ZESZYTYT NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2000
Seria: GÓRNICTWO z. 246 Nr kol. 1480

Krzysztof LABUS
Lesław PASZEK
Politechnika Śląska, Gliwice

MODEL MIGRACJI ZASOLONYCH WÓD POWIERZCHNIOWYCH NA PRZYKŁADZIE ZBIORNIKA RONTOK DUŻY

Streszczenie. Przedstawiono wstępne rezultaty modelowania migracji wód zasolonych ze zbiornika Rontok Duży w kierunku złoża borowiny Rudołtowice. Uzyskane wyniki sugerują potencjalną możliwość zanieczyszczenia i degradacji złoża.

MODEL OF SALT-CONTAINING SURFACE WATERS MIGRATION TAKING THE RONTOK DUŻY RESERVOIR (POLAND) AS AN EXAMPLE

Summary. Preliminary results of modeling of salt-containing waters migration from the Rontok Duży mining waters reservoir to the Rudołtowice therapeutic mud deposit are presented in this paper. The results suggest a possibility of contamination and degradation of the deposit.

1. Wstęp

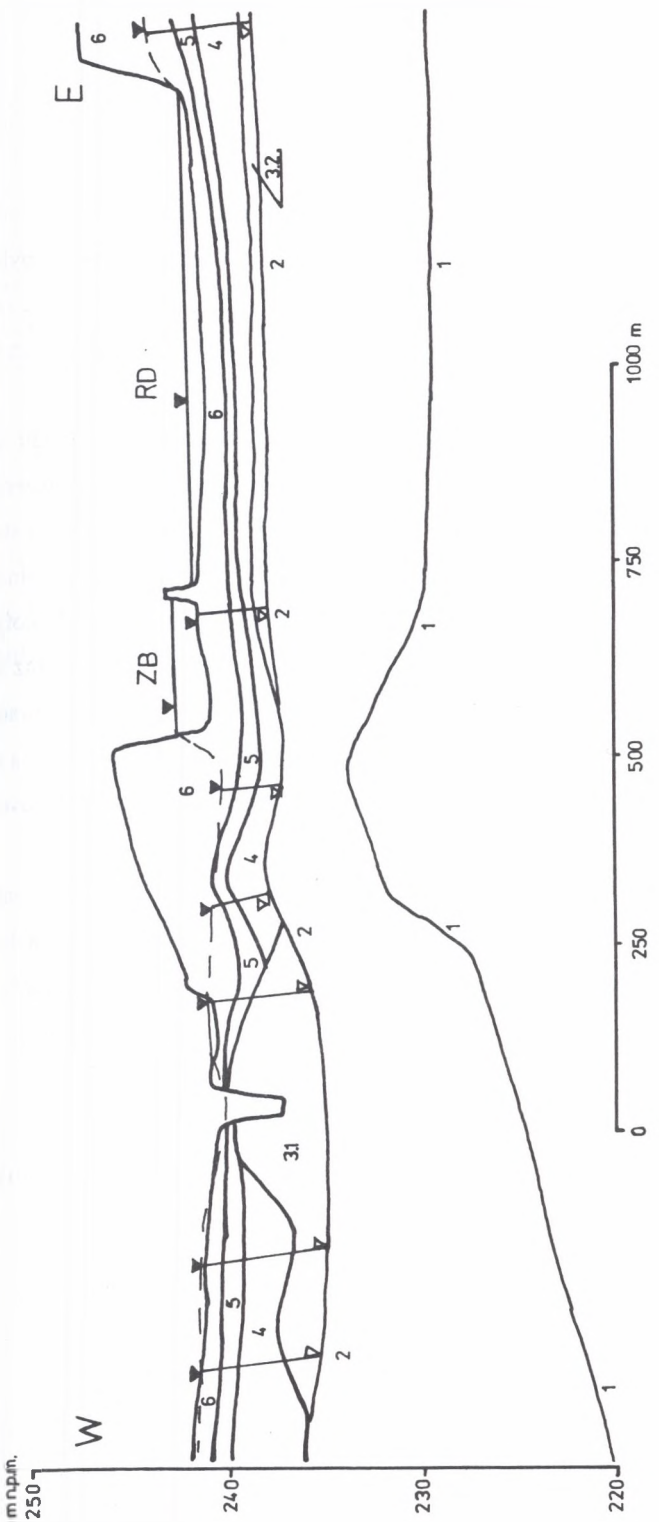
Badania nad problemem zagrożenia złoża borowiny "Rudołtowice" solanką infiltrującą ze zbiornika Rontok Duży, gdzie koncentracja chlorków wynosi około 30 g/dm^3,prowadzone są już od ponad dwudziestu lat [1,2]. Potencjalną drogę migracji solanki ze zbiornika w kierunku złoża borowiny stanowią utwory czwartorzędowe. Zanieczyszczenie wód podziemnych w ich obrębie stwierdzono w latach 1983-84. W roku 1985 wydzielono w części zachodniej tego zbiornika tzw. "zbiornik buforowy", którego działanie miało zapobiec migracji solanki w kierunku złoża borowiny. Praca niniejsza przedstawia wstępny model migracji wód zasolonych

