessy (gliny pylaste). Obecnie nadkład ten jest zdjęty, z wyjątkiem południowej części obszaru górniczego. Lokalnie, w obrębie formacji węglanowej, występują pustki krasowe, wypełnione materiałem zwietrzelinowym.

Charakterystyka chemiczna złoża opracowana na podstawie wyników badań materiału wiertniczego przedstawia się następująco (Potempa 2016):

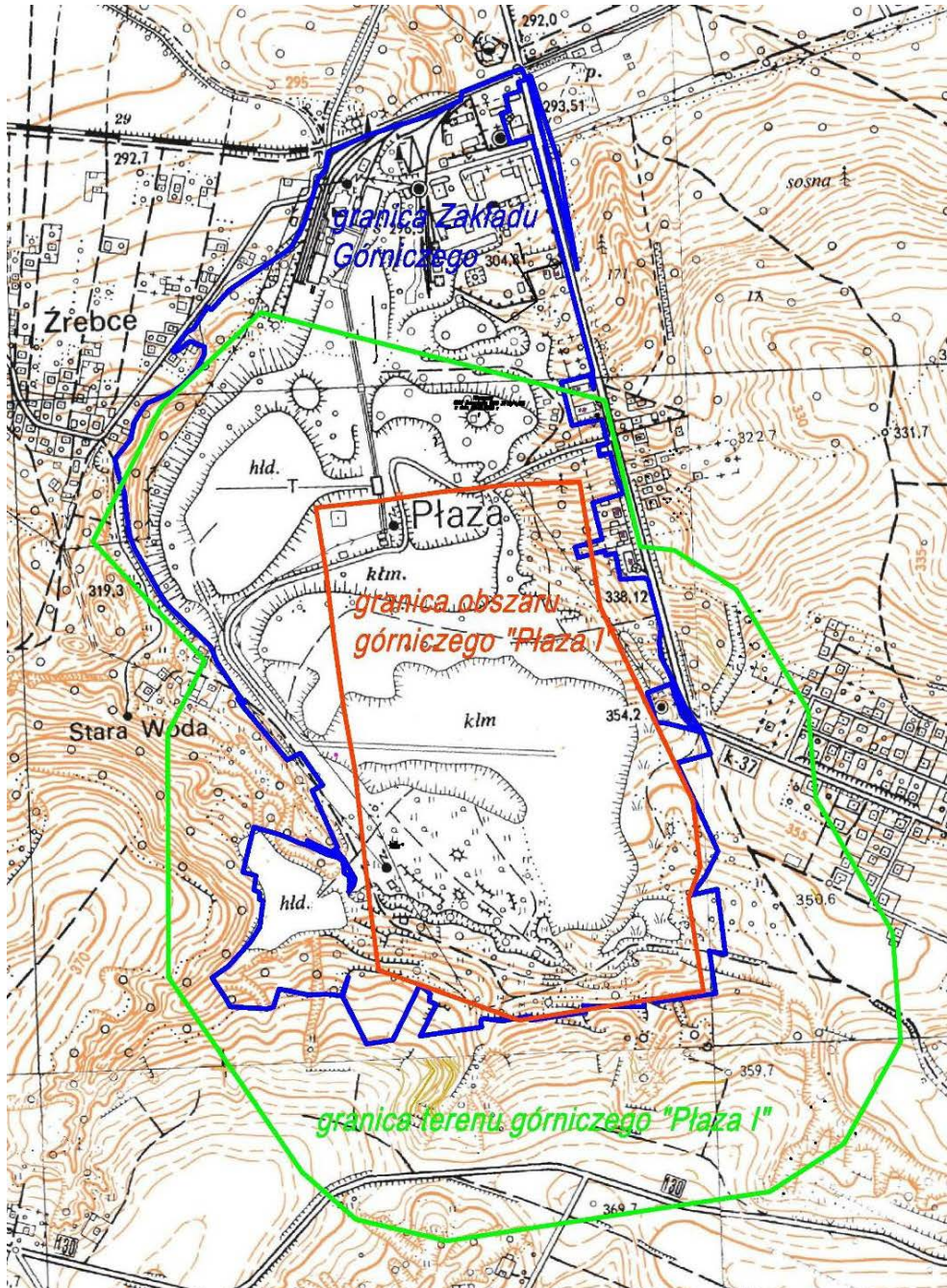
→ CaO	od 30,34 do 54,56 %	średnio 48,62%,
→ MgO	od 0,21 do 18,44%	średnio 3,87%,
→ SiO ₂	od 0,65 do 15,57%	średnio 3,04%,
→ Fe ₂ O ₃	od 0,18 do 3,82%	średnio 0,69%,
→ Al ₂ O ₃	od 0,00 do 2,75%	średnio 1,05%.

