

Jakub MAZUREK

Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

## **Deformacje górotworu i sposoby zagospodarowania terenu zdegradowanego na skutek otworowej eksploatacji soli w kopalni Barycz**

### **Streszczenie**

Otworowa eksploatacja soli prowadzona w kopalni „Barycz” od 1924 roku spowodowała wystąpienie deformacji górotworu o charakterze ciągłym i nieciągłym (zapadliskowym). Najbardziej zdegradowana, centralna część powierzchni terenu górniczego, pokryta rozległymi i głębokimi zapadliskami wypełnionymi nienasyconą solanką, nieprzydatna do innych celów została wykorzystana do składowania odpadów komunalnych miasta Krakowa. Obecnie jest to jedno z największych i najlepiej zagospodarowanych wysypisk w Polsce. Inne, mniej zdegradowane części terenu górniczego są przeznaczone do rekultywacji w kierunkach leśnym i rolnym.

### **1. Wstęp**

Złoże soli kamiennej „Barycz” eksploatowane metodą otworową, zlokalizowane w południowo-wschodniej części miasta Krakowa i zachodniej części miasta Wieliczka, stanowi przedłużenie złoża soli „Wieliczka” eksploatowanego metodą podziemną. Omawiane złoże oraz kopalnie, eksploatujące w zupełnie odmienny sposób, oddziela filar graniczny ustanowiony w roku 1958. Powierzchnia obszaru górniczego „Barycz” wynosiła około 2,2 km<sup>2</sup>, a powierzchnia terenu górniczego około 3,3 km<sup>2</sup>. Przybliżony przebieg linii określających obszar i teren górniczy przedstawiono na rys. 1.1 (linie zewnętrzne).

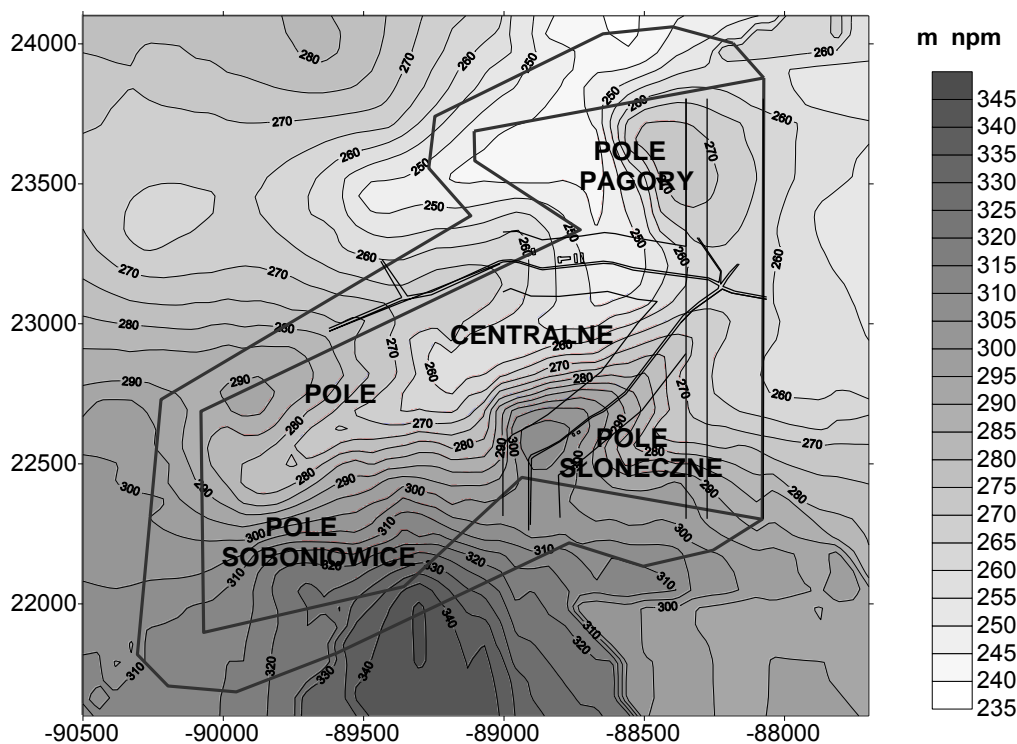
Ukształtowanie powierzchni terenu w rejonie złoża soli „Barycz” jest bardzo urozmaicone. Centralna część złoża zalegała pod dnem kotliny, która w części wschodniej otwiera się ku północy wylotem doliny potoku Malinówka. Kotlina otoczona jest wzniesieniami, pod którymi zalegają brzeżne partie złoża. Deniwelacje w obrębie obszaru górniczego przekraczają 100 m.

W kopalni „Barycz” prowadzono eksploatację złoża soli otworami z powierzchni metodą podziemnego ługowania, bez ochrony stropu. Pierwsze otwory rozpoznawcze odwiercono jeszcze pod koniec XIX w. Skomplikowana i silnie zmienna budowa geologiczna złoża oraz generalnie korzystne warunki hydrogeologiczne determinowały technologię prowadzenia otworowej eksploatacji górniczej. Pomimo tej zmienności warunki geologiczno-górnictwa dla eksploatacji otworowej były zasadniczo korzystne. Ze złoża wydobyto łącznie ponad 10,5 mln ton soli, a wskaźnik wykorzystania zasobów geologicznych dla całego złoża wynosił średnio 0,20. Od 1 stycznia 1999 r. kopalnia „Barycz” jest w stanie likwidacji [5].

Niemożliwość wpływania na przebieg procesu ługowania komór przy stosowanej technologii oraz niekontrolowana, a okresowo chaotyczna eksploatacja w niektórych rejonach, oprócz deformacji o charakterze ciągłym spowodowała powstanie całego szeregu lokalnych zapadlisk i silne zdegradowanie powierzchni terenu. Paradoksalnie, prawdopodobnie właśnie to olbrzymie zdegradowanie powierzchni i brak środków na rekultywację innego typu oraz usilne poszu-

kiwanie w tamtym czasie odpowiedniego miejsca pod wysypisko odpadów spowodowały, że dla części terenu kopalni znaleziono bardzo konkretne przeznaczenie. Od roku 1974 na powierzchni najbardziej zdegradowanego obszaru, nad wyeksploatowaną wschodnią i środkową częścią pola Centralnego, gdzie na powierzchni powstało 16 stawów i rozlewisk, z których największy miał ponad 2 ha, rozpoczęto składowanie odpadów komunalnych miasta Krakowa. Obecnie jest to jedno z najlepiej zagospodarowanych wysypisk w kraju.