ze zbiornika Rontok Duży. Po rozwinięciu model ten posłuży symulacji wpływu zmiennych warunków piętrzenia na jakość złoża borowiny.

2. Lokalizacja i budowa geologiczna

Rejon zbiornika "Rontok" oraz złoża borowiny położony jest w pobliżu miejscowości Rudołtowice (około 5 km na SE od Pszczyny) na lewym brzegu Wisły. Rzędne terenu zmieniają się od +239,0 m n.p.m. za wałem ochronnym rzeki Wisły do ponad 260,0 m n.p.m. w północno-wschodniej części obszaru. Obszerne zagłębienia tworzą: zbiornik wód słonych "Rontok Duży" (RD) i zbiornik "Rontok Mały" (RM) o rzędnych dna odpowiednio od 239,7 do 242,9 m n.p.m., i od 236,0 do 240,5 m n.p.m. Strop sąsiadującego z nimi złoża borowiny znajduje się na wysokości 240,0 m n.p.m.

Omawiany obszar leży na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Starsze podłoże budują utwory karbonu górnego, nad którymi spoczywają iły z wkładkami piasków drobnoziarnistych, o miąższości od 110 do 200 m, należące do miocenu. Strop utworów mioceńskich (zarazem spąg głównej czwartorzędowej warstwy wodonośnej) leży na głębokości od 7,5 m p.p.t. w południowej części obszaru, do ponad 30 m w części północnej. Leżące wyżej fluwioglacjalne osady plejstoceńskie, o miąższości od 1 do 30 m, wykształcone są jako otoczaki, żwiry i piaski różnoziarniste. Spąg i strop tego horyzontu nachylone są w kierunku złoża borowiny, a jego miąższość w rejonie złoża wynosi około 8 m. Mniejsze miąższości ma ta warstwa w części północno-wschodniej zbiornika "Rontok Duży". W kierunku północno-zachodnim miąższość warstwy piaszczysto-żwirowej rośnie do około 15-20 m. Złoże borowiny "Rudołtowice" i związane z nim grunty organiczne stanowią wypełnienie w obniżeniach stropu utworów plejstocenskich i pokryte są piaskami drobnoziarnistymi o miąższości do 2,5 m oraz kilkumetrową warstwą utworów gliniastych i pylastych holocenu. Złoże borowiny, zawierające torf typu niskiego o dobrych własnościach leczniczych, jest eksploatowane przez Uzdrowisko Goczałkowice-Zdrój. Powierzchnia złoża wynosi 7,62 ha. Jego miąższość sięga 4,4 m, a zasoby bilansowe wynoszą 150 000 m^3 [3, 4].



