

Krzysztof SZARANIEC, Ewa ŚWICA, Krzysztof MADEJ

Kopalnia Siarki „Machów” SA, Tarnobrzeg

## **SPECYFICZNE UWARUNKOWANIA PROCESU LIKWIDACJI I REKULTYWACJI NA PRZYKŁADZIE WYROBISK POGÓRNICZYCH BYŁYCH KOPALŃ SIARKI „MACHÓW” I „PIASECZNO”**

**Streszczenie.** Rejon tarnobrzegi dzięki odkryciu złóż siarki 28 września 1953 roku przez prof. Stanisława Pawłowskiego stał się atrakcyjny przemysłowo. Powstanie wyrobisk górniczych przyczyniło się do zmian warunków wodno-glebowych. Wieloletnia eksploatacja charakteryzowała się uciążliwością dla otaczającego środowiska. Ostatnim etapem działalności górniczej jest rekultywacja terenów poeksploatacyjnych. Pomimo problemów społeczno-gospodarczych likwidacja wyrobisk górniczych, w połączeniu z rekultywacją terenów i docelowym ich zagospodarowaniem, korzystnie wpłynie na stan środowiska w rejonie Tarnobrzega. Przyjęte wodne kierunki rekultywacji utworzą miejsca do rekreacji i wypoczynku.

## **TITLE IN PARTICULAR CONDITIONS FOR THE LIQUIDATION AND RECLAMATION PHASE BASED ON THE EXAMPLE OF MINING PITS OF FORMER SULPHUR MINES, “MACHOW” AND “PIASECZNO”**

**Summary.** Thanks to the discovery of sulphur deposits by professor Stanly Pawlowski, which happened on 28<sup>th</sup> September 1953, the region of Tarnobrzeg became an industrial attraction. Due to the existence of mining pits the water and soil conditions on the area have changed. The exploitation of sulphur, lasting for many years, was harmful for the environment. The last stage of mining activities is reclamation of the former sulphur mining areas. Despite of some social and economical difficulties the liquidation of mining remainders related to the reclamation of the area and its preparation for the new purpose would be only advantageous for the environment in the district of Tarnobrzeg. The aim of the reclamation activities is to provide the area with the places for recreation.

### **1. Wprowadzenie**

Eksploatację złóż siarki rodzimej metodą odkrywkową w rejonie tarnobrzegim rozpoczęto w wyrobisku „Piaseczno” w 1958 roku i prowadzono do 1971 roku, natomiast

w wyrobisku „Machów” w latach 1970 – 1992. Obydwa wyrobiska stanowiły bazę rozwoju produkcji siarki opartej na metodzie flotacyjno-rafinacyjnej. Prowadzona eksploatacja rudy siarkowej i jej przeróbka charakteryzowały się wysokim stopniem uciążliwości dla środowiska naturalnego.

Dobra koniunktura siarki na rynkach światowych uległa w drugiej połowie 1991 roku gwałtownemu załamaniu. Powodem załamania cen siarki była zwiększona podaż taniej siarki z odzysku oraz ogólnoswiatowa recesja gospodarcza. Doprowadziło to zahamowania rozwoju górnictwa siarki w Polsce przez zaprzestanie wydobywania siarki w odkrywce „Machów” w wyniku czego podjęto decyzję o likwidacji wyrobiska górniczego.

W tej sytuacji jednym z najpoważniejszych problemów w polskim górnictwie siarki stała się likwidacja kopalń odkrywkowych i rekultywacja terenów pogórnicznych. Zaprzestanie wydobywania siarki metodą odkrywkową zahamowało przyrost odpadów, a zlikwidowanie wyrobisk spowoduje powrót do pierwotnych stosunków wodnych na terenach przyległych. O ile w rejonie wyrobiska „Machów” odbudowa pierwotnych stosunków wodnych będzie miała korzystny wpływ na tereny przyległe, to w przypadku terenów w „Piasecznie” spowoduje wystąpienie licznych podtopień na terenach, które przez ponad 40 lat były w zasięgu strefy drenażu. Zasięg oddziaływania obejmuje powierzchnię przekraczającą 40 km<sup>2</sup>.

Większą część terenów objętych zasięgiem wpływu leja depresji wokół wyrobiska „Piaseczno” stanowią użytki rolne, głównie sady, stąd wynika konieczność wykonania melioracji znacznych obszarów zagrożonych podtopieniem. Brak skutecznego systemu zabezpieczającego doprowadziłby do zniszczenia sadów i innych upraw, a także do powstania szkód w zabudowie stałej, spowodowanych zalaniem przez wody gruntowe fundamentów budynków mieszkalnych i gospodarczych. Powstała paradoksalna sytuacja, w której odwodnienie terenu na etapie budowy kopalni uważane było za szkodę górniczną i podobną szkodą będzie ewentualny powrót stosunków wodnych do stanu pierwotnego. Zaprojektowane prace likwidacyjne w istotny sposób ograniczają zagrożenie lub je całkowicie eliminują. Najważniejsze zadania, związane z ochroną środowiska i rekultywacją, powinny przebiegać w skojarzeniu prac likwidacyjnych kompleksowo dla obydwu kopalń.