W artykule przedstawiono zarys budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych, omówiono historyczny zarys przebiegu eksploatacji, deformacje górotworu i powierzchni terenu spowodowane eksploatacją, sposób zagospodarowania zdegradowanego terenu i wpływ składowiska na środowisko naturalne oraz sposób i kierunki rekultywacji innych rejonów kopalni w obrębie terenu górniczego.



Rys. 1.1 Mapa ukształtowania powierzchni terenu z zarysem charakterystycznych obiektów  
Fig. 1. Morphology map of described terrain

## 2. Zarys budowy geologicznej i warunki hydrogeologiczne

Budowa geologiczna złoża soli „Barycz” została omówiona w *Dokumentacji...*[6] oraz w *Projekcie likwidacji kopalni otworowej Barycz* [5]. Poniżej zamieszczono jedynie opis najistotniejszych elementów tej budowy.

Rejon występowania złóż soli kamiennej na południu Polski ciągnie się wąskim pasem o długości kilkudziesięciu kilometrów od Baryczy na zachodzie poprzez Wieliczkę, Sułków, Łęzkowice, Siedlec, Moszczenicę, Łapczycę i Bochnię, *wzdłuż* właściwego brzegu Karpat,

czyli nasunięcia fliszu karpackiego na mioceńską formację solonośną. Część tego rejonu w Wieliczce i jej najbliższym sąsiedztwie dzieli się na rejonu odcinki stanowiące jakby trzy oddzielne złoża: „Barycz”, „Wieliczka” i „Sułków”.

W budowie geologicznej złoża soli „Barycz” i jego otoczenia udział biorą:

- a) Utwory jurajskie stanowiące podłoże dla utworów formacji solonośnej zbudowane z twardej i zbitych wapieni skalistych, spękanych i pociętych uskoki na bloki.
- b) Utwory kredowe wykształcone w postaci łupków pstrych, szarych i szarzielonych przeławionych warstwami piaskowców (flisz karpacki). Utwory fliszowe stanowią nadkład, gdyż zostały one nasunięte z południa na mioceńską formację ewaporatową. Skraj nasunięcia sięga południowej części pola Pagory.
- c) Utwory trzeciorzędowe, mioceńskie (baden) o dużej zmienności litologicznej i skomplikowanej tektonice. Stratygraficzno - litologiczny schemat miocenu w rejonie złóż „Wieliczka” - „Barycz” przedstawia się następująco:
  - warstwy skawińskie (podsolne),
  - warstwy ewaporatowe (wielickie) budujące zasadnicze złoża pokładowe i bryłowe (zubrowe) występują w postaci chlorkowej i siarczanowej. Górniczą wartość stanowiło złożo pokładowe z pokładem soli najstarszej o średniej miąższości około 15 m, zespołem czterech pokładów wielkoziarnistych soli zielonych poprzedzielanych warstwami iłowca z anhydrytem, pokładem średnio i gruboziarnistej soli szybikowej oraz kompleksem zanieczyszczonej soli spizowej o miąższości do 30 m, nakrytych od góry warstwą zwięzłych piaskowców anhydrytowych o miąższości średniej około 5 m oraz iłowców anhydrytowych stropowych o średniej miąższości około 10 m,
  - warstwy chodenickie (nadsolne) o miąższości około 150 m reprezentowane przez ily, iłowce, mułowce, margle oraz piaskowce drobnoziarniste stanowiące nadkład w północnej części złoża,
  - warstwy grabowieckie jako piaski bogucickie zalegają niezgodnie na warstwach chodenickich.
- d) Utwory czwartorzędowe o średniej miąższości od 5 do 15 m, a lokalnie do 21,5 m.

Wody podziemne na obszarze złoża soli „Barycz” i w jego otoczeniu występują we wszystkich stratygraficznie wydzielonych utworach. Eksploatacja soli, a zwłaszcza jej skutki w postaci lokalnych zapadlisk, wywołała jednak poważne zmiany w górotworze, które w znacznym stopniu zaburzyły pierwotne warunki hydrogeologiczne. Zostały naruszone warunki izolacji między utworami wodonośnymi, powstały także nowe kontakty hydrauliczne.

Utwory ewaporatowe są bardzo słabo przepuszczalne. Wody w ewaporatach lokalnie jednak występowały i występują, i bywają to nawet wypływy artezyjskie. Prehistoryczne ślady po warzelnictwie soli w obrębie doliny potoku Malinówka i istnienie słonych źródeł wskazują, że przepływ wód przez ewaporaty zachodził także w górotworze nienaruszonym eksploatacją, a towarzyszyło mu lęgowanie soli.

W południowej części złoża pokryte jest bezpośrednio utworami fliszowymi. Wody we fliszu występują głównie w spękanych piaskowcach, bądź są związane ze strefami spękań tektonicznych.

W części zachodniej i północnej złoża nadkład tworzą warstwy chodenickie w formie autochtonicznej. Ich budowa geologiczna sprzyja przepływowi wód przewarstwieniami piaskowcowo - piaszczystymi oraz dolomitami i tufami. Przed powstaniem zapadlisk przepływ prostopadły do uławicenia nie był możliwy [6].

### **3. Historyczny zarys przebiegu eksploatacji złoża „BARYCZ”**

#### **3.1 Podział złoża na pola eksploatacyjne**

Złoże soli kamiennej „Barycz” zostało odkryte pod koniec XIX w. Właściwe zainteresowanie złożem nastąpiło jednak dopiero po I wojnie światowej. W latach 1922-1923 wykonano pierwsze dwa otwory, które dały początek eksploatacji złoża „Barycz”. Eksploatowaną solankę firma Solvay wykorzystywała do produkcji sody.

Historycznie cały obszar działalności górniczej na złożu soli „Barycz” został podzielony na cztery pola eksploatacyjne omówione niżej. Przybliżoną lokalizację tych pól przedstawiono na rys. 1.1. O sposobie ww. podziału decydowały głównie morfologia i hydrografia terenu, kwestie własności gruntów, uzbrojenie i baza techniczna terenu oraz sąsiedztwo kopalni „Wieliczka”.

