

## HYDROGEOLOGICZNY MODEL REGIONALNY JAKO STAŁE NARZĘDZIE W ROZWIĄZYWANIU RÓŻNOSKALOWYCH ZADAŃ – DOŚWIADCZENIA Z REJONU LEGNICKO-GŁOGOWSKIEGO OKRĘGU MIEDZIOWEGO (LGOM)

### HYDROGEOLOGICAL REGIONAL MODEL AS A PERMANENT TOOL IN SOLVING VARIOUS-SCALE TASKS – EXPERIENCE FROM THE LEGNICA-GŁOGÓW COPPER REGION (LGOM)

JACEK GURWIN<sup>1</sup>, MAREK WCISŁO<sup>1</sup>

**Abstrakt.** Modele regionalne, obejmujące kilka tysięcy kilometrów kwadratowych, zazwyczaj tworzy się w celu odzwierciedlenia funkcjonowania systemów hydrogeologicznych, których warunki wewnętrzne wywierają wpływy sięgające na znaczne odległości. Należą do nich: rzeki (model obejmuje zlewnię), zbiorniki wód podziemnych (model obejmuje obszary zasilania), duże ujęcia oraz zakłady górnicze (model obejmuje zasięg wpływu odwadniania). Ze względu na sposób formułowania zadania hydrogeologicznego oraz dokładność poddyktowaną skalą, tego typu modele przestają być wykorzystywane zaraz po zweryfikowaniu, zarchiwizowaniu i wprowadzeniu wyników do dokumentów planistycznych i opracowań, którym służyły. W niniejszej pracy zaprezentowano model o powierzchni ok. 3 tys. km<sup>2</sup>, który podlega aktualizacjom i z powodzeniem jest wykorzystywany od 2010 r. w kolejnych zadaniach. Przedstawiono również, w jaki sposób można dochodzić do rozwiązania zagadnień w skali lokalnej, rzędu kilkudziesięciu–kilkuset metrów, w siatce dyskretyzacyjnej modelu o charakterze regionalnym z rozmiarem bloków 400 × 400 m. Opisano jak model ewoluował przez zmiany parametrów i dostosowywanie go do nowych zadań hydrogeologicznych. Konstrukcja modelu regionalnego wymaga znacznego nakładu prac dokumentacyjnych, polowych oraz kameralnych. Dalsze wykorzystanie takiego produktu, jako efekt wysiłku wielu osób, wydaje się nieodzowne. Należy zmierzać do użytkowania modeli regionalnych w dłuższej perspektywie czasu, jako stałe, z zaangażowaniem osób, które brały udział w ich powstaniu, w celu optymalnego ich dostosowania do nowych zadań.

**Słowa kluczowe:** aktualizacja modelu, skala modelu, model regionalny, odwadnianie wyrobisk.

**Abstract.** Regional models, covering several thousand km<sup>2</sup>, are usually implemented to reflect the functioning of hydrogeological systems, whose internal conditions exert an influence over long distances. These include rivers (a model of a catchment), groundwater basins (models covering recharge areas), large intakes and mines (models covering capture zones). Due to the manner of formulating the hydrogeological task and accuracy dictated by the scale, such models are forgotten immediately after verifying, archiving and introducing the results into planning documents and studies. A numerical model with an area of approx. 3 thousand km<sup>2</sup> is presented, which is subject to updates and successfully solves subsequent tasks from 2010. It shows how the solutions can be approached on a local scale, on the order of several tens – several hundred metres, using a 400-metre discretization grid. The construction of the regional model requires a high amount of documentation, field and computer work. Therefore, we should aim to use regional models in the long-term, as permanent, with the involvement of people who participated in their creation.

**Key words:** numerical model update, model scale, regional model, mine dewatering.

### WSTĘP

Wyjściową koncepcję regionalnego numerycznego modelu opracowano na bazie analiz archiwalnych materiałów i wyników wcześniejszych badań modelowych (Bocheńska,

1979; Kalisz i in., 1996; Bocheńska, Kalisz, 2003a, b; Fiszler i in., 2005; Fiszler, Kalisz, 2008). Ten pierwotny model, zrealizowany w 2010 r. i później modyfikowany (Staśko i in., 2011, 2012; Gurwin i in., 2014), podlegał dalszej

<sup>1</sup> Uniwersytet Wrocławski, Instytut Nauk Geologicznych, pl. Maxa Borna 9, 50-205 Wrocław; e-mail: jacek.gurwin@uwr.edu.pl; marek.wcislo@uwr.edu.pl.

aktualizacji w ramach prac związanych z dokumentowaniem złoża Radwanice-Gaworzyce oraz innych zadań z zakresu oceny zawodnienia wyrobisk.