Wykorzystanie wyrobiska poeksploatacyjnego na zbiornik wodny, z przeznaczeniem na cele rekreacyjne, jest powszechnie stosowanym modelem przy zagospodarowywaniu tego typu wyrobisk w kraju i za granicą. Poza wieloma czynnikami technicznymi, decydujący jest

aspekt ekonomiczny. Wodno-rekreacyjny kierunek wykorzystania wyrobisk został tak dobrany, by mogły powstać zdrowe biologicznie obiekty. Przyjęty kierunek rekultywacji narzuca konieczność wykonania niezbędnego zakresu prac zabezpieczających, polegających na: izolacji toksycznych wód trzeciorzędowych, ukształtowaniu statecznych skarp, zapewnieniu doprowadzenia wody oraz jej okresowej wymiany.

## **2. Ocena wpływu likwidacji odkrywki „Machów” na niezlikwidowane wyrobisko „Piaseczno”**

Wyrobiska „Machów” i „Piaseczno” zlokalizowane są na tym samym złożu siarki rodzimej Piaseczno-Machów-Tarnobrzeg (rys. 1). Wyrobiska podzielone są ciekim powierzchniowym, rzeką Wisłą. W rejonie wyrobisk występują dwa piętra wodonośne: czwartorzędowe i trzeciorzędowe. W okresie prowadzenia eksploatacji oraz prac likwidacyjnych drenowano zarówno jeden, jak i drugi poziom. Czwartorzędowy poziom wodonośny odwadniany był za pomocą studni głębinowych, drenów poziomych i rowów, natomiast piętro trzeciorzędowe drenowane było i jest wyłącznie za pomocą studni głębinowych.

Specyficzne warunki wydobywania siarki metodą odkrywkową spowodowały:

- znaczne i w większości nieodwracalne przekształcenia geomechaniczne powierzchni, w wyniku których powstały ogromne wyrobiska i zwałowiska nadkładu,
- zaburzenia poziomów wód podziemnych,
- osuszenie terenów przyległych do wyrobisk przez ich odwadnianie i powstanie rozległych lejów depresyjnych.

W procesie produkcji siarki powstawały duże ilości odpadów (wapno poflotacyjne i kek porafinacyjny) oraz szlamów z oczyszczania wód trzeciorzędowych z odwadniania wyrobisk. W osadnikach o powierzchni około 250 ha zgromadzono około 43 mln Mg odpadów poflotacyjnych, a na składowisku o powierzchni około 29 ha zdeponowano ok. 2,6 Mg keku .

O ile wapno poflotacyjne można było wykorzystać przy rekultywacji do neutralizacji zakwaszonych gleb, to kek stanowił odpad wyjątkowo szkodliwy, wymagający budowy kosztownego składowiska. Odpad ten wykorzystano przy likwidacji wyrobiska „Machów”. Zaprzeszanie wydobywania siarki metodą odkrywkową zahamowało przyrost tych odpadów, a zlikwidowanie wyrobisk spowoduje powrót do pierwotnych stosunków wodnych na terenach przyległych.

Minister Przemysłu Chemicznego i Lekkiego w 1982 roku zniósł obszar górnictwa „Piaseczno” po wcześniejszym uzgodnieniu z Urzędem Wojewódzkim w Tarnobrzegu, wskazując konieczność przekazania wyrobiska „Piaseczno” Elektrowni Połaniec z przeznaczeniem na składowisko odpadów paleniskowych. Wyrobisko „Machów”, zgodnie z decyzją Ministra Przemysłu, podlega procesowi likwidacji i funkcjonuje nadal jako obiekt zakładu górnictwa. Rozpoczęty proces likwidacji wyrobiska zmuszał w kolejnych etapach projektowania do zwrócenia szczególnej uwagi na sytuację, jaka powstanie w niezlikwidowanym wyrobisku „Piaseczno” po zlikwidowaniu wyrobiska „Machów”.

Przyjęty do realizacji sposób likwidacji wyrobiska „Machów” wynika z następujących założeń:

- ze względu na niedostateczną ilość mas ziemnych zgromadzonych w obrębie wyrobiska (zwałowisko wewnętrzne) i wysokie koszty ewentualnego dalszego pozyskania ich na drodze kontynuowania wybierania nadkładu zrezygnowano z likwidacji odkrywki przez jej zasypanie,
- ze względu na bliskie położenie ciekę powierzchniowego rzeki Wisły przyjęto do realizacji sposób likwidacji odkrywki przez zalanie jej wodą, po wcześniejszym zaiłowaniu dna wyrobiska warstwą izolującą poziom zmineralizowanych wód trzeciorzędowych od wypełniającej zbiornik wody wiślanej,
- po zaiłowaniu dna zbiornika warstwą ilów krakowieckich i napełnieniu go wodą z Wisły do poziomu 140,0 m n.p.m. mogłoby nastąpić całkowite wyłączenie systemu barier studni odwadniających poziom wód trzeciorzędowych wyrobiska „Machów”.

