

Marek POZZI, Tadeusz MZYK  
Politechnika Śląska, Gliwice

## WIELOWARIANTOWA PROGNOZA DOPŁYWU WÓD DO ODKRYWKOWEJ KOPALNI WAPIENIA „STRZELCE OPOLSKIE”

**Streszczenie.** Konieczność prognozy dopływu wody podziemnej do kopalni odkrywkowej wynika przede wszystkim z określenia warunków bezpiecznej eksploatacji. Pozwala również w zarządzaniu kopalnią na pomoc w podejmowaniu decyzji dotyczących rozwoju lub likwidacji odkrywki.

Skonstruowany w programie GMS i Visual Modflow Pro model numeryczny wykorzystano do prognozy dopływu i obliczenia tempa zatapiania kopalni w różnych wariantach dalszego rozwoju i likwidacji kopalni. Wyniki takiego modelowania mogą być wykorzystane przez kierownictwo kopalni dla zaprojektowania bezpiecznego, ekonomicznie opłacalnego systemu odwadniającego z uwzględnieniem częściowego zatopienia wyrobiska.

## MULTIVARIANT PROGNOSIS OF GROUNDWATER INFLOW TO SURFACE OF „STRZELCE OPOLSKIE” LIMESTONE MINING EXCAVATIONS

**Summary.** Necessity of prognosis of water inflow to an open cut mine results from the safely exploitation of mines. Allow to permits onto optimum management of mine trough assistance of take on every stage of development of mine as well as in case of its liquidation decision.

Numerical model (finite difference method) of open cut mine have been constructed in GMS and VisualModflow Pro. The authors have used this model to predict of groundwater inflow and flooding time in stage of evolution or liquidation alternative into surface mining excavation. Mine operators can use the results of such models to design dewatering systems.

### Wprowadzenie

Działalność górnicza, prowadzona poniżej powierzchni zwierciadła wody podziemnej, powoduje nadmierny dopływ do kopalni oraz powstanie innych problemów wynikających ze zmiany stosunków wodnych. W celu zapewnienia bezpiecznej działalności górnicznej,

wymagana jest instalacja urządzeń odwadniających i wytworzenie rozległego leja depresji, obejmującego wyrobisko i otaczające tereny. Na etapie projektowania efektywnego systemu odwadniania odkrywki ważną częścią składową przedsięwzięcia jest prognoza zmian dopływu wody do wyrobiska w wyniku jego rozwoju (ekspansji).

Stosowane metody analityczne wymagają założenia jednorodności i izotropowości ośrodka (warstwy wodonośnej) oraz jednakowej miąższości w całym obszarze poddanych obliczeniom. Taka metoda prowadzi do powstawania znacznych niedokładności w ocenie przewidywanych zjawisk hydrogeologicznych, gdyż w rzeczywistości warunki geologiczno – górnictwe cechuje duża niejednorodność i zmienność przestrzenna.

Z tych powodów coraz częściej stosuje się metody modelowania numerycznego do rozwiązywania różnego rodzaju problemów hydrogeologicznych. Model numeryczny powinien być tak skonstruowany, aby w możliwie najwyższym stopniu imitował charakterystyczne cechy układu naturalnego (np. anizotropię współczynnika filtracji, warunki nieustalone przepływu i inne właściwości hydrogeologiczne ośrodka), ale także pozwalał na dokonanie uproszczeń – generalizacji [4, 6].

W celu prognozy natężenia dopływu do wyrobisk odkrywkowej kopalni wapienia „Strzelce Opolskie” autorzy użyli modelu hydrogeologicznego, wykorzystującego warunki ustalone i nieustalone, półograniczonego i trójwymiarowego z uwzględnieniem strefy aeracji i saturacji, opartego na metodzie różnic skończonych z wykorzystaniem programu GMS i Visual Modflow Pro ver. 2.8.2 [7].

## **1. Model hydrodynamiczny kopalni odkrywkowej**

### **1.1. Budowa geologiczna rejonu**

Analizowane złożo wapieni triasowych „Strzelce Opolskie” położone jest na terenie gminy Strzelce Opolskie. Teren złoża jest płaski z niewielkim spadkiem w kierunku północno -zachodnim ( $2 - 4^0$ ). Złożo budują utwory dolnego wapienia muszlowego (warstwy gogolińskie, górażdżańskie, terebratulowe i karchowickie) pokryte bezpośrednio dość cienkimi osadami czwartorzędu. Warstwy górnego wapienia muszlowego (tarnowickie, witkowickie, boruszowickie) występują dopiero ok. 3 km na północ od rejonu złoża, a jeszcze dalej na północ występują również ilasto - łupkowe utwory triasu górnego - kajpru.

Przedmiotem eksploatacji są wapień warstw górażdżańskich, terebratulowych i karchowickich, zapadających się pod kątem 2 do  $4^0$  w kierunku północnym. Średnia miąższość złoża wapieni triasowych będących przedmiotem eksploatacji wynosi 45,7 m.

