

MODEL KONCEPCYJNY SYSTEMU HYDROGEOLOGICZNEGO OBSZARU ODDZIAŁYWANIA LUBIŃSKO-GŁOGOWSKIEGO OBSZARU MIEDZIONOŚNEGO (LGOM)

CONCEPTUAL MODEL OF HYDROGEOLOGICAL SYSTEM OF LUBIN-GŁOGÓW ORE DISTRICT IMPACT AREA

STANISŁAW STAŚKO¹, JACEK GURWIN¹, MAREK WCISŁO¹, MAGDALENA MODELSKA¹, HALINA KRYZA¹,
JÓZEF KRYZA¹, TOMASZ OLICHWER¹, SEBASTIAN BUCZYŃSKI¹, ROBERT TARKA¹,
MIROSLAW WAŚIK¹, ROMAN BECKER²

Abstrakt. W Instytucie Nauk Geologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego opracowano numeryczny model hydrogeologiczny 3D (regionalny), uwzględniający strefę oddziaływania górnictwa rud miedzi LGOM. Stworzony i przetestowany szczegółowy model hydrogeologiczny obejmuje swym zasięgiem powierzchnię 3049 km², w tym obszary górnicze KGHM Polska Miedź (650 km²). Zbudowany model ma za zadanie przeprowadzenie weryfikacji struktury hydrogeologicznej, rozpoznanie i ustalenie danych ilościowych systemu krążenia wód podziemnych, określenie zmian warunków przepływu wód podziemnych w trakcie prowadzonej eksploatacji złoża a w konsekwencji ustalenie bilansów wód podziemnych modelowanych poziomów wodonośnych oraz ocenę ilościową dopływów kopalnianych na podstawie uzyskanego odwzorowania hydrodynamiki systemu. W efekcie końcowym uaktualniany model posłuży do wykonania symulacji prognostycznych w nawiązaniu do przewidywanego rozwoju obszarów wyrobisk górniczych. W artykule przedstawiono model koncepcyjny systemu hydrogeologicznego badanego obszaru. Stanowił on zakończenie wstępnych etapów prac oraz podstawę przy konstruowaniu modelu numerycznego.

Słowa kluczowe: modelowanie numeryczne, model hydrogeologiczny, model koncepcyjny, kopalnie głębinowe, drenaż kopalniany.

Abstract. 3D numerical hydrogeological regional model has been developed in the Institute of Geological Sciences, University of Wrocław. The model takes into account the impact zone of copper ore mines Lubin-Głogów Ore District (LGOM). Detailed hydrogeological model has been created and tested covered area of 3049 km² (in this the mining areas KGHM covered 650 km²). Built model is designed to verify hydrogeological structure, identification and determination of groundwater circulation system, to determine changes in groundwater flow during exploitation of the deposit. As a result developed model can determine groundwater balance and groundwater inflow to the mine based on the obtained image hydrodynamics of the system. In the end, updated model will be used to simulate the prognosis in relation to the anticipated development of mine workings.

Key words: numerical modelling, groundwater model, conceptual model, deep mine, mine-drainage.

¹ Uniwersytet Wrocławski, Instytut Nauk Geologicznych, pl. Maxa Borna 9, 50-205 Wrocław

² KGHM Polska Miedź S.A.

DANE DO KONSTRUKCJI MODELU

W celu zbudowania modelu hydrogeologicznego systemu wodonośnego w rejonie działalności KGHM Polska Miedź S.A. zgromadzono i przeanalizowano bogate wyniki dotychczasowych badań, w tym: publikacje, dokumentacje geologiczne i hydrogeologiczne (Bocheńska, 1979, 1988, 2003; Bieniewski, Pussak, 1981; Bocheńska i in., 2003a; Bocheńska, Kalisz, 2003b, c; Kalisz i in., 2005; Banaszak, Leszczyński, 2007; Becker i in., 2007; Worsa-Kozak, Kalisz, 2009), wyniki badań monitoringowych i pomiarów hydrologicznych (Klimkiewicz, 2009), wielkości eksploatacji wód dołowych (Kalisz i in., 2007), dokumentacje ujęć wód podziemnych, wielkości zrzutów wód, badań modelowych, analizy chemiczne wód powierzchniowych i podziemnych. Zebrano profile otworów wiertniczych (fig. 1) oraz przeanalizowano istniejące opracowania, ekspertyzy i publikacje.

W trakcie prac przygotowawczych zebrano i zestawiono w bazie danych informacje archiwalne z dokumentacji na te-

mat wyników obserwacji 602 otworów, w tym: 25 profili głębokich otworów PIG, 472 punktów pomiarowych i obserwacji stacjonarnych (237 studni kopanych, 118 płytkich piezometrów i 81 piezometrów głębokich). Ponadto uwzględniono dane wejściowe i wstępne wyniki badań modelowych składowiska odpadów Żelazny Most. W trakcie prac kameralnych zgromadzono dane o wynikach 4600 analiz chemicznych wód podziemnych i powierzchniowych. Materiały te po weryfikacji i szczegółowej analizie zostały wprowadzone do baz danych i posłużyły do konstrukcji map i tworzenia modelu koncepcyjnego badanego obszaru.