Modelem objęto obszar 3049 km<sup>2</sup> w celu jak najwierniejszego oddania granic naturalnych systemu wodonośnego i ograniczenia wpływu wymuszeń, głównie odwadniania, na dopływy boczne. Wymagało to włączenia naturalnych obszarów zasilania wód podziemnych w formacji kenozoicznej i odzwierciedlenia naturalnych baz drenażu (rzek: Odry, Kaczawy, Rudnej, Szprotawy, Czarnej Wody) lub wododziałów. Zasięg modelu zobrazowano na figurze 1.

Nawet przyjmując pogląd wielu autorów, że przy schematyzacji należy dążyć do maksymalnego uproszczenia warunków przepływu wód podziemnych (np. Bredehoeft, 2005; Voss, 2011a, b), tak złożony system wodonośny trzeba było odwzorować w skali regionalnej, wydzielając 11

warstw wodonośnych i 6 izolujących. Przy czym przyjęte na modelu warstwy można podzielić na dwa kompleksy: kenozoiczny, w którym serie osadowe zalegają głównie horyzontalnie, oraz podkenozoiczny, utworzony przez utwory permu i triasu zapadające monoklinalnie w kierunku północno-wschodnim (monoklina przedsudecka). Podkenozoiczne wychodnie tych utworów, tworzące strefę wysokiego zawodnienia i dobrego kontaktu hydraulicznego z kompleksem kenozoiku, zaznaczono na figurze 1. W ślad za tym spasowano ich zasięgi z aktywną częścią siatki dyskretyzacyjnej i wprowadzono odpowiednie warunki brzegowe. Strukturę i parametry regionalnego modelu filtracji opisano we wcześniejszej pracy (Staško i in., 2012). W kolejnym artykule zwrócono także uwagę na możliwość pełnienia przez niego funkcji modelu o charakterze stałym, na którym można realizować wariantowe

