

Marek POZZI, Edward CEMPIEL, Tadeusz MZYK  
Instytut Geologii Stosowanej, Politechnika Śląska, Gliwice

## MODELOWANIE MIGRACJI ZANIECZYSZCZEŃ Z ODPADÓW DEPONOWANYCH W WYROBISKACH PODZIEMNYCH NA PRZYKŁADZIE KWK „KATOWICE - KLEOFAS”

**Streszczenie.** Deponowanie odpadów w wyrobiskach podziemnych kopalń w ramach ich przemysłowego wykorzystania jest coraz częściej stosowaną alternatywą dla składowania dużych ilości popiołów i żużli powstających przy różnego rodzaju procesach technologicznych. Z badań modelowych migracji zanieczyszczeń z odpadów zdeponowanych w wyrobiskach podziemnych w KWK „Katowice - Kleofas” po zmianie warunków hydrogeologicznych z wykorzystaniem w tym celu pakietu GMS (Modflow, Femwater i MT3D) wynika, że zanieczyszczenia te przemieszczają się bardzo wolno. Najintensywniejszy ruch frontu zanieczyszczeń obejmuje początkowy okres zatapiania zrobów, gdy nadal funkcjonuje system drenażu kopalni. W obszarze składowiska odpadów występują wtedy największe gradienty hydrauliczne skierowane w stronę drenujących wyrobisk. W miarę zatapiania wyrobisk i stopniowego podnoszenia się zwierciadła wody natężenie przepływu wody przez składowiska odpadów systematycznie maleje, a front zanieczyszczeń przemieszcza się coraz wolniej.

## MODELLING OF POLLUTION MIGRATIONS FROM WASTE DEPOSITED IN COALMINE'S EXCAVATIONS ON EXAMPLE OF “KATOWICE – KLEOFAS” COAL MINE

**Summary.** Storage of waste in underground coalmine's excavations for industrial using is often solution to storage large number of ashes and slags produced during various technological processes. Investigations by using computer program GMS (Modflow, Femwater and MT3D) of pollution's migration from waste deposited in underground excavations of coalmine „Katowice- Kleofas” after change of hydrogeological conditions were done. The results indicate that impurities move very slowly. The most intensive H movement of pollution is observed during initial period of old works drowning when process of drainage lasts. In this case the biggest hydraulic gradient in direction of draining excavation is considered. With drowning excavation and gradually raising of water table intensity of water flow through waste storage yard decreases and the front of pollution moves slower.

## Wstęp

Możliwość lokowania odpadów w zrobach kopalń, głównie w niezawodnionych wyrobiskach, jest argumentowana brakiem możliwości migracji zanieczyszczeń do środowiska gruntowo-wodnego. Zmiana warunków wodnych panujących w górotworze, w wyniku np. likwidacji kopalni, może spowodować zanieczyszczenie wód podziemnych. W artykule oceniono możliwość migracji zanieczyszczeń do wód podziemnych z odpadów zdeponowanych w wyrobiskach górniczych kopalni „Katowice – Kleofas” Ruch I. Wykorzystano w tym celu pakiet programów GMS (Modflow, Femwater i MT3D).

### 1. Warunki hydrogeologiczne w OG KWK „Katowice - Kleofas” Ruch I

Wody dopływające do rejonu „Kleofas” pochodzą głównie z infiltracji poprzez zrobry w pokładach warstw rudzkich do wyrobisk głównego odwadniania na poziomie 444 m oraz poprzez zrobry w pokładach warstw siodłowych (pokład 501 i 510) na poziomie 504 m.

Dopływy na poziom 700 m z warstw porębskich (pokład 620 m) są wynikiem szczypania statycznych zasobów wód (rys.1).