Pole Centralne stanowiło największy i najbardziej zasobny rejon eksploatacyjny na obszarze górniczym „Barycz”. Jego powierzchnia wynosiła niemal 54 ha, a sumaryczna miąższość złoża zawarta była w przedziale od około 6 m do 120 m. Głębokość zalegania stropu złoża, czyli miąższość nadkładu fliszowego wynosiła od około 140 m do około 270 m. W tym polu rozpoczęto eksploatację i prowadzono ją nieprzerwanie w latach 1925 – 1965, a później w latach osiemdziesiątych i na początku dziewięćdziesiątych,

Pole Słoneczne było eksploatowane w latach 1961 - 1969 i 1995 - 1998. Obejmuje ono obszar o powierzchni około 16 ha, leżący pomiędzy filarem granicznym złóż „Barycz” i „Wieliczka” od wschodu oraz filarem ochronnym dla drogi (ul. Lipowa), którą przebiega granica miast Krakowa i Wieliczki. Miąższość złoża była zawarta w przedziale około 8 – 80 m, a jego strop zalegał na głębokości 250 – 300 m.

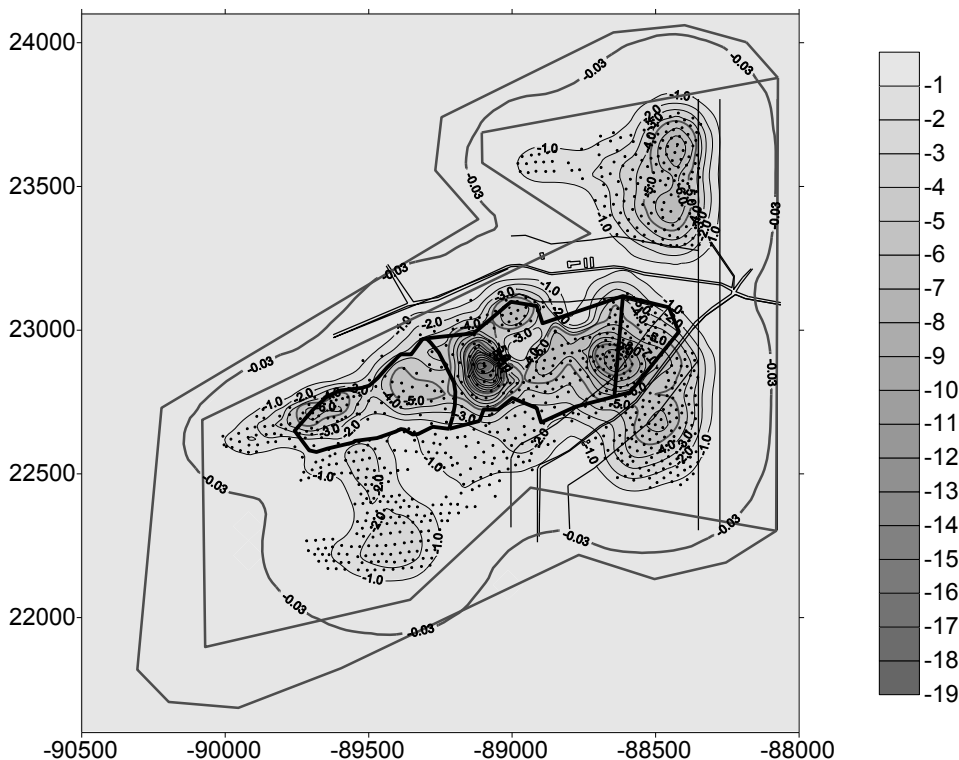
Pole Soboniowice było eksploatowane w od 1962 r. do 1998 r. Obejmuje obszar o powierzchni około 10 ha, usytuowany na północnym zboczu wzniesienia Soboniowice, w części południowo zachodniej obszaru górniczego „Barycz”. Teren ten jest w całości zalesiony. Miąższość złoża zawarta była w przedziale około 8 – 60 m, a głębokość zalegania jego stropu wynosiła 180 – 250 m. Rejon Bielski stanowiący niewielki wycinek tego pola był eksploatowany metodą tunelową sterowaną i nadzorowaną z powierzchni [1, 5].

Pole Pagory było eksploatowane w latach 1967 - 1996. Zajmuje ono obszar o powierzchni 13.6 ha, usytuowany oddzielnie pomiędzy filarem granicznym z kopalnią „Wieliczka” od wschodu, a filarem ochronnym dla drogi (ul. Krzemieniecka ) od południa. Miąższość występującego tu złoża była zmienna i wynosiła około 8 – 40 m, a głębokość zalegania jego stropu wynosiła około 210 – 280 m. Nadkład w tym polu stanowiły utwory warstw chodenickich. Należy nadmienić, że złożo solne wykazywało tu dużą jednorodność pod względem miąższości i zalegania, a w stropie bezpośrednim niemal w całym polu występowały zwięzłe piaskowce o miąższości średniej około 5 m. Niewielkie wycinki tego pola (Staw Szlachetny, rejon Tomana), w latach 1994 – 1996 były reeksploatowane metodą tunelową [1, 3, 5].

#### **3.2 Prace eksploatacyjne w początkowym okresie**

Rozmieszczenie otworów eksploatacyjnych w poszczególnych polach przedstawiono na rys. 3.1 na tle prognozowanych osiadań.

Eksploatację solanki rozpoczęto w 1924 roku z otworu „1b”, w 1925 roku uruchomiono 10 kolejnych otworów, a w 1930 pracowało już ponad 50 otworów. W latach 1931 - 1945 odwiercono kolejne 82 otwory powiększając obszar eksploatacji pola Centralnego.



Rys. 3.1 Mapa prognozowanych osiadań z lokalizacją ważniejszych obiektów, otworami eksploatacyjnymi oraz zarysem wysypiska

Fig. 3.1 Map of predicted surface subsidence with the location of prior objects, excavation holes and the outline of waste disposal

Eksploatację złoża solnego od samego początku prowadzono otworami wiertniczymi z powierzchni metodą podziemnego ługowania, bez ochrony stropu. Prosta konstrukcja uzbrojenia otworu, składająca się z zespołu rur okładzinowych o średnicy 5''-6'' scementowanych z górtworem otaczającym i doprowadzających wodę oraz zespołem rur wolnowiszących o średnicy 3,5'' odprowadzających solankę, niemal całkowicie uniemożliwiła wpływanie na kształt ługowanych komór. W pierwszym okresie prawdopodobnie nawet nie zdawano sobie sprawy z trudności i kłopotów oraz złożoności problemów geomechanicznych towarzyszących eksploatacji otworowej – stąd duża liczba zapadlisk powstałych w tamtym okresie.