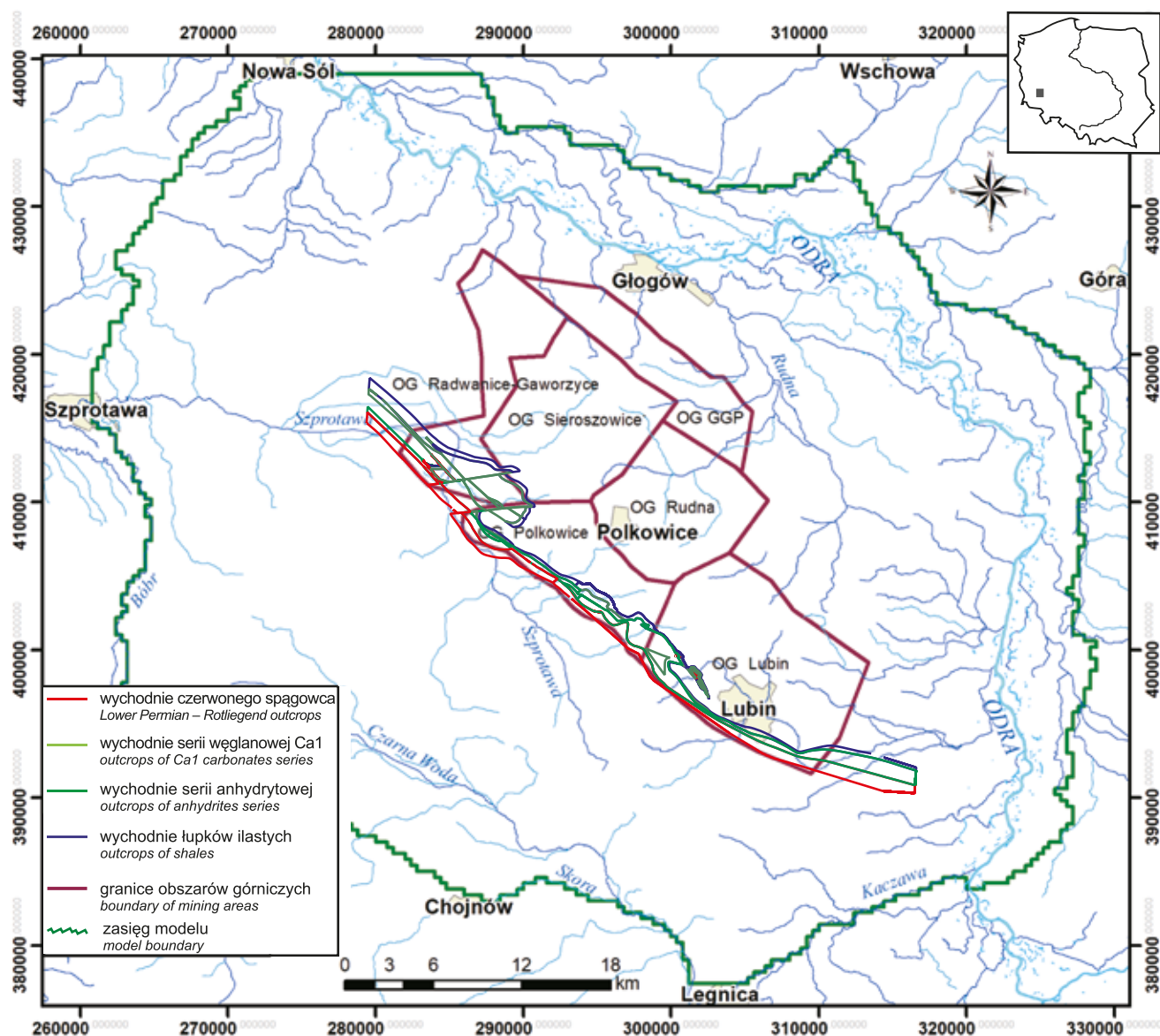


Fig. 1. Lokalizacja obszaru badań

Location of the study area

symulacje i prognozy, wynikające z bieżących problemów kopalni (Gurwin i in., 2014). To zagadnienie rozwinięto w niniejszej publikacji, podając przykłady wykonanych analiz zarówno dla całego modelowanego systemu, jak i dla jego wybranych części, istotnych ze względu na zawodnienie wyrobisk w danym okresie. Przez postępującą eksploatację model wymagał uaktualnienia w celu odwzorowania nowych partii wyrobisk oraz otworów drenujących, które dotąd nie były uwzględniane. Lokalne problemy, związane z postępowaniem eksploatacji i wyprzedzającym odwadnianiem w ściśle określonej strefie, nie były brane pod uwagę na wyjściowym regionalnym modelu, gdzie kalibracja dopływów była możliwa jedynie z dokładnością do wydzielonych obszarów górniczych. Nowe dane zebrane przez służby hydrogeologiczne kopalni wskazały na możliwość przybliżonego rozdziału dopływów na różne strefy, zwłaszcza w odniesieniu do najważniejszych, ze względu na wielkość i charakter dopływów, OG Sieroszowice i OG Polkowice. Na modelu, mimo jego typowo regionalnego charakteru, wykazano, że tak daleko idące uszczegółowienie, do poziomu wybranej grupy otworów odwadniających, jest możliwe.

### SCHEMATYZACJA WARUNKÓW HYDROGEOLOGICZNYCH

Obszar badań modelowych znajduje się, zgodnie z regionalnym podziałem zwykłych wód podziemnych, w regionie środkowej Odry (Paczyński, Sadurski, 2007), w obrębie złożonego wielowarstwowego systemu wodonośnego, pozostającego pod wpływem długotrwałego drenażu górniczego. W kompleksie kenozoicznym, o całkowitej miąższości od 350 m na południu do 500 m na północy, występują wody porowe w dwóch piętrach wodonośnych – czwartorzędowym i neogeńskim. Kompleks triasowo-permski, o całkowitej miąższości od kilkudziesięciu do ponad 1000 m, gromadzi natomiast wody szczelinowo-porowe i szczelinowo-krasowe. O wodonośności triasowego piętra wodonośnego decydują utwory piaskowcowe pstręgo piaskowca, a bardziej na północ – także węglanowe serie wapienia muszlowego. W permskim piętrze wodonośnym wydziela się wapienie i dolomity cechsztynu oraz piaskowce czerwonego spągowca. Kierując się zasadami schematyzacji warunków hydrogeologicznych, na modelu wydzielono połączony poziom czwartorzędu (warstwa 1), izolowany od leżącego niżej poziomu nadwęglowego (3) kompleksem ilów i glin (2), następnie poziomy międzywęglowy (5) i podwęglowy (7) – izolowane seriami ilastymi (4, 6, 8). Pod osadami miocenu i oligocenu zalegają monoklinalnie utwory wapienia muszlowego (9), retu (10), środkowego i dolnego pstręgo piaskowca (11 i 12), które są podścielone sekwencją permskich gipsów, anhydrytów i łupków ilastych o charakterze izolacyjnym (13). W ich obrębie wydziela się cechsztyński poziom dolomitu głównego Ca2 (14), o miąższości od kilku do ponad 30 m, kluczowe znaczenie dla bezpośredniego zawodnienia wyrobisk mają natomiast wapienie i dolomity złożowej serii Ca1 (16), o miąższości od kilku

do kilkudziesięciu metrów. W spągu występują piaskowce czerwonego spągowca (17) (fig. 1).

### AKTUALIZACJA MODELU

Regionalny model numeryczny zbudowano dla terenu obejmującego wszystkie obszary górnicze wraz z otoczeniem sięgającym na północy i na wschodzie ponad 5 km za Odrę (fig. 1), żeby jak najlepiej odwzorować zmiany hydrodynamiczne w zasięgu wpływu działalności kopalni. Dyskretyzacja obszaru filtracji została wykonana jednolitą kwadratową siatką bloków elementarnych o rozmiarach  $x = y = 400$  m. Do obliczeń przyjęto quasi-ustalone warunki filtracji. Wykorzystano pakiet systemu GMS (*Groundwater Modeling System*), w którym obliczenia w zakresie przepływu wód podziemnych wykonuje sprawdzony w regionalnych opracowaniach MODFLOW (McDonald, Harbaugh, 1988).

