

## OCENA ZMIAN WARUNKÓW HYDROGEOLOGICZNYCH PODZIEMNYCH ZAKŁADÓW GÓRNICZYCH W GZW ZA POMOCĄ MODELI NUMERYCZNYCH

### EVALUATION OF CHANGES OF THE HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF UNDERGROUND MINES LOCATED IN USCB WITH USING NUMERICAL MODELS

KATARZYNA NIEDBALSKA<sup>1</sup>

**Abstrakt.** W artykule podjęto próbę scharakteryzowania możliwości zastosowania modeli numerycznych w aspekcie ich wykorzystania dla prognozowania warunków hydrogeologicznych, zagrożenia wodnego, przebiegu likwidacji kopalń i zatapiania wyrobisk na potrzeby i w warunkach górnictwa węgla kamiennego w GZW. Przeanalizowano zarówno wyniki doświadczeń GIG, jak i informacje dostępne w zebranej literaturze. Ocenę przeprowadzono pod kątem możliwości wykorzystania modeli hydrodynamicznych jako podstawy do kreowania różnych rozwiązań problemów hydrogeologicznych i prognoz opartych na bieżąco uzupełnianych danych.

**Słowa kluczowe:** hydrogeologia, modelowanie procesów filtracji, górnictwo, odwadnianie kopalń, zagrożenia wodne.

**Abstract.** In this article author attempted to characterize the applicability of numerical models in the context of their use for prediction of the hydrogeological conditions, water hazards, processes of mines closure and mine workings flooding up for purposes of coal mining in Upper Silesian Coal Basin. Results of the GIG experience and information from the subject literature were analyzed. The evaluation was carried out for the possibility of using hydrodynamic models as a basis for creating a various solutions of hydrogeological problems and predictions based on data systematically collected and applied to the model.

**Key words:** hydrogeology, groundwater modeling, mining, mine drainage, water hazards.

## WSTĘP

Badania modelowe od wielu lat są uznawane za dokładną i wiarygodną metodę prognozowania zmian warunków hydrodynamicznych w górotworze. Obecnie dzięki postępowi technologicznemu głównie w zakresie wzrostu mocy obliczeniowej komputerów, modele numeryczne są stosowane powszechnie. W przypadku złożonych warunków (geologicznych, hydrogeologicznych, górniczych i in.) można za ich pomocą dokładniej odzwierciedlić właściwości rzeczywistych warunków hydrogeologicznych.

Z uwagi na dynamikę procesów wynikających z działalności górniczej prowadzonej na terenie GZW, niezbędna jest

ocena wpływu eksploatacji węgla na związane z nią zmiany zawodnienia wyrobisk górniczych, górotworu i powierzchni terenu. Naprzeciw tym potrzebom wychodzą badania symulacyjne, które dzięki możliwości odwzorowania warunków i parametrów geologiczno-górniczych i hydrogeologicznych danego obszaru stwarzają możliwość przedstawienia zarówno aktualnej sytuacji hydrodynamicznej, jak i opracowania prognoz wynikających z ewentualnych zmian warunków prowadzenia eksploatacji górniczej.

---

<sup>1</sup> Główny Instytut Górnictwa, Plac Gwarków 1, 40-166 Katowice; e-mail: kniedbalska@gig.eu

## DOŚWIADCZENIA W WYKORZYSTANIU BADAŃ MODELOWYCH NA POTRZEBY GÓRNICTWIA WĘGLA KAMIENNEGO

Metody modelowania są stosowane w rozwiązywaniu problemów hydrogeologicznych już od kilkudziesięciu lat. Początkowo były to modele fizyczne, później analogowe, następnie analizatory hydrauliczne (Felkel, Kasztelan, 2006). Wraz z postępem technologicznym najpopularniejszą metodą stało się modelowanie numeryczne. Polskie doświadczenia w zakresie modelowania pojawiły się już w latach 70. ubiegłego wieku, kiedy stworzono bibliotekę programów obliczeniowych HYDRYLIB (Szymanko i in., 1980).