## 1.2. Warunki hydrogeologiczne i hydrograficzne

W profilu hydrogeologicznym rejonu eksploatowanego złoża znajduje się [8, 9]:

- *Poziom wodonośny retu oraz kompleks wodonośny środkowego i dolnego pstręgo piaskowca* występuje w całym omawianym obszarze, bowiem wychodnie retu pojawiają się dopiero 3,5 km na południe od centrum Strzelec Opolskich. Wody tego poziomu znajdują się pod napięciem warstw gogolińskich, w związku z czym mają subartezyjski lub artezyjski charakter. Poziom swobodnego zwierciadła tych wód stabilizuje się na rzędnych 220 do 230 m n.p.m.
- *Poziom wapienia muszlowego* - pojawia się w rejonie północnego skraju Strzelec Opolskich i zgodnie z kierunkiem upadu warstw miąższość serii zawodnionej tych warstw rośnie ku północy. Zwierciadło wody tego poziomu ma charakter swobodny w rejonie złoża i stabilizuje się na rzędnych od 208 m n.p.m. do 196 m n.p.m. Dalej na północ zwierciadło wody ma charakter napięty, bowiem w stropie wapienia muszlowego pojawiają się słabo przepuszczalne warstwy tamowickie i boruszowickie, a dalej na północ ilaste utwory kajpru.
- *Poziom czwartorzędowy* - występuje tylko lokalnie, w obniżeniach morfologicznych terenu oraz tych rejonach, gdzie utwory czwartorzędowe są podścielone warstwami słabo przepuszczalnymi, głównie warstwami gogolińskimi i kajpru. W obszarze wychodni utworów wapienia muszlowego utwory czwartorzędowe przeważnie są bezwodne.

Utwory krasowo-szczelinowe wapieni górażdżańskich, terebratulowych, karchowickich i dolomitów diploporowych charakteryzują się bardzo wysokimi i zróżnicowanymi właściwościami filtracyjnymi (ich przepuszczalność waha się od 0,096 do 207,36 m/d) [9].

Głównym źródłem zasilania poziomu wodonośnego wapienia muszlowego i retu po szcerpaniu zasobów statycznych są opady atmosferyczne infiltrujące z powierzchni terenu. W związku z tym poziom wodonośny wapienia muszlowego wykazuje dużą zależność od wielkości tego zasilania. Uśredniona wielkość opadów atmosferycznych (z wielolecia) wynosi 640 mm/m<sup>2</sup>/rok [7, 8].

## 2. Odwadnianie złoża

Złoże zostało osuszone i przygotowane do eksploatacji w roku 1974 i od tego czasu prowadzi się ciągłe odwadnianie. Ilość odprowadzanych wód kopalnianych jest w dużej

mierze uzależniona od wielkości opadów atmosferycznych, a zwiększone dopływy infiltracyjne w kopalni obserwuje się już po dwóch dniach od wystąpienia opadów atmosferycznych.

Eksploatację do 2002 r. prowadzono trzema poziomami eksploatacyjnymi. Złoże odwadniano grawitacyjnie przez system urządzeń drenażowych (rowów odwadniających) wykonanych w obrębie wyrobiska do rzepi na poszczególnych poziomach eksploatacyjnych. Zwierciadło wód w rejonie złoża obniżyło się, w wyniku ciągłego drenażu, do rzędnej 197,4 m n.p.m., a na terenie kopalni do 178,5 m n.p.m. (rzędna rzepia na spągu poziomu III, rys. 2 – piezometr 127/45). Wody dopływające do rzepia poziomu III przepompowywane były do rzepia poziomu II i stamtąd rurociągiem tłocznym do odległej o 3,5 km cementowni. W miarę rozwoju powierzchni wyrobiska ilość odpompowanych wód systematycznie wzrastała.

### 3. Model hydrodynamiczny

W wyniku zmian koniunktury na rynku dyrekcja zakładu stanęła przed problemem określenia dalszego losu kopalni. Wiązało się to m.in. z potrzebą dopasowania systemu odwadniania kopalni do zmieniających się wielkości dopływów. W celu przeanalizowania zmian warunków hydrogeologicznych na skutek dalszego rozwoju kopalni lub zaprzestania eksploatacji na aktualnym w owym czasie etapie robót wykonano w 2002 r. jednowarstwowy model numeryczny (metodą różnic skończonych), przy wykorzystaniu programu GMS ver. 2.1 [7]. Modelowanie hydrogeologiczne przeprowadzono dla czterech wariantów (zakładanej możliwości rozwoju lub likwidacji odkrywki) [1]:

wariant I - model kopalni z trzema poziomami eksploatacyjnymi (aktualny wtedy stan eksploatacji) – rzędna spągu wyrobiska na poziomie 180 m n.p.m., oraz w przypadku dalszej eksploatacji na trzech poziomach, maksymalna powierzchnia wyrobisk - 2 504 000 m<sup>2</sup>,

wariant II - model kopalni z czterema poziomami eksploatacyjnymi (dalszy rozwój kopalni) – rzędna spągu wyrobiska na poziomie 168 m n.p.m. przy założeniu maksymalnego rozwinięcia wyrobisk do powierzchni 2 504 000 m<sup>2</sup>,

wariant III - model kopalni z pięcioma poziomami eksploatacyjnymi (docelowy rozwój kopalni) – rzędna spągu wyrobiska na poziomie 155 m n.p.m. przy założeniu maksymalnego rozwinięcia wyrobisk do powierzchni 2 504 000 m<sup>2</sup>,

wariant IV - model kopalni przy zaprzestaniu odwadniania i zatopieniu wyrobiska na ówczesnym etapie robót (trzy poziomy eksploatacyjne).

Model obejmował obszar o powierzchni 2,7 km<sup>2</sup>. Modelowany obszar poddano dyskretyzacji, przyjmując siatkę obliczeniową o stałym kroku 50 m (bloki 50 x 50 m).