Kolejny etap aktualizacji i kalibracji modelu polegał na takim dopasowaniu jego parametrów, żeby otrzymać dopływy do wyrobisk zgodne z obecnie obserwowanymi oraz zgodność zwierciadła wód podziemnych na modelu i w rzeczywistości. Ogólny bilans wodny otrzymany z modelu zamknął się z wysoką dokładnością. Do obliczeń wybrano stan z kwietnia 2016 r. Wykonano nowe prognozy dopływów do wszystkich obszarów górniczych, jednak w sposób szczególny uwzględniono kluczowy obszar łączności hydraulicznej poziomów Ca1 i Ca2 na obszarze OG Sieroszowice.

W ramach kalibracji dokonano porównania dopływów, opierając się na szczegółowo wyznaczonych strefach, w których na podstawie pomiarów można było zróżnicować wartości tych dopływów. Ponieważ skoncentrowano się na obszarach górniczych Sieroszowice i pobliskim – Polkowice, na modelu wyznaczono dla nich odpowiednio większą liczbę stref: 5 – dla OG Sieroszowice (+ przynależny OG Głogów Głęboki-Przemysłowy) i 6 – dla OG Polkowice. Dla kopalni Lubin wydzielono natomiast 4 strefy, a dla OG Rudna (+ przynależny OG Głogów Głęboki-Przemysłowy) – 1 strefę.

W większości przypadków różnica dopływów pomierzonych i uzyskanych w badaniach modelowych nie przekracza 10%. Przypadki większych różnic dotyczą dopływów relatywnie niskich (400–500 l/min). Średnia rozbieżność, rozumiana jako średnia z bezwzględnych odchyłeń procentowych, kształtuje się na niskim poziomie (4,5%).

Drugim z analizowanych kryteriów zbieżności było porównanie wysokości hydraulicznych obserwowanych i wyliczonych. Szczególnie brano pod uwagę rejon formowania się dopływów z poziomu dolomitu głównego na OG Sieroszowice. Dla poziomów istotnych z punktu widzenia kształtowania się dopływów (oligocen, Ca1, Ca2) w pobliżu znajduje się łącznie 8 punktów obserwacji zwierciadła, które wykorzystano w kalibracji: 5 dla poziomu oligocenu i 3 dla dolomitu głównego; jeden dotyczy pomiaru z wyrobisk (Ra-10G-31), pozostałe to otwory wykonane z powierzchni terenu. Uzyskane różnice wysokości hydraulicznych, kształtujące się w zakresie 3–16 m, należy uznać za nieznaczne, biorąc pod uwagę, że spadki

hydrauliczne osiągają wartości 0,1–0,5 (czyli nawet 500 m/km), a zmienność wysokości hydraulicznych w pojedynczych blokach modelu wynosi ok. 25–200 m. Pozostałe punkty kalibracji zwierciadła w innych rejonach kopalni również wykazują wysoką zgodność. Błąd średni bezwzględny dla całego modelu wyniósł 4,6 m, a dla kluczowych poziomów: 16,4 m – oligocen, 16,5 m – dolomit główny, 11,6 m – wapień podstawowy.

Istotnym rezultatem modelu jest uzyskany bilans wodny. Z uwagi na skomplikowaną 17-warstwową strukturę, ze względów praktycznych, dokonano częściowej agregacji warstw modelu i przeanalizowano przepływy pomiędzy wybranymi wydzieleniami. Najważniejszymi poziomami wodonośnymi, odpowiedzialnymi za kształtowanie się dopływów dynamicznych, są poziom złożowy Ca1 oraz zasilający go, odnawialny poziom oligocenu. W północnym rejonie kopalni ważną rolę odgrywa poziom dolomitu głównego, jego połączenia z wapieniem podstawowym oraz stopień odnawialności, za który jest odpowiedzialne ewentualne przesączanie z kompleksu wyżej leżącego (cechsztynu lub oligocenu – w rejonie wychodni). W celu ilościowego odwzorowania procesów zasilania odpowiedzialnych za zawodnienie wyrobisk zdecydowano się na określenie następujących wydzieleni:

- kenozoik (I–VII warstwy modelu);
- kompleks podkenozoiczny bez wapienia podstawowego i dolomitu głównego (VIII–XIII warstwy modelu);
- dolomit główny (XIV–XV warstwy modelu);
- wapień podstawowy + czerwony spągowiec (XVI–XVII warstwy modelu).