Pomimo znacznej liczby danych wejściowych (ponad 1770 danych punktowych) należy stwierdzić, że stopień rozpoznania systemu hydrogeologicznego jest zróżnicowany. Dobrze jest rozpoznane warunki hydrogeologiczne na obszarach górniczych, natomiast nieznaczne na pozostałym obszarze, ponadto wyraźnie maleje wraz z głębokością.

MODEL KONCEPCYJNY

Koncepcję funkcjonowania systemu hydrogeologicznego opracowano na podstawie analiz dotychczasowych materiałów i wyników wcześniejszych badań modelowych (Bocheńska, 1979; Bocheńska, Kalisz, 2003b; Fiszer, 2005). Schematyzacja warunków hydrogeologicznych obejmowała wyznaczenie granic obszaru modelowanego, wydzielenie warstw wodonośnych i izolujących oraz określenie ich parametrów hydrogeologicznych. Wynikiem analiz było również opracowanie rozkładu zasilania atmosferycznego oraz zdefiniowanie wymiany wód z otoczeniem modelu poprzez zadanie warunków brzegowych zewnętrznych. Przygotowanie wstępnego bilansu wodnego obejmowało określenie odpływu podziemnego w podziale na pięć głównych zlewni na obszarze badań.

Pierwotnie zakładane granice modelu, dla zasięgu obszarów górniczych (650 km²), zostały w trakcie analiz rozszerzone do powierzchni równej 3049 km². Powiększenie obszaru badań było podyktowane jak najwierniejszym oddaniem granic naturalnych systemu wodonośnego i ograniczenia wpływu wymuszeń na dopływy boczne. Wymagało to włączenia naturalnych obszarów alimentacji wód podziemnych w formacji kenozoicznej i odzwierciedlenia naturalnych baz drenażu (rzek Odry, Kaczawy, Rudnej, Szprotawy, Czarnej Wody) bądź wododziałów. Zasięg modelu obrazuje figura 1.

Zewnętrzne granice modelu zostały zdefiniowane warunkiem brzegowym III rodzaju (*River*) – w miejscu, gdzie pokrywały się z przebiegiem cieków w pierwszej warstwie

modelu. W pozostałych warstwach warunek III rodzaju (GHB) został zadany wzdłuż całej granicy z wyjątkiem strefy wychodni. Warunek typu $Q = 0$ wprowadzono w granicach pokrywających się z wododziałami (warstwa czwartorzędowa) oraz w spągu i wzdłuż wychodni utworów permu.

Pierwotnie zakładano wydzielenie na modelu 9 warstw wodonośnych, jednak w wyniku szczegółowych analiz model został rozszerzony do 11 warstw wodonośnych i 6 izolujących (tab. 1). Wydzielone warstwy można podzielić na dwa kompleksy: kenozoiczny, w którym warstwy zalegają generalnie horyzontalnie oraz podkenozoiczny, tworzony przez warstwy zapadające monoklinalnie w kierunku NE (monoklina przedsudecka).

Rozkład zasilania związany ze zdolnością infiltracyjną utworów powierzchniowych został opracowany na podstawie Mapy Geologicznej Polski w skali 1:50 000 (ark. Ścinawa, Lubin, Chocianów, Rudna, Głogów, Przemków), a następnie zgeneralizowany. Wydzielono 4 klasy zasilania: 49, 79, 122 i 183 mm. Strona dodatnia bilansu wodnego jest równoważona przez dwa główne ujemne składniki: odpływ podziemny oraz drenaż górniczy. Średni roczny odpływ podziemny z obszaru badań waha się w granicach 0,53–1,36 l/s·km⁻² (tab. 2) i sumarycznie wynosi ok. 1,7 mln m³/d.

Średnioroczne natężenie drenażu wód podziemnych za pośrednictwem wyrobisk górniczych kształtuje się na poziomie 77 tys. m³/d.