Podstawowym elementem w ocenie poprawności modelu była uzyskana zgodność modelowanego pola hydrodynamicznego z rzeczywistymi warunkami (wynikami pomiarów rzędnej zwierciadła wody w piezometrach zlokalizowanych w rejonie odkrywki, tab. 2), przy przyjętych warunkach brzegowych i początkowych [1].

### 3.1. Wielkości przepływu wód w rejonie odkrywki

Brak informacji, co do pierwotnego stanu zwierciadła wód w rejonie wyrobiska, nie pozwalał odtworzyć w modelu warunków naturalnych sprzed okresu prowadzenia eksploatacji. Wobec powyższego, w oparciu o analizę zestawień wielkości dopływów do kopalni w latach 1997 – 2001, oszacowano, że 90% wód dopływu naturalnego stanowiły zasoby dynamiczne (wody z infiltracji i wody opadowe), natomiast 10% zasoby statyczne, co pozwoliło rozdzielić dopływ na poszczególne poziomy eksploatacyjne z uwzględnieniem ich powierzchni.

### 3.2. Wyniki modelowania

Kalibracja modelu polegała na przyjęciu ustalonych warunków przepływu wód i „dopasowaniu” początkowo przyjętych wartości współczynnika filtracji i odsączalności w celu uzyskania najbardziej zgodnych z pomierzonymi wysokościami zwierciadła wód.

Uzyskany po przeprowadzonej kalibracji współczynnik odsączalności „ $\mu$ ” dla górotworu w rejonie kopalni wyniósł 0,04 i był dwudziestokrotnie wyższy od założonego – mieścił się w górnej granicy wartości dla skał szczelinowatych. Jest to istotna informacja dla służby hydrogeologicznej kopalni, świadcząca o możliwości zwiększenia, w niektórych rejonach, wypływów wód ze skarpi wyrobiska.

Uzyskany, w I wariantcie modelowania, rozkład hydroizohips pozwala stwierdzić, że nawet przy całkowitym rozwinięciu III poziomu eksploatacyjnego, spąg wyrobiska będzie osuszony, jednakże istnieje możliwość wypływów ze skarpi w rejonie północno-zachodnim wyrobiska (rys. 2). Poprawność wykonanego modelu potwierdza zasięg leja depresji (uzyskany w modelowaniu i zmierzony przy użyciu programu AutoCAD; tab. 2), jak i rzędne zwierciadła wody zbliżone do wartości pomierzonych (różnica nie przekracza 1 m): dla



piezometru 200 ~ 1m (poza wycinkiem mapy hydroizohips); 103/3 – 0,6 m; 140/p3 – 0,5 m; 127/45 – 0,40 m, 201 – 0,3 m; 106/18 – 0,2 m).

W oparciu o uzyskane, skorygowane wartości współczynnika filtracji i odsączalności, dla ustalonych warunków przepływu, przeprowadzono dalszą symulację wariantów rozwoju (wariant II i III lub likwidacji kopalni wariant IV), zakładając nieustalone warunki przepływu.

Model numeryczny drugiego i trzeciego wariantu modelowania pozwolił stwierdzić, że wzrost depresji spowoduje zwiększenie się zasięgu leja depresji (tab. 2, rys. 3 i 4). Rozkład hydroizohips (duże zagęszczenie przy konturze wyrobiska) świadczy o szczególnie dużych dopływach na projektowane poziomy IV i V. Obliczone, w oparciu o empiryczne wzory, dopływy do kopalni wynosić będą 12,5 mln m<sup>3</sup>/rok (tj. 23,78 m<sup>3</sup>/min - II wariant), 17,5 mln m<sup>3</sup>/rok (33,30 m<sup>3</sup>/min - III wariant) (tab. 1).

Tabela 1  
Przewidywane dopływy do kopalni

Wariant modelowania	Zakładana depresja S [m]	Zasięg leja depresji R [m]	Dopływ całkowity wg Dupuita Q <sub>całk.</sub> [m <sup>3</sup> /rok]
I	19,91	620	8 073 216
II	31,91	1001,32	12 478 237
III	44,91	1666,28	17 654 904
IV	19,91	493,51	6 616 164

Wariant IV modelowania, prognozujący czas zatapiania zrobów kopalni, w przypadku gdyby podjęto decyzję o jej likwidacji, pozwolił określić czas potrzebny do zatopienia poziomu III na 36 - 38 dni, natomiast czas potrzebny do zatopienia poziomu II do rzędnej 197.4 m n.p.m. (jako poziom zwierciadła dla rejonu kopalni) na 187 dni [1, 2].

#### 4. Drugi model

W 2003 roku podjęto decyzję ograniczającą wydobycie z odkrywki (rezygnacja z uruchomienia nowych poziomów eksploatacyjnych IV i V) oraz zatopienie III poziomu eksploatacyjnego. Eksploatacje prowadzono w dalszym ciągu jedynie na poziomie I i II, zaprzestając odwadniania i doprowadzając do zatopienia III poziomu eksploatacyjnego.