Taki układ, pozostając czytelny i łatwy do interpretacji, jednocześnie pozwala na symulację i analizę następujących procesów:

- zasilania wapienia podstawowego przez strefy kontaktu z poziomem oligocenu;
- zasilania wapienia podstawowego z poziomu dolomitu głównego przez utwory praktycznie nieprzepuszczalne anhydrytu oraz soli;
- zasilanie wapienia podstawowego z dolomitu głównego przez strefy graniczne wyklinowań soli;
- zasilanie dolomitu głównego z poziomów wyżej leżących: oligocenu (na wychodniach) oraz kompleksu triasu (w strefie północnej).

## WYNIKI BADAŃ MODELOWYCH

Podczas analizy wyników w skali całego modelu można uzyskać zaktualizowany ogólny bilans wodny obszaru (tab. 1), w którym po stronie dopływów dominuje zasilanie infiltracyjne (ok. 87% całości), a po stronie odpływów – drenaż rzek (ok. 82%). Drenaż wyrobiskami, stanowiący ok. 8% ogółu strat bilansowych, zależy głównie od przesączania z nadkładu.

Na obszarze górniczym Sieroszowice, znajdującym się w centrum uwagi analiz, główne źródło zasilania stanowi właśnie przesączanie z wyższych warstw (fig. 2). Z pozo-

mu oligocenu napływa do kompleksu podkenozoicznego ok. 4 tys. m<sup>3</sup>/d i podobna ilość wód napływa do dolomitu głównego. W dolomicie głównym przesączanie z góry uzupełnione przez dopływ boczny tworzy źródło zasilania dla wapienia podstawowego Ca1 w wysokości 4441 m<sup>3</sup>/d. Analiza bilansu najniższego wydzielenia (Ca1) skłania do wniosku, że napływ wód z dolomitu głównego stanowi 80% sumy zasilania – reszta pochodzi z dopływu bocznego w obrębie poziomów Ca1 i czerwonego spągowca. Dolomit główny, niezwykle istotny z punktu widzenia kształtowania zawodnienia poziomu złożowego (a więc i wyrobisk w jego otoczeniu), jest zasilany przede wszystkim z kompleksu podkenozoicznego (w 87%), natomiast kompleks podkenozoiczny – właściwie wyłącznie z oligocenu. Z powyższej analizy wynika, że podstawowe źródło zasilania dla wód drenowanych wyrobiskami OG Sieroszowice znajduje się

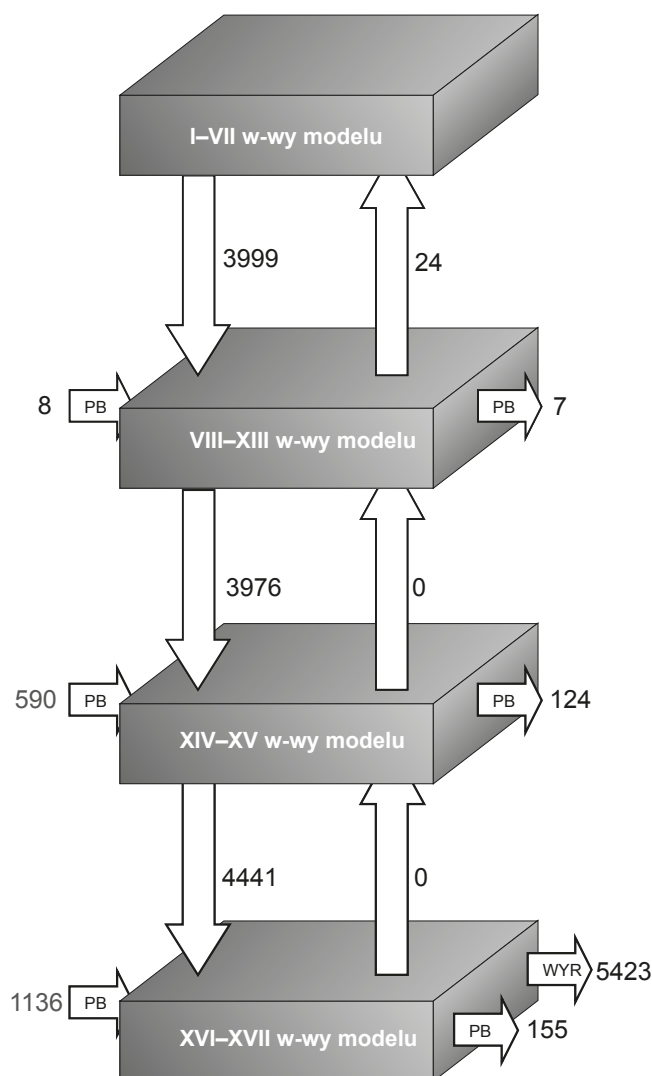


Fig. 2. Składniki bilansu wodnego dla OG Sieroszowice [m<sup>3</sup>/d]

PB – dopływ boczny, WYR – drenaż wyrobisk

Water balance components of the OG Sieroszowice [m<sup>3</sup>/d]

PB – lateral inflow, WYR – drainage of excavations

w poziomie oligoceńskim. Pozostałe zasilanie (ok. 20%) pochodzi z dolomitu głównego, przy czym trudno określić, w jakim stopniu jest to źródło odnawialne.