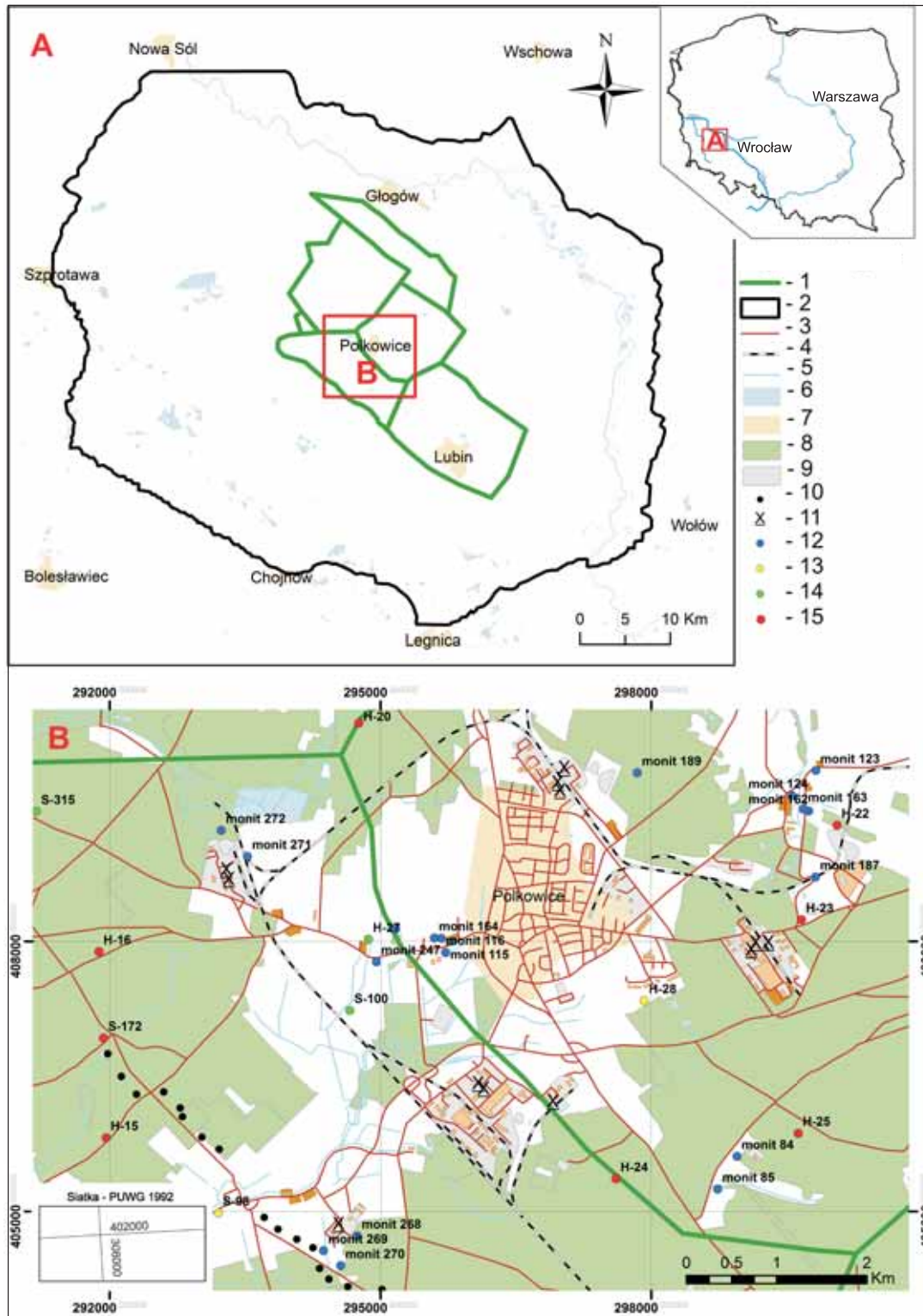


Fig. 1. A. Lokalizacja obszaru badań. B. Szczegółowy fragment złoża

1 – granice złóż, 2 – zasięg modelu, 3 – drogi, 4 – kolej, 5 – rzeki, 6 – wody powierzchniowe, 7 – miejscowości, 8 – lasy, 9 – obiekty przemysłowe, 10 – studnie ujęć, 11 – szyby; otwory obserwacyjne w utworach: 12 – czwartorzędu, 13 – pliocenu, 14 – miocenu, 15 – oligocenu

A. Location of the study area. B. Detailed part of the mine area

1 – mine area, 2 – boundary of the model area, 3 – roads, 4 – railways, 5 – rivers, 6 – surface waters, 7 – cities, 8 – forests, 9 – industrial facilities, 10 – groundwater intakes, 11 – mining shafts of KGHM; observation wells in aquifer: 12 – Quaternary, 13 – Pliocene, 14 – Miocene, 15 – Oligocene

Tabela 1

**Charakterystyka pięter i poziomów wodonośnych na obszarze miedzionośnym na monoklinie przedsudeckiej
(wg Kalisza i in., 2007, zmodyfikowany)**

Aquifers characteristic in the copper-bearing area on fore-sudetes monocline (after Kalisz *et al.*, 2007, modified)