Zatapianie poziomu III (rozpoczęte 26 maja 2003 r.) trwało do 5 sierpnia 2003 r. wodami z dopływu naturalnego na poziom III. Wypełnianie poziomu III trwało 72 dni, czyli było prawie dwukrotnie dłuższe, niż wynikałoby to z przeprowadzonego modelowania. Różnica taka była spowodowana mniejszym dopływem całkowitym (9,70 m<sup>3</sup>/min wobec 12,58 m<sup>3</sup>/min

przyjętych do modelowania; rok 2003 był wyjątkowo suchy – 450 mm opadów wobec 650 mm z lat poprzednich) oraz prowadzonym równolegle drenażem na poziomie II ( $3,18 \text{ m}^3/\text{min}$ ), czego nie przewidywał opracowany wcześniej model. Stąd też całkowita ilość wód dopływających na zatapiany poziom III stanowiła zaledwie połowę (51,5%) wielkości zakładanej w modelowaniu.

Uznając jednak przydatność i poprawność modelu hydrogeologicznego odkrywki, postawiono kolejne zadanie, polegające na określeniu [3]:

- wielkości dopływu na poziomy I i II, aktualnej oraz w sytuacji docelowego rozwinięcia tych poziomów (niższa infiltracja, związana z mniejszymi w 2003 roku opadami atmosferycznymi),
- czasu zatapiania poziomu II w przypadku jego likwidacji i całkowitego zaniechania drenażu,
- wielkości dopływu na poziom I przy zatopionym poziomie II.

W celu rozwiązania powyższych problemów przeprowadzono modelowanie w kolejnych wariantach:

wariant V - model kopalni przy dwóch poziomach eksploatacyjnych - aktualny stan eksploatacji,

wariant VI - model kopalni przy powierzchni wyrobisk  $2\,511\,242 \text{ m}^2$  - dalszy rozwój kopalni,

wariant VII - model kopalni przy zaprzestaniu odwadniania i zatopieniu wyrobiska na poziomie II.

Piąty wariant modelowania obejmował symulację w warunkach ustalonych i służył weryfikacji modelu, natomiast pozostałe modele obejmowały symulacje w warunkach niestabilnych.

#### 4.1. Budowa modelu

W celu prognozy natężenia dopływu i oceny warunków hydrogeologicznych, wynikających z proponowanych zmian sposobu eksploatacji złoża, zastosowano półograniczony i trójwymiarowy model numeryczny, w programie Visual Modflow Pro 2.8.2 [5, 7], posiadający szereg udogodnień w porównaniu do programu GMS, polegających m. in. na możliwości dokładniejszego skalibrowania modelu (np. możliwość przyjmowania zmian wartości współczynnika filtracji w trzech kierunkach), przestrzennego zobrazowania wyników modelowania.

Obszar objęty modelowaniem (28,6 km<sup>2</sup>) poddano dyskretyzacji, przyjmując siatkę obliczeniową o zmiennym kroku od 50 x 50 m w rejonie kopalni do 100 x 100 m przy granicach modelu, wydzielając 6240 bloków obliczeniowych w 78 wierszach i 80 kolumnach (rys.5). Pozwalało to lepiej zobrazować warunki przepływu w rejonach, gdzie przepływy te były najintensywniejsze, natomiast mniej szczegółowo przedstawić przepływy w rejonach bardziej oddalonych od wyrobiska.

#### 4.2. Warunki brzegowe

Dla określenia jednoznacznego, we wszystkich punktach obszaru, rozwiązania równania różniczkowego w modelu matematycznym przyjęto zespół następujących warunków brzegowych i początkowych (różniących się od przyjętych dla modelu I):

- rzędna zwierciadła wody dla rejonu kopalni 196,79 m n.p.m., w piezometrze 140/p3, (przy braku danych z piezometru 106/18 (Rozmierka cement SIII), przyjęto rzędną zwierciadła wody w piezometrze 140/p3 - Cementownia P3 wg stanu z października 2003 roku – jako najbliższego dla rejonu kopalni znajdującego się poza zasięgiem wpływu drenażu górniczego),
- jako punkty reperowe przyjęto rzędne zwierciadła wody w trzech piezometrach 103/3 (Rozmierka S2); 140/p3 (Cementownia P3); 102/2 (Rozmierka S1) znajdujących się poza zasięgiem drenażu górniczego, oraz poziom zwierciadła wody ustalony w wyniku zatopienia poziomu III kopalni (188,00 m n.p.m.; tab. 2),
- współczynnik filtracji „k” (z modelowania przeprowadzonego w 2002 r.) - 0,0056 m/min, z uwzględnieniem możliwości znacznego zróżnicowania właściwości filtracyjnych wapieni,
- zasięg utworów wapienia muszlowego stanowił południową granicę modelu – warunek brzegowy II rodzaju,
- całkowity dopływ do wyrobiska w 2003 r. – średnio 9,70 m<sup>3</sup>/min [9],
- wielkość opadu rocznego za okres październik 2002 – wrzesień 2003 – 456 mm/m<sup>2</sup>/rok [9],
- powierzchnia wyrobiska – 1 090 241 m<sup>2</sup>,
- współczynnik odsączalności „μ” dla wapieni silnie szczelinowatych równy 0,04 (wg wyniku modelowania z marca 2002).