Rys. 1. Przekrój geologiczny obszaru badań.
Objaśnienia: 1 - miocen, czwartorzęd: 2 - piaski i żwiry, 3.1 - borowina, 3.2 - grunty organiczne, 4 - pyły, 5 - piaski drobnoziarniste, 6 - gliny; zbiorniki: RD - Rontok Duży, ZB - buforowy

Fig. 1. Geological cross-section through the examined area.
Explanations: 1 - Miocene, Quaternary: 2 - sands and gravels, 3.1 - therapeutic mud, 3.2 - organic sediments, 4 - dusts, 5 - fine sands, 6 - clays, reservoirs: RD - Rontok Duży, ZB - buffering (repressive pond)

3. Warunki hydrogeologiczne

Na omawianym obszarze horyzonty wodonośne występują w utworach czwartorzędu, trzeciorzędu i karbonu; przekrój hydrogeologiczny przedstawiono na rys.1.

Czwartorzędowe poziomy wodonośne są w pełni izolowane utworami ilastymi miocenu od poziomów niżej ległych. Górny poziom stanowią plejstoceńskie piaski drobnoziarniste, pylaste lub niekiedy zaglinione. Jest to prawie ciągły poziom wodonośny ale prawdopodobnie nie stanowi drogi migracji wód zasolonych. W otworach badawczych wykazywał zawodnienie, od minimalnych sączeń do wyraźnych objawów wypływu wody.

Poziom dolny tworzy ciągła warstwa piaszczysto-żwirowa plejstocenu. Ze względu na bezpośredni kontakt ze złożem borowiny i rozprzestrzenienie, ma on podstawowe znaczenie dla migracji wód zasolonych. Zwierciadło wody w tym poziomie ma charakter napięty i stabilizuje się na głębokościach od 1,0 m p.p.t. w rejonie złoża borowiny, do 9 m p.p.t. na północ od zbiornika RD. Kierunek spływu wód podziemnych w tym rejonie jest prostopadły do koryta rzeki Wisły. Poziom jest również drenowany wskutek odwadniania złoża borowiny oraz na niewielką skalę przez zbiornik RD w jego północnym obrzeżeniu. Współczynniki filtracji tego poziomu wodonośnego wynoszą od 5 do około 28 m/d. Trudne do scharakteryzowania są związki tego poziomu z poziomem górnym. Najczęściej obserwowano zjawisko stabilizowania się zwierciadła wód w obu poziomach na zbliżonych rzędnych [5].

Ochrona złoża borowiny wymaga zachowania naturalnych warunków jego występowania poprzez utrzymanie zwierciadła wód gruntowych na głębokości 0,3-0,4 m p.p.t.. Dla zachowania leczniczych właściwości surowca nie można dopuścić do zmiany składu chemicznego wód nawadniających złoże, czyli do przepływu słonych wód ze zbiornika Rontok Duży [6].

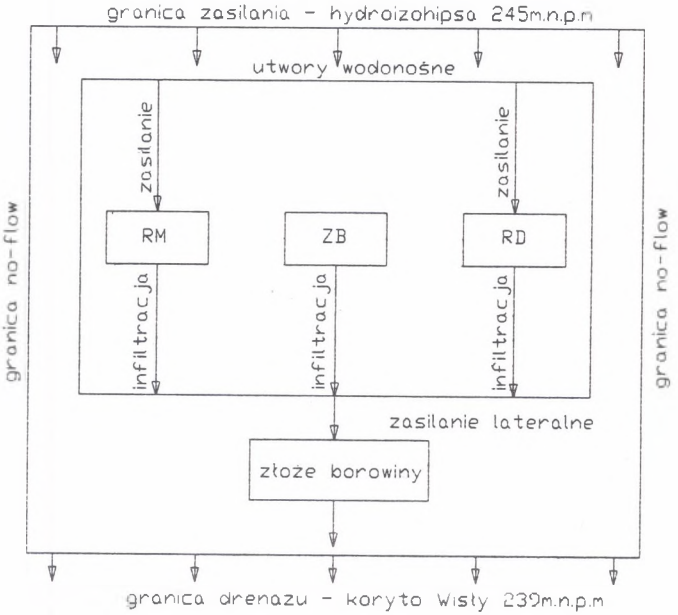
4. Dotychczasowe działania hydrotechniczne zabezpieczające złoże borowiny

