

*Jakub Mazurek\**

## DEFORMACJE POWIERZCHNI W OTWOROWEJ KOPALNI SOLI „BARYCZ” W LIKWIDACJI. CZY MOGĄ JESZCZE POWSTAĆ ZAPADLISKA?

---

### 1. Wstęp

Złoże soli kamiennej „Barycz” eksploatowane metodą otworową w latach 1924–1998, 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 rysunku 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. Kotliny 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. Pomimo dużej zmienności budowy geologicznej i złożonych warunków geologiczno-górniczych wydobyto łącznie ponad 10,5 miliona ton soli, a wykorzystanie zasobów geologicznych dla całego złoża wynosiło średnio 20%. Od ponad 9 lat nie prowadzi się eksploatacji, a od stycznia 1999 r. Kopalnia „Barycz” jest w stanie likwidacji [4].

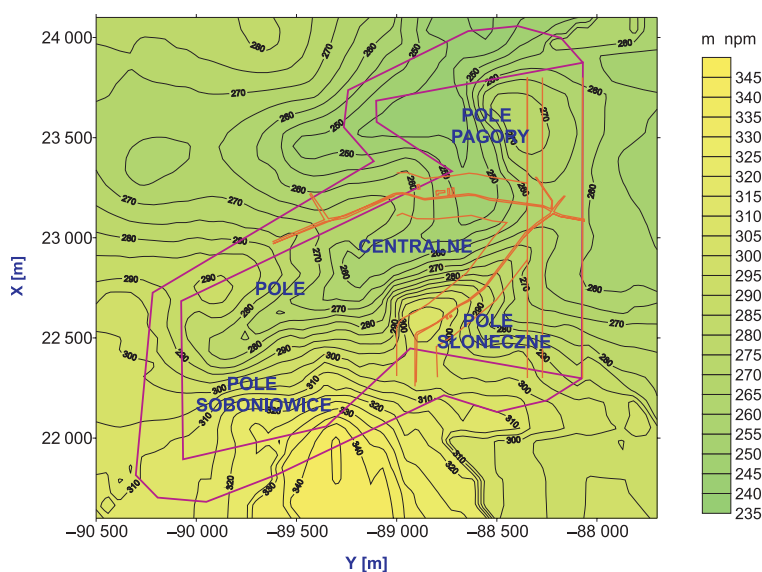
Niemożność wpływania na przebieg procesu ługowania komór przy stosowanej technologii oraz niekontrolowana, a okresowo chaotyczna eksploatacja w niektórych rejonach, oprócz deformacji o charakterze ciągłym spowodowała powstanie całego szeregu lokalnych zapadlisk i silne zdegradowanie powierzchni terenu.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

---

\* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

dów 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 [1].

W artykule przedstawiono zarys budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych, omówiono historyczny zarys przebiegu eksploatacji, deformacje górotworu i powierzchni terenu spowodowane eksploatacją oraz sposób zagospodarowania zdegradowanego terenu. Ponieważ od całkowitego zakończenia eksploatacji upłynęło 9 lat, ale w niektórych rejonach eksploatację zakończono 30, 50, a nawet 80 lat temu, w obrębie terenu pogórniczego Kopalni „Barycz” w likwidacji wskazano rejony, gdzie procesy deformacyjne już uległy zakończeniu albo są bliskie zakończenia. Przedstawiono łączną prognozę deformacji, jakie wystąpiły do 2000 roku i jakie mogą wystąpić w przyszłości. Wskazano także rejony, gdzie należy oczekiwać występowania deformacji powierzchni charakteryzowanych dużymi wartościami wskaźników  $w$ ,  $T$  i  $\epsilon$ .



Rys. 1. Mapa ukształtowania powierzchni terenu z zarysem OG i TG oraz lokalizacją ulic i filarów

## 2. Zarys budowy geologicznej i warunki hydrogeologiczne

Budowa geologiczna złoża soli „Barycz” została omówiona w [6] oraz w Projekcie likwidacji Kopalni „Barycz” [4]. Poniżej zamieszczono jedynie opis najistotniejszych ele-

mentów 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 Wieliczkce i jej najbliższym sąsiedztwie dzieli się na rejon — odcinki stanowiące jakby trzy oddzielne złoża: „Barycz”, „Wieliczka” i „Sułków”.