Piętro wodonośne	Warstwa modelu/poziom wodonośny	Warstwa izolująca	Miąższość poziomu wodonośnego (warstwy izolującej) [m]	Współczynnik filtracji [m/min.]	Pierwotne ciśnienie hydrostatyczne [m sł. wody]
Neogeńskie	(1) holoceni plejstocen (piaski i żwiry rzeczno-łodowcowe) – Q		20–130	$1,0 \cdot 10^{-2}$ – $8,0 \cdot 10^{-2}$	zwierciadło swobodne (lekkie napięcie)
	(2)	ity pliocenu	kilkadziesiąt		
	(3) nadwęglowy – pliocen (utwory piaszczysto-żwirowe serii Gozdniczy i Mużakowa) – Tr3		kilka–kilkadziesiąt	$9,0 \cdot 10^{-5}$ – $3,5 \cdot 10^{-3}$	110–170
	(4)	ity pliocenu	kilka–kilkadziesiąt		
	(5) międzywęglowy – miocen (utwory piaszczysto-żwirowe serii śląsko-łużyckiej) – Tr2		kilka–kilkadziesiąt	$9,0 \cdot 10^{-6}$ – $3,5 \cdot 10^{-3}$	115–250
	(6)	ity miocenu	kilka–kilkadziesiąt		
Paleogeńskie	(7) podwęglowy – oligocen (utwory piaszczysto-żwirowe serii lubuskiej) – Tr1		kilka–kilkanaście	$2,1 \cdot 10^{-4}$ – $2,2 \cdot 10^{-3}$	225–330
	(8)	ity oligocenu	kilka–kilkanaście		
Triasowe	(9) wapienia muszlowego (wapienie i dolomity) – Tm		kilka–kilkadziesiąt	$9,7 \cdot 10^{-5}$	260
	(10) pstręgo piaskowca górnego – retu (wapienie, piaskowce) – Tp3		kilka–kilkadziesiąt	$2,8 \cdot 10^{-4}$	350
Triasowe	(11) pstręgo piaskowca środkowego (piaskowce średnioziarniste, szczelinowate, spękane) – Tp2		180–330	$1,8 \cdot 10^{-6}$ – $2,7 \cdot 10^{-4}$	300–360
	(12) pstręgo piaskowca dolnego (piaskowce drobnoziarniste, szczelinowate, spękane w części stropowej) – Tp1-P		kilkanaście –280	$1 \cdot 10^{-7}$ – $1,2 \cdot 10^{-4}$	350–740
Permskie	(13)	ilołupki, anhydryty cechsztynu	20–30		
	(14) dolomitu „łubińskiego” (dolomity szczelinowate, spękane, kawerniste) – P3		0,5–10	$3,5 \cdot 10^{-6}$ – $1,5 \cdot 10^{-4}$	300–350
	(14)	anhydryty cechsztynu	kilkadziesiąt		
	(14) dolomitu głównego Ca2 cechsztynu (dolomity szczelinowate, spękane, kawerniste) – P2		kilka–38,5	$5,2 \cdot 10^{-6}$ – $5,1 \cdot 10^{-4}$	400–900
	(15)	anhydryty cechsztynu			
	(16) wapieni i dolomitów serii Ca1 (wapienie i dolomity, w części południowej szczelinowate, spękane, kawerniste, porowate) – P2		kilka–100	N*: pr. niep. S**: $3,1 \cdot 10^{-3}$ BM***: $4,1 \cdot 10^{-4}$	400–1050
	(17) czerwony spągowiec				

* – rejon północny złoża, ** – rejon południowy złoża, *** – wartość średnia wg badań modelowych

Tabela 2

Odptyw podziemny z głównych zlewni na obszarze badań
Groundwater run-off from main river catchments
in the study area

Rzeka	Wodowskaz	Powierzchnia [km ²]	Odptyw podziemny [l/s · km ⁻²]
Rudna	Krzepów	378,0	1,13
Szprotawa	Szprotawa	863,3	1,36
Zimnica	Ścinawa	248,0	0,53
Czarna Woda	Bukowna	424,0	0,91

SCHEMATYZACJA WARUNKÓW HYDROGEOLOGICZNYCH

Po analizie materiałów zdecydowano, że szczegółowy model hydrogeologiczny systemu wodonośnego powinien obejmować 17 warstw, w tym 11 warstw wodonośnych (tab. 1, fig. 2).

Wydzielenie i agregacja poziomów wodonośnych stanowi niezbędny etap w toku schematyzacji warunków hydrogeologicznych na potrzeby konstrukcji modelu numerycznego. Wyszczególnieniu powinny podlegać warstwy o wystarczającym stopniu rozpoznania, wykazujące częściową izolację lub w inny sposób wpływające na bilans i układ

hydrodynamiczny systemu hydrogeologicznego. Przy konstrukcji modelu regionalnego o znacznym stopniu komplikacji należy również zmierzać do minimalizacji ilości bloków obliczeniowych.

Stropy oraz spągi wydzielonych warstw zostały określone punktowo na podstawie sieci głębokich otworów wiertniczych. Za pomocą narzędzi statystycznych oferowanych przez oprogramowanie ArcGIS informacja punktowa podlega interpolacji i ekstrapolacji tak, aby pokryć cały modelowy obszar.