Powierzchnia zbiornika RD pierwotnie miała wynosić około 500 tys. m^2, przy docelowej rzędnej piętrzenia 244,30 m n.p.m. i pojemności do 1,7 mln m^3. Budowy nie poprzedziła analiza jego warunków hydrogeologicznych w aspekcie sąsiedztwa złoża borowiny. Późniejsze badania potwierdziły, że zbiornik stanowi zagrożenie dla złoża, a piętrzenie solanki powyżej 241,4 m n.p.m. grozi jego degradacją. Ustalono zatem, że w zbiorniku RD utrzymywana zo-

stanie rzędna 241,0 m n.p.m., i będzie on służyć jedynie jako osadnik zawiesiny, przy stale otwartym upuście do Wisły. Na początku roku 1984, gdy stwierdzono rozszerzenie się strefy wód zanieczyszczonych w kierunku złoża, zadecydowano o obniżeniu zwierciadła solanki w zbiorniku RD do rzędnej 240,7 m n.p.m., oraz przyjęto koncepcję budowy w jego zachodniej części zbiornika buforowego wód słodkich (ZB). Od II kwartału 1985 roku rozpoczęto eksploatację zbiornika buforowego. Polega ona na okresowym pompowaniu wody słodkiej do poziomu co najmniej 241,5 m n.p.m. W tym czasie do zbiornika wód słonych zrzucane są wody dołowe KWK Silesia. Po oczyszczeniu z zawiesiny wypływają one do Wisły [7].

5. Charakterystyka modelu i rezultaty jego zastosowania

W celu określenia potencjalnego zagrożenia złoża borowiny "Rudołtowice", ze strony silnie zasolonych wód zbiornika retencyjnego RD, posłużono się numerycznym modelem warunków hydrogeologicznych, wykonanym przy zastosowaniu pakietu GMS 2.1 [8].



Rys. 2. Schemat konceptualnego modelu warunków hydrogeologicznych
Fig. 2. Scheme of conceptual model of hydrogeological regime

Analiza rezultatów obserwacji terenowych oraz danych archiwalnych pozwoliła na opracowanie konceptualnego modelu warunków hydrogeologicznych obszaru (rys.2). Zakładano, iż dla migracji wód zasolonych podstawowe znaczenie ma izolowany utworami gliniastymi od powierzchni dolny, czwartorzędowy poziom wodonośny.

Przyjęto, że zasilanie utworów wodonośnych odbywa się wzdłuż N granicy modelu (hydroizohipsa 245 m n.p.m.), zaś ich drenaż wzdłuż granicy S - linii Wisły na poziomie 239 m n.p.m. Stawy RM i RD mogą pozostawać w łączności hydraulicznej z wodami podziemnymi i być zasilane w N fragmentach swych obszarów. W pozostałej części tych stawów może następować infiltracja do niżej ległych utworów wodonośnych. ZB potencjalnie zasila położone pod jego dnem utwory wodonośne.

Złoże borowiny "Rudołtowice" jest lateralnie zasilane z okalających je utworów wodonośnych (w tym także przez zasolone wody infiltrujące ze zbiornika RD). Zasilanie przez infiltrację opadów zostało pominięte.

Model geologiczny analizowanego obszaru wykonano w module "Boreholes" programu GMS 2.1 w oparciu o założoną uprzednio bazę danych otworowych. Granice E i W przeprowadzono południkowo odpowiednio w odległościach około 300 m na E od skraju zbiornika RD i około 200 m na W od krawędzi zbiornika RM.

Modelem objęto następujące wydzielenia litostratygraficzne (po generalizacji): a) ilaste utwory trzeciorzędowe oraz następujące utwory czwartorzędowe, b) żwiry z otoczakami i piaskiem, c) namuły i utwory pylaste, borowinę, piaski drobnoziarniste i d) gliny pylaste. Zakładano, iż piaski drobnoziarniste oraz żwiry z otoczakami i piaskiem mają charakter utworów przepuszczalnych, a pozostałe utwory posiadają własności półprzepuszczalne lub izolujące.