W budowie geologicznej złoża soli „Barycz” i jego otoczenia udział biorą [6]:

- 1) **Utwory jurajskie** stanowiące podłoże dla utworów formacji solonośnej zbudowane z twardych i zbitych wapieni skalistych, spękanych i pociętych uskokami na bloki.
- 2) **Utwory kredowe** wykształcone w postaci łupków pstrych, szarych i szarzielonych przeławiconych 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.
- 3) **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 złożo 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 ilowca 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 ilowców anhydrytowych stropowych o średniej miąższości około 10 m;
  - warstwy chodenickie (nadsolne) o miąższości około 150 m reprezentowane przez iły, ilowce, mułowce, margle oraz piaskowce drobnoziarniste stanowiące nadkład w północnej części złoża;
  - warstwy grabowieckie jako piaski bogucickie zalegają niezgodnie na warstwach chodenickich.
- 4) **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. Lokalnie wody tu 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 lugowanie 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 uławiczenia nie był możliwy [6].

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

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

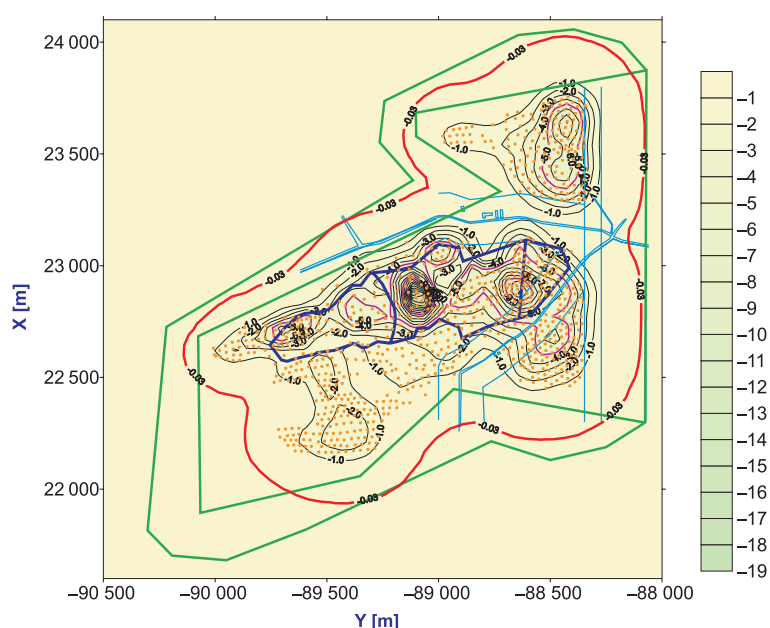
Złoże soli kamiennej „Barycz” zostało odkryte pod koniec XIX w. Historycznie cały obszar działalności górniczej na złożu soli „Barycz” został podzielony na cztery pola eksploatacyjne, których przybliżoną lokalizację przedstawiono na rysunku 1. O sposobie podziału decydowały głównie morfologia i hydrografia terenu, kwestie własności gruntów, uzbrojenie i baza techniczna terenu oraz sąsiedztwo kopalni Wieliczka:

- 1) 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 80. i na początku 90.
- 2) 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.
- 3) Pole Soboniewice było eksploatowane od 1962 do 1998 r. Obejmuje obszar o powierzchni około 10 ha, usytuowany na północnym zboczu wzniesienia Soboniewice, 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 [2, 4, 5].
- 4) 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 za-

legania jego stropu wynosiła około 210÷280 m. Nadkład w tym polu stanowiły utwory warstw chodenickich, a w stropie bezpośrednim niemal w całym polu występowały związane piaskowce o miąższości średniej około 5 m [6, 4].

### 3.2. Prace eksploatacyjne w początkowym okresie

Rozmieszczenie otworów eksploatacyjnych w poszczególnych polach, na tle prognozowanych osiadań, przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Mapa osiadań końcowych (ostatecznych) wraz z lokalizacją ważniejszych obiektów, otworów eksploatacyjnych oraz zarysem OG i TG

Eksploatację solanki rozpoczęto w roku 1924. W roku 1930 pracowało ponad 50 otworów, a w latach 1931–1945 odwiercono kolejne 82 otwory w polu Centralnym. Solankę uzyskiwaną z otworów firma *Solvay* wykorzystywała do produkcji sody.