Powiązanie hydrogeologiczne wyrobisk „Machów” i „Piaseczno” sprawia, że po wyłączeniu systemu odwadniania odkrywki „Machów” sytuacja w wyrobisku „Piaseczno” ulegnie radykalnym zmianom. Zmiany te będą dotyczyły:

- powrotu zwierciadła wód trzeciorzędowych i czwartorzędowych do pierwotnego położenia. Rzędna zwierciadła wód poziomu trzeciorzędowego osiągnie pierwotny stan, tj. ok. 148 m n.p.m. Trzeba tu uwypuklić fakt, że po osiągnięciu tego stanu zmieni się kierunek przepływu wód trzeciorzędowych, które, nieodbierane przez system studni wyrobiska „Machów”, zaczną zasilać poziom czwartorzędowy drenowany w znacznie większym stopniu jak dotychczas przez rzekę Wisłę,
- zmian chemizmu wód w otwartym zbiorniku wodnym powstałym w wyrobisku „Piaseczno”.





Uruchomienie systemu odwodnienia odkrywki „Machów” spowodowało, że wyrobisko „Piaseczno” znalazło się w zasięgu oddziaływania rozległego leja depresyjnego, jaki utworzył się w poziomie wód trzeciorzędowych wokół tej kopalni. Depresja ta powodowała, że poziom wód w wyrobisku „Piaseczno” był wypadkową oddziaływania odwodnienia tego wyrobiska i systemu odwodnienia wyrobiska „Machów”. Fakt ten miał zasadnicze znaczenie dla rozważań nad wpływem likwidacji wyrobiska „Machów” na zbiornik i całe wyrobisko „Piaseczno”. W stosunku do układu horyzontów wodonośnych w tym rejonie zbiornik wodny położony jest w trzeciorzędowym horyzoncie wodonośnym, wspólnym dla obydwu wyrobisk „Piaseczno” i „Machów”. Na poziom rzędnej lustra wody w wyrobisku „Piaseczno” wpływają więc czynniki związane zarówno z odwodnieniem wyrobiska „Piaseczno”, jak i wyrobiska „Machów”.

### 3. Likwidacja Kopalni Siarki „Machów”

Z końcem 1992 roku zakończone zostało wydobywanie siarki w odkrywce „Machów”. Nie został jednak wyłączony system odwadniania złoża, który zapewniał utrzymanie zwierciadła wód trzeciorzędowych poniżej spągu wyrobiska, tj. na rzędnej około 75 m n.p.m. Zachowanie zwierciadła wód na takim poziomie wynikało z konieczności zapewnienia bezpieczeństwa w okresie prowadzenia prac likwidacyjnych. Utrzymanie przyjętych warunków wymagało pompowania około 38000 m<sup>3</sup>/d wody ze studni rozmieszczonych na spągu wyrobiska.

Prace likwidacyjne wyrobiska górniczego Kopalni Siarki „Machów” prowadzone są od 1994 roku. Przyjęty projekt likwidacji uwzględnił specyficzne warunki dla kopalni „Machów”, gdyż zaprzestanie wydobywania siarki spowodowało powstanie ponad 600 ha wyrobiska o głębokości ok. 100 m, kilka uciążliwych obiektów, m.in.: instalację technologiczną służącą do wydobywania i przeróbki rudy, osadnik odpadów poflotacyjnych „Cygany”, składowisko odpadów porafinacyjnych – keku, klarowniki wód złożowych 1 i 2, teren po osadniku „Ocice”, na którym prowadzono w latach 1988 – 1993 eksploatację siarki metodą otworową „Machów II”. Etapowi zaawansowanych prac likwidacyjnych w odkrywce towarzyszyło wyłączenie barier studziennych i przeniesienie odwadniania na poziomy nadrudzia. Końcowy etap robót likwidacyjnych wymagał ponownego przeniesienia studni odwadniających poza kontur projektowanego zbiornika wodnego. Wówczas możliwe było docelowe profilowanie skarp brzegowych i budowa obiektów hydrotechnicznych do

napełniania zbiornika wodą z rzeki Wisły. Zaniechanie odwadniania wyrobiska „Machów” jest możliwe dopiero po jej częściowym napełnieniu wodą. Tylko wtedy utworzony zbiornik wodny może zrównoważyć ciśnienie wód złożowych piętra trzeciorzędowego, nie powodując rozszczelinowania warstwy izolacyjnej uformowanej na jego dnie.