Tabela 2  
Zestawienie punktów obserwacyjnych wokół wyrobiska Strzelce Opolskie

Numer pkt.	Lokalizacja	Rzędna terenu m n.p.m.	Rzędne zw. wody m n.p.m			
			lis-99	paz-01	paz-02	paz-03
101/1	Rozmierka wod. 101/1	207	199.1	199.1	bd	bd
102/2	Rozmierka cement-S.1	214.5	199.9	200	198.68	197.19
103/3	Rozmierka cement-S.2	216.7	200.2	201.6	199.38	199.66
104/10	Strzelce Op. wod.2A	207.5	197.7	197	195.54	bd
106/18	Rozmierka cement-S.3	216.9	203.15	199.91	bd	bd
114/30	Szczepanek wieś 1	220	203.47	203.98	bd	bd
127/45	wyrobisko – rzapie III	178.49	178.49	178.49	178.49	zalane
140/p3	Cementownia piezometr P3	216.6	198.65	200.76	197.75	196.79
200	wyrobisko wypływ ze ściany zachodniej	187	187	187	187	zalane
201	wyrobisko wypływ ze ściany wschodniej	181.7	181.7	181.7	181.7	zalane

### 4.3. Wyniki modelowania

Weryfikacja modelu przeprowadzona została przy użyciu modułu PEST, wchodzącego w skład pakietu Visual Modflow Pro. Polegała ona na korygowaniu wartości współczynnika filtracji „ $k$ ”, w każdym z wydzielonych bloków obliczeniowych, do momentu uzyskania najbardziej zbliżonych do pomierzonych wysokości rzędnych zwierciadła wody w piezometrach. Uzyskane na zweryfikowanym modelu różnice rzędnych poziomu wód i pomierzone w piezometrach nie przekraczały 0,31 m (tab. 3), przy czym największą różnicę uzyskano dla piezometru Rozmierka 103/3 (0,31 m), natomiast dla pozostałych punktów nie przekroczyły 0,1 m.

Tabela 3  
Pomierzone i obliczone w modelu wartości rzędnych zwierciadła wody w rejonie odkrywki w wyniku kalibracji modelu

Pkt pomiarowy (piezometr)	Rzędna zwierciadła wody [m n.p.m.]		Różnica [m]	
	pomierzona	obliczona		
140/p3 (Cementownia P3)	196,79	196,86	+0,07	
102/2 (Rozmierka S1)	197,19	197,20	+0,01	
103/3 (Rozmierka S2)	199,66	199,97	+0,31	
Zatopiony poziom III	127/45	188,00	188,09	+0,09
	200		188,04	+0,04
	201		188,07	+0,07

Średni błąd obliczeniowy dla całego modelu wynosił 0,05397 metra, a współczynnik korelacji 0,9917, co świadczy o dużej zgodności modelu z rzeczywistymi warunkami hydrogeologicznymi.

W wyniku kalibracji modelu, przy założonej wartości współczynnika odsączalności „ $\mu$ ”, uzyskanej w poprzednim modelowaniu, wartości współczynnika filtracji wahały się w granicach od 0,0049 m/d do 0,006 m/d. Ponadto, wydzielono strefę słabo przepuszczalną

(przy piezometrze 103/3 - Rozmierka S2; rys. 5), w której wartość współczynnika filtracji „ $k$ ” = 0,00048 m/d była znacznie niższa.

W wyniku przeprowadzonego modelowania określono aktualne wielkości dopływu na poziomy I i II i porównano z wielkością uzyskaną na podstawie pracy pomp (tab. 4).

Tabela 4

## Przewidywane dopływy do kopalni

Poziom eksploatacyjny	Dopływ [m <sup>3</sup> /min]				Dopływ całkowity (wg pracy pomp) [m <sup>3</sup> /min]
	z opadów atmosferycznych	z infiltracji	całkowity	łącznie na poz. I i II	
I	0,62	-	0,62	9,55	9,70
II	0,41	8,51	8,93		

Różnica to około 0,15 m<sup>3</sup>/min, co stanowi zaledwie 1,4% całkowitej wielkości dopływów.

Z rozkładu hydroizohips wynika, że istnieje możliwość zwiększonych wypływów ze ścian wyrobiska na poziomie II (rys. 5).

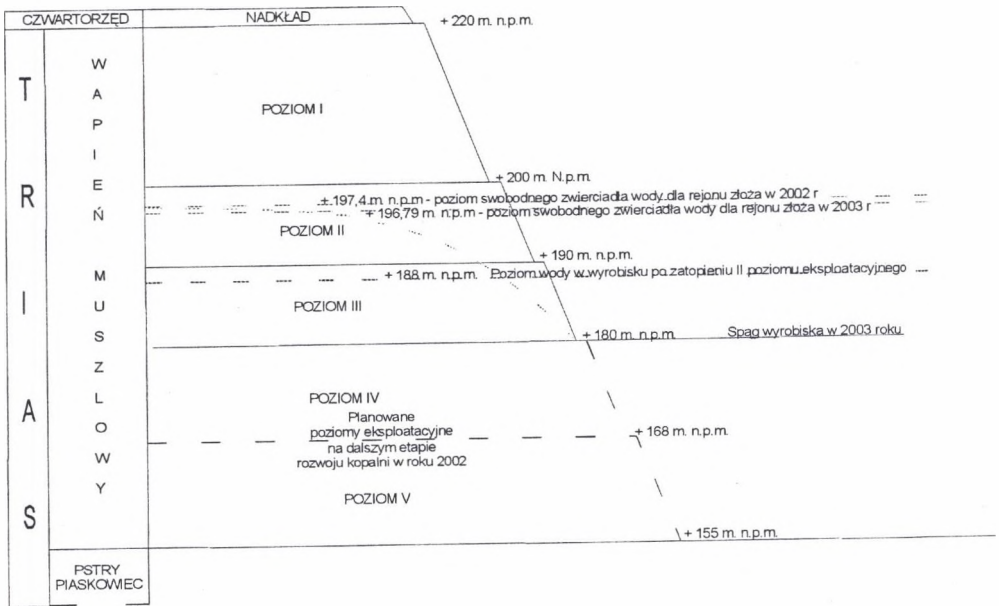
Przy docelowym rozwinięciu wyrobiska (wariant VI, rys. 6) dopływy wód na poziom I będą pochodziły praktycznie wyłącznie z opadów atmosferycznych i wyniosą 3,12 m<sup>3</sup>/min. Obliczona przy użyciu wzorów analitycznych wielkość dopływu z opadów wynosi 3,06 m<sup>3</sup>/min.