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", cementowanych z górotworem otaczającym i doprowadzających wodę oraz zespołem rur wolnowiszających o średnicy 3,5" odprowadzających solankę, niemal całkowicie uniemożliwiała wpływanie na kształt ługowanych komór.

Otwory eksploatacyjne były na ogół wiercone do spągu złoża. Siatka otworów eksploatacyjnych początkowo była nieregularna, później miała kształt prostokąta o boku 50÷80 m,

a następnie nieregularnych trójkątów. Od lat sześćdziesiątych złoża 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. Eksploatacja prowadzona była z przepływem ciągłym, w obiegu prawym lub lewym.

W pierwszym okresie, prawdopodobnie nie zdawano sobie sprawy z trudności i kłopotów oraz złożoności problemów geomechanicznych towarzyszących eksploatacji otworowej — stąd duża liczba zapadlisk powstałych w tamtym okresie. Eksploatacja z założenia prowadzona była aż do uzyskania planowanej produkcji, wynikającej z wymiarów sieci wierceń i zasobów przypisanych poszczególnym otworom. Z braku możliwości kierowania procesem ługowania eksploatacja niekiedy była przerywana wcześniej z powodu uszkodzenia rur eksploatacyjnych o średnicy 3,5", zasypania komory przez obwał stropu lub powstania zapadliska sięgającego do powierzchni terenu. Część otworów pozwalała uzyskać znacznie więcej soli niż wynikało to z przypisanych zasobów. Są otwory rekordowe, z których wydobyto nawet kilkanaście razy więcej soli, ale są też takie, z których wydobyto tylko nikły procent ich zasobów. W celu pozyskiwania solanki o odpowiednio wysokim nasyceniu (stężeniu), otwory łączono w zespoły po trzy – cztery 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.

W początkowym okresie istnienia kopalni opomiarowanie i udokumentowanie wydobywania z poszczególnych otworów było mało dokładne i niekompletne, a produkcja z 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.

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

Przełomem w prowadzeniu i geomechanicznym podejściu do eksploatacji otworowej było duże zapadlisko powstałe gwałtownie nocą 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 19 000 m<sup>2</sup>). Proces powstawania tego zapadliska był gwałtowny, a towarzyszyło mu wyrzucenie około 35 000 m<sup>3</sup> solanki oraz około 10 000 m<sup>3</sup> innych utworów nadkładowych [6]. Niemal natychmiast po wystąpieniu zapadliska jego cen-

tralna 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 silne skażenie środowiska [4]. W celu zabezpieczenia się przed podobnymi zdarzeniami w 1975 r. wykonano zbiornik awaryjny z groblą ziemną czołową i boczną o pojemności 30 000 m<sup>3</sup>. Negatywne skutki zapadliska spowodowały pozytywne skutki technologiczne: wprowadzono indywidualne opomiarowanie każdego otworu, opracowano i wprowadzono nowe zasady wyłączania otworów z eksploatacji oraz podjęto prace mające 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 największe 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 ostatnim okresie działalności Kopalni „Barycz” stosowano kontrolowaną eksploatację otworów połączonych, czyli tzw. eksploatację tunelową [1, 2].

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

### **4.1. Przebieg deformacji komór w górotworze solnym i dokumentacja osiadań powierzchni**

Otworowa eksploatacja złoża soli „Barycz” metodą podziemnego ługowania prowadzona była w latach 1924–1998. W tym czasie 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. Po zakończeniu eksploatacji średnie wykorzystanie złoża wynosiło około 20%.

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 [1].

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 ich wypełnienia i skonsolidowania rozluzowanego 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]. W całym tym okresie na powierzchni terenu pogórniczego mogą przebiegać deformacje,

a mogą także powstawać lokalne zapadliska. O możliwości zapadlisk świadczy powstanie dużego zapadliska w roku 2001 w zlikwidowanej kopalni otworowej Łęzkowice. Miało ono objętość około 89 tys. m<sup>3</sup>, średnicę 90 m i głębokość 90 m, a wystąpiło w odległości zaledwie kilkadziesiąt metrów od zabudowań gospodarskich [8].

Ponieważ od całkowitego zakończenia eksploatacji upłynęło 9 lat, ale w niektórych rejonach eksploatację zakończono 30, 50, a nawet 80 lat temu, postawiono tezę, że w obrębie terenu pogórniczego Kopalni „Barycz” w likwidacji są rejony, gdzie procesy deformacyjne już uległy zakończeniu albo są bliskie zakończenia.