Zasadniczym celem prac likwidacyjnych, prowadzonych od marca 1994 roku w obrębie odkrywki „Machów”, było wykonanie poziomej izolacji pomiędzy wodonośnym piętrzem czwartorzędowym i trzeciorzędowym. Utworzenie nieprzepuszczalnej warstwy wynikało z potrzeby eliminacji bezpośredniego kontaktu wód złożowych o dużej zawartości siarkowodoru (około  $300 \text{ mg/dm}^3$ ) z wodami powierzchniowymi przyszłego zbiornika rekreacyjnego. Skuteczną izolację zapewniła 25-metrowa warstwa ilów krakowieckich, pozyskanych głównie ze zwałowiska wewnętrznego. Prace likwidacyjne, zgodnie z przyjętymi założeniami projektowymi i harmonogramem, obejmowały:

- profilowanie skarp wyrobiska – dla zapewnienia stateczności, zwłaszcza po wypełnieniu zbiornika wodą. Generalny kąt nachylenia zboczy zawiera się w granicach  $5 \div 9^\circ$ . Zależy on między innymi od cech wytrzymałościowych materiału, z którego formowane są zbocza, oraz funkcji jakie ma spełniać określony odcinek linii brzegowej zbiornika,
- lokowanie odpadów na dnie wyrobiska – korzystnie zmniejszyło to głębokość tworzonego zbiornika wodnego, a ponadto stworzyło możliwości utylizacji niektórych uciążliwych dla środowiska naturalnego odpadów przemysłowych. Przede wszystkim należy do nich kek siarkowy zdeponowany na składowisku powierzchniowym w rejonie osadnika „Ocice”.
- wykonanie warstwy izolującej dno przyszłego zbiornika wodnego – jest to zasadniczy element przyjętego sposobu likwidacji wyrobiska poeksploatacyjnego. W celu wykonania 25-metrowej warstwy izolacyjnej na dnie wyrobiska oraz wyprofilowania zboczy zbiornika wodnego zostało przemieszczone około  $32 \text{ mln m}^3$  ilów krakowieckich z poziomów nadkładowych oraz ze zwałowiska wewnętrznego. Ważną funkcją warstwy uszczelniającej jest zapewnienie podparcia dla skarp brzegowych przyszłego zbiornika wodnego oraz częściowe zrównoważenie ciśnienia wód trzeciorzędowych w okresie przed i w trakcie napełnienia wodą z rzeki Wisły.
- wykonanie budowli hydrotechnicznych – ten etap prac odbywał się przy zapewnieniu w okresie początkowym kontrolowanego doprowadzenia wody do powstającego zbiornika, natomiast w okresie jego eksploatacji – sukcesywnej wymiany wód. W skład budowli wchodzi:

- kanał doprowadzający, łączący rzekę Wisłę z budowlą wlotową,
  - budowla wlotowa wraz z zamknięciami, kratami oraz przepustem pod wałem przeciwpowodziowym i drogą wojewódzką nr 985 Tarnobrzeg-Mielec,
  - kanał otwarty, sprowadzający wodę na poszczególne poziomy wraz z segmentem kaskady, bystrzem oraz przelewem bocznym,
  - kanał odprowadzający wodę z ujściem do rzeki Wisły.
- napełnienie zbiornika wodą – jest to ostatni etap prac likwidacyjnych. Powstający zbiornik będzie się charakteryzował pojemnością całkowitą przy rzędnej lustra wody 146,0 m n.p.m., około 111 mln m<sup>3</sup>, powierzchnią lustra wody około 500 ha i głębokością maksymalną 42 m. Zakłada się, że docelowe napełnianie zbiornika wodą zakończone zostanie w IV kwartale 2008 roku.

Równocześnie z prowadzonymi w wyrobisku poeksploatacyjnym robotami likwidacyjnymi prowadzona jest rekultywacja terenów otaczających przyszły zbiornik wodny oraz tworzone są elementy przestrzennego zagospodarowania tego obszaru.

#### **4. Likwidacja wyrobiska poeksploatacyjnego „Piaseczno”**

Przed udostępnieniem złoża siarki w miejscu obecnego wyrobiska „Piaseczno” utrzymywało się swobodne zwierciadło wód poziomu czwartorzędowego na rzędnej około 145 m n.p.m. Napięte zwierciadło wód poziomu trzeciorzędowego stabilizowało się na rzędnej około 148 m n.p.m. W okresie eksploatacji złoża system odwadniający kopalni wytworzył rozległy lej depresyjny z maksymalną depresją w wyrobisku wynoszącą około 55 m. Poziom zwierciadła wód czwartorzędowych i trzeciorzędowych w wyrobisku zrównoważył się i ustabilizował na rzędnej około 95 m n.p.m. Taki stan utrzymywał się do momentu zakończenia robót górniczych.