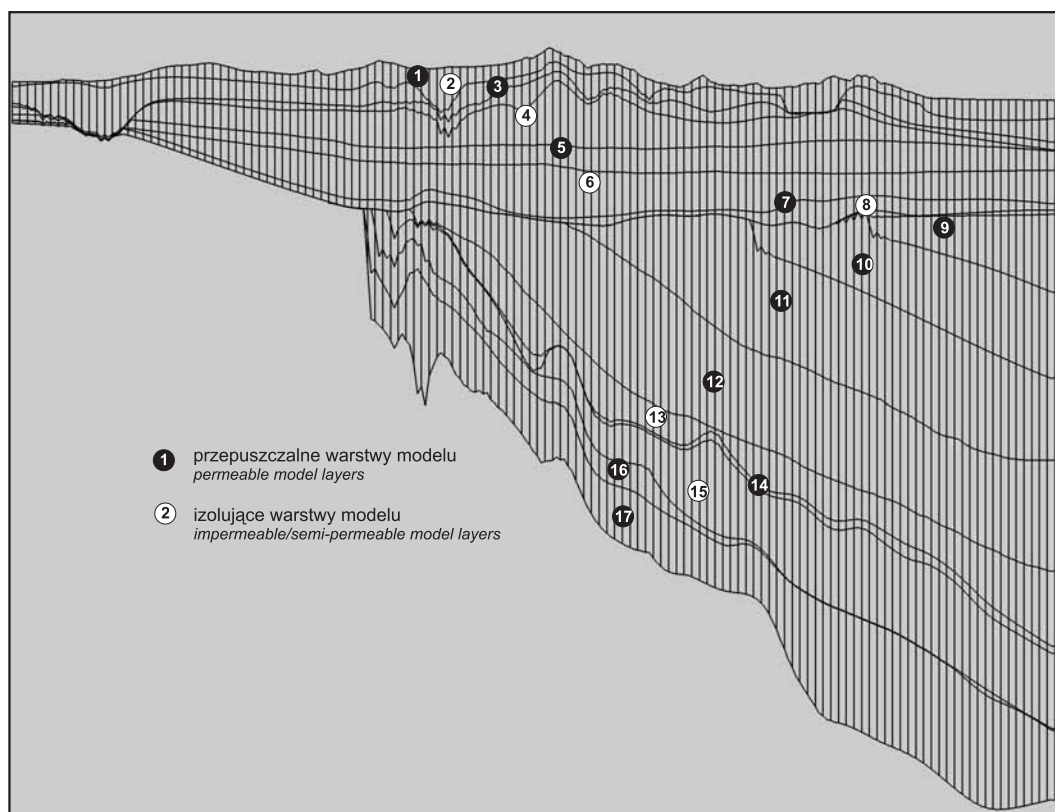


Fig. 2. Schemat agregacji numerycznych warstw modelu

Scheme of numerical layers aggregation

Kierując się powyższymi przesłankami, wydzielono połączony poziom czwartorzędu (warstwa 1 – [tab. 1](#)), izolowany od leżącego niżej poziomu nadwęglonego (3) kompleksem łań i glin (2), następnie poziomy międzywęglowy (5) i podwęglowy (7) – izolowane głównie łańmi (4, 6, 8). Stopień izolacji był determinowany charakterem litologicznym oraz miąższością utworów rozdzielających. Ceną informację, przy ocenie izolacji, stanowiła również analiza ciśnień w sąsiadujących warstwach.

Kolejne wydzielienia: wapienia muszlowego (9), retu (10), środkowego i dolnego pstrego piaskowca (11 i 12) stanowią odrębne warstwy wodonośne. Informacja o ich parametrach jest skąpa i lokuje ich wodoprzepuszczalność często na granicy utworów praktycznie nieprzepuszczalnych. Rozdzielono je ze względu na dostępne obserwacje piezometryczne wskazujące na niepełny kontakt hydrauliczny. Opisany kompleks jest podścielony sekwencją permskich gipsów, anhydrytów i łańpłuków o charakterze izolacyjnym (13). Poniżej wydzielono warstwę wodonośną dolomitu głównego zagregowaną z „dolomitami lubińskimi” (14) pod-

ścieloną kolejną sekwencją utworów izolacyjnych z przewagą anhydrytów (15). Leżącą niżej warstwę stanowi wapień podstawowy – wydzielenie kluczowe z punktu widzenia kształtowania dopływów do wyrobisk górniczych (16). W modelowanym obszarze z punktu widzenia warunków hydrogeologicznych i zawodnienia złożowej serii wapienia podstawowego (Ca1) wyróżnia się dwa rejony: południowy i północny. Rejon południowy, obejmujący strefę podkenozoicznych wychodni utworów cechsztynu, stanowi pas o szerokości 3–5 km. Charakteryzują go skomplikowane warunki tektoniczne (Markiewicz i in., 2006) i hydrogeologiczne: liczne rozmycia erozyjne zapewniają bezpośredni lub pośredni kontakt zdrenowanego górotworu permskiego z utworami poziomu podwęglowego. Opisana sytuacja warunkuje rozwój wielkopowierzchniowego leja depresyjnego zarówno w utworach wapienia podstawowego, jak i oligocenu. Poniżej wapienia podstawowego znajduje się warstwa czerwonego spągowca (17), której spąg stanowi dolną granicę modelu. Wzajemne relacje oraz parametry wydzielonych i zagregowanych poziomów obrazuje [tabela 1](#).