Otwory eksploatacyjne były na ogół wiercone do spągu złoża. Siatka rozmieszczenia otworów eksploatacyjnych uzależniona była od struktury geologicznej poszczególnych pól eksploatacyjnych. Początkowo otwory rozmieszczane były zupełnie przypadkowo, później w siatce prostokątnej o boku 50 – 80 m, lokalnie nawet do 130 m, a następnie w siatce nieregularnych trójkątów. Począwszy od lat sześćdziesiątych złożo eksploatowano otworami rozmieszczonymi w sieci trójkątów równobocznych. W polach Słoneczne i Soboniowice, gdzie bok trójkąta miał długość 30 m założony promień ługowania komór wynosił 12 m a filar międzykomorowy miał 6 m. W polu Pagory otwory wiercone były w sieci trójkąta równobocznego o boku 40 m, przy założonym promieniu ługowania komór 16 m i filarze międzykomorowym 8 m. Przy większych

odległościach między otworami zakładano, że większe będą wymiary ługowanych komór. Eksploatacja prowadzona była z przepływem ciągłym, w obiegu prawym lub lewym.

Eksploatacja z założenia prowadzona była aż do uzyskania planowanej produkcji, wynikającej z wymiarów sieci wierceń i zasobów przypisanych poszczególnym otworom. Ze względu jednak na brak możliwości kierowania procesem ługowania, niekiedy była przerywana wcześniej po przelugowaniu filarów i połączeniu hydraulicznym komór między sobą, albo z powodu uszkodzenia rur eksploatacyjnych o średnicy 3,5" lub zasypania komory przez obwał stropu. Część otworów wyeksploatowała znacznie więcej niż wynikało to z przypisanych im zasobów. Są otwory rekordowe, z których wydobyto nawet kilkanaście razy więcej soli, ale są też takie, z których wydobyto tylko nikły procent ich zasobów. Przez cały okres eksploatacji nie stosowano zabezpieczenia przed zrywaniem rur czynnych otworów na skutek powstawania zapadlisk.

Niezbędne jest zwrócenie uwagi, że opomiarowanie i udokumentowanie wydobywania z poszczególnych otworów w początkowym okresie istnienia kopalni było mało dokładne i niekompletne. Początkowo dokumentacja była prowadzona niesystematycznie, później wielkość wydobywania określano tylko na podstawie ilości wody włączanej do grupy otworów, zaś produkcja z poszczególnych otworów była podawana orientacyjnie. Dopiero od 1974 r. wprowadzono dokładniejsze i ciągłe pomiary ilości podawanej wody oraz wydajności solanki i stopnia jej zasolenia z każdego otworu. W związku z tym wszystkie wyniki produkcyjne dotyczące otworów wyeksploatowanych przed 1974 r. mogą być obciążone znacznym błędem. Dotyczy to wszystkich otworów pól Centralne i Słoneczne oraz otworów zlokalizowanych w północnej części pola Pagory. W tamtym okresie nie przerywano pracy otworu po uzyskaniu połączeń hydraulicznych między komorami.

W celu pozyskiwania solanki o odpowiednio wysokim nasyceniu (stężeniu) otwory łączono w zespoły po trzy - cztery sztuki w jednym ciągu technologicznym, przez które kolejno przepływała: w pierwszym woda, a w kolejnych solanka aż do pełnego nasycenia. Wydajność otworu lub zespołu otworów połączonych szeregowo wynosiła 10 - 25 m<sup>3</sup>/h.

### **3.3 Eksploatacja w końcowym okresie istnienia kopalni**

Przełomem w prowadzeniu i geomechanicznym podejściu do eksploatacji otworowej było duże zapadlisko powstałe gwałtownie 21 marca 1974 roku w obrębie pola Pagory [3]. Po chaotycznym niekontrolowanym wyeksploatowaniu kilkudziesięciu otworów w północno-wschodniej części tego pola, z których duża część miała połączenia hydrauliczne między sobą, na powierzchni terenu powstało zapadlisko w kształcie koła o średnicy około 150 m (pole powierzchni około 19000 m<sup>2</sup>). Proces powstawania tego zapadliska był gwałtowny, a towarzyszyło mu wyrzucenie około 35000 m<sup>3</sup> solanki oraz około 10000 m<sup>3</sup> innych utworów nadkładowych [6]. Niemal natychmiast po wystąpieniu zapadliska jego centralna część znalazła się około 8 m poniżej powierzchni otaczającego terenu i została zalana solanką.

Solanka wyrzucona w trakcie powstawania zapadliska spłynęła po stoku i spowodowała falę powodziową na potoku Malinówka, która około 2 km dalej, przy szosie Wieliczka – Kraków miała 2 m wysokości. Efektem tego zdarzenia było zasolenie terenu w otoczeniu zapadliska i w pobliżu koryta Malinówki oraz Serafy, a dalej Wisły, wyginięcie ryb w tych dopływach Wisły oraz szkody bezpośrednie spowodowane falą powodziową. W celu zabezpieczenia się przed podobnymi zdarzeniami w 1975 r. wykonano zbiornik awaryjny z groblą ziemną czołową i boczną o pojemności 30000 m<sup>3</sup>. Negatywne skutki omawianego zapadliska spowodowały wprowadzenie indywidualnego opomiarowania każdego otworu, opracowanie i wprowadzenie

nowych zasad wyłączania otworów z eksploatacji oraz podjęcie prac mających na celu określenie kształtu i wymiarów komór eksploatacyjnych powstających podczas ługowania soli. Od tego czasu nie powstało żadne zapadlisko o przebiegu gwałtownym.