Warunki geologiczne modelu zostały zdyskretyzowane do trójwymiarowej siatki 3350 elementów, mających kształt graniastosłupa o podstawie trójkątnej. Wymagało to uprzedniego przygotowania siatki dwuwymiarowych elementów trójkątnych, dopasowanej do założonych granic zewnętrznych modelu oraz do zarysów objętych nimi zbiorników wodnych. Wybór graniastego kształtu, elementów siatki 3D podyktowany był wymogami modułu "Femwater" [9], opartego na dyskretyzacji obliczeniowej w trójwymiarowej siatce elementów skończonych. Każdemu z elementów przypisany został następnie określony typ materiału reprezentującego wydzielenie geologiczne o zdefiniowanych później parametrach hydrogeologicznych.

Warunki początkowe modelu określono przez zdefiniowanie poziomu zwierciadła wód podziemnych i stężeniu jonów Cl^-. Zwierciadło kształtuje się na wysokości 245 m n.p.m. na granicy N modelu oraz 239 m n.p.m. na jego granicy S. Stężenie jonów Cl^- ustalono na

0 g/dm^3 w obrębie wszystkich elementów modelu z wyjątkiem tych, które reprezentowały staw RD. Uproszczenie to jest uzasadnione przez duże dysproporcje pomiędzy tłem hydrochemicznym a stężeniem jonów Cl^- we wspomnianym stawie, różnica ta wynosi ok. 3 rzędy wielkości. Dla wartości ciśnień hydrostatycznych przyjęto stan ustalony.

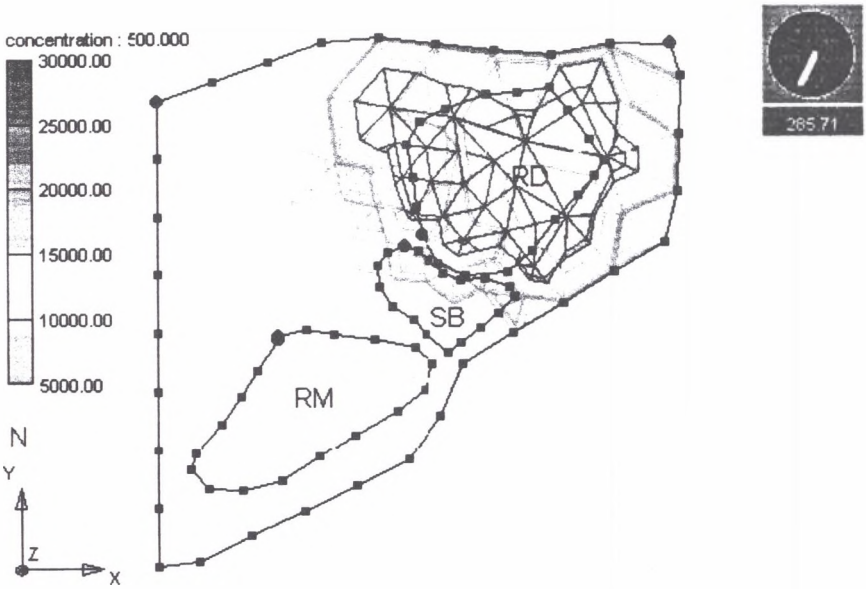
Kreacja modelu wymagała określenia własności fizycznych wód oraz hydrogeologicznych i geotechnicznych własności ośrodka wodonośnego. Parametry fizyczne wód: gęstość 10^3 kg/m^3, lepkość 4,68 kg/m/h, współczynnik ściśliwości $3{,}4 \cdot 10^{-17}$ m·h^2/kg. Własności filtracyjne ośrodka wodonośnego przyjęto na podstawie danych archiwalnych, a pozostałe własności (gęstość nasypową i wsp. ściśliwości) z literatury [10].

Warunki brzegowe modelu zdefiniowano w oparciu o utworzony wcześniej konceptualny model warunków hydrogeologicznych oraz dostępne analizy hydrochemiczne. Granice E i W modelu przyjęto jako granice z warunkami brzegowymi II rodzaju Neumanna z granicą szczelną. Oznacza to, iż granice te nie pozwalają na wymianę wody i substancji między otoczeniem a modelowanym systemem.