Na aktualizowanym i wykalibrowanym według nowego stanu hydrodynamicznego modelu można, mimo jego regionalnej skali, również wykonywać szczegółowe analizy w konkretnych rejonach kopalni, gdzie został stwierdzony problem z zawodnieniem lub dopływami z konkretnej strefy, którą nacięto wyrobiskami. Tego typu analizę na obszarze południowym autorzy przeprowadzili już wcześniej (Gurwin i in., 2014), natomiast problem przedstawiany w tym artykule dotyczy obliczeń w skali lokalnej dla zachodniej części OG Polkowice. W tej sytuacji nie chodziło już o dopasowanie ogólnych dopływów do określonego obszaru górniczego, lecz kontrolowano dopływy do poszczególnych zespołów wyrobisk, dla których są zbierane dane o rzeczywistym drenażu (fig. 3). Wymaga to znacznie dokładniejszej kalibracji, uwzględniającej także ciśnienia notowane w otworach wierconych z poziomu wyrobisk.

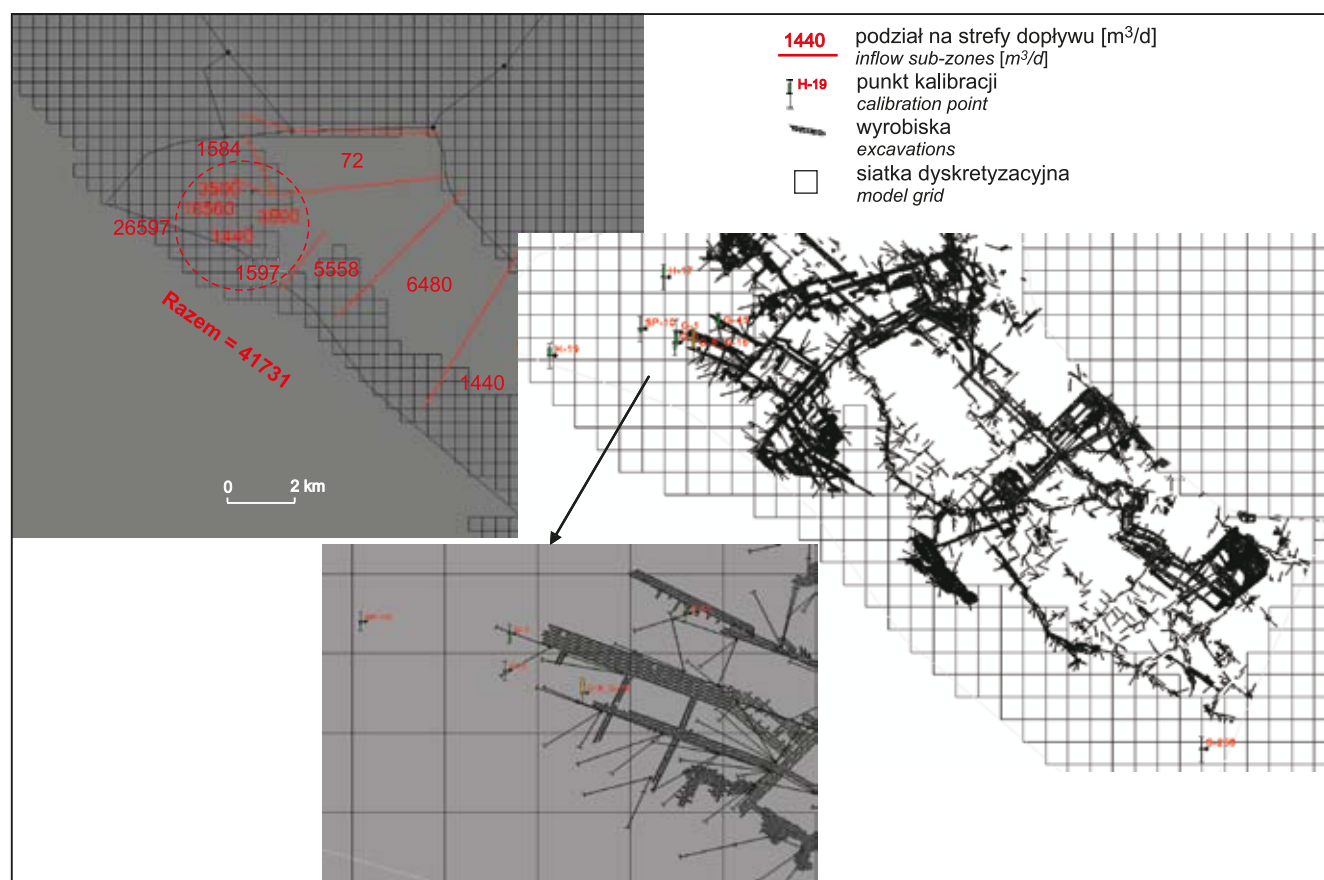
Ostatecznie wydzielono 6 stref dopływów w południowej części (zawodnionej), które powiązano z otworami drenażowymi oraz chodnikami (fig. 3, tab. 2). W ramach szczegółowego przygotowania do kalibracji, przeanalizowano możliwość wykorzystania pomiarów wykonywanych z dołu. W pierwszej kolejności zgeneralizowano ciśnienia w obrę-