### 2. Własności popiołów lotnych

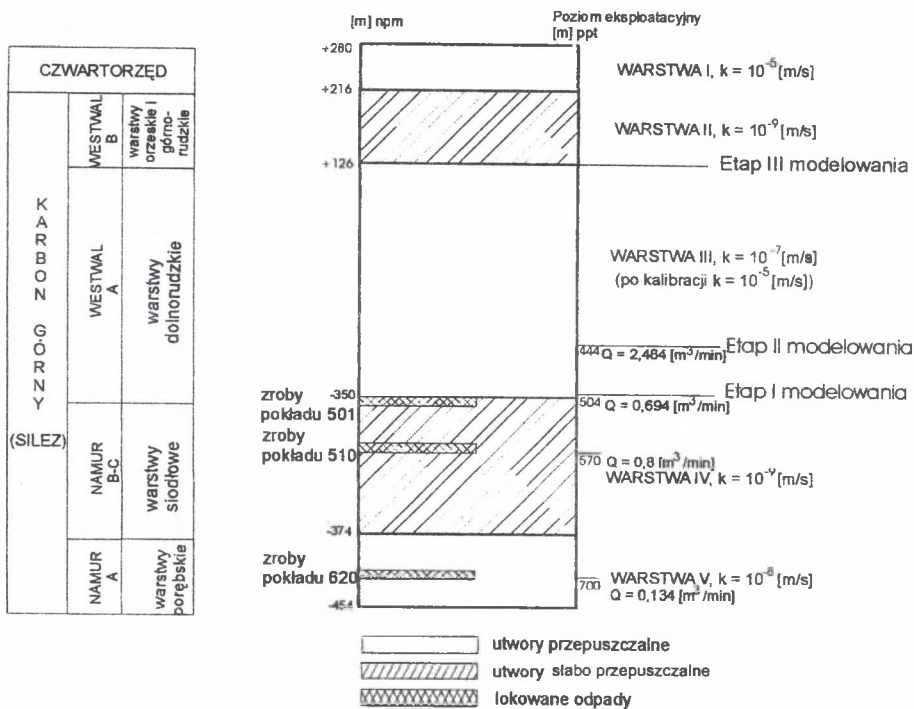
Jak wykazały badania laboratoryjne [2,3], popioły po kilkuletnim okresie deponowania w wyrobiskach podziemnych charakteryzują się:

- zdecydowanie większą ilością substancji rozpuszczalnych niż świeże popioły (ponad 10 razy więcej), gdyż chlorki i siarczany z wód dołowych stosowanych do sporządzenia mieszaniny popiołowo-wodnej zostały przez nie zaabsorbowane,
- niską porowatością ( $n = 10,93 - 12,87 \%$ ), przepuszczalnością („k” rzędu  $10^{-6}$  m/s) i odsączalnością ( $\mu = 0,08 - 0,12$ ).

### 3. Modelowanie migracji zanieczyszczeń

W celu określenia zagrożenia dla jakości wód podziemnych opracowano model hydrogeologiczny złoża i przeprowadzono modelowanie zjawisk migracji zanieczyszczeń, głównie chlorków i siarczanów z odpadów zdeponowanych w wyrobiskach kopalni.

W przyjętym modelu hydrogeologicznym wydzielono łącznie pięć kompleksów warstw, dla których przyjęto początkowe (wejściowe) wartości współczynnika filtracji (rys.1) oraz założono, że cała ilość wody dopływającej do górnych poziomów kopalni pochodzi z infiltracji przez słabo przepuszczalne warstwy nadkładu [5].



Rys. 1. Schemat ideowy modelu hydrogeologicznego obszaru KWK „Katowice-Kleofas Ruch I”  
Fig. 1. Schematic hydrogeological model of „Katowice-Kleofas Ruch I” coalmine

Modelowanie migracji zanieczyszczeń ze składowisk odpadów przeprowadzono jedynie dla składowiska zlokalizowanego w zrobach pokładu 501. Dla pozostałych składowisk nie przeprowadzano modelowania, przyjmując, że po zatopieniu kopalni i odcięciu wszystkich połączeń hydraulicznych z warstwami nadległymi składowiska te zostaną trwale i skutecznie odizolowane, gdyż znajdują się w kompleksie utworów nieprzepuszczalnych (rys.1).

Model matematyczny został skonstruowany w pakiecie GMS wersja 2.1 przy użyciu programu Modflow – do modelowania przepływów oraz MT3D – do modelowania migracji zanieczyszczeń [1,4]. Poszczególnym kompleksom litologicznym (warstwy I, II, III) przyporządkowano podstawowe parametry hydrogeologiczne (współczynnik filtracji „ $k$ ”, porowatość efektywna „ $n_e$ ”, współczynnik dyspersji hydrodynamicznej „ $D$ ”). W warstwie III dodatkowo wydzielono warstwę o grubości 5 metrów w stropie pokładu 501 (dla lepszego zobrazowania migracji zanieczyszczeń w najbliższym otoczeniu składowiska) oraz o grubości 60 metrów od stropu pokładu 501 (co odpowiada rzędnej poziomu eksploatacyjnego 444 m jako głównemu poziomowi odwadniającemu). Wprowadzając siatkę obliczeniową o kroku  $\Delta x = \Delta y = 100$  m wydzielono 2553 bloki obliczeniowe w każdej z wydzielonych warstw (obszar kopalni  $6900 \cdot 3700$  metrów przy kroku  $\Delta x = \Delta y = 100$ ;  $69 \cdot 37 = 2553$  bloki).