W celu uzasadnienia tej tezy odszukano i wykorzystano:

- mapy osiadań obejmujące obszar całej kopalni, stanowiące wynik długoletnich, wielokrotnie ponawianych pomiarów niwelacyjnych oraz obserwacji fotogrametrycznych (3 różne mapy dokumentujące osiadania w okresie 23, 50 i 80 lat),
- wyniki pomiarów niwelacyjnych obejmujące repery rozproszone, punkty pomiarowe zastabilizowane wzdłuż lokalnych linii pomiarowych oraz grupy otworów (wzdłuż jednej z linii prowadzono pomiary przez 37 lat).

Dokumenty te szczegółowo omówiono w opracowaniu [5]. Posłużyły one do testowania prognozy deformacji ostatecznych, określenia deformacji, jakie wystąpiły do roku 2000 roku, oraz przedstawienia prognozy deformacji, jakie mogą wystąpić w przyszłości. Wskazano także rejony, gdzie należy oczekiwać występowania deformacji powierzchni charakteryzowanych dużymi wartościami wskaźników  $w$ ,  $T$  i  $\varepsilon$ .

#### **4.2. Wyniki prognozowania deformacji ostatecznych (końcowych)**

Wyniki prognozowania deformacji końcowych powierzchni, czyli takich, jakie mogą wystąpić po upływie nieskończonego czasu od zakończenia eksploatacji, oraz szczegółowe omówienie sposobu testowania współczynników i wiarygodności przedstawionych wyników omówiono w pracach [4, 1]. Poniżej zamieszczono jedynie te informacje, które uznano za niezbędne do poprawnego śledzenia dalszego ciągu artykułu.

Prognozowanie wielkości deformacji powierzchni terenu powstałych na skutek eksploatacji otworowej soli jest trudne. Nie znając kształtu, wymiarów i lokalizacji wylugowanych komór wprowadzane są bowiem założenia upraszczające. Niedokładności uproszczeń eliminuje się poprzez precyzyjne testowanie wyników prognoz.

Do prognozowania wpływów przeprowadzonej eksploatacji na powierzchnię terenu i ich zasięgu wykorzystano teorię Budryka–Knothe’go, stosowaną do prognozowania deformacji w Kopalniach „Wieliczka” i „Barycz” od lat 50. Wartości parametrów teorii w postaci kąta rozproszenia wpływów głównych oraz współczynników osiadania określono natomiast na nowo, na podstawie wyników pomiarów, informacji zawartych w opracowaniach i publikacjach dotyczących Kopalni „Barycz” oraz wyników obliczeń 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 omówione w poprzedniej części artykułu.



Po uwzględnieniu wszystkich dostępnych wyników pomiarów [1, 4–6] 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  $a = 0,7$  — dla wszystkich pozostałych komór. W 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, 4].

Do przeprowadzenia obliczeń wykorzystano program BKB, jeden z programów biblioteki NIECKA opracowanej przez dra 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 [4].

Wyniki omawianej prognozy osiadań końcowych (ostatecznych), czyli możliwych do ujawnienia się po czasie nieskończenie długim, przedstawiono na rysunku 2 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 podzielonego na trzy części.

Z przedstawionej prognozy osiadań wynikało, że na skutek przeprowadzonej eksploatacji na powierzchni terenu powstanie sześć lokalnych centrów obniżeniowych. Cztery z nich zlokalizowane są w polu Centralnym, jedno w polu Soboniowice i jedno wydłużone w polu Pagory. Wszystkie pokrywały 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, w którym rozpoczynano eksploatację. Potwierdzeniem poprawności prognozy był staw, jaki powstał w tym rejonie w przeszłości. Miał on powierzchnię ponad 2 ha, jego pojemność szacowano na ponad 120 000  $m^3$ , a lokalnie pomierzona głębokość wynosiła około 21 m [6]. W polu Pagory maksymalne prognozowane osiadania przekraczały nieco 8 i 6 m, i wystąpiły w rejonach zapadlisk powstałych w latach 1974 oraz 1981. Głębokość zapadliska z roku 1974 została potwierdzona pomiarami bezpośrednimi [6]. Powstanie najmniejszych osiadań, bo jedynie nieco powyżej 2 m, prognozowano w południowej części pola Soboniowice.