**Tabela 1**  
**Bilans wodny modelowanego obszaru LGOM**  
Water balance of the entire LGOM area

Składowe	Dopływy		Odpływy	
	[m <sup>3</sup> /d]	[%]	[m <sup>3</sup> /d]	[%]
Dopływ/odpływ boczny	61067,0	8,4	53082,0	7,3
Rzeki	29492,0	4,0	601609,0	82,2
Zasilanie z opadów	641397,0	87,6	0,0	0,0
Drenaż wyrobiskami	0,0	0,0	58755,0	8,0
Ujęcia	0,0	0,0	18500,0	2,5
Suma	731956,0	100,0	731947,0	100,0
Różnica (dopływy-odpływy)	9,0	0,00001		

bie jednego bloku oraz odrzucono dane pochodzące ze skrajnego bloku, jako obarczone zbyt wysokim błędem dyskretyzacji. Otrzymano w ten sposób 4 dodatkowe punkty pomiarów ciśnień (fig. 3) do weryfikacji modelu w rejonie najbardziej zawodnionej strefy o dopływie przekraczającym 11 m<sup>3</sup>/h.

Dobrym przykładem rozwiązania zagadnienia w skali lokalnej jest interpretacja sytuacji wzdłuż linii piezometrów H-19-SP-10-G-1 (fig. 3), w której eksploatacja i pomiary



**Fig. 3. Schematyzacja dopływów do zespołów wyrobisk i kalibracja w skali lokalnej dla OG Polkowice**

Schematization of drainage zones and calibration on a local scale for the Polkowice area

**Tabela 2****Porównanie dopływów do wyrobisk OG Polkowice obserwowanych i wyinterpretowanych na modelu**

Comparison of inflows to the excavations of the OG Polkowice observed and interpreted on the model

Lp.	Dopływ rzeczywisty		Dopływ całkowity wyinterpretowany na modelu		Różnica	
	[m <sup>3</sup> /min]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /min]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /min]	[%]
1	1,00	1 440	0,87	1 252,8	-0,13	-15
2	4,50	6 480	4,57	6 580,8	0,07	2
3	3,86	5 558	3,64	5 241,6	-0,22	-6
4	18,47	26 597	18,05	25 992,0	-0,42	-2
5	1,10	1 584	0,95	1 368,0	-0,15	-16
6	0,05	72	0,04	57,6	-0,01	-25
<b>Suma</b>	<b>28,98</b>	<b>41 731</b>	<b>28,12</b>	<b>40 492,8</b>	<b>-0,86</b>	<b>-3</b>

piezometryczne powoli osiągają strefę kontaktu z zawodniwym oligocenem, prawdopodobnie oddzielną strefą o bardzo niskiej przepuszczalności. Jest to związane z bardzo wysokimi dopływami w rejonie otworu G-1. W zależności od tempa zacierpywania zasobów piętra neogeńskiego, obniżanie ciśnień do bezpiecznych poziomów może być długotrwałe. Sytuację dodatkowo komplikuje szeroka strefa wychodni zlokalizowana w odległości ok. 1000 m na zachód