Na podstawie wyników badań laboratoryjnych przyjęto:

- stałą dyspersji hydrodynamicznej  $\alpha = 20$  m,
- współczynnik filtracji odpadów  $k = 0,2$  m/dobę (średnia wartość wynikająca z badań),
- maksymalne stężenie lęgowanej substancji  $C_{max} = 32572$  mg/dm<sup>3</sup>,
- współczynnik porowatości efektywnej  $n_e = 0.12$ .

Symulacja przebiegała w trzech etapach (rys. 1), zakładając, że przy częściowym zatopieniu kopalni będzie utrzymane odwadnianie na poziomie 444 m, a dopływy do kopalni nie ulegną zmianie. Założono także, że wody wypełniające zdrenowane części górotworu nie niosą ładunków soli.

#### 4. Wyniki modelowania

Z obrazu hydroizohips I etapu modelowania (rys. 2a) wynika, że na przepływy wód przez składowisko odpadów największy wpływ będzie miała praca szybów drenujących. Obok przenoszenia zanieczyszczeń przez strumień wody filtrującej przez składowisko odpadów wokół składowiska zachodzi również przenoszenie zanieczyszczeń w procesach dyfuzji (części składowiska przy granicy obszaru górniczego). Po upływie 1 roku aureole rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń nie przekraczają 50 metrów od składowiska od strony

granic obszaru kopalni, natomiast front zanieczyszczeń od strony szybów drenujących sięga maksymalnie na odległość nie większą niż 100 metrów od granicy składowiska. Sytuacja po 5 latach od czasu ustalenia się warunków przepływów hydraulicznych w warstwie obrazuje dalszą migrację zanieczyszczeń z części składowiska znajdującej się bliżej szybów drenujących, na odległości maksymalnie do 200 metrów (rys. 2b).

Z II etapu modelowania wynika, że aureola rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń po 20 latach sięga maksymalnie na odległość nie większą niż 350 metrów od granicy składowiska w kierunku szybów drenujących, a po 50 latach - do 500 metrów od granicy składowiska w kierunku szybów drenujących oraz do 150 – 200 metrów od strony granicy OG (rys.2c). Obszar zajęty przez zanieczyszczenia (chlorki i siarczany) w znacznej części obejmuje strefę niskiej koncentracji zanieczyszczeń z przedziału 0 – 5 mg/dm<sup>3</sup>.