Czas zatapiania poziomu II przy zaprzestaniu jego odwadniania (wariant VII) wyniósł 293,8 doby. Ponadto, na podstawie przeprowadzonej symulacji określono, że w obecnych warunkach przy niskim stanie wód i ekstremalnie małych opadach poziom wód ustali się na rzędnej 197 m. n.p.m. i nie może dojść do zatopienia poziomu I.

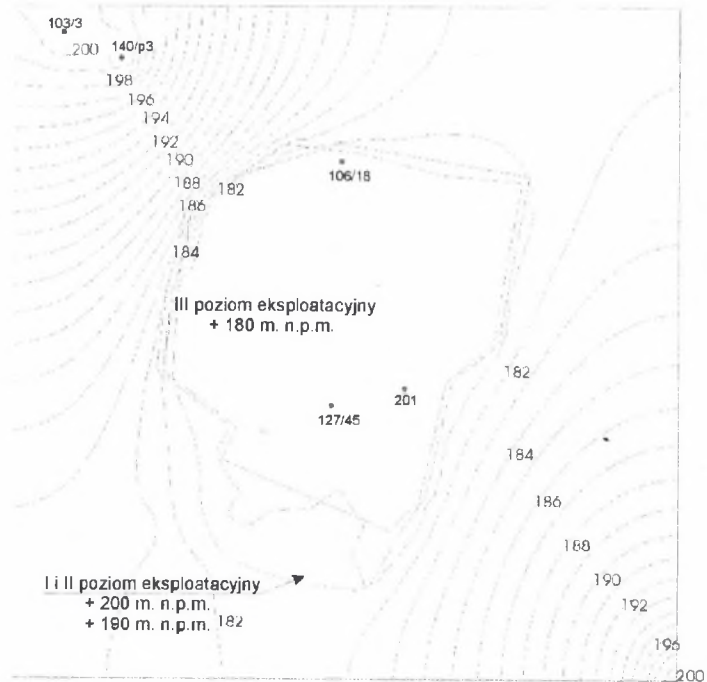
## 5. Wnioski

Model hydrodynamiczny złoża wapieni umożliwił zobrazowanie obecnego układu zwierciadła wód poziomu wapienia muszlowego w rejonie kopalni (wariant I, V), jak również dalszego rozwoju leja depresji wokół odkrywki w przypadku rozwoju kopalni (warianty II, III) lub jego zmniejszenia w przypadku likwidacji głębszego poziomu eksploatacyjnego (wariant VI). Model numeryczny pozwolił określić także czas zatapiania odkrywki w przypadku całkowitego zaprzestania odwadniania wyrobiska (wariant IV, VII). Wyniki modelowania pozwoliły z wyprzedzeniem określić skutki drenażu rejonu złoża, jego zasięg

i kierunki rozwoju, co stanowi jeden z elementów pozwalających zarządzać kopalnią. Wyniki modelowania pozwalały na optymalne zaprojektowanie systemu odwadniania.



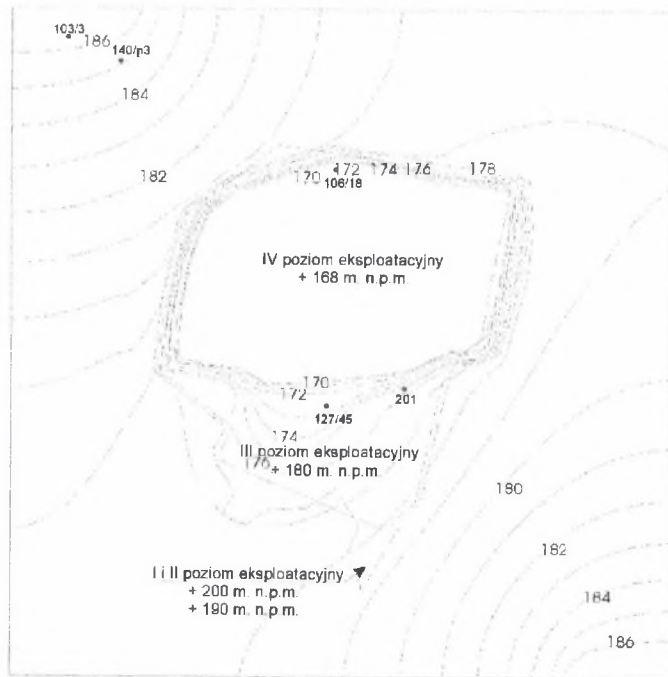
Rys. 1. Schematyczny przekrój przez rejon złoża wapieni triasowych „Strzelce Opolskie”  
 Fig. 1. Schematic cross-section of “Strzelce Opolskie” deposit region