Parametry jakościowe, tak w przypadku wapieni, jak i dolomitów wskazują, że surowiec ten nadaje się do produkcji mączek używanych jako wypełniacze mas bitumicznych, a także nawozów. Badania parametrów fizykomechanicznych skał występujących w złożu wskazują, że nadają się one także do produkcji kruszyw do betonu i dla budownictwa drogowego.



Rys. 2. Lokalizacja terenu opracowania na ortofotomapie
Źródło: geoportal.gov.pl, zmodyfikowane

Fig. 2. Location of the site on orthophotomap



Rys. 3. Lokalizacja terenu opracowania na mapie topograficznej
 Źródło: geoportal.gov.pl, zmodyfikowane

Fig. 3. Location of the site on topographic map

Przydatność zastosowania kopaliny ze złoża w Płazie potwierdzona jest licznymi certyfikatami i atestami, będącymi w posiadaniu przedsiębiorcy.

2. Cel opracowania

Obecnie w kopalni Płaza pozostało do wydobywania około 4,1 mln Mg zasobów operatywnych (przewidywane wydobywanie docelowe). Przewidywane roczne wydobywanie wynosić będzie od około 100 do 250 tys. Mg/rok. Przy maksymalnym wydobywaniu przewiduje się całkowite szczypanie zasobów po około 16 latach (Potempa 2016). Opracowanie precyzyjnego harmonogramu eksploatacji złoża pozwoli na rozszerzenie jego funkcji i stworzenie warunków dla jednoczesnego magazynowania odpadów górniczych. W efekcie pozwoli to na przedłużenie żywotności kopalni o następne 15 lat, czyli w zasadzie na około 30 lat.

Przewiduje się, że przy odpowiedniej koordynacji prowadzenia prac górniczych i działań dotyczących równoczesnego lokowania odpadów wydobywczych możliwe jest równoczesne prowadzenie wypełniania wyeksploatowanych przestrzeni dolnego poziomu wydobywczego i poszerzenie prac na górnych poziomach istniejącego wyrobiska.

Idea pracy polega na użyciu współczesnych metod monitoringu ekologicznego i hydrogeologicznego dla uzasadnienia koncepcji jednoczesnego prowadzenia wydobywania kopaliny oraz realizacji działań w zakresie lokowania odpadów górniczych w wyrobisku kopalni. Z powodu braku podobnych działań w warunkach polskich, proponuje się traktować czynniki kamieniołom w Płazie jako jeden zintegrowany system geomechaniczny funkcjonujący w warunkach niepewności. Technologiczne rozwiązania w warunkach niepewności, muszą być projektowane z uwzględnieniem czynników górniczych, mechanicznych, hydrogeologicznych i ekologicznych, co będzie wpływać na bezpieczeństwo środowiska przyrodniczego i ludzi oraz prawidłowe funkcjonowanie zakładu górniczego.