Wraz z dynamicznym rozwojem technik komputerowych w latach 80. do modelowania przepływu wód w ośrodku skalnym z dużym powodzeniem zaczęto stosować modelowanie numeryczne wykorzystujące metodę różnic skończonych – pakiet obliczeniowy MODFLOW, głównie programy Processing MODFLOW i Visual MODFLOW. Rzadziej wykonuje się badania modelowe wykorzystując metodę elementów skończonych, np. przy zastosowaniu programu FEFLOW.

Skupiając się głównie na zastosowaniu badań modelowych w rozwiązywaniu problemów hydrogeologii górniczej przeprowadzono przegląd literatury, a zwłaszcza tych pozycji, których tematyka nawiązywała do szeroko pojętej problematyki hydrogeologicznej w kopalniach węgla kamiennego (tab. 1).

Problemy hydrogeologiczne przedstawione w przytoczonych modelach hydrodynamicznych rozwiązywano za pomocą różnych programów komputerowych, opartych głównie na metodzie różnic skończonych (np. MODFLOW, Hydrylib) oraz programów autorskich, np. LIKOP (Rogoż, 1994). Programy autorskie stosowane były doraźnie – ich celem było opracowanie prognoz zmian sytuacji hydrodynamicznej w górotworze z uwagi na specyficzne warunki geologiczne, górnicze i hydrogeologiczne.

Głównym celem obliczeń numerycznych w rozpatrywanych przypadkach było odzwierciedlenie aktualnych dla okresu ich wykonywania warunków hydrodynamicznych w górotworze, spowodowanych postępem eksploatacji górniczej,

**Tabela 1**

### Charakterystyka wybranych modeli hydrodynamicznych zastosowanych w rozwiązywaniu problemów hydrogeologicznych górnictwa węgla kamiennego

Characteristics of selected hydrodynamic models used in solving hydrogeological problems of deep-coal mining

Obszar filtracji	Założenia, cel modelu, warianty obliczeniowe	Literatura
ZG „Janina” Ruch II 8,82 km <sup>2</sup>	– stan hydrodynamiczny w obszarze filtracji – 4 dodatkowe warianty obliczeniowe do prognozowania w czasie przebiegu procesu zatapiania	Haładus, Zdechlik, Bukowski, Świstak, 2006
ZG „Janina” Ruch II 1,62 km <sup>2</sup>	– określenie przepuszczalności granicy Ruchu II do oceny możliwego wzrostu dopływu do Ruchu I – 4 warianty, zróżnicowane z uwagi na zmienny współczynnik filtracji i rzędną piętrzenia	Frolik, Gzyl, Kura, 2004
„Murcki-Staszic” Ruch Staszic przekrój – 0,11544 km <sup>2</sup>	– model stanu hydrodynamicznego w rejonie źródła zagrożenia wodnego – prognozy dopływu wód ze strony zbiornika wodnego do czynnej kopalni – 2 warianty obliczeniowe z uwagi na różne koncepcje prowadzenia eksploatacji w pokładzie 510	Bukowski, 2010
Model powstały na potrzeby projektu celowego*	Podsystem Saturn: – wielowariantowy sposób odwadniania kopalni Saturn, uwzględniający planowe zmiany w kopalniach sąsiednich – 10 wariantów obliczeniowych z uwagi na sposoby odwadniania poszczególnych poziomów kopalń oraz zmienne rzędne odwadniania	Adamczyk, Haładus, Szczepański, Zdechlik, 2000a
	Podsystem Sosnowiec: – koncepcja docelowego systemu odwadniania kopalni Sosnowiec, uwzględniająca zmiany w systemach odwadniania kopalń sąsiednich – 3 dodatkowe warianty obliczeniowe uwzględniające różne rozwiązania techniczne wpływające na koszty modernizacji i eksploatacji	Adamczyk, Haładus, Szczepański, Zdechlik, 2000b
KWK „Silesia” 0,68 km <sup>2</sup>	– odtworzenie aktualnego stanu hydrodynamicznego w rozpatrywanym obszarze filtracji, – 2 dodatkowe warianty obliczeniowe dotyczące oceny możliwości lokowania części zasolonych wód kopalnianych w nieczynnych wyrobiskach górniczych	Adamczyk, Haładus, Szczepański, Wątor, 1992
Zespoły połączonych kopalń w północnej części GZW	– symulacja przebiegów czasowych zatapiania całych zespołów kopalń	Rogoż, Posyłek, 2000