Granice N i S przyjęto jako opisane warunkami I rodzaju - Dirichleta. Warunki te oznaczają swobodną wymianę wody i substancji pomiędzy systemem i otoczeniem. Dla granicy N przy zadanej wysokości hydraulicznej dla hydroizohipsy 245m n.p.m. i stężeniu jonów Cl^- w wodach dopływających równym zero, dla granicy S dla wysokości hydraulicznej na poziomie Wisły (239 m n.p.m.) oraz nieznanego stężenia jonów Cl^- w wodach podziemnych spływających do koryta.

Ponadto węzłom siatki odpowiadającym powierzchni wewnętrznej zbiorników wodnych przyporządkowano warunki I rodzaju – Dirichleta, przyjmując dla stawu RD wysokość hydrauliczną odpowiadającą poziomowi piętrzenia solanki równemu 240,5 m n.p.m. przy stężeniu jonów Cl^- wynoszącym 30 000 mg/dm^3, dla stawu buforowego wysokość hydrauliczną odpowiadającą poziomowi 241,5 m n.p.m. i stężeniu jonów Cl^- = 0 mg/dm^3.

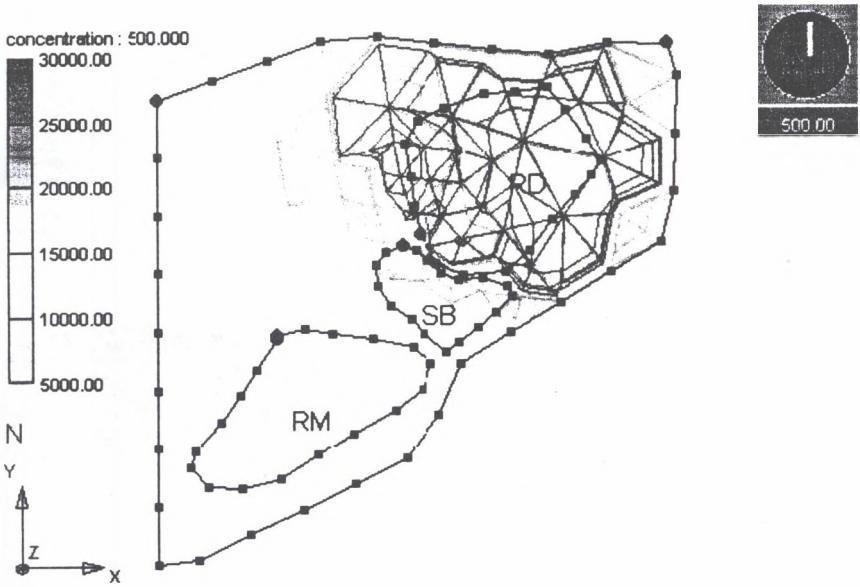
Symulacje przeprowadzono przy ustalonych warunkach przepływu. Symulowano równocześnie przepływ i transport substancji w czasie 500 godzin tj. 20 dni, ze stałym krokiem 71 godzin. Rezultaty modelowania przedstawiają rysunki od 3 do 6, na których zobrazowano rozprzestrzenianie się jonu Cl^- w otoczeniu zbiornika Rontok. Dokonano tego konstruując zestawy izolinii stężeń jonów Cl^- w zasolonych wodach migrujących w utworach wodonośnych pozostających w kontakcie hydraulicznym ze zbiornikiem RD.