Analizując dotychczasowe prace związane z utylizacją odpadów wydobywczych, można stwierdzić, że zagospodarowanie wyeksploatowanej części kamieniołomu, jako terenu lokowania odpadów wydobywczych może być uzasadnione, przede wszystkim z uwagi na bezpieczeństwo ekologiczne środowiska przyrodniczego. Zachowanie równowagi ekologicznej jest uwarunkowane tym, że spełnienie norm sanitarnych takich miejsc odbywa się poprzez uniemożliwienie przedostawania się potencjalnych zanieczyszczeń do wód gruntowych i zbiorników powierzchniowych, a także aby minimalizować negatywny wpływ na otaczające tereny zurbanizowane. Minimalna odległość między obszarem zamieszkałym i terenem lokowania odpadów powinna być nie mniejsza niż 500 m zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 30 kwietnia 2013 r. w sprawie składowisk odpadów (Rozporządzenie... 2013).

Według Dyrektywy Rady UE w sprawie oceny oddziaływania na środowisko oraz przepisów o zagospodarowaniu i eliminacji odpadów przemysłowych przy planowaniu zwałowisk i terenów lokowania odpadów musi być przeprowadzona ekspertyza ekologiczna, badania testowe obiektu i opracowanie sanitarno-technicznej ekspertyzy przedsięwzięcia (Dyrektywa... 1985).

W praktyce dotyczącej utylizacji odpadów przemysłowych, przy wyborze miejsca rozmieszczenia zwałowisk uwzględnia się wyniki oceny ich kompatybilności z środowiskiem

przyrodniczym. Według wyników badań obiekty utylizacji odpadów dzieli się na cztery kategorie: wspólne, ograniczono wspólne, warunkowo wspólne i niezgodne ze środowiskiem przyrodniczym. Według kryteriów geomorfologicznych rozróżnia się zwałowiska typu: wykopu, wąwozu, równinny i górzysty (Halperin i in. 1997).

Zgodnie z obowiązującą klasyfikacją zwałowisk, wyrobisko kopalni wapieni w Płazie, jako obiekt możliwego lokowania odpadów wydobywczych, można zaliczyć do zwałowisk typu wykopu. Dla rozwiązania problemu racjonalnego magazynowania odpadów przemysłowych w warunkach kopalni wapieni Płaza wymagane jest sporządzenie ekspertyzy dotyczącej możliwości lokowania odpadów wydobywczych z górnictwa węgla kamiennego (odpady wydobywcze i przeróbcze), skalnego (skały nadkładu i odpady wydobywcze) oraz popiołów i żużli z elektrowni opalanych węglem kamiennym, odpadów budowlanych oraz odpadów pochodzących z zakładów chemicznych. Wykonanie takiej ekspertyzy pozwoli wytypować bezpieczne grupy odpadów, które najbardziej będą odpowiadały wymogom raportu oddziaływania na środowisko i możliwości ich składowania w warunkach kamieniołomu Płaza. Dotychczasowa praktyka wykazuje, że możliwe jest lokowanie odpadów zaliczanych do grup 01, 02 oraz 03, zgodnie z istniejącym katalogiem odpadów (Rozporządzenie... 2013, 2014, 2015). Do takich odpadów należą odpady górnicze, odpady budowlane, żużle hutnictwa żelaza i stali oraz metali nieżelaznych, odpady skalne, gleby gliniaste, pozostałości po produkcji gipsu i pyłu odpowiednio zabezpieczone i przetworzone (Rozporządzenie... 2013, 2014, 2015).

Należy zaznaczyć, że specyficzne rodzaje odpadów przemysłowych, na przykład: odpady przemysłu chemicznego, odpady szpitalne, przeterminowane farmaceutyki, wymagają przeprowadzenia wstępnej analizy ich składu chemicznego, a następnie przetworzenia i unieszkodliwienia, np. za pomocą utylizacji termicznej (Rozporządzenie... 2015). Stąd ich lokowanie w wyrobiskach kopalń odkrywkowych w świetle obowiązujących przepisów prawa jest w zasadzie niemożliwe.