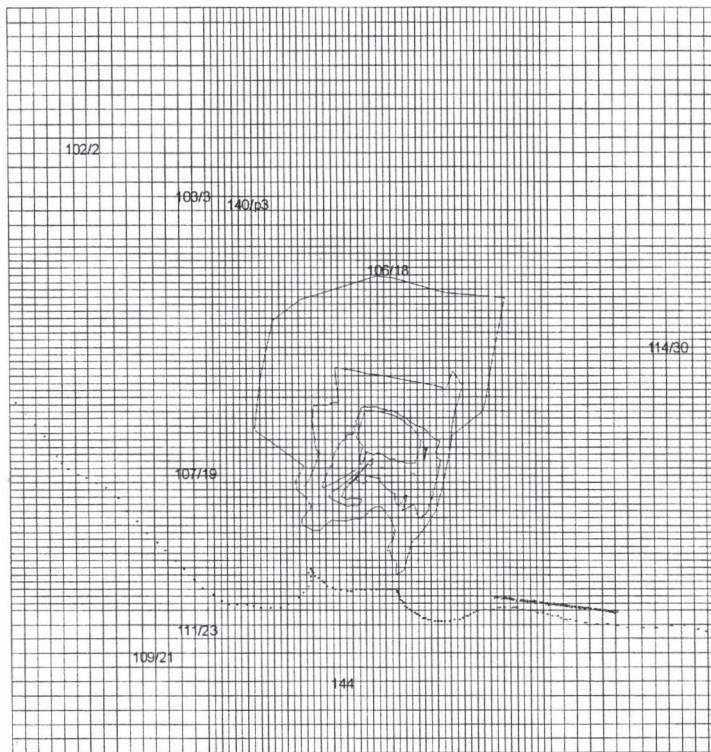
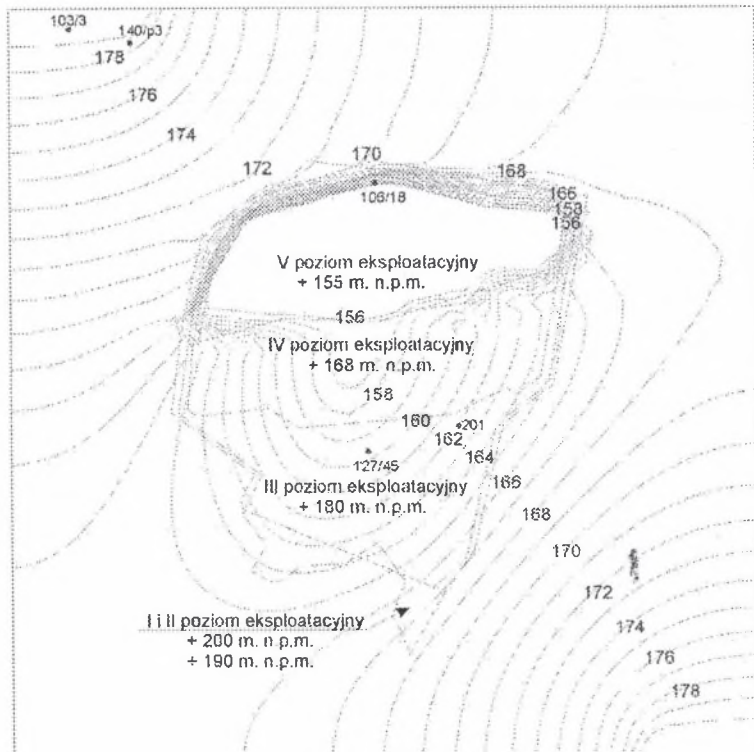
Objaśnienia:

- granice poziomów eksploatacyjnych
- hydroizohipsy poziomu wapienia muszlowego
- lokalizacja piezometrów

Rys. 2. Mapa hydroizohips w wariancie I modelowania  
Fig. 2. Contour of water table in I modeling variant



Rys. 3. Mapa hydroizohips w wariancie II modelowania  
Fig. 3. Contour of water table in II modeling variant



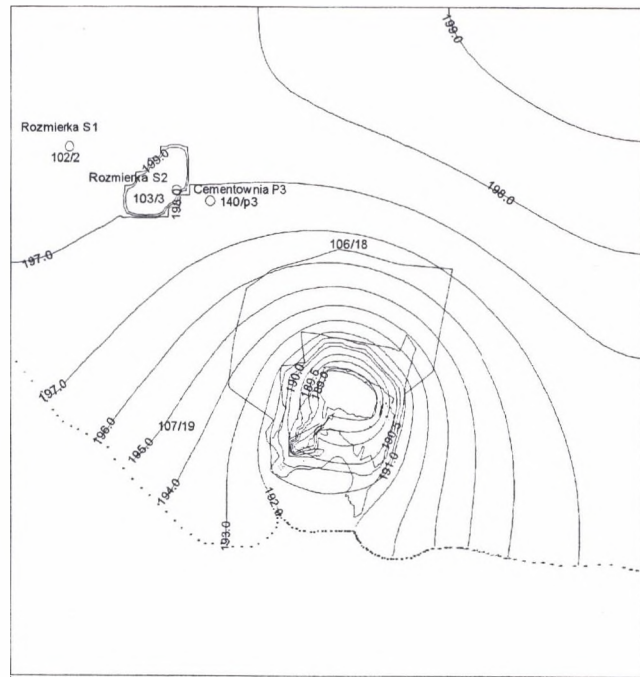
Objaśnienia:

- granice poziomów eksploatacyjnych
- hydroizohipsy poziomu wapienia muszlowego
- lokalizacja piezometrów

Rys. 4. Mapa hydroizohips w wariantcie III modelowania  
 Fig. 4. Contour of water table in III modeling variant

Rys. 5. Dyskretyzacja rejonu kopalni „Strzelce Opolskie” w II modelu  
 Fig. 5. Discretization of „Strzelce Opolskie” deposit region in second model

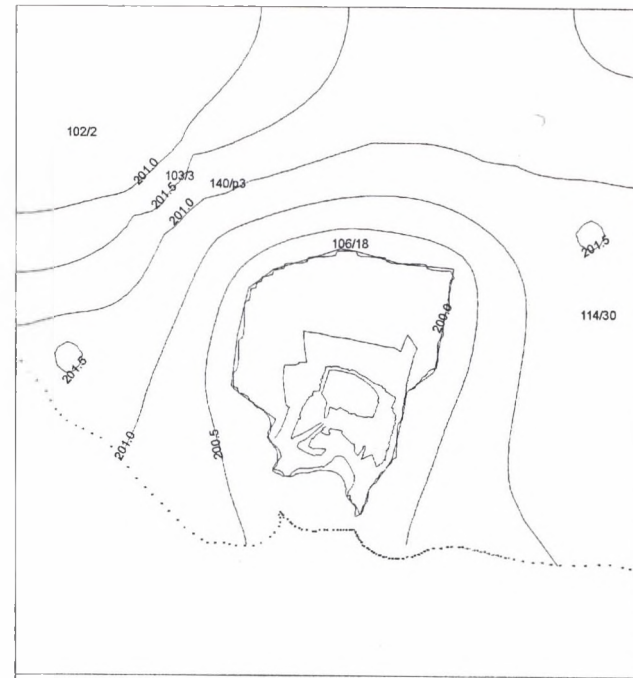




Objaśnienia:

- - granice poziomów eksploatacyjnych
- - hydroizohipsy poziomu wapienia muszlowego
- - lokalizacja piezometrów

Rys. 6. Mapa hydroizohips w wariancie V modelowania  
 Fig. 6. Contour of water table in V modeling variant



Rys. 7. Mapa hydroizohips w wariancie VI modelowania  
 Fig. 7. Contour of water table in VI modeling variant

## LITERATURA

1. Mzyk T.: Model migracji zanieczyszczeń wód podziemnych z odpadów zdeponowanych w wyrobiskach górniczych na przykładzie KWK „Katowice – Kleofas” Ruch I, praca doktorska, Instytut Geologii Stosowanej, Gliwice 2004.
2. Pozzi M., Mzyk T.: Wykorzystanie modelu warunków hydrogeologicznych w rejonie odkrywki dla potrzeb zarządzania kopalnią. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo Zeszyt 254, Gliwice 2002.
3. Pozzi M., Mzyk T.: Model warunków hydrogeologicznych w rejonie wyrobiska kopalni wapienia Strzelce Opolskie w związku z rozwojem i likwidacją kopalni w programie Visual Modflow Pro, w: Dokumentacja hydrogeologiczna Złoże Strzelce Opolskie, AZ Geometr, Wałbrzych 2002 (nie publikowane).
4. Pozzi M., Mzyk T.: Model warunków hydrogeologicznych w rejonie wyrobiska kopalni wapienia Strzelce Opolskie w związku z rozwojem i likwidacją kopalni według stanu na październik 2003, Gliwice 2004.
5. Staško S.: Wody podziemne w węglanowych utworach triasu opolskiego. Wrocław 1992.
6. Zheng C.: Extension of the Method of Characteristic for Simulation of Solute Transport in Three Dimensions. Ground Water, vol 31, (3), p. 456 – 465.
7. Kleczkowski A., i in.: Ochrona wód podziemnych. Wyd. Geologiczne, Warszawa 1983.
8. McDonald M. G., Harbough A. W.: MODFLOW – A modular three-dimensional finite-difference groundwater flow model, Modeling techniques, Book 5. US Government Printing Office, Washington 1988.
9. Przedsiębiorstwo Geologiczne w Krakowie, Projekt zagospodarowania złoża wapieni triasowych „Strzelce Opolskie”, Kraków 2000.
10. Informacje z Wydziału Produkcji CSO Górażdże Cement SA.

Recenzent: Prof. zw. dr hab. inż. Andrzej Rózkowski

**Abstract**

Prediction of groundwater inflow into an excavation is important during the feasibility stage of a surface mine. Allow to permits onto optimum management of mine trough assistance of take on every stage of development of mine as well as in case of its liquidation decision.

Numerical models can simulate all aquifer conditions and can provide a more realistic representation of the interaction between groundwater systems and mining excavations.

A numerical model (finite difference method) was used to predict the inflow of water and to calculate the height of the seepage face in and around the pit. The authors have used this model to predict of groundwater inflow and flooding time in stage of evolution or liquidation alternative into surface mining excavation.

The initial conditions were modelled by running a steady-state simulation. This initial condition was then used to simulate groundwater inflow during mine advancement. A head boundary condition was assigned at the outer boundary of the model, and an infinite boundary condition was assigned at the outer boundary of the aquifer to simulate an infinite, homogenous aquifer. A no-flow boundary condition was maintained at the bottom of the model, representing an impermeable layer.

Mine operators can use the results of such models to design dewatering systems.