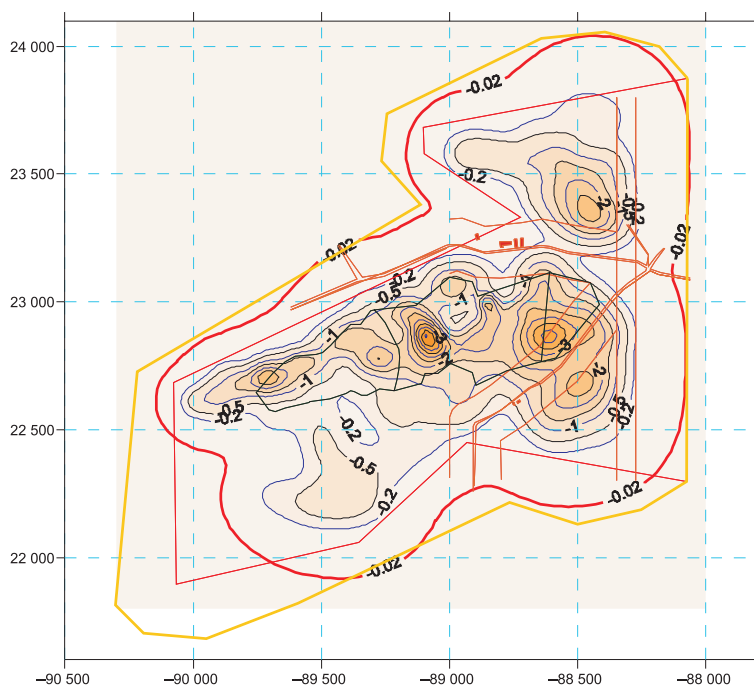
## **5. Prognoza wpływów na powierzchnię dla potrzeb zagospodarowania terenu. Jakie deformacje po roku 2000?**

Opracowując nową prognozę deformacji i wskaźników deformacji, z jakimi możemy jeszcze mieć do czynienia na powierzchni terenu poeksploatacyjnego Kopalni „Barycz” w likwidacji, w pierwszej kolejności określono różnice osiadań pomiędzy prognozą ostateczną

(rys. 2), a wynikami pomiarów udokumentowanymi na mapach omawianych w podrozdziałach poprzednich. Wykorzystano także informacje o prędkości przebiegu osiadań w różnych rejonach, wyniki pomiarów w lokalnych liniach geodezyjnych, wyniki wizji lokalnych itp. Do oszacowania osiadań w rejonach, gdzie w okresie 1976–1996 nie było wyników pomiarów, zastosowano także metodę analogii.

Do przedstawienia prognozy, tak jak uprzednio, wykorzystano teorię Budryka–Knothe'go i program obliczeniowy BKb. Dysponując prognozą osiadań ostatecznych (części 4.2 artykułu) oraz różnicami pomiędzy tą prognozą a wynikami pomiarów osiadań udokumentowanymi na omawianych uprzednio mapach osiadań zamieszczonych w pracach [1, 4, 5], wynikami osiadań w liniach pomiarowych, wynikami pomiarów wyrastania otworów w rejonach eksploatowanych w przeszłości, a także stosując metodę analogii, stworzono wiarygodny obraz niecki osiadania, jaka może jeszcze powstać w tym terenie licząc od roku 2000.