Zgodnie z wymogami sanitarnymi zawartymi w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 30 kwietnia 2013 r. w sprawie składowisk odpadów rozmieszczenie odpadów przemysłowych w specjalnych hałdach i poletkach odbywa się warstwami poziomymi o grubości 1,5–2,0 m z późniejszym ich uszczelnieniem i przykryciem warstwą izolacyjną gruntów inercyjnych (gleby gliniasto-piaszczyste lub piaszczysto-gliniaste grunty średniej wodoprzepuszczalności) o miąższości nie mniejszej niż 0,25 m. W warstwie spągowej – celem ograniczenia przepływu wód infiltracyjnych – wykonana powinna być warstwa izolacyjna z gruntów nadkładowych (gliny zwietrzelinowe) o grubości pozwalającej na całkowite ograniczenie przepływu wód (Rozporządzenie... 2013).

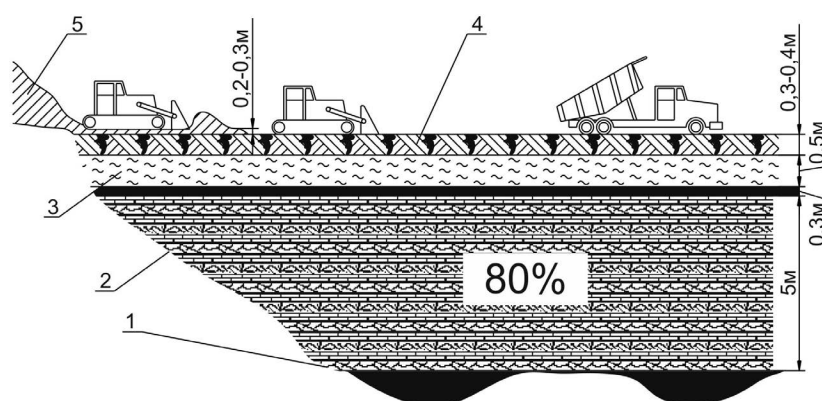
Analiza istniejącej dokumentacji oraz publikacji w kwestii lokowania odpadów wydobywczych w czynnych kopalniach odkrywkowych wskazuje, że hydrogeologiczne, środowiskowe i techniczne możliwości wykorzystania wyeksploatowanych części wyrobisk dla składowania odpadów wydobywczych z kopalń np. węgla kamiennego jest zbadana dość pobieżnie.

W nielicznych publikacjach rozważano możliwość wykorzystania wyrobisk kopalń odkrywkowych do składowania odpadów zaliczanych do grupy 01 lub 02 (Kłojzy-Karczmarczyk i in. 2016; Baic i Witkowska-Kita 2011; Galos i Szługaj 2014; Potempa i Szługaj 2007), jednak nie uwzględniły one technologicznych procesów uszczelniania warstw de-

ponowanych odpadów, sposobu budowy warstwy izolacyjnej, czy też budowy „sztucznych barier geologicznych” – ekranów ukierunkowujących ruch zanieczyszczonych wód infiltracyjnych (Kozłowski i Khomenko 2010).

W tym kontekście, analizując warunki geologiczne i hydrogeologiczne oraz aspekty środowiskowe kopalni Płaza, rozpatrzono możliwość zastosowania technologii lokowania odpadów grup 01, 02 i 03, wykorzystywaną w regionie kopalń Zachodniego Donbasu przy rekultywacji terenów zdegradowanych eksploatacją podziemną (Drizhenko 1988).

Dla terenu Zakładu Górniczego Płaza proponuje się leśny kierunek rekultywacji. Zakres prac z tym związanych przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Schemat technologiczny górnictwa-technicznej rekultywacji wyrobiska (opracowanie własne)

1 – warstwa z przepalonych skał płonnych lub surowych skał nadkładowych; 2 – warstwa ze skały płonnej z odpadów wydobywczych z kopalń węgla kamiennego; 3 – warstwa ochronna z gruntów nieprzepuszczalnych; 4 – potencjalnie warstwa urodzajna, zdjęta przed rozpoczęciem składowania lub warstwa sztucznie użyźniona; 5 – szata roślinna