WPLYW KOPALNI NA UKŁAD HYDRODYNAMICZNY

Pierwotne zwierciadło wód podziemnych poziomów kenozoicznych nawiązywało do morfologii terenu z dominującą rolą głównych baz drenażu: Odry, Czarnej Wody i Szprotawy. Mapa zwierciadła pierwszego poziomu wodonośnego (holoceńsko-plejstoceniowego) została opracowana na podstawie najnowszych wyników monitoringu wód podziemnych i powierzchniowych (sieć studni kopanych oraz płytkich piezometrów), studni ujęć oraz informacji z kart otworów badawczych KGHM. W konsekwencji w rejonie działania KGHM uzyskano bazę danych zawierającą informację z 472 punktów obserwacyjnych, w tym: 273 studni kopanych i 118 płytkich piezometrów. Poziomy wodonośne neogenu i paleogenu odwzorowano na podstawie o 81 głębokich piezometrów.

W obrębie czwartorzędowego piętra wodonośnego praktycznie nie obserwuje się obniżenia zwierciadła wód podziemnych. Jest to efektem izolacji wód tego piętra od głębszych poziomów wodonośnych. W pozostałych piętrach wo-

donośnych notuje się znaczne obniżenie ciśnienia piezometrycznego. W obrębie piętra neogenu-paleogenu największe wytworzone depresje (218 m) notuje się dla poziomu oligoceniowego – podwęglowego. Maksymalnie do kilkudziesięciu metrów (33 m) zostało obniżone zwierciadło dynamiczne poziomu mioceńskiego – międzywęglowego. W obrębie poziomu plioceniowego nie stwierdzono wpływu kopalni na położenie zwierciadła wód podziemnych. W wodonośnym piętrze pstrego piaskowca wytworzone depresje zwierciadła wody przyjmują różne wartości w różnych strefach zawodnionych (74–148 m), co wynika z charakteru serii izolujących i pojemności zawodnionej strefy. Dynamiczne zwierciadło wód poziomów cechsztyńskich zostało natomiast obniżone maksymalnie o ponad 403 m w piezometrach i ponad 500 m w wyrobiskach. Wieloletni drenaż górniczy górotworu wywołał regionalny lej depresji o promieniu sięgającym 30 km.

MODEL SYSTEMU WODONOŚNEGO

Wykonany model koncepcyjny systemu hydrogeologicznego obszaru oddziaływania LGOM stał się podstawą w kolejnym etapie prac przy konstrukcji modelu numerycznego. Do badań modelowych zastosowano pakiet programów modelujących Groundwater Modeling System GMS v. 7.0, w którym obliczenia w zakresie filtracji wód podziemnych wykonuje sprawdzony w regionalnych opracowaniach MODFLOW. Moduł obliczeniowy programu bazuje na me-

todzie różnic skończonych (MRS) i wykorzystuje metody iteracyjne: SOR, SIP, PCG/PCG2 i inne (McDonald, Harbaugh, 1988). Program służy do modelowania ustalonych i nieustalonych warunków filtracji wód podziemnych w wielopoziomowych układach hydrostrukturalnych. Poziomy wodonośne można symulować jako naporowe, swobodne lub swobodno-naporowe. Odwzorowanie systemu rzeczywistego odbywa się zarówno na drodze wykonania w pełni trój-

wymiarowego modelu, jak też tzw. modelu pseudoprzestrzennego. Moduły GMS są w pełni zintegrowane z systemem geoinformatycznym ArcGIS, w którym zostały przygotowane warstwy informacyjne modelu hydrogeologicznego i odwzorowana będzie przestrzenna struktura systemu wodonośnego. Ponadto GMS dysponuje wbudowanymi zaawansowanymi modułami w zakresie przygotowania warstw numerycznych, macryc parametrów wejściowych, w tym do modelowania geostatystycznego.

Na podstawie programu komputerowego GMS v. 7.0 zbudowano szczegółowy model hydrogeologiczny systemu wodonośnego składający się z 17 warstw, w tym 11 warstw wodonośnych. Uwzględniono jeden wspólny horyzont wodonośny w utworach czwartorzędu, trzy poziomy w utworach neogenu i paleogenu, cztery w utworach triasu, oraz trzy w osadach permu: cechsztynu – dolomitach Ca2 i wapieniach podstawowych Ca1, oraz czerwonego spągowca. Dotychczas tworzone modele hydrogeologiczne zarówno te starsze z zastosowaniem programu FNN4 (Bocheńska, Fi-

sz, 1988), jak również te najnowsze z lat 2003–2005, z wykorzystaniem Visual MODFLOW (Fischer i in., 2005), koncentrowały się na poziomie wodonośnym Ca1 i analizowały układy czterowarstwowe.