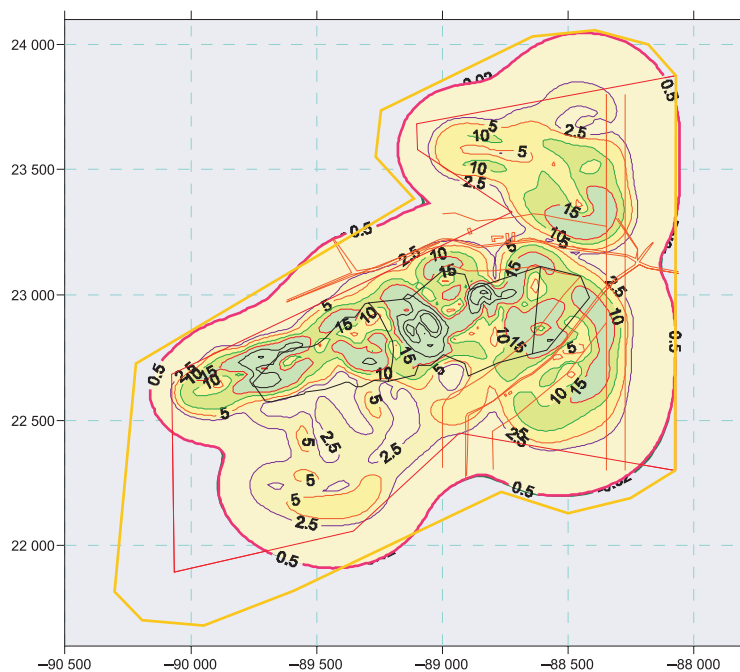
W obliczeniach programem BKb założono, że współczynnik osiadania otworów zapadliskowych wynosił  $0,0 \div 0,1$ , zaś otworów w sąsiedztwie zapadlisk  $0,1 \div 0,2$ . W rejonach, gdzie eksploatację zakończono w odległej przeszłości lub znane były skutki eksploatacji na powierzchni, współczynnik ten miał wartość  $0,2 \div 0,3$ . W rejonach eksploatacji prowadzonej jeszcze w latach 90., gdzie nie było żadnych wyników pomiarów geodezyjnych, zastosowano współczynnik  $0,4 \div 0,5$ .



**Rys. 3.** Prognoza przyrostu osiadań, jakie mogą jeszcze wystąpić od roku 2000. Na rysunku naniesiono zarzysy wysypiska odpadów komunalnych, ulic i filarów oraz OG i TG

Prognozowane wartości osiadań, jakie powstaną na powierzchni terenu Kopalni „Barycz” w likwidacji, przedstawiono na rysunku 3, a prognozowane wartości nachyleń na rysunku 4. W opracowaniu [5] zamieszczono także prognozę odkształceń powierzchni terenu. W przedstawionej prognozie przyjęto, że w polu Pagory stopień wypełnienia komór w rejonie Tomana będzie wynosił 50%.

Na rysunku 3 naniesiono warstwicę osiadań o wartości  $-0,02$  m. Z przeprowadzonych analiz wynikało, że warstwica ta prawie na całej długości znajduje się wewnątrz linii ograniczających teren górniczy. Z rysunku 4 przedstawiającego prognozę nachyleń, na które nałożono warstwicę osiadań  $-0,02$  m wynikało, że warstwica ta niemal pokrywa się z izoliną nachyleń o wartości  $0,5$  mm/m. W pracy [5] zamieszczono także mapę prognozowanych odkształceń poziomych, na której zaznaczono izolinię odkształceń o wartości  $0,3$  mm/m. Ta izolinia także niemal pokrywa się z warstwicą osiadań  $-0,02$  m. Takie wartości nachyleń i odkształceń określają górną granicę zerowej kategorii terenu ze względu na zabudowę.



**Rys. 4.** Prognoza nachyleń maksymalnych jakie mogą wystąpić po roku 2000. Izolinie osiadań  $-0,02$  m i nachyleń  $0,5$  mm/m niemal na całej długości pokrywają się

Z przedstawionej prognozy osiadań końcowych, jakie po roku 2000 mogą powstać na powierzchni terenu górniczego Kopalni „Barycz” w likwidacji, wynika możliwość wystąpienia sześciu lokalnych centrów obniżeniowych, ale o niezbyt dużych wartościach osiadań. Trzy lokalne centra powstaną w rejonie zajęтым przez wysypisko odpadów komunal-

nych, we wschodniej i środkowej części pola Centralne z osiadaniami do 4 m oraz w części zachodniej z osiadaniami do 3 m. W południowej części pola Pagory oraz w rejonie filara ulicy Lipowej, która przebiega przez pole Słoneczne, osiadaniami mogą dochodzić do 2,5 m. W południowej części pola Soboniewice osiadaniami mogą nieznacznie przekraczać 0,5 m.