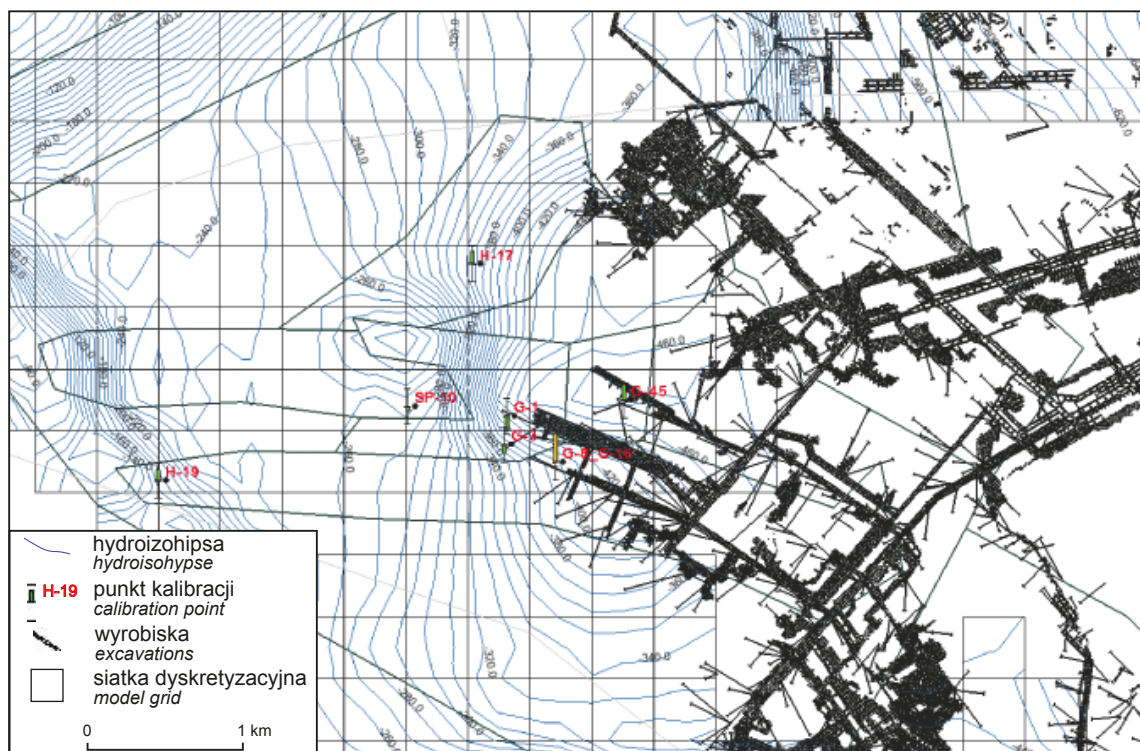
od otworu SP-10. W tym przypadku korzystniejsze wydaje się prowadzenie eksploatacji na północ lub południowy zachód od otworu G-1. Rozkład powierzchni piezometrycznej uzyskanej w następstwie kalibracji zobrazowano na [figurze 4](#). W [tabeli 2](#) zestawiono również całkowite dopływy do wyrobisk w OG Polkowice obserwowane i wyinterpretowane na modelu.

**PODSUMOWANIE**

Doświadczenia zebrane w toku realizacji i już kilkakrotnej weryfikacji numerycznego regionalnego modelu dla obszaru LGOM wskazują, że może on być z powodzeniem używany jako stałe narzędzie do wykonywania symulacji zarówno dla całego obszaru, jak i wybranych obszarów górniczych. Sprawdzą się także w skali lokalnej do rozwiązywania aktualnych problemów z zawodnieniem w określonych strefach kopalni, dla których zdołano zebrać i rozdzielić dopływy z górotworu, traktowane we wcześniejszych wersjach modelu jako ogólny dopływ do całego obszaru górniczego.

Na OG Polkowice szczegółowa weryfikacja pomiarów wód drenowanych wyrobiskami w rozbiu na podobszary wskazuje na zmniejszenie się sumarycznych ilości dopływających wód. Przewiduje się, że nastąpi dalsza aktualizacja modelu na wszystkich obszarach górniczych z możliwością weryfikacji prognoz.

Ze względu na dalsze obniżanie zwierciadła wód w licznych piezometrach w poziomach cechsztyńskim i oligocen-

**Fig. 4. Odzworowanie warunków hydrodynamicznych w skali lokalnej w rejonie OG Polkowice**

Mapping of hydrodynamic conditions at the local scale in the OG Polkowice area

skim, należy wnosić, że nadal część dopływu pochodzi z zasobów statycznych. Próba przebudowy całego modelu do warunków filtracji nieustalanej wydaje się nazbyt złożonym zadaniem, natomiast, jeżeli zajdzie taka potrzeba, to dla ściśle wybranego rejonu można będzie wykonać taką prognozę, co pozwoliłoby uwzględnić w bilansie dopływu z odsączalności sprężyste.

## LITERATURA

- BOCHEŃSKA T., 1979 – Prognoza dopływów wód w warunkach głębokich kopalń miedzi. *Pr. Nauk. Inst. Gór. PWroc.*, **31**.
- BOCHEŃSKA T., KALISZ M., 2003a – Problemy wodne w trakcie eksploatacji złoża. *W: Hydrogeologia polskich złóż kopalni i problemy wodne górnictwa*. T. 2 (red. Z. Wilk, T. Bocheńska); 81–101. AGH, Kraków.
- BOCHEŃSKA T., KALISZ M., 2003b – Wpływ eksploatacji górniczej na środowisko wodne. *W: Hydrogeologia polskich złóż kopalni i problemy wodne górnictwa*. T. 2 (red. Z. Wilk, T. Bocheńska); 167–177. AGH, Kraków.
- BREDEHOEFT, J., 2005 – The conceptualization model problem-surprise. *Hydrogeol. J.*, **13**: 37–46.
- FISZER J., KALISZ M., 2008