\* Projekt celowy „Centralny system odwadniania kopalń zlokalizowanych w północnej i północno-wschodniej części GZW uwzględniający bezpieczeństwo kopalń czynnych (realizator prac – AGH)

zmianą zastosowanych rozwiązań technicznych lub likwidacją kopalń oraz zmianą rzędnej piętrzenia wód. Wykalibrowane modele były podstawą do wykonania obliczeń prognostycznych, których wyniki dostarczały informacji o przewidywanym przebiegu zatapiania zrobów w czasie, zmianach natężenia dopływów wód do wyrobisk czynnej kopalni po zmianie rzędnej piętrzenia wód w kopalni sąsiedniej, wpływie zmian zastosowanych rozwiązań technicznych na zmiany w dopływie wód do wyrobisk, wpływie zmian własności hydrogeologicznych i geomechanicznych skał na kształtowanie się dopływów i zaistnieniu zagrożenia wdarciem wód podziemnych do kopalni.

Metody modelowe w ocenie i prognozie czasu zatapiania kopalni i odbudowy ciśnień hydrostatycznych w górotworze mogą konkurować z możliwościami standardowych metod analitycznych (fig. 1).

Przykładem tego może być model hydrodynamiczny wykonany dla podsystemu „Saturn” (tab. 1). Wielowariantowe obliczenia prognostyczne zrealizowano przy zastosowaniu

programu Processing Modflow. Celem prac było wskazanie optymalnego sposobu odwadniania podsystemu oraz wykonanie prognoz czasu zatapiania kopalni „Saturn”.

Analizując wykres prognozowanych przebiegów krzywych zatapiania wyrobisk uzyskanych różnymi metodami (fig. 1) można stwierdzić, że najbardziej zbliżone do stanu rzeczywistego są wyniki prognozowania uzyskane dzięki zastosowaniu obliczeń numerycznych. W rozpatrywanej sytuacji błąd (*ex post*) prognozy czasu zatapiania z zastosowaniem badań modelowych wynosił około 5%. Przyczyną dużej dokładności obliczeń numerycznych jest fakt, iż wykonywane prognozy bazowały na wytarowanym modelu dostatecznie dobrze odzwierciedlającym rzeczywisty układ hydrodynamiczny w górotworze.

Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że metody numeryczne powinny być jednym z elementów metodyki prognozowania warunków hydrodynamicznych w obszarze kopalni węgla kamiennego. Jest to możliwe pomimo trudności z konstrukcją modelu hydrodynamicznego dla ko-