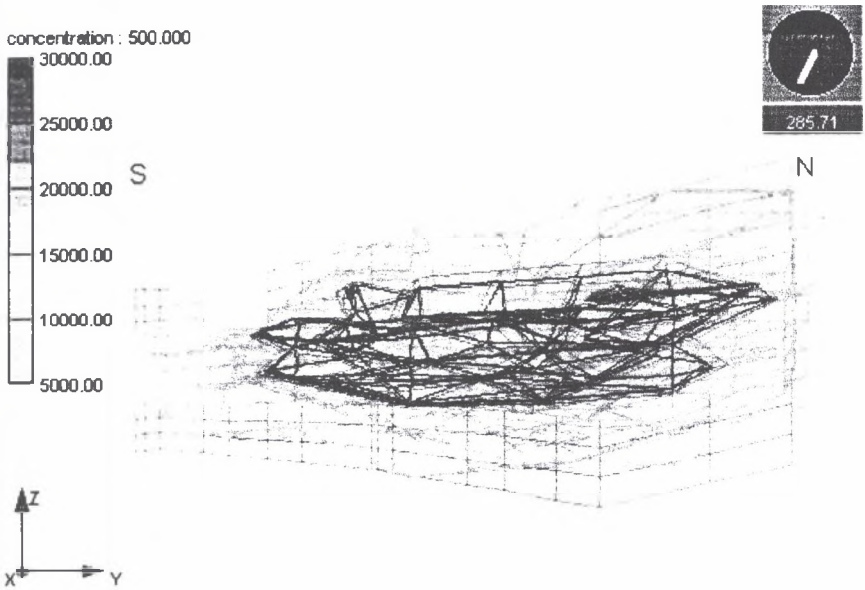
Rys. 3. Zasięg wód zasolonych po czasie 285 h (symulacja)
Objaśnienia: zbiorniki RD - Rontok Duży, SB - buforowy, RM - Rontok Mały; b - złoże borowiny

Fig. 3. Salt-containing waters extent after 285 h (simulation)
Explanations: reservoirs; RD - Rontok Duży, SB - buffering pond, RM - Rontok Mały; b - therapeutic mud deposit

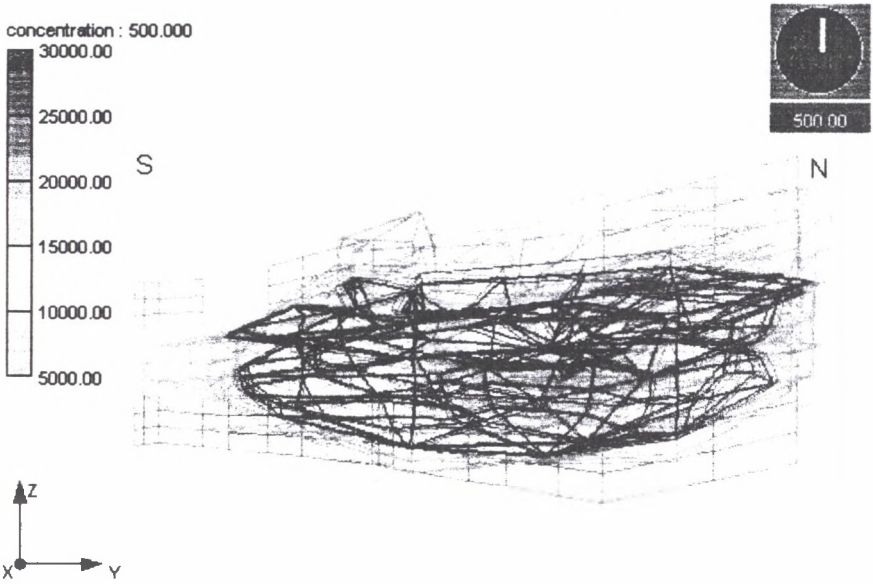
Analiza uzyskanych wyników wskazuje, iż migracja słonych wód odbywa się w miarę równomiernie we wszystkich kierunkach do czasu około 214 godzin. Począwszy od czasu 285 godzin (rys. 3 i 4) można zauważyć zahamowanie frontu słonych wód w okolicach zbiornika buforowego. Poza jego obszarem następuje jednak dalsza migracja słonych wód. Uwidacznia się to w środkowej części obszaru modelu, na północ od zbiornika buforowego, w postaci zarysowującego się "jęzora". Jasnoszara barwa izolinii sugeruje, iż stężenie jonów Cl^- u czoła modelowanego frontu migracji utrzymuje się na poziomie ok. 5000 mg/dm^3. Porównanie rezultatów modelowania dla etapów 285 i 500 godzin dowodzi, iż początkowo dominuje lateralna migracja jonów Cl^-. Po pewnym spowolnieniu jej tempa uwidacznia się wyraziście migracja wgłębna (rys. 4, 6) Równocześnie prawdopodobne jest, iż zarysowujący się obszar słonych wód na północ od ZB (rys. 5) może się stopniowo poszerzać ku południowi zagrażając w ten sposób złożu borowiny.