Od 1980 roku, kiedy to w wyrobisku poeksploatacyjnym byłej Kopalni Siarki „Piaseczno” zakończono wydobywanie piasków szklarskich, obserwuje się stabilizację układu hydrodynamicznego w piętrach czwartorzędowym i trzeciorzędowym. W odkrywce pozostawionej w stanie niezlikwidowanym na dnie utworzył się zbiornik wodny. Odprowadza się z niego nadmiar wód w ilościach zapewniających utrzymanie poziomu wody na rzędnej około 113,0 ÷ 115,0 m n.p.m.



Zasadniczym powodem utrzymywania wyrobiska „Piaseczno” w stanie niezlikwidowanym był przyjęty w 1983 roku sposób jego „rekultywacji” przez składowanie odpadów paleniskowych z Elektrowni Połaniec. Przedsięwzięcie zostało jednak wstrzymane na skutek protestów lokalnych samorządów, spowodowanych obawą przed zanieczyszczeniem powietrza pyłami. W związku z powyższym opracowana później technologia składowania odpadów paleniskowych w wyrobisku „Piaseczno” nie uwzględniała wymogów, jakie muszą być spełnione obecnie w świetle prognozowanych zagrożeń. Nie analizowano również własności popiołów pod kątem zastosowania ich jako warstwy izolacyjnej, służącej do oddzielenia horyzontów wodonośnych (trzeciorzędowego i czwartorzędowego), a głównie traktowano je jako wypełnienie wyrobiska. Wykonana ocena własności izolacyjnych popiołów oraz technologii ich składowania wykazała, że zbyt ryzykowne jest przyjmowanie jej za ostateczne zabezpieczenie się przed powstaniem wymienionych zagrożeń w wyrobisku „Piaseczno” po likwidacji Kopalni „Machów”.

W ramach działań przygotowawczych, prowadzonych w związku z planowanym sposobem likwidacji wyrobiska, miało miejsce okresowe wyłączenie pomp odwadniających. Trwało ono od stycznia do października 1996 roku i skutkowało podniesieniem się zwierciadła wody w zbiorniku do rzędnej około 122,0 m n.p.m. Wznowione po tym czasie odwadnianie pozwala na utrzymywanie osiągniętej wysokości przy średniej wydajności pomp około 13000 m<sup>3</sup>/d.

Program prac likwidacyjnych zakładał uporządkowanie do 2006 roku wszelkich spraw związanych z funkcjonowaniem przyszłego zbiornika rekreacyjnego. Po przejściu wyrobiska przez Elektrownię Połaniec system odwadniający, bazujący na barierach studziennych, został wyłączony. Jego funkcję przejął system oparty na odpompowywaniu wody ze zbiornika przez wybudowaną w tym celu pompownię. Zmiana systemu odwadniania wyrobiska oraz zmniejszona ilość odbieranych wód spowodowały stopniowe podniesienie się ich zwierciadła w wyrobisku, na którego dnie utworzył się zbiornik wodny. Poziom lustra wody uzależniony jest nie tylko od ilości wypompowywanej z niego wody, lecz w dużej mierze zależy również od hydrogeologicznego połączenia dwóch wyrobisk, tj. „Piaseczno” i „Machów”. Najważniejszym zadaniem jest wykonanie warstwy izolującej piętro wodonośne czwartorzędowe od trzeciorzędowego. Przyjęcie sposobu zastosowanego w przypadku likwidacji wyrobiska „Machów” jest niemożliwe z uwagi na brak na miejscu odpowiedniej

ilości i jakości ilów krakowieckich oraz potrzebnych maszyn górniczych. Znacznym utrudnieniem byłby również zbiornik wodny istniejący w odkrywece.

Ze względu na protest miejscowej ludności co do przyjętego sposobu likwidacji wyrobiska „Piaseczno” (a w szczególności niepełnej izolacji serii chemicznej) i obawy co do jakości wód przyszłego zbiornika Kopalnia zleciła w 2006 roku do „Hydroprojektu” Sp. z o.o. w Warszawie opracowanie ekspertyzy ograniczenia dopływu wód neogeńskich (trzeciorzędowych) do zbiornika „Piaseczno” wraz z prognozą efektu ekologicznego.

W ekspertyzie rozważono kilka wariantów ograniczenia dopływów, analizując równocześnie:

- efekt ekologiczny mierzony stopniem poprawy jakości wody w przyszłym zbiorniku,
- techniczno-ekonomiczne warunki realizacji,

w stosunku do prowadzonego obecnie sposobu likwidacji traktowanego jako wariant bazowy.