Z badań kształtu i wymiarów wybranych komór eksploatacyjnych przeprowadzonych echosondą w roku 1980 oraz w latach 1996 – 1998 wynikało, że miały one kształt nieregularny, a ich oś geometryczna zwykle nie pokrywała się z osią otworu. Pomierzone promienie komór były zazwyczaj większe od wynikających z teoretycznych obliczeń. Wyługowane komory miały najczęściej kształt od nieregularnego walca do odwróconego stożka, a raczej nieregularnej paraboloidy. W złożach o niedużej miąższości najbardziej prawdopodobny był kształt nieregularnego walca.

W ciągu ostatnich dwudziestu lat eksploatowano graniczne partie złoża, a w celu poprawy stopnia jego wykorzystania zagęszczano siatkę wierceń niemal na całym obszarze. W latach dziewięćdziesiątych rozpoczęto stosowanie kontrolowanej eksploatacji otworów połączonych, czyli tzw. eksploatacji tunelowej [1]. Polegała ona na równoczesnej eksploatacji kompleksu połączonych ze sobą komór poeksploatacyjnych, z podziemnym przepływem medium ługującego między komorami. Przepływ ten ukierunkowany był stacjonarnymi pompami tłoczącymi medium lub pompami głębinowymi opuszczanymi do poszczególnych otworów [1,3]. Eksploatacja otworów połączonych w polu Pagory, w rejonie Staw Szlachetny została zakończona w 1996 r. Eksploatacja otworów połączonych w rejonie *Bielski*, sterowana i w pełni kontrolowana z powierzchni (typowa eksploatacja tunelowa), została zakończona w 1998 roku.

#### **4. Deformacje powierzchni terenu na skutek eksploatacji**

##### **4.1 Przebieg deformacji komór w górotworze solnym**

Otworowa eksploatacja złoża „Barycz” metodą podziemnego ługowania została rozpoczęta w 1924 r. Do 31 grudnia 1998 r., kiedy to zakończono eksploatację, na obszarze o powierzchni ponad 3,3 km<sup>2</sup> wykonano 1024 otwory (odwierty), w tym 980 eksploatacyjnych i 44 badawcze, a ze złoża wydobyto około 10,5 miliona ton soli. Podana wielkość wydobywania jest pewnym przybliżeniem. Jego rzeczywista wartość może być wyższa, gdyż do lat siedemdziesiątych otwory nie były opomiarowane indywidualnie. Po zakończeniu eksploatacji średni stopień wykorzystania złoża wynosił około 0,2.

Skutkiem przeprowadzonej eksploatacji były deformacje powierzchni terenu o charakterze ciągłym i nieciągłym. Deformacje nieciągłe występowały tylko lokalnie, ale to przede wszystkim one negatywnie wpływały na degradację powierzchni i stan środowiska naturalnego.

Należy podkreślić, że procesy deformacyjne będące skutkiem eksploatacji nie ustały po zakończeniu wydobywania. Rozpoczęły się one wraz z początkiem ługowania komór i trwać będą aż do całkowitego wypełnienia powstałych pustek i skonsolidowania rozluźnianego materiału. Ponieważ sól ma znakomite właściwości reologiczne komory podlegają procesowi powolnego i długotrwałego zaciskania. Na podstawie wyników pomiarów ilości solanki wyciekającej z kilku odosobnionych komór o znanej objętości stwierdzono, że przybliżony czas zaciskania pustek w górotworze kopalni „Barycz” wynosić może od około 40 do około 150 lat [5]. Konieczność uwzględnienia w „*Projekcie likwidacji...*” wszystkich negatywnych wpływów eksploatacji spowodowała, że przewidywania dotyczące tak odległej przyszłości można było oprzeć tylko na wiarygodnej prognozie.

#### 4.2 Wyniki prognozowania osiadań ostatecznych (końcowych)

Prognozowanie wielkości deformacji powierzchni terenu powstałych na skutek eksploatacji otworowej jest trudne. Z braku znajomości kształtu, wymiarów i lokalizacji wylugowanych komór wprowadzane są, bowiem założenia upraszczające, które mogą powodować występowanie dodatkowych niedokładności. Niedokładności te eliminuje się poprzez precyzyjne testowanie wyników prognoz.

W celu wiarygodnego prognozowania wpływów przeprowadzonej eksploatacji na powierzchnię terenu i ich zasięgu wykorzystano teorię Budryka – Knothego, stosowaną do prognozowania deformacji w kopalniach „Wieliczka” i „Barycz” od lat pięćdziesiątych. Wartości parametrów teorii w postaci kąta rozproszenia wpływów głównych oraz współczynników osiadania określono na podstawie wyników pomiarów, informacji zawartych w opracowaniach i publikacjach dotyczących kopalni „Barycz” oraz wyników całego szeregu obliczeń symulacyjnych (testowych) umożliwiających ich weryfikację.

Do testowania prognozy deformacji wykorzystano wyniki pomiarów geodezyjnych, prowadzonych z różną dokładnością i w różnych okresach istnienia kopalni, przedstawione w postaci map oraz zestawień tabelarycznych. Część z nich obejmowała nawet pięćdziesięcioletnie okresy od początku eksploatacji. Najwięcej informacji dotyczyło osiadań w okresach od 1926 – 1976 oraz od 1953 – 1976. Ostatnie wyniki pomiarów obejmujących duże obszary i długie okresy obejmowały jeszcze lata 1900 - 1982. Były to wyniki pomiarów aerofotogrametrycznych. W okresie późniejszym wykonywano już tylko pomiary niwelacyjne obejmujące niewielkie obszary lub punkty rozmieszczone w lokalnych liniach pomiarowych [5].

Po uwzględnieniu wszystkich dostępnych wyników pomiarów [1, 3, 4, 5] i przeprowadzeniu całego szeregu obliczeń testowych stwierdzono, że najbardziej wiarygodne wyniki daje prognoza, w której kąt rozproszenia wpływów głównych wynosi  $\beta = 61^{\circ}$ , zaś wartości współczynnika osiadania wynoszą:

$a = 0,9$  dla rejonów o bardzo intensywnej eksploatacji, gdzie powstały zapadliska oraz dla komór mających stwierdzone połączenia hydrauliczne między sobą,

$a = 0,7$  dla wszystkich pozostałych komór.

W omawianej prognozie przyjęto, że każda wylugowana komora miała kształt walca ze współczynnikiem kształtu 0,6, była symetryczna względem otworu, a jej objętość wyrażona w  $m^3$  wynosiła  $V = 0,559 \cdot Q$ , gdzie  $Q$  oznacza wydobyte soli w tonach przypisane danemu otworowi [1, 3].