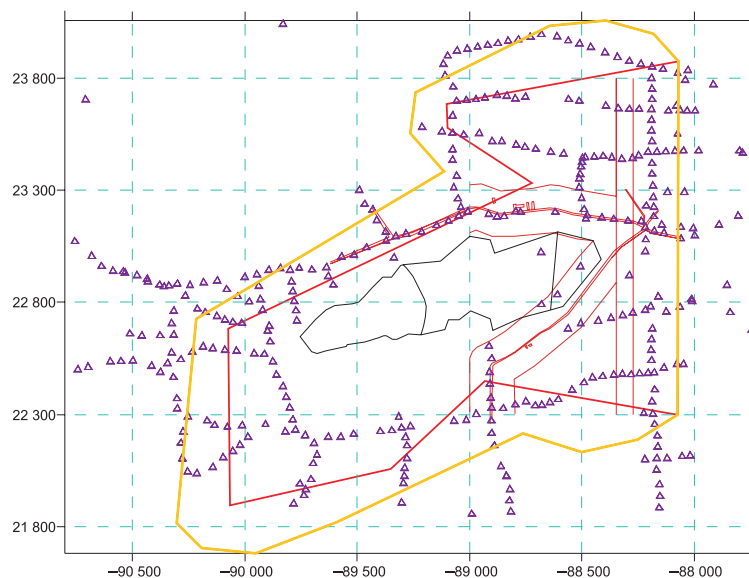
Przebieg procesów deformacyjnych w rejonach największych osiadań może być bardzo powolny i ciągły, ale lokalnie może mieć też charakter gwałtowny (zapadliskowy). Z przeprowadzonych obliczeń i analiz oraz dotychczasowych doświadczeń wynika, że w obrębie terenu górniczego Barycz istnieje jeden rejon potencjalnie zagrożony powstaniem zapadliska; jest to tzw. rejon Tomana w południowo-wschodniej części pola Pagory. Nie można także całkowicie wykluczyć wzrostu tempa osiadania terenu i zagrożenia powstaniem deformacji nieciągłych w pobliżu filara ulicy Lipowej w polu Słoneczne oraz w rejonie północno-zachodniej granicy III etapu składowiska w polu Centralne.

Z układu izolinii nachyleń i odkształceń poziomych przedstawionych w prognozie wynika [5], że niemal w całym obszarze zawartym pomiędzy liniami ograniczającymi były teren i były obszar górniczy mogą jeszcze wystąpić deformacji o wartościach charakterystycznych dla I kategorii terenu górniczego. Dalej w kierunku środka byłego obszaru górniczego i centrum niecki osiadania, wskaźniki deformacji wzrastają osiągając wartości charakterystyczne dla IV i V kategorii.

## **6. Zespół reperów pomiarowych i pomiary przemieszczeń od roku 1996**

Na powierzchni terenu Kopalni „Barycz” w likwidacji w różnych okresach zastabilizowano kilkaset reperów obserwacyjnych wykorzystywanych do prowadzenia pomiarów. Były to repery rozproszone oraz punkty rozmieszczone w liniach pomiarowych o różnej długości. Wykorzystywano je do wykonywania systematycznych pomiarów, z których część była podstawą do sporządzenia wspomnianych już wyżej map osiadań, a także do prowadzenia pomiarów lokalnych o znacznie niższej randze. Linia pomiarowa Krzyszkowice – Barycz zlokalizowana w polu Pagory, zawierająca 40 punktów pomiarowych, obserwowana była przez 37 lat.

Przed zakończeniem eksploatacji i rozpoczęciem likwidacji kopalni uporządkowano system zbierania danych pomiarowych. Większość reperów istniejących w przeszłości została odszukana, a repery zniszczone wznowiono. Repery rozmieszczone w liniach pomiarowych zagęszczono, aby możliwe było precyzyjne określanie osiadań, nachyleń i odkształceń w powoli pogłębiającej się niecce deformacyjnej. Do precyzyjnego śledzenia deformacji w obrębie wschodniej części składowiska odpadów, kilka metrów pod powierzchnią aktualnego terenu, zainstalowano trzy repery wgłębne, związane z naturalną powierzchnią terenu. Pomiary mające na celu określenie położenia wszystkich reperów są wykonywane systematycznie co pięć lat, począwszy od roku 1996 [5]. Schemat rozmieszczenia sieci punktów pomiarowych w obrębie byłego terenu górniczego przedstawia rysunku 5.