Obszar filtracji został pokryty siatką dyskretyzacyjną o regularnym kroku bloków obliczeniowych 400 × 400 m. W ten sposób badany obszar został podzielony na 154 kolumny i 174 wiersze, co daje w sumie ponad 450 tys. węzłów obliczeniowych w siatce bloków symulujących system wodonośny. Jest to najbardziej szczegółowy i rozległy numeryczny model hydrogeologiczny, jaki stworzono dotychczas na tym obszarze.

Na modelu symulowano działanie 60 ujęć wód podziemnych, a drenaż wód dołowych – za pomocą 1440 bloków. Uwzględniono również w skali modelu główne rzeki i ich dopływy oraz składowisko Żelazny Most. Ze względu na złożoną strukturę i skąpą informację na temat parametrów pojemnościowych warstw wodonośnych model ma charakter ustalony.

PODSUMOWANIE

Przedstawiony w artykule model koncepcyjny i jego wstępna aplikacja były efektem dogłębnych badań struktury systemu hydrogeologicznego na powierzchni ponad 3000 km². Uzyskane dane pozwoliły na wykonanie optymalnej schematyzacji parametrów hydrogeologicznych na potrzeby rozwiązania zadania związanego z wpływem na środowisko wód podziemnych kopalni całego Lubińsko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego.

Zaproponowany siedemnastowarstwowy układ hydrostratygraficzny pozwala na kompleksową ocenę zasięgu leja depresyjnego w przestrzeni, jednocześnie zachowując wydajność niezbędną do generowania kolejnych prognoz.

Opisane podziały siatki dyskretyzacyjnej i sposób wprowadzenia do niej danych gwarantowały wiarygodność odwzorowania niepełnej informacji geologicznej.

Wykonana w dalszej części prac kalibracja modelu wykazała zgodność obliczeń położenia zwierciadeł wód podziemnych ze średnim błędem 4,4 m. Różnice między pomierzonym a rejestrowanym odpływem wód podziemnych dla poszczególnych zlewni nie przekroczyły 5%. Uwzględniając skalę modelu, zasięg do głębokości ponad 1500 m oraz ograniczenia badań modelowych, co do stopnia rozpoznania i koniecznej schematyzacji, należy stwierdzić, że jest to dokładność wystarczająca w tej skali.

Skonstruowany model numeryczny rozwijany i aktualizowany o nowe wyniki będzie podstawą do prac projektowych i obliczeń hydrogeologicznych, w szczególności do kontrolowania rozwoju leja depresyjnego i wpływu odwadniania górniczego na bilans wodny poziomów użytkowych (czwartorzędu i pliocenu).

LITERATURA

- BANASZAK A., LESZCZYŃSKI R., 2007 — Historia dokumentowania złóż rud miedzi na Monoklinie Przesudeckiej. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **423**: 43–58.
- BIENIEWSKI J., PUSSAK A., 1981 — Conditions of water outflow from the rock Massie into the copper mine situated at the fore Sudetes-Monocline area. *Stud. Geotechn. Mech.*, **1**.
- BECKER R., FISZER J., KALISZ M., 2007 — Hydrogeologia. *W: Monografia KGHM Polska Miedź S.A. Wyd. KGHM Cuprum, Wrocław*.
- BOCHEŃSKA T., 1979 — Prognoza dopływów wód w warunkach głębokich kopalń miedzi. *Pr. Nauk. Inst. Gór. PWroc.*, **31**.
- BOCHEŃSKA T., 1988 — Kształtowanie się warunków hydrodynamicznych w lubińsko-głogowskim obszarze miedzionośnym pod wpływem odwadniania kopalń. *Acta Univ. Wratisl.*, **964. Pr. Geol.-Miner.**, **11**, 2: 127–141.
- BOCHEŃSKA T., 2003 — Hydrogeologia złóż i problemy wodne górnictwa rud miedzi. Monoklina przesudecka. *W: Hydrogeologia polskich złóż kopalni i problemy wodne górnictwa. Wyd. AHG, Kraków*.
- BOCHEŃSKA T., FISZER J., 1988 — Computer simulation of drainage process of deep underground mines. *Geomathematics and Geostatics Analysis to Space and Time Dependent Data. Sci. de la Terre, Nancy*: 133–143.
- BOCHEŃSKA T., KALISZ M., 2003b — Problemy wodne w trakcie eksploatacji złoża. *W: Hydrogeologia polskich złóż i kopalni i problemy wodne górnictwa. t. 2. Wyd. AGH, Kraków*.
- BOCHEŃSKA T., DOWNOROWICZ S., KALISZ M., 2003a — Hydrogeologia złóż i problemy wodne górnictwa rud miedzi. *W: Hydrogeologia polskich złóż i kopalni i problemy wodne górnictwa t. 2. Wyd. AGH, Kraków*.