Do przeprowadzenia obliczeń wykorzystano program BKb, jeden z programów biblioteki NIECKA opracowanej przez dr inż. J. Flisiaka. Umożliwia on prognozowanie, w oparciu o teorię Budryka – Knothego deformacji powierzchni terenu oraz wnętrza górotworu powstałych na skutek wyeksploatowania dowolnej liczby obszarów.

Wyniki omawianej prognozy osiadań końcowych (ostatecznych), czyli możliwych do ujawnienia się po czasie nieskończenie długim przedstawiono na rys. 3.1 w postaci mapy izolinii wykonanej w układzie geodezyjnym. Naniesiono na niej lokalizację otworów eksploatacyjnych, zarys obszaru i terenu górniczego, lokalizację ulic i filarów ustanowionych dla ich ochrony oraz przebieg linii określających filar graniczny, a także zarys wysypiska odpadów komunalnych (linia koloru granatowego) podzielonego na trzy części.

Z przedstawionej prognozy osiadań wynika, że na skutek przeprowadzonej eksploatacji na powierzchni terenu, wewnątrz OG powstanie sześć centrów obniżeniowych. Cztery z nich zlokalizowane są w polu Centralnym, jedno w polu Soboniowice i jedno wydłużone w polu



Pagory. Wszystkie pokrywają się z rejonami największych osiadań wykazanymi na omówionych uprzednio mapach osiadań wykorzystywanych do testowania prognoz.

Największe prognozowane osiadania o wartości do 19 m wystąpiły w polu Centralnym, w rejonie początków eksploatacji, czyli w pobliżu zachodniej granicy II etapu składowania odpadów. W tym rejonie w przeszłości występował rozległy staw o powierzchni ponad 20000 m<sup>2</sup> i pojemności ponad 120000 m<sup>3</sup> [6]. Drugie centrum obniżeniowe o osiadaniach dochodzących do 13 m występowało we wschodniej części pola Centralnego, a trzecie o osiadaniach nieco powyżej 7 m w północnej części tego pola. Wszystkie te rejony są obecnie zasypane odpadami komunalnymi (I i II etap). W ostatnim centrum obniżeniowym pola Centralnego, w jego północno-zachodniej części, prognozowane osiadania mogą dochodzić do około 6,5 m, a we wschodniej części III etapu składowania odpadów przekraczają nieco 5 m.

Maksymalne prognozowane osiadania w polu Pagory przekraczają nieco 8 m i 6 m, i występują w rejonach zapadlisk powstałych w roku 1974 oraz 1981. W jedynym centrum obniżeniowym pola Słonecznego osiadania maksymalne mogą przekraczać 6 m.

Na podstawie szczegółowej analizy geomechanicznej wpływu przeprowadzonej eksploatacji na powierzchnię i porównaniu osiadań udokumentowanych na mapach z przedstawioną prognozą osiadań końcowych (ostatecznych) stwierdzono, że w znacznej części obszaru górniczego wartości osiadań są już bliskie stanu końcowego. Tak jest w północno-zachodniej części obszaru przeznaczanego pod składowanie odpadów w III etapie rozbudowy składowiska, w północno-wschodniej części pola Pagory, gdzie w 1974 r. powstało rozległe zapadlisko oraz w północnej części pola Soboniowice, z wyjątkiem strefy przyległej do granic obszaru pod III etap składowiska. Za bliskie stanu końcowego uznano także osiadania na terenie, gdzie składowano odpady w I i II etapie rozbudowy składowiska odpadów komunalnych. W pozostałych rejonach deformacje jeszcze przebiegają, a ich intensywność jest różna. Zakończenia osiadań, w zależności od rejonu, należy oczekiwać po upływie od około 40 do około 150 lat.

Deformacje przejawiające się nadal na powierzchni terenu wywołują także zmiany w obrębie składowiska. W ogólnym przypadku to jednak składowanie odpadów wpływa na stan nadkładu i stan pozostałych jeszcze komór poeksploatacyjnych. Na skutek dociążenia nadkładu złoża i filarów międzykomorowych wywołany obciążeniem powierzchni grubą warstwą odpadów, nastąpiła intensyfikacja osiadań, przejawiająca się wyciskaniem solanki poprzez nie zlikwidowane otwory i powstałe zapadliska. Powiększyły się także osiadania powierzchni z powodu konsolidacji nadkładu. Te wzajemne wpływy mogą doprowadzać do uszkodzenia infrastruktury wysypiska (rury, studzienki, rowy odwadniające itp.).

## **5. Kierunki zagospodarowania terenu górniczego**

### **5.1 Rejony o największej degradacji powierzchni**

W przeszłości niezbyt wielką uwagę zwracano na ochronę środowiska. Prawdopodobnie aż do powstania pierwszych zapadlisk nie w pełni zdawano sobie także sprawę ze skali możliwych negatywnych skutków eksploatacji.

Skutkiem przeprowadzonej eksploatacji były deformacje powierzchni terenu przede wszystkim o charakterze ciągłym. W urozmaiconym krajobrazie (deniwelacje powierzchni do 100 m) osiadania ciągle nawet rzędu kilku metrów mogły być niezauważalne, a ich wpływ na środowisko był nieznaczny. W niecce ciągłej największe zniszczenia na powierzchni spowodowane były przygotowaniem terenu do przeprowadzenia wierceń (wyrównywanie terenu, wykonywanie osadników na płuczkę, wiercenia, pozostawianie zasolonej płuczki itp.) oraz

zanieczyszczeniami technologicznymi (wycieki, próbne pompowania, nieszczelności rur i zbiorników, okresowe awarie itp.). Słone wycieki występujące jednorazowo były splukiwane samoczynnie przez deszcze. Wycieki stałe powodowały zniszczenie roślinności.