Uzyskane wyniki pozwoliły na przyjęcie do realizacji wariantu polegającego na wykonaniu pełnej izolacji skarpy serii chemicznej wyrobiska, który daje poprawę jakości wody w zbiorniku i jest znacznie tańszy od innych. Za przyjęciem powyższego rozwiązania zadecydowała również pozytywna opinia Wójta Gminy Łoniów oraz Burmistrza Miasta i Gminy Koprzywnica. W tej sytuacji zagospodarowanie wyrobiska polega na wykonaniu następujących prac:

- pełna izolacja skarpy serii chemicznej – polega ona na rozszerzeniu zakresu izolacji odsłonięć serii chemicznej na wszystkie skarpy serii chemicznej w wyrobisku. Sposób ten nie wymaga całkowitego odwodnienia wyrobiska, a jedynie utrzymywania w nim obecnego lub częściowo obniżonego poziomu wody. Do izolacji skarpy serii chemicznej wykorzystany zostanie materiał ziemny z profilowanych skarpy nadwodnych wyrobiska. Technologia prac związanych z wykonywaniem izolacji skarpy rudnych zbliżona jest do technologii stosowanej, zgodnie z projektem technicznym. Korzystną poprawę warunków izolowania skarpy serii złożowej w wyrobisku spowodowałoby obniżenie poziomu wody w zbiorniku do rzędnej 118 m n.p.m. i odsłonięcie skarpy, które obecnie znajdują się pod wodą,
- wyprofilowanie skarpy przyszłego zbiornika – powinno ono doprowadzić do poprawy ich stateczności. Przeprowadzone obliczenia i analizy wykazały, że w aktualnych warunkach geologicznych i hydrogeologicznych, gdy zwierciadło wody utrzymuje się na rzędnej 122,0 m n.p.m., skarpy i zbocza wyrobiska „Piaseczno”, zlokalizowane

zarówno w rodzimych utworach nadkładowych, jak i w gruntach zwałowych, charakteryzują się długookresową statecznością. Likwidacja wyrobiska polegająca na wypełnieniu go wodą pogorszy warunki stateczności górnych skarp i zboczy wyrobiska. Na odcinkach tych skarp, gdzie występują niskie wartości wskaźników stateczności, istnieje prawdopodobieństwo powstania procesów osuwiskowych. Dla uniknięcia osuwisk konieczna będzie zmiana geometrii górnej skarpy w trakcie kształtowania docelowej czaszy zbiornika. Skarpy zachodnie, górna i dolna, ukształtowane w materiale zwałowym, będą miały tendencję do powstawania lokalnych zjawisk osuwiskowych, które jednak nie obejmą swym zasięgiem całego zbocza. Lokalnie powstające osuwiska iłowych skarp powyżej poziomu rudy siarki, powstające na skutek rozmakania, z uwagi na znaczne szerokości półki w stropie iłów, nie powinny stwarzać żadnego zagrożenia dla stateczności całego zbocza. Z tego powodu przed wypełnianiem zbiornika na skarpach wykonanych w iłach krakowieckich nie muszą być przeprowadzone żadne roboty ziemne. Zgodnie z założeniami programu likwidacji wyrobiska odsłonięcia serii chemicznej zostaną jedynie przykryte nadkładowymi iłami krakowieckimi spychanymi ze skarpy nadwodnej, co dodatkowo poprawi jej stateczność,

- rekultywacja terenów przyległych do zbiornika – dla wyrobiska przyjęty został wodny kierunek rekultywacji, natomiast dla zwałowiska wewnętrznego i obrzeży kierunek zadrzewieniowo-łąkowy. Wyrobisko wraz z terenami przyległymi docelowo zostanie zagospodarowane dla potrzeb rekreacji. W ramach rekultywacji podstawowej wykonane zostaną prace porządkowe związane z likwidacją zbędnych obiektów i uzbrojenia powierzchniowego oraz usunięciem zadrzewień kolidujących z planowanymi robotami. Nadrzędnym celem rekultywacji biologicznej na powierzchni skarpy nadwodnej i płaszczyzny abrazyjnej będzie ich stabilizacja i zabezpieczenie przed erozją wodną. Dodatkowo wykonane zostaną prace związane z regulacją stosunków wodnych na terenach przyległych do wyrobiska oraz prace związane z dowiązaniem projektowanego układu docelowych dróg dojazdowych w rejonie wyrobiska do istniejącej infrastruktury komunikacyjnej gmin,
- wypełnienie wyrobiska wodą – działanie to będzie finalnym efektem prac likwidacyjnych, jakie nastąpią po wykonaniu robót ziemnych. Wykonanie tych prac umożliwi napełnienie wyrobiska wodą, a po wykonaniu systemu drenażowo-

melioracyjnego na terenach zagrożonych podtopieniem, osiągnięcie docelowego piętrzenia wody w zbiorniku rzędnej 146 m n.p.m. Zakłada się samoczynne napełnienie wodami czwartorzędowymi, jednak w przypadku potrzeby przyspieszenia procesu napełniania zbiornika istnieje możliwość doprowadzenia wody z rzeki Wisły,

- budowa systemu drenażowo-melioracyjnego – ten etap ma zapewnić warunki do zachowania dotychczasowego przeznaczenia i sposobu użytkowania terenów otaczających wyrobisko. Istnieje bowiem zagrożenie, że zakończenie prac likwidacyjnych w wyrobisku może skutkować wystąpieniem podtopień takich, jakie istniały przed rozpoczęciem odwadniania złoża. Szczególnie chronione powinny być rejonu o zabudowie stałej. Systemy drenażowe zostały zaprojektowane na podstawie wyników badań symulacyjnych przeprowadzonych na modelu hydrogeologicznym obszaru filtracji, po przyjęciu ostatecznych założeń projektowych likwidacji wyrobiska. Przewiduje się wykonanie przede wszystkim płytkiego drenażu w postaci rowów i drenów, nie wyklucza się jednak budowy lokalnych, głębokich systemów drenażowych. Budowa systemu melioracyjno-drenażowego powinna zostać zakończona w 2012 roku.