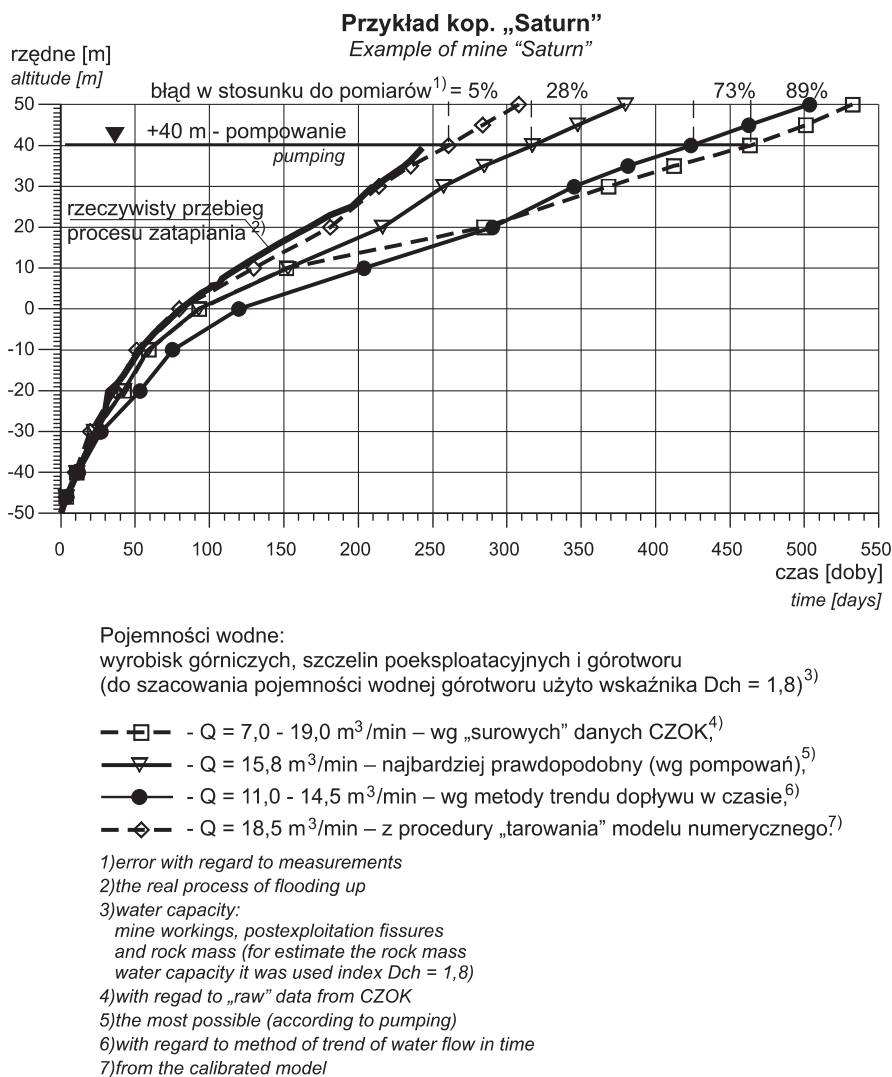


Fig. 1. Prognozowany przebieg krzywych czasów zatapiania wyrobisk (Bukowski, 2010)

Projected time curves of mine workings flooding up (Bukowski, 2010)

pałń węgla kamiennego wynikających ze skomplikowanej budowy geologicznej oraz zmienionych wpływami eksploatacji warunków hydrogeologicznych i parametrów opisujących właściwości fizyko-mechaniczne skał i górotworu.

Opracowane modele nie tylko dają obraz o wielkości dopływów, uprzywilejowanych kierunkach zasilania czy najbardziej prawdopodobnym rozkładzie wartości parametrów hydrogeologicznych, ale mogą być również na-

rzędziem w ocenie zagrożeń wodnych zależnych od dynamicznie zmieniających się warunków hydrogeologicznych i górniczych. W niektórych sytuacjach górniczych (Bukowski, 2010) związanych z prowadzoną, a zwłaszcza projektowaną eksploatacją górniczą, zawodnienie wyrobisk, które decyduje niekiedy o zagrożeniu wodnym, można przewidywać na podstawie prognozowanych zmian parametrów górotworu.

## MOŻLIWOŚCI STOSOWANIA BADAŃ MODELOWYCH W WARUNKACH GÓRNICTWA WĘGLA KAMIENNEGO

Z uwagi na zmienne warunki hydrogeologiczne wynikające z położenia kopalń względem hydrogeologicznej regionalizacji GZW oraz na zróżnicowany wpływ prowadzonej eksploatacji górniczej, jak również na obecność licznych zaburzeń tektonicznych w obrębie górotworu karbońskiego, zwykle występuje lub istnieje możliwość wystąpienia wzmożonego przepływu wód podziemnych w kierunku wyrobisk górniczych. Może to dotyczyć głównie wód podziemnych w utworach nadkładu i w obrębie serii złożowej oraz wód zmagazynowanych w zbiornikach utworzonych w zrobach i wyrobiskach poeksploatacyjnych. Pod wpływem drenażu poziomów wodonośnych i wpływu prowadzonej eksploatacji górniczej, a zwłaszcza zruszenia górotworu, wody poziomów wodonośnych lub zgromadzone w zbiornikach dołowych mogą zostać uruchomione i mogą stanowić zagrożenie wodne dla załogi kopalni lub ciągłości ruchu zakładu górniczego. Badania modelowe są niezwykle pomocne w ocenie stanu hydrodynamicznego w górotworze oraz w prognozowaniu natężenia przepływu wód podziemnych. Mimo pewnych ograniczeń, takich jak możliwość pozyskania danych wejściowych lub konieczność ich modyfikacji w dopuszczalnym zakresie zmienności podczas kalibracji modelu, badania te stanowią niekiedy jedyną sposobność dokonania ocen prognostycznych.