**Rys. 5.** Schemat rozmieszczenia reperów pomiarowych w Kopalni „Barycz” w likwidacji. Na rysunku zamieszczono zarys OG i TG, zarys dróg i filarów oraz składowiska odpadów

Z analizy osiadań zamieszczonych w opracowaniu [5] wynika, że tempo wzrostu osiadań generalnie maleje. We wschodniej części pola Centralne, w okresie 2000–2005 prędkość osiadań wynosiła około 35 mm/rok, zaś w polu Pagory średnia prędkość osiadań wynosiła około 28 mm/rok. W innych rejonach prędkości osiadań były mniejsze.

## 7. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

- 1) Wykorzystując program obliczeniowy BKb, przedstawiono wiarygodną prognozę niecki osiadania, jaka może jeszcze powstać po roku 2000. Określono także maksymalne wartości nachyleń i odkształceń poziomych, czyli wskaźników deformacji wykorzystywanych do określania kategorii przydatności terenu do zabudowy.
- 2) Z analizy osiadań, nachyleń i odkształceń powierzchni zamieszczonych w [5] wynika, że w strefie pomiędzy granicą OG i TG wskaźniki deformacji przyjmują wartości charakterystyczne dla zerowej lub pierwszej kategorii przydatności terenu do zabudowy. W kierunku składowiska odpadów wskaźniki deformacji wzrastają osiągając wartości charakterystyczne dla IV i V kategorii.
- 3) Pomimo upływu niemal 10 lat od całkowitego zakończenia eksploatacji soli, a w niektórych rejonach nawet 50 lub 80 lat, wyniki prognozy wskazują, że największe osiada-

nia mogą osiągać jeszcze 2,5÷4 m. Wyniki pomiarów geodezyjnych wskazują, że w górotworze Kopalni „Barycz” w likwidacji nadal przebiegają procesy deformacyjne.

- 4) Dalszy przebieg procesów deformacyjnych może być bardzo powolny i ciągły, ale nie można wykluczyć, że lokalnie może mieć charakter gwałtowny (zapadliskowy). W obrębie terenu górniczego Barycz zagrożony powstaniem zapadliska jest tzw. rejon Tomana w południowo-wschodniej części pola Pagory. Nie można także całkowicie wykluczyć powstania zapadliska w pobliżu filara ulicy Lipowej w polu Słoneczne oraz w rejonie północno-zachodniej granicy III etapu składowiska w polu Centralne.

#### LITERATURA

- [1] *Mazurek J.*: Deformacje górotworu i sposób zagospodarowania terenu zdegradowanego na skutek otworowej eksploatacji soli w kopalni „Barycz”. Konferencja pod nazwą Warsztaty 2001 nt: Zagrożenia naturalne w górnictwie — Przywracanie wartości użytkowych terenom górniczym. Kraków, Wyd. IGSMiE PAN 2001
- [2] *Mazurek J., Gonet A., Stryczek S.*: Tunnel Exploitation of Deposit in Wieliczka Salt Mine. MEETING PAPER, SOLUTION MINING RESEARCH INSTITUTE (Illinois USA), Cracow, May 11–14 1997
- [3] *Mazurek J., Flisiak J., Flisiak D.*: Wyznaczenie filara ochronnego dla ulic Lipowej i Krzemienieckiej położonych nad złożem Barycz oraz określenie warunków eksploatacji w obrębie filara. Maszynopis. Bibl. Katedry Geomechaniki Górniczej i Geotechniki AGH 1995
- [4] Projekt likwidacji kopalni otworowej „Barycz”. Praca zbiorowa pod kier. prof. A. Tajdusia. Bibl. Katedry Geomechaniki Górniczej i Geotechniki AGH 1999 (maszynopis)
- [5] Aktualizacja prognozy deformacji powierzchni od Kopalni Otworowej „Barycz” w likwidacji. Praca zbiorowa pod kier. prof. A. Tajdusia. Maszynopis. Biblioteka Katedry Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki AGH 2006
- [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. Goldy. Kraków 1997
- [7] *Flisiak J., Mazurek J., Tajduś A.*: Wyznaczanie parametrów teorii Budryka–Knothe dla polskich kopalń siarki. *Górnictwo*, 16, 4, 1992
- [8] *Kortas G.*: Problemy ochrony powierzchni w polskim górnictwie solnym. Materiały XXVIII ZSMGiG — Geotechnika w budownictwie i górnictwie. Prace Naukowe Instytutu Geotechniki i Hydrotechniki PWr., 75, Szklarska Poręba 13–18 marca 2005