- BOCHEŃSKA T., KALISZ M., 2003c — Wpływ eksploatacji górniczej na środowisko wodne. *W: Hydrogeologia polskich złóż kopalni i problemy wodne górnictwa*. t. 2. Wyd. AHG, Kraków.
- FISZER J., 2005 — Badania modelowe regionalnego krążenia wód w obszarze oddziaływania kopalń LGOM. *Pr. Nauk. Inst. Gór. PW. Konferencje, Zagadnienia interdyscyplinarne w górnictwie i geologii*, **110**, 42: 111–121.
- FISZER J. i in., 2005 — Badania modelowe zmian hydrodynamicznych w podwęglowym poziomie wodonośnym, powstałych w wyniku uszczelniania poziomu wodonośnego dolomitów złożowych w rejonie Polkowice Zachodnie, w celu określenia ich wpływu na wzrost zagrożeń wodnych w pozostałych rejonach O/ZG Polkowice–Sieroszowice i O/ZG Lubin. Opracowanie KGHM „Cuprum” – CBR, Wrocław.
- MCDONALD M.G., HARBAUGH A.W., 1988 — A modular three-dimensional finite-difference groundwater flow model. U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigation, Book 6.
- KALISZ M., MARKIEWICZ A., SIEROŃ H., CYGAN S., KLIMKIEWICZ A., 2005 — Dokumentacja hydrogeologiczna złoża rud miedzi „Głogów Głęboki – Przemysłowy” wg stanu na 30.09.2005 r. Opracowanie KGHM „Cuprum” – CBR, Wrocław.
- KALISZ M., CYGAN S., KLIMKIEWICZ A., 2007 — Projekt optymalnego drenażu wód kopalnianych w oddziałach górniczych KGHM Polska Miedź S.A. w świetle prognoz dopływów, projektowanej eksploatacji rudy miedzi oraz potrzeb technologicznych ZWR w latach 2006–2015. Opracowanie KGHM „Cuprum” – CBR, Wrocław.
- KALISZ M., FISZER J., SZCZEPIŃSKI J., 1996 — Prognoza dopływów wód podziemnych do kopalń rud miedzi KGHM Polska Miedź S.A. Opracowanie CBPM „Cuprum”, Wrocław.
- KLIMKIEWICZ A., 2009 — Monitoring wód podziemnych i powierzchniowych w rejonie oddziaływania kopalń KGHM PM S.A. – pomiary i raport roczny, KGHM Cuprum, Wrocław.
- KOCHANOWSKA J. i inni, 2004 — Mapa geologiczna Polski, ark. Ścinawa. PG PROXIMA, Wrocław.
- KRÓL E. i in., 2004 — Mapa geologiczna Polski, ark. Rudna. PG PROXIMA, Wrocław.
- MARKIEWICZ A. i in., 2006 — Geologiczno-górniczne warunki eksploatacji złoża rud miedzi w południowej części obszarów górniczych „Lubin” i „Polkowice” wraz z okresową ich oceną – Etap III. Opracowanie KGHM „Cuprum” – CBR, Wrocław.
- WORSZA-KOZAK M., KALISZ M., 2009 — Dokumentacja hydrogeologiczna składowiska odpadów poflotacyjnych Żelazny Most. KGHM Cuprum, Wrocław.

SUMMARY

Three dimensional hydrogeological model 3D (regional), including impact of copper mine activity in Lubin-Głogów Ore District (LGOM) has been elaborated in the Institute of Geological Sciences, Wrocław University. Created and tested detailed hydrogeological model covers surface of 3049 km², and includes mine area of KGHM Polska Miedź (650 km²). Despite the large number of input data (over 1770 point data – see Fig. 1) it should be state that stage of recognition of the water system is diversified. Good information on hydrogeological condition is in mine area when on the rest of modelling terrain is low and decreasing with the depth.

Base on Groundwater Modeling System GMS v. 7.0 program detailed hydrogeological model has been created with a 17 layers and 11 aquifers (Tab. 1). The filtration field has been cover with regular set of numerical blocks each of 400 × 400 m size. Outside boundaries of the model has been define as boundary condition of III type (River) – in the place where it coincide with surface rivers in the first layer.

In other layers the III type of boundary conditions (GHB) has been simulated along the outcrop of aquifers. Boundary condition zero flow ($Q = 0$) Has been introduced in water divide in case of Quaternary aquifer and in the bottom and along outcrop of aquifers. Sixty water intakes has been simulated in model and water drainage in mine activity has been introduced in 1440 elementary blocks. Main rivers and inflows has been implemented as well as ore waste deposit of Żelazny Most. Considering complex structure and limited information on deeper aquifer capacity the model has benne constructed for steady state condition

Calibration as a next stage of modelling process showed good correlation of calculated water table position in relation to the measurements with average error of 4.4 m. The differences between measured and calculated groundwater runoff to the each watershed is in range lower than 5%. Considering scale of the model and depth up to 1500 m, as well as limitation of the numerical modelling and stage of recognition it should be state that it is correct accuracy in such scale.