Na podstawie zebranych informacji z literatury dotyczącej stosowania obliczeń numerycznych w kopalniach węgla kamiennego oraz doświadczeń własnych w zakresie modelowania (Niedbalska i in., 2011, Niedbalska, 2012), autorka stwierdziła, że modele numeryczne wykorzystywane do analizy i oceny stanu hydrodynamicznego w kopalniach węgla kamiennego mogą być stosowane w różnych warunkach hydrogeologicznych i techniczno-górniczych prowadzenia eksploatacji. Zastosowanie tej metody może

być szczególnie uzasadnione przy ocenie zagrożenia wodnego, do której aktualnie wykorzystywana jest sporadycznie. Prawdopodobność prowadzenia badań symulacyjnych jest związana z możliwością aktualizacji i przybliżenia budowanego modelu fizycznego i numerycznego do warunków rzeczywistych, zwłaszcza przez dobór metod badań ośrodka skalnego odnoszących się do warunków górotworu poddanego zróżnicowanym procesom destrukcji górotworu (Bukowski, Bukowska, 2012), w tym:

- zmianę przepuszczalności gruzowiska zawałowego w warunkach zmiennego ciśnienia pionowego;
- powstawanie nowych dróg przepływu wód lub zmian wodoprzewodności wynikających np. ze zmiany parametrów filtracyjnych materiału wypełniającego szczeliny uskokowe;
- uwzględnienie przestrzennej zmienności wodoprzewuszczalności górotworu, aż do zasięgu strefy rozpraszania wpływów głównych od eksploatacji w górotworze, itp.

Na podstawie uzyskanych informacji stwierdzono, że metody modelowania numerycznego nadal stanowią niezwykle rzadko stosowane narzędzie badań hydrogeologicznych na potrzeby górnictwa podziemnego, szczególnie w ocenie zagrożenia wodnego dla czynnych wyrobisk górniczych. Mogą one stać się niezmiernie pomocne w tworzeniu projektów technicznych i prognoz dla dalszej eksploatacji górniczej i likwidacji kopalń, zwłaszcza w warunkach utrudnionego pozyskiwania danych bezpośrednich o właściwościach skał i górotworu. Dzięki wynikom obliczeń numerycznych istnieje możliwość wskazania sposobu zarządzania wodami kopalnianymi, a szczególnie optymalizowania kosztów odwadniania górotworu i zbiorników utworzonych w zlikwidowanych partiach kopalń.

## PODSUMOWANIE

Na podstawie analizy możliwości wykorzystania modeli numerycznych w praktyce górniczej sformułowano następujące wnioski i stwierdzenia:

- Badania symulacyjne w górnictwie podziemnym w GZW nadal stanowią narzędzie stosowane niezwykle rzadko, głównie z uwagi na trudności z wiarygodnym

odwzorowaniem warunków geologicznych, górniczych i hydrogeologicznych.

- Metody modelowania numerycznego powinny być stosowane dla oceny warunków początkowych przy sporządzaniu projektów technicznych likwidacji kopalń.
- Z uwagi na dynamikę prowadzonych robót, wyniki symulacji powinny być weryfikowane wraz z postępem rozpoznania oraz uzyskiwaniem nowych danych o własnościach geomechanicznych skał i zmian w dopływach wód do wyrobisk.
- Wykonywanie kolejnych symulacji opartych na bieżąco pozyskiwanych danych i aktualizacji modelu numerycznego mogą stanowić podstawę właściwego zarządzania odwadnianiem, wzrostu bezpieczeństwa

zakładu górniczego, optymalizacji gospodarki wodnej w kopalni i zmniejszeniu kosztów związanych z planowanymi zmianami koncepcji rozwiązań technicznych w prowadzeniu eksploatacji.

- Odczuwalny jest brak szerszych badań hydrogeologicznych właściwości skał i górotworu uwzględniających specyfikę warunków górniczych, co stanowi główną przeszkodę w szerokim zastosowaniu metod numerycznych i obniża wiarygodność wyników symulacji. Poprawy tego stanu należy upatrywać w zastosowaniu odpowiednich wymagań i uregulowań prawnych.