Rys. 4. Zasięg wód zasolonych po czasie 285 h, widok z boku (symulacja)
Fig. 4. Salt-containing waters extent after 285, side view (simulation)



Rys. 5. Zasięg wód zasolonych po czasie 500 h (symulacja)
Fig. 5. Salt-containing waters extent after 500 h (simulation)



Rys. 6. Zasięg wód zasolonych po czasie 500 h, widok z boku (symulacja)
Fig. 6. Salt-containing water extent after 500 h, side view (simulation)

Potwierdzeniem prawidłowości głównej koncepcji modelu jest fakt, iż wartości stężeń chlorków obliczone dla czasu 500 h w wybranych elementach modelu posiadają ten sam rząd wielkości co stężenia zmierzone w odpowiednich otworach badawczych. Po rozwinięciu model będzie mógł znaleźć zastosowanie w przygotowaniu prognoz wpływu zmiennych warunków hydrotechnicznych i hydrogeologicznych na zagrożenie złoża borowiny "Rudołtowice".

LITERATURA

1. Kleczkowski A.S.: Opinia w sprawie stopnia zagrożenia złoża borowiny "Rudołtowice" migracją solanki ze stawu "Rontok Duży". Maszynopis. Arch. KWK "Silesia". 1978.
2. Adamczyk A.F., Wilk Z., Belowski K., Wątor L.: Zagrożenie goczałkowickiego złoża borowiny słonymi wodami infiltrującymi z osadnika wód dołowych KWK "Silesia". Zesz. Nauk. Pol. Śl. Górnictwo z. 172. Gliwice 1988.
3. Dokumentacja zasobów złoża torfu "Rudołtowice". Centr. Biuro Studiów i Proj. Wodnych Melioracji. Warszawa 1972.

4. Wątor L.: Projekt zagospodarowania złoża borowiny "Rudołtowice". Przeds. Pomiar.-Projekt. "Progeo". Czechowice-Dziedzice 1995.
5. Sprawozdanie z prac hydrogeologicznych przeprowadzonych dla określenia wpływu retencjonowania zasolonych wód dołowych KWK "Silesia" w zbiorniku "Rontok Duży" na przylegajace złoże borowiny goczałkowickiej oraz grunty orne. Przeds. Wiertn.-Geologiczne w Tychach. 1978.
6. Ocena oddziaływania na środowisko złoża borowiny "Rudołtowice" w Goczałkowicach-Zdroju. PPB Intereko Sp. Z o.o. Katowice. 1995.
7. Adamczyk A.F., Wilk Z., Belowski K., Wątor L.: Analiza działania zbiornika zabezpieczającego złoże borowiny Uzdrowiska Goczałkowice przed filtracją wód słonych z osadnika wód dołowych KWK "Silesia". Zesz. Nauk. Pol. Śl. Górnictwo. z. 172. Gliwice 1988.
8. Groundwater Modeling System GMS v2.1: Brigham Young University. Provo, USA 1998.
9. Lin H.J., Richards D.R., Talbot C.A.,Yeh G., Cheng J., Cheng H., Jones N.L.: Femwater. Tech. Report WES Coastal and Hydraulics Laboratory-97-12. USA 1997.
10. Wiłun Z.: Zarys geotechniki. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 1987.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jacek Motyka

Abstract

The problem of infiltration of brines from the Rontok Duży reservoir (RD) towards the Rudołtowice therapeutic mud deposit has been examined for over 20 years. Quaternary sediments are the potential flowpath of the contaminants. There was formed a buffering (repressive) pond, in the eastern part of the RD, in order to protect the deposit against salt-containing waters migration. The paper presents a preliminary model of salt-containing waters migration from the RD mining waters reservoir to the Rudoltowice therapeutic mud deposit. Hence results of its application revealed that the migration front is being repressed under the buffering pond but the contaminated waters flow continues through the northern part of the area, there is a possibility of contamination and degradation of the deposit. Slightly precised model would be a powerful tool for prognosing the impact of RD waters on the Rudołtowice therapeutic mud deposit in variable hydrogeological regime and hydrotechnical conditions.