## 5. Podsumowanie

Likwidacja wyrobisk odkrywkowych kopalń siarki, poza eliminacją uciążliwych dla środowiska obiektów i uporządkowaniem terenów pogórnich, stworzyła szansę zagospodarowania składowisk odpadów powstałych w procesie przeróbki rudy i innych odpadów przemysłowych przez ich wykorzystanie w procesie likwidacji. Przyjęte projekty likwidacji i rekultywacji odkrywkowych kopalń siarki spowodowały zmniejszenie uciążliwości kopalń dla środowiska oraz powstanie atrakcyjnych krajobrazowo terenów i obiektów w miejscu wyrobisk pogórnich oraz zdegradowanych terenów wokół nich.

Zagospodarowanie zbiorników w Machowie i Piasecznie oraz terenów przyległych ma nadać tej części tarnobrzeskich złóż siarki charakter rekreacyjny. Spełnienie tych zamierzeń zależy od sukcesywnej rekultywacji terenów oraz realizacji planu ich przestrzennego zagospodarowania.

Przyległe tereny górnicze wokół odkrywek są i będą rekultywowane oraz zagospodarowane w sposób umożliwiający wykorzystanie ich do celów rekreacyjnych. Szczególnie uciążliwe



dla środowiska składowisko keku porafinacyjnego zostało zlikwidowane przez ułożenie go na dnie wyrobiska w rejonie macierzystej warstwy wapieni siarkonośnych i przykrycie izolacyjną warstwą ilów. Zlikwidowano i zrehabilitowano również osadnik odpadów poflotacyjnych „Cygany”, klarownik wód złożowych nr 1. Natomiast do rekultywacji pozostał teren po osadniku „Ocice”, klarownik wód złożowych nr 2, tereny wokół zbiornika w rejonie studni i kolektora bariery zewnętrznej NW.

W efekcie prowadzonych prac rekultywacyjnych w miejscu wyrobisk poeksploatacyjnych powstaną zbiorniki wodne: w Piasecznie, o powierzchni lustra wody przy rzędnej +146,0 m n.p.m. około 160 ha, maksymalnej głębokości około 48 m, długości linii brzegowej około 6 607 m, natomiast powierzchnia abrazyjna wyniesie 88 785 m<sup>2</sup>, i w Machowie, o powierzchni lustra wody przy rzędnej +146,0 m n.p.m. około 500 ha, maksymalnej głębokości około 42 m, długości linii brzegowej około 10 000 m. Tereny przyległe do zbiornika zostaną zrehabilitowane, pozwalając w przyszłości na wykorzystanie ich i samego zbiornika do celów rekreacyjnych.

Rekreacyjne zagospodarowanie przyszłych zbiorników wodnych w Machowie i Piasecznie wraz z terenami przyległymi zostały ujęte w zapisach miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego (gmin Tamobrzeg, Łoniów i Koprzywnica).

## 6. Wnioski

Proces likwidacji wyrobisk Kopalni Siarki „Machów” oraz wyrobiska „Piaseczno”, zakończony utworzeniem zbiorników rekreacyjnych, wpływać będzie na środowisko naturalne. Zmiany w środowisku naturalnym wynikać będą z:

- powrotu stosunków wodnych w rejonie wyrobisk do pierwotnego stanu,
- utworzenia dwóch zbiorników wodnych o powierzchni łącznej ponad 660 ha.

Program likwidacji wyrobisk „Machów” i „Piaseczno” zakłada wybudowanie w ich miejscu zbiorników wodnych oraz rekultywację terenów przyległych w sposób umożliwiający wykorzystanie ich do celów rekreacyjnych.

Proces likwidacji wyrobisk odkrywkowych kopalń siarki i rekultywacja terenów po eksploatacji otworowej siarki wymaga prowadzenia badań monitoringowych wód podziemnych i powierzchniowych, powietrza, gleb i roślin. Wyniki badań pozwolą ocenić skuteczność prac likwidacyjnych i rekultywacyjnych oraz wykazać ewentualny wpływ na

poszczególne elementy środowiska powstałych zbiorników wodnych i terenów o nowym zagospodarowaniu.