Najbardziej niekorzystnie na otoczenie wpływały zapadliska i lokalne niecki obniżeniowe ciągle ale głębokie oraz niekontrolowane wycieki solanki na powierzchnię lub do warstw przypowierzchniowych. W większości powstałych zapadlisk i głębokich niecek zbierała się solanka lub woda tworząc lokalne stawki. W *Projekcie likwidacji...* [5] zaznaczono łącznie 41 zapadlisk powstałych w całym okresie eksploatacji, a w 20 z nich na trwale zatrzymywała się woda. 16 zapadlisk powstało we wschodniej i środkowej części pola Centralne i niemal we wszystkich zatrzymywała się woda. Te lokalne obniżenia, dochodzące we wschodniej części pola nawet do 13 m, oraz spękania i szczeliny powstałe na skutek dużych odkształceń poziomych spowodowały na dodatek wystąpienie procesów osuwiskowych. Tak, więc teren sprawiał wrażenie niedostępnego i wymagał poniesienia olbrzymich nakładów na jego rekultywację. W innych rejonach zarówno deformacje powierzchni jak i degradacja terenu były znacznie mniejsze.

Od 1974 roku na terenie wschodniej części pola Centralnego, w rejonie kilku powstałych zapadlisk rozpoczęto składowanie odpadów komunalnych. Składowisko rozprzestrzeniło się i obejmuje obecnie kilkadziesiąt ha terenów. Teren, w którym składowano odpady w pierwszym okresie został już zrehabilitowany i w niczym nie przypomina krajobrazu księżycowego sprzed roku 1974. Obecnie składowanie odpadów prowadzone jest na terenie II etapu rozbudowy składowiska. Ze względu na zbliżanie się do granicy pojemności części II, pod III etap rozbudowy składowiska przeznaczono teren o powierzchni około 10 ha zlokalizowany w zachodniej części pola Centralnego. Projekt zagospodarowania tego obszaru został przyjęty do realizacji. Szacuje się, że przy dobrej organizacji i wstępnym sortowaniu odpadów ta część składowiska może być eksploatowana jeszcze przez ponad 25 lat (rys. 3.1).

Należy dodać, że chociaż składowisko odpadów komunalnych jest dobrym sposobem wykorzystania bardzo silnie zdegradowanego terenu, to w okresie czynnego użytkowania składowiska w znacznym stopniu wpływa ono na pogorszenie warunków środowiska poprzez odcieki, gazy i odory. Specjalne techniki składowania z wykorzystaniem środków chemicznych, przesypywanie warstw odpadów gruntami, oczyszczanie ścieków i wykonywanie pasa zieleni izolacyjnej wokół składowiska zmniejszają w znacznym stopniu odczucie uciążliwości jego istnienia.

### **5.2 Kierunki rekultywacji innych rejonów w obrębie terenu górniczego kopalni „Barycz”**

Przywracanie wartości użytkowych terenom górniczym związane jest zazwyczaj z dużymi nakładami finansowymi. Racjonalny wybór kierunku i metod rekultywacji terenów pogórnich jest warunkowany m.in. ukształtowaniem powierzchni oraz rodzajem i stopniem degradacji lub dewastacji gleby. Niezbędne jest także uwzględnienie sposobu użytkowania powierzchni przed przejściem jej pod działalność górnictwa, aktualne i perspektywiczne zapotrzebowanie społeczno-gospodarcze oraz inne czynniki wynikające ze specyfiki danego terenu.

W obrębie aktualnego terenu górniczego występowały wcześniej obszary leśne (głównie pole Soboniowice) oraz użytki rolne. Gleby tego rejonu należą do średnio próchnicznych i charakteryzują się korzystnymi właściwościami fizycznymi i chemicznymi. Według klasyfikacji bonitacyjnej były one zaliczone do klas od III do V, przy zdecydowanej przewadze klasy III. Są to, zatem gleby o wysokich zdolnościach produkcyjnych.

Istniejące od 1974 roku składowisko odpadów komunalnych, pozwoliło na specyficzne zagospodarowanie części najbardziej przekształconych i zdegradowanych terenów poeksploatacyjnych (etap I, II i III składowiska) ale poprzez pogorszenie stanu środowiska (odcieki, odory) wpłynęło na zmniejszenie atrakcyjności rejonu i ukierunkowanie rekultywacji pozostałego terenu. W najbliższym sąsiedztwie składowiska już został wykonany pas zieleni izolacyjnej z drzew i krzewów, o szerokości 35-65 m.

Rzeźba terenu, rodzaj i jakość gleb tego obszaru oraz stopień i zakres ich degradacji na skutek eksploatacji, a także uwarunkowania związane z występowaniem czynnego wysypiska odpadów komunalnych w centralnej części obszaru niejako wymusiły realizację dwóch głównych kierunków rekultywacji: leśnego i rolnego.

Kierunek leśny powinien być realizowany:

- w strefie wpływu składowiska odpadów i prowadzącej do niego drogi (duże nasilenie ruchu ciężkich samochodów),
- na powierzchniach wykazujących znaczne nachylenie, utrudniające efektywną gospodarkę rolną,
- na powierzchniach zagrożonych deformacjami poeksploatacyjnymi,
- w przypadku występowania pola poeksploatacyjnego w obszarze leśnym.

Do realizacji kierunku rolnego predysponowane są pozostałe fragmenty obszaru górniczego, za wyjątkiem rejonów podtopionych. W rejonach gdzie powierzchnia terenu wykazuje nachylenie około 10 % preferuje się użytkowanie pastwiskowe, natomiast przy mniejszym nachyleniu sposób użytkowania może być dowolny (użytek zielony, grunt orny). Wybór kierunku rolnego rekultywacji musi uwzględniać rzeczywiste zapotrzebowanie na gleby uprawne w tym rejonie (możliwość ich zbycia). Nie warto przeprowadzać rekultywacji o kierunku rolnym, jeżeli nie będzie chętnych do uprawy roli.

Specyficzną formą rekultywacji i zagospodarowania może i powinien być objęty kilkuhektarowy obszar w północno-wschodniej części terenu górniczego, wokół zbiornika wodnego Staw Szlachetny oraz teren podtopiony wzdłuż północnej części cieką Malinówka. Istniejący tam zbiornik wodny powinien pozostać, a dla terenów w jego pobliżu można przyjąć rolniczy kierunek rekultywacji o charakterze łąkowym.

Pole Słoneczne zostało już zrehabilitowane w przeszłości i przekazane Gminie Wieliczka. Ze względu na konfigurację powierzchni rekultywacja prowadzona tu była pod kątem łąkowo – pastwiskowego kierunku użytkowania tego terenu.