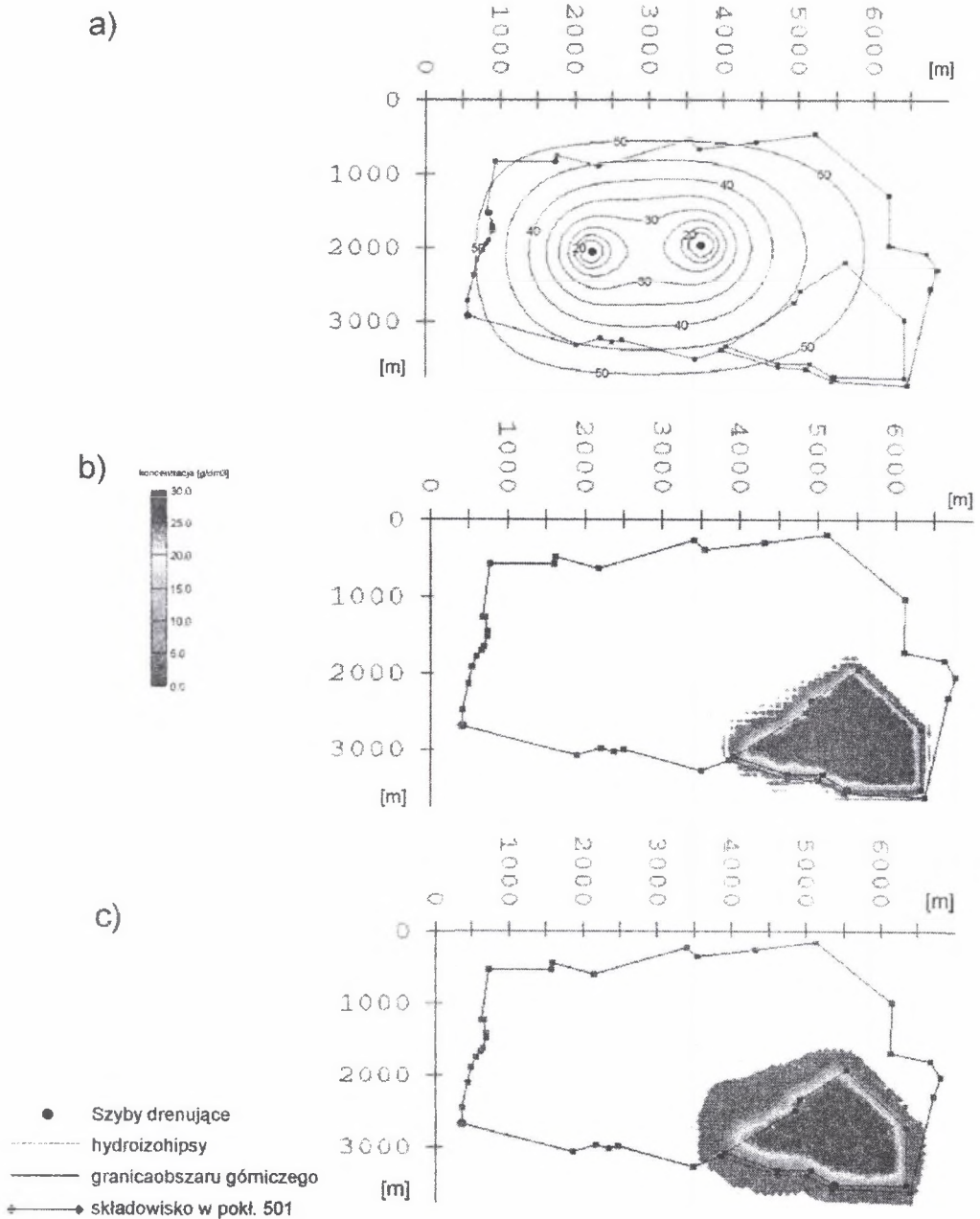
Układ hydroizohips uzyskany na III etapie modelowania wskazuje na przepływ jedynie na skutek różnicy naporów hydraulicznych na granicach obszaru (rys.3a), co powoduje, że decydujące znaczenie dla migracji zanieczyszczeń będą miały procesy dyfuzji. Po 100 latach od czasu ustalenia się warunków rozplywu wód podziemnych, zanieczyszczenia przesuwają się w kierunku granicy północnej, a kształt frontu zanieczyszczeń przypomina obszar deponowania odpadów (rys 3b). W stropie III warstwy widoczna jest chmura zanieczyszczeń, jednak na tej wysokości stężenia nie przekraczają 3 mg/dm<sup>3</sup> (rys.3c).

## 5. Wnioski

W wyniku przeprowadzonego modelowania można stwierdzić, że:

- podstawowe znaczenie dla migracji zanieczyszczeń mają kierunki przepływu wód oraz procesy dyfuzji; najintensywniejszy ruch frontu zanieczyszczeń obejmuje początkowy okres zatapiania kopalni (faza I), gdy nadal funkcjonuje system drenażu kopalni (korzystną cechą odpadów jest ich mała porowatość, niski współczynnik filtracji oraz niewielkie wartości współczynnika dyspersji hydrodynamicznej), zasięg strefy zanieczyszczenia będzie uzależniony od, wymuszonego względami zagrożeń wodnych kopalń sąsiednich, czasu utrzymywania odwodnienia kopalni,
- po wyłączeniu systemu odwadniania i całkowitym zatopieniu kopalni, gdy układ zwierciadła wód podziemnych wróci do stanu zbliżonego do pierwotnego, a przepływ wód w górotworze będzie kształtowany przez bardzo mały w warunkach naturalnych gradient hydrauliczny, nastąpi znaczne spowolnienie przemieszczania się frontu zanieczyszczeń.