Fig. 4. Technologic scheme of the mining-technical recultivation of the undermined territory (own study)

1 – a layer of burned gangue or overburden rocks; 2 – the layer of gangue from coal mines; 3 – clay protective layer; 4 – potentially fertile layer, removed before storage or artificially fertilized; 5 – plant cover

Schemat technologiczny wykonywania prac przewiduje następujący ich zakres: wyrównanie spągu istniejącego wyrobiska, usuwanie warstwy płonnej gruntu i przeniesienia jej na tymczasowe zwałowisko; transport i formowanie warstw skały płonnej z istniejących składowisk kopalń węgla kamiennego (8–10% całkowitej objętości); przemieszczanie, rozmieszczanie oraz zagęszczanie skał dostarczanych na tereny przewidziane do rekultywacji bezpośrednio z kopalni węgla kamiennego (do 80% odpadów wydobywczych); formowanie warstwy ochronnej materiału nieprzepuszczalnego i potencjalnie żyznej warstwy gruntu (5–7%) oraz wyrównanie docelowej powierzchni terenu, urządzenie dróg dojazdowych, sieci drenażowej i urządzeń monitoringu. Tworzenie ekranu ochronnego z gruntów gliniastych zapobiega samozapłonowi składowanych odpadów wydobywczych z kopalń węgla kamiennego, infiltracji wód opadowych do lokowanych warstw skały płonnej i gromadzeniu odcieków.

Zgodnie z projektem rekultywacji na obszarze złoża Płaza, wykonywany jest wertykalny podział odkrywki na rejon z oznaczeniem poziomu lokowania skał płonnych. Dla kontroli rzędnej składowania odpadów wydobywczych, na każde 100 m będą instalowane „sygnalizatory”, za pomocą których prowadzona będzie ciągła obserwacja osiadania zdeponowanej warstwy skały płonnej. Sygnalizatorami stanu osiadania będą słupy stalowe lub żelbetonowe, wyskalowane co 0,25 m.

Głównym źródłem pozyskiwania skały płonnej do prowadzonej rekultywacji będą odpady wydobywcze pochodzące z niedalekich kopalń węgla kamiennego ze wschodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, należących do Tauron Wydobycie SA i Polskiej Grupy Górniczej Sp. z o.o. Warstwa skał nieprzepuszczalnych pochodzących będzie ze składowanych warstw nadkładowych złoża Płaza. Dostawa skały płonnej z kopalń i warstwy skał uszczelniających (glin) z kamieniołomu na obszary rekultywowane odbywać się będzie transportem samochodowym. Minimalna długość frontu rozładunku samochodu wynosić będzie 4–5 m. Wyładowywana skała wyrównywana będzie spycharką z jednoczesnym uszczelnianiem warstwy powierzchniowej.

Na wcześniej uszczelnioną warstwę skały płonnej nanoszona będzie warstwa glin nadkładowych o grubości 0,25–0,5 m, która spełni funkcję ekranu ochronnego, neutralizującego procesy chemiczne w składowanych warstwach odpadów.

Dla równomiernego i jednorodnego rozkładu skały płonnej w bryle zwałowiska możliwe jest wykorzystanie koparek jednonaczyniowych. Przy bilansowaniu ilości skały płonnej potrzebnej do osiągnięcia projektowanej rzędnej składowania, należy brać pod uwagę jej obniżanie w wyniku zachodzącej konsolidacji składowanych odpadów. Ciągła obserwacja tego procesu wiąże się z koniecznością odprowadzania wód opadowych i zapewnienia bezpiecznej pracy urządzeń transportowych w czasie formowania i mechanicznego uszczelnienia sztucznie tworzonego masywu w przestrzeni odkrywki i wyrównywania jego powierzchni.