W obrębie wpływów pola eksploatacyjnego Pagory występują cztery kategorie terenu różniące się stopniem i charakterem przekształceń. W części wschodniej o powierzchni około 12 ha teren jest w przeważającej części użytkowany rolniczo. Część środkową tego pola o powierzchni około 8 ha także należy zrehabilitować pod kątem zagospodarowania rolnego.

Na lokalnym wyniesieniu i stokach opadających w kierunku cieką Malinówka o łącznej powierzchni około 9 ha należy uformować zbocze o odpowiednim nachyleniu, a skarpy i półki obsadzić roślinnością drzewiasto – krzewiastą.

Czwarta kategoria terenu to specyficzne, silnie podtopione rejony wzdłuż cieką Malinówka i zbiornika wodnego Staw Szlachetny, wspomniane wyżej. Wskazaniem jest pozostawienie zbiornika wodnego, zaś dla terenów w jego pobliżu można przyjąć rolniczy kierunek rekultywacji o charakterze łąkowym.

W obrębie pola Centralne – Zachód przekształcenia powierzchni charakteryzują się najmniejszymi zmianami. Pozwala to na swobodny wybór kierunku zagospodarowania, a *ostateczna decyzja powinna jedynie uwzględniać zainteresowanie społeczności lokalnej uprawą*

*rolną*. W przypadku braku zainteresowania można rozszerzyć założony już pas roślinności izolacyjnej.

Tereny poeksploatacyjne pola Soboniowice znajdują się w kompleksie leśnym, stąd oczywistą jest realizacja leśnego kierunku rekultywacji. Teren wykazuje tu niewielkie nachylenie i różnej wielkości deniwelacje. Główne prace rekultywacyjne to uporządkowanie rzeźby terenu, uregulowanie stosunków wodnych oraz nawożenie, przygotowanie powierzchni pod nasadzenia i przeprowadzenie nasadzeń.

Przeciętne koszty rekultywacji obszarów zlokalizowanych poza psem zieleni ochronnej wysypiska szacuje się na około 5 – 15 tysięcy złotych za hektar.

## **6. Wnioski**

1. Na skutek prowadzenia intensywnej i nieco chaotycznej eksploatacji złoża soli o dużej zmienności metodą otworową bez ochrony stropu powstały deformacje górotworu nadkładu o charakterze ciągłym i nieciągłym (zapadliskowym). Powstanie rozległych zapadlisk o głębokości do kilkunastu metrów, w których zbierała się woda i rozcieńczona solanka oraz szczeliny, spękania i lokalnych osuwisk spowodowało bardzo silną degradację powierzchni terenu.

2. Występowanie bardzo silne zdegradowanego terenu, brak środków finansowych na rekultywację oraz potrzeby miasta spowodowały, że część obszaru górniczego została wykorzystana do składowania odpadów komunalnych miasta Krakowa. Kopalnia „Barycz” udostępniając miejsce scedowała koszty rekultywacji najbardziej zdegradowanego terenu na użytkownika składowiska odpadów. Rekultywację pozostałych terenów kopalnia przesunęła w czasie o 25 lat, aż do okresu likwidacji kopalni.

3. W innych rejonach terenu górniczego „Barycz” możliwe było zastosowanie dwóch głównych kierunków rekultywacji: rolnego i leśnego. Wybór kierunku rolnego musi uwzględniać rzeczywiste zapotrzebowanie na gleby uprawne w danym rejonie. Nie warto przeprowadzać rekultywacji o kierunku rolnym, jeżeli nie ma chętnych do uprawy roli. Wybór kierunku leśnego spowoduje zmniejszenie uciążliwości związanych z istnieniem składowiska.

Praca powstała w ramach badań statutowych

## **Literatura**

- [1] Mazurek J., Gonet A., Stryczek S. 1996: Możliwości zwiększenia wydobycia soli przez zastosowanie eksploatacji tunelowej. Materiały VII Międzynarodowej Konferencji Naukowo - Technicznej pt. Nowe Metody i Technologie w Geologii Naftowej, Wiertnictwie, Eksploatacji Otworowej i Gazownictwie. Kraków.
- [2] Mazurek J., Gonet A., Stryczek S. 1997: Tunnel Exploitation of Deposit in Wieliczka Salt Mine. MEETING PAPER, SOLUTION MINING RESEARCH INSTITUTE (Illinois USA), Cracow.
- [3] Prognoza odkształceń terenu i stabilności geotechnicznej gruntu w polu Pagory - rejon Staw Szlachetny. Praca zbior. Zespołu AGH. Maszynopis. Kraków 1993r.
- [4] Mazurek J., Flisiak J., Flisiak D. 1995: Wyznaczenie filara ochronnego dla ulic Lipowej i Krzemienieckiej położonych nad złożem Barycz oraz określenie warunków eksploatacji obrębie filara. Maszynopis. Bibl. Katedry Geomechaniki Górniczej i Geotechniki AGH. Kraków.
- [5] Projekt likwidacji kopalni otworowej Barycz. Praca zbiorowa pod kier. prof. A. Tajdusia. Maszynopis. Bibl. Katedry Geomechaniki Górniczej i Geotechniki AGH. Kraków 1999.
- [6] Dokumentacja hydrogeologiczna złoża soli „Barycz” – stan na grudzień 1996 r. – dla potrzeb projektu likwidacji kopalni. Maszynopis. Praca zbiorowa OBR GSChem. „Chemkop” pod kier. J. Gołdy. Kraków, lipiec 1997 r.

- [7] Flisiak J., Mazurek J., Tajduś A. 1992: Wyznaczanie parametrów teorii Budryka - Knothego dla polskich kopalń siarki. *Górnictwo*, rok 16, z. 4.

### **The rock mass deformations and the ways of development of the area degraded by hole exploitation of salt in Barycz Mine**

The hole exploitation salt in the Barycz mine (started in 1924) resulted in continuous and discontinuous (cavity) rock mass deformations. The most degraded, central part of the surface is covered by extensive and deep cavities filled up by unsaturated brine. This central part was utilised for waste disposal for Krakow. For now it's the biggest and well developed waste disposal in Poland. The other, less degraded, parts of the mine are intended to be reclamation areas for the forest and agriculture.

*Przekazano: 27 marca 2001*