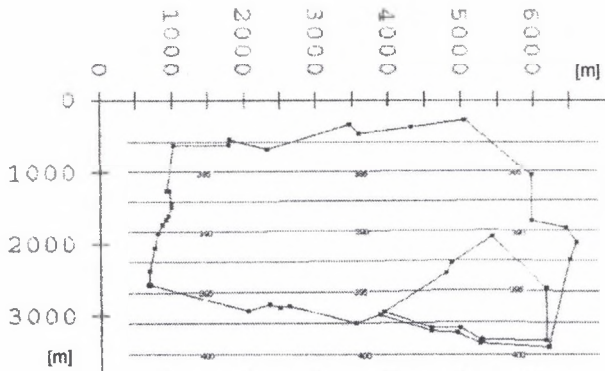




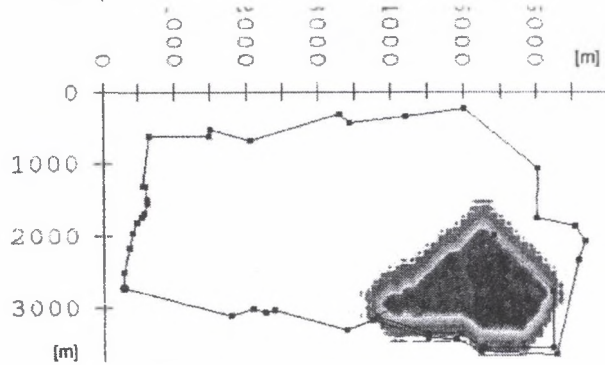
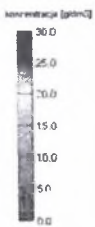
Rys. 2. Wynik modelowania migracji zanieczyszczeń w I i II etapie: a) obraz hydroizohips karbońskiego poziomu wodonośnego [m nad pokładem], b) migracja zanieczyszczeń po 5 latach, c) migracja zanieczyszczeń po 50 latach

Fig. 2. Result of modeling of the pollution migration in step I and II: a) hydroisohips of Carboniferous horizon of water-bearing [m over stratum], b) migration of pollution after 5 years, c) migration of pollution after 50 years

a)

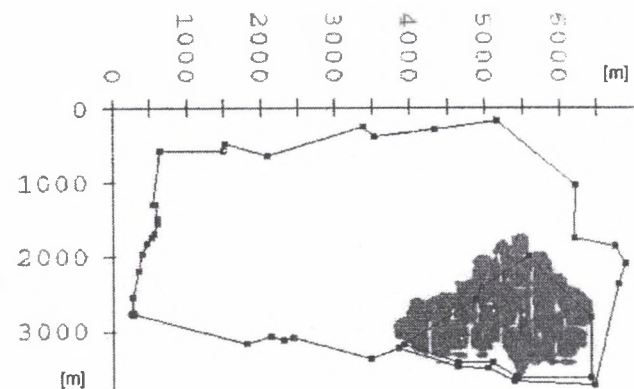


b)



c)

- hydroizohipsy
- granica obszaru górniczego
- ◀————> składowisko w pokł. 501



Rys. 3. Wyniki modelowania migracji zanieczyszczeń w III etapie: a) obraz hydroizohips karbońskiego poziomu wodonośnego [m nad pokładem], b) migracja zanieczyszczeń po 100 latach na wysokości 60 m nad pokładem, c) migracja zanieczyszczeń po 100 latach na wysokości 350 m nad pokładem

Fig. 3. Result of modeling of pollution migration in III step: a) hydroisohipses of Carboniferous water-bearing horizon [m over stratum], b) migration of pollution after 100 years on 60 m height over stratum, c) migration of pollution after 100 years on 350 m height over stratum

## LITERATURA

1. 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.
2. Pozzi M., Cempiel E., Grabowska K., Sowa M.: Examination of fly-ashes stored in workings of “Wujek” coal mine in aspect of their influence on enviroment.,7<sup>th</sup> International Mine Water Assotiation Congress, Ustroń 2000.
3. Pozzi M. et al.: Wpływ zmian reżymu hydrogeologicznego, związanych z likwidacją kopalń węgla kamiennego, na aktualne warunki deponowania odpadów energetycznych. Sprawozdanie merytoryczne z realizacji projektu KBN nr 9 T12B00214, Gliwice 2001.
4. Zheng C., Papadopulos S. S.: MT3D – A modular three-dimensional transport model for simulation of advection, dispersion and chemical reaction of contaminants in groundwater systems. US EPA and R. S. Kerr Enviromental Research Laboratory Ada, Oklahoma 1990.
5. Dokumentacja hydrogeologiczna KWK „Katowice - Kleofas”, KPG, Katowice 1999.

Recenzent: Prof.dr hab.inż. Andrzej Rózkowski

**Abstract**

Deposit of waste in underground coalmine's excavations for industrial using is often solution to storage large number of ashes and slags produced during various technological processes. In working coalmines this waste are deposited in dry rock mass. Change of hydrogeological condisions in dry rock mass may cause pollution of underground water by extraction of considerable quantity of impurities.

Investigations by using computer program GMS (Modflow, Femwater and MT3D) of pollution's migration from waste deposited in underground excavations of coalmine „Katowice- Kleofas” after change of hydrogeological condisions were done. The results indicate that impurities move very slow. The most intensively movement of pollution is observed during initial period of drowning old works when process of drainage lasts. In this case the biggest hydraulic gradient in direction of draining excavation is considered. With drowning excavation and gradually raising of water table intensity of water flow through waste storage yard decrease and front of pollution moves slower.