## BIBLIOGRAFIA

1. Kopeć J., Wojteczko T.: Projekt techniczny likwidacji wyrobiska górniczego Kopalni „Machów”. OBR PS „Siarkopol”, Tarnobrzeg 1993.
2. Haładus A., Kulma R., Kania J.: Wariantowe prognozy kształtowania się poziomu wód podziemnych w rejonie wyrobiska „Piaseczno” z określeniem rejonów wymagających odwodnienia. Przedsiębiorstwo Usługowo-Consultingowe GEA Sp. z o.o., Kraków 1997.
3. Kirejczyk J. i in.: Wpływ likwidacji kopalni siarki machów na nieczynne wyrobisko kopalni siarki w Piasecznie – konsekwencje hydrogeologiczne i ekologiczne. OBR PS „Siarkopol”, Tarnobrzeg 1994.
4. Kulma R.: Dokumentacja określająca warunki hydrogeologiczne w rejonie likwidowanego wyrobiska byłej Kopalni Siarki „Piaseczno” – stan prognozowany w związku z przewidywaną zmianą poziomu odwadniania i po jego całkowitym zakończeniu. SIGMA PB, Tarnobrzeg 2006.
5. Pantula Z. i in.: Projekt techniczny prac zabezpieczających i rekultywacji wyrobiska byłej Kopalni Siarki „Piaseczno”. Etap I – Uporządkowanie, profilowanie skarp wyrobiska i izolacja wychodni serii chemicznej. SIGMA BP, Tarnobrzeg 2005.
6. Pantula Z., Burchard T., Kirejczyk J. i in.: Aneks nr 2 do Projektu technicznego prac zabezpieczających i rekultywacji wyrobiska byłej Kopalni Siarki „Piaseczno”. Etap I – Uporządkowanie, profilowanie skarp wyrobiska i izolacja wychodni serii chemicznej. SIGMA BP, Tarnobrzeg 2007.
7. Pantula Z. i in.: Projekt techniczny prac zabezpieczających i rekultywacji wyrobiska byłej Kopalni Siarki „Piaseczno”. Etap II – Rekultywacja wyrobiska byłej kopalni. SIGMA BP, Tarnobrzeg 2006.
8. Matuszewski J. i in.: Ekspertyza dotycząca możliwych sposobów ograniczenia dopływu wód neogeńskich do zbiornika w likwidowanym wyrobisku Kopalni Siarki „Piaseczno”. Etap I. Hydroprojekt Sp z o.o., Warszawa 2006.
9. Matuszewski J. i in.: Ekspertyza dotycząca możliwych sposobów ograniczenia dopływu wód neogeńskich do zbiornika w likwidowanym wyrobisku Kopalni Siarki „Piaseczno”. Etap II. Hydroprojekt Sp z o.o., Warszawa 2007.

**Abstract**

Apart from the disposal of the environmentally harmful agents and cleaning up the former mining areas the liquidation of sulphur mining pits has created a chance to reuse the storage of waste which was produced by ore processing industry and other industrial waste and use it during the liquidation phase. The liquidation of the mining pits of Sulphur Mines 'Machow' and 'Piaseczno' followed by creation of water recreational areas will influence favourably the natural ecosystem causing recovery of water conditions in the area where the former mines were located.

The undertaken activities of liquidation and reclamation have ended in decrease of harm caused to the environment as well as they enhanced considerably the attractiveness of the landscape due to providing the area with water and recreational facilities. Thanks to the action of reclamation in Machow, Piaseczno and neighbouring areas the district of Tarnobrzeg is supposed to have the recreational status. The fulfillment of the plans depends on the successful reclamation phase as well as on the realization of the adopted plans of using the areas. The neighbouring areas around the former sulphur mines have been reclaimed and prepared for the recreational use. The particularly harmful for environment storage of waste, produced in the process of refining sulphur, has been eliminated by placing it at the bottom of the pits, where originally the sulphur layer was, and it was covered with an insulating layer. 'Cygany', the place where the refining waste was stored and the basin of underground water number 1 have been put to the end and have been reclaimed. 'Ocice', the area previously used as a storage of industrial waste, the basin of underground water number 2 and the areas located around the basin, where there were water absorbing wells and a collector of the outer barrier, are to be reclaimed next.

As a result of the undertaken reclamation activities the mining areas are going to be transformed into two water basins: in Piaseczno the surface of the upper water level measuring about 160 hectare with the height above the sea level +146 m, with the maximum depth about 48 m and the costal line approximately measuring 6 607 m and in Machow, where the water surface is going to reach 500 hectare while the height above the sea level is + 146 m, the maximum depth around 42 m and the costal line measuring about 10 000 m.

The areas near the water basins will be reclaimed which will allow to use them as recreational facilities in the future.

The process of reclamation of the former mining areas and creating the water basins Machow and Piaseczno in their places along with the neighbouring areas, has been taken into account in the plans of using the land (district Tarnobrzeg, Łoniow and Koprzywnica).