Uformowana warstwa skały płonnej, z punktu widzenia technologii składowania i warunków hydrogeologicznych, może przybierać różne stany fazowe w zależności od nasycenia wodą. W miarę odpływu wody od strefy z obniżonym ciśnieniem lub drenażem, zachodzi uszczelnienie zdeponowanej skały płonnej, wzrost współczynnika filtracji i zwiększenie kąta tarcia wewnętrznego, co zapewnia możliwość stosowania ciężkiego sprzętu transportowego wykorzystywanego w pracy kopalni odkrywkowej.

Do najważniejszych czynników technologicznych determinujących zachowanie składowanego odpadu (skały płonnej) odnoszą się: tempo składowania skały i długość odcinka składowania. Proces uszczelniania skały w czasie, ze stałym lub zmiennym obciążeniem nazywa się konsolidacją wymuszoną (Greibenkin i in. 2002). Podstawowym parametrem, opisującym proces uszczelnienia warstwy nasypowej w czasie, jest współczynnik konsolidacji:

$$K = C \cdot (1 + \varepsilon) / \gamma \cdot a$$

gdzie:

- C – współczynnik filtracji skały, m²/dobę,
- ε – współczynnik porowatości,

γ – gęstość warstwy nasypowej w stanie nasyconym wodą, Mg/m³,
 α – współczynnik ściśliwości skały, m²/Mg.

Z kolei, γ jest określane na podstawie wyrażenia:

$$\gamma = (A - \gamma_2) \cdot (1 - n), \text{ Mg/m}^3$$

gdzie:

A – gęstość warstwy gruntu, Mg/m³,
 γ_2 – gęstość podłoża gruntowego, Mg/m³,
 n – porowatość gruntu.

Wielkości koniecznego obniżenia warstwy nasypowej (Greibenkin i in. 2002), składowanej w przestrzeni odkrywki obliczane jest zgodnie z formułą:

$$\Delta h = \Delta \sigma \cdot \alpha \cdot h/1 + \varepsilon, \text{ m}$$

gdzie:

$\Delta \sigma$ – dodatkowe obciążenie uszczelniające, Mg/m².

W celu oceny stopnia uszczelnienia masywu w czasie stosowana jest zależność:

$$\Delta h_t = c_t \cdot \Delta h, \text{ m}$$

gdzie:

c – stopień konsolidacji w okresie czasu t ,
 Δh – obniżenie warstwy nasypu, m.

Należy zaznaczyć, że oprócz naturalnego zagęszczania uformowanych nasypów z odpadów wydobywczych dochodzi również do powierzchniowego uszczelniania warstwy w wyniku wielokrotnego przejazdu maszyn i samochodów, wykorzystywanych przy przeprowadzaniu prac rekultywacyjnych.

Proponowana w warunkach kopalni wapieni Płaza technologia lokowania odpadów wydobywczych w istniejącym wyrobisku, uwzględnia bezpieczne warunki wykonywania głównych procesów technologicznych w ciągu wydobywania kopalin, bezawaryjną pracę maszyn i sprzętu w skomplikowanych warunkach eksploatacji oraz założony efekt ekonomiczny oraz społeczny.

Podsumowanie

Składowanie odpadów wydobywczych w kopalni wapieni Płaza, pozwoli na częściowe rozwiązanie problemu zagospodarowania odpadów wydobywczych powstających w regionie chrzanowskim. Efektem końcowym będzie rekultywacja terenów zdegrado-

wanych w wyniku eksploatacji złoża Płaza i pozyskanie terenów leśnych o powierzchni około 60 ha.

Odpadami przewidzianymi do składowania w wyrobisku kopalni Płaza są odpady wydobywcze kopalń węgla kamiennego położonych w stosunkowo niedalekiej odległości, rzędu 20–40 km. Są to kopalnie Janina i Sobieski należące do Tauron Wydobycie SA oraz kopalnie Piast-Ziemowit i Mysłowice-Wesoła należące do Polskiej Grupy Górniczej Sp. z o.o.

W istniejących projektach rekultywacji i eksploatacji złoża wapieni Płaza przewidziany jest stały monitoring stanu środowiska naturalnego oraz stanu wód podziemnych. Stworzony schemat monitoringu może być wykorzystany w przyszłości przy tworzeniu projektów możliwego składowania odpadów wydobywczych na terenach innych kopalń odkrywkowych.

W czynnym zakładzie górniczym Płaza istnieje cała niezbędna infrastruktura techniczna do prowadzenia składowania odpadów wydobywczych i rekultywacji terenu kopalni w postaci dróg technologicznych i dojazdowych, przyłącza energii elektrycznej oraz niezbędnego parku maszyn transportowych, co pozwala znacznie obniżyć koszty prowadzonej działalności. Używany w kopalni sprzęt (koparki, spycharki, ładowarki, samochody ciężarowe, rippery, kruszarki itp.) może być racjonalnie wykorzystywany zarówno do eksploatacji złoża, jak i w prowadzonych jednocześnie procesach lokowania odpadów na terenie czynnego wyrobiska.

Połączenie procesu lokowania odpadów wydobywczych wraz z równoczesnym prowadzeniem wydobywania wapieni i dolomitów pozwoli na przedłużenie żywotności zakładu górniczego Płaza o około 15 lat, w stosunku do istniejącej bazy zasobowej.

Literatura

- Baic, I. 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.
- Дриженко, А.Ю. 1985. Восстановление земель при горных разработках. М.: Недра, 241 с.
- Dyrektuwa rady 85/337/EWG z dnia 27 czerwca 1985 roku w sprawie oceny skutków niektórych publicznych i prywatnych przedsięwzięć dla środowiska (z późniejszymi zmianami 97/11/WE z dnia 3 marca 1997 r.).
- Freiwald, P. i Szlugaj, J. 2003. Aspekty ochrony środowiska przyrodniczego związane z likwidacją górnictwa siarki w Polsce. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 19, z. 3.
- Galos, K. i 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.
- Гальперин и др., 1997 – Гальперин, А.М., Ферстер, В., Шеф, Х.Ю. Техногенные массивы и охрана окружающей среды. М.: МГТУ. 534 с.
- Gesetz über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (Abfallgesetz – AbfG.) Vom 27. August 1986.
- Гребенкин и др. 2002 – Гребенкин, С.С., Ермаков, В.Н., Ширин, А.Л. и др. 2002. Мероприятия по предотвращению загрязнения окружающей среды породными отвалами. – В кн.: Геомеханические и технологические проблемы закрытия шахт Донбасса. – Донецк: ДонНТУ. – 266 с.
- Klojzy-Karczmarczyk i in. 2016 – Klojzy-Karczmarczyk, B., Mazurek, J. i Paw, K. 2016. Możliwości zagospodarowania kruszyw i odpadów wydobywczych górnictwa węgla kamiennego ZG Janina w procesach rekultywacji wyrobisk odkrywkowych. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 32, z. 3, s. 111–134.
- Козловский, А.А. и Хоменко, Н.Н. 2010. Использование выработанного пространства карьера в качестве полигона для складирования промышленных отходов// Горный информационно-аналитический бюллетень. № 9, с. 285–288.

- Potempa, M. i Szlugaj, J. 2007. Kierunki wykorzystania skał płonnych w KWK „Piast”. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej* nr 119, Seria: *Konferencje* nr 48. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
- Potempa, M. 2016. *Dodatek nr 5 do projektu zagospodarowania złoża wapieni „Plaza”*.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 kwietnia 2013 r. w sprawie składowisk odpadów. Dz.U. 2013 poz. 523.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014 r. w sprawie katalogu odpadów. Dz.U. 2014 poz. 1923.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 r. w sprawie dopuszczenia do odpadów do składowania na składowiskach. Dz.U. 2015 poz. 1277.
- Terehow, E.V. 2015. Feststellung der ökonomisch zweckmäßigen ordnungsfolge der ausnutzung und der wiedernutzbarmachung von grundflächen in den tagebauen. *Економічний форум*. № 3, с. 245–253.