*Artykuł opracowano w ramach pracy statutowej GIG finansowanej przez MNiSW w 2012 r.*

## LITERATURA

- ADAMCZYK A., HAŁADUS A., SZCZEPAŃSKA A., WĄTOR L., 1992 — Możliwości lokowania zasolonych wód w nieczynnych wyrobiskach, na przykładzie KWK Silesia. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, **8**, 2: 267–282.
- ADAMCZYK A., HAŁADUS A., SZCZEPAŃSKI A., ZDECHLIK R., 2000a — Docelowy model odwadniania kopalni Saturn i kopalń sąsiednich w warunkach ich likwidacji. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, **16**, 1: 75–91.
- ADAMCZYK A., HAŁADUS A., SZCZEPAŃSKI A., ZDECHLIK R., 2000b — Docelowy model odwadniania kopalni Sosnowiec i kopalń sąsiednich w warunkach ich likwidacji. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, **16**, 2: 103–123.
- BUKOWSKI P., 2010 — Prognozowanie zagrożenia wodnego związanego z zatapianiem wyrobisk górniczych kopalń węgla kamiennego. Prace Naukowe GIG. Studia–Rozprawy–Monografie.
- BUKOWSKI P., BUKOWSKA M., 2012 — Changes of some of the mechanical properties of rocks and rock mass in conditions of mining exploitation and mine workings flooding. *AGH Journal of Mining and Geoengineering*, **36**, 1: 57–66.
- FELKEL B., KASZTELAN D., 2006 — Przegląd wykorzystania metod modelowania numerycznego do badań hydrogeologicznych w Polsce. *Geologos*, **10**: 57–63.
- FROLIK A., GZYL G., KURA K., 2004 — A simple 1D MODFLOW model for a part of a mine undergoing closure in Silesia, Poland. IMWA Symposium, Newcastle, 63–69.
- HAŁADUS A., ZDECHLIK R., BUKOWSKI P., ŚWISTAK M., 2006 — Badania modelowe prognozowania procesu zatapiania kopalni na przykładzie ZG Janina. *Prz. Gór.*, **7**, 8: 57–68.
- NIEDBALSKA K., HAŁADUS A., BUKOWSKI P., AUGUSTYNIAK I., KUBICA J., 2011 — Modeling of changes of hydrodynamic conditions in the aquatic environment of the Maczki-Bór Sand pit due to the fact of planned closure of mining operations (NE part of Upper Silesian Coal Basin – Poland) – *W: Managing the Challenges*. Aachen, Germany, 231–235.
- NIEDBALSKA K., 2012 — Badania modelowe zmian stosunków wodnych w rejonie kopalni piasku podsadzki Maczki-Bór w związku z planami jej likwidacji. *Biul. Państw. Inst. Geol., Hydrogeologia*, **451**: 185–190.
- ROGOŹ M., 1994 — Computer simulation of the process of flooding up a group of mines. 5th International Mine Water Congress. Nottingham (UK), **1**: 369–377.
- ROGOŹ M., POSYŁEK E., 2000 — Hydrogeological problems connected with closure of mines in the Upper Silesian Coal Basin. 7th IMWA Congress, Ustroń, 319–330.
- SZYMANKO J., KRECZMAR A., POLISZOT W., NOWICKI K., DĄBROWSKI S., PRZYBYŁEK J., 1980 — Budowa modeli matematycznych w hydrogeologii na przykładzie biblioteki systemowej HYDRYLIB. Matematyczne modelowanie ujęć wody podziemnej. Studia z zakresu inżynierii nr 19. Warszawa–Kraków.

## SUMMARY

Numerical models are still rarely used tool in solving hydrogeological problems of deep-coal mines, mainly because of the difficulty of a reliable representation of complicated geological, hydrogeological and mining conditions. Execution of a numerical model and the creation another simulations may allow for a proper management of dewatering and mine safety, as well as to optimize the mine water management and costs associated with planned changes in the con-

cept of technical solution of mining exploitation. Numerical models used to analyze and assess the hydrodynamic and environmental conditions in coal mines can be used for various hydrogeological, technical and mining conditions, represented by: exploitation and connected with it rock mass dewatering, mine liquidation and mine workings flooding up, the existence of hydrodynamic connections between closed and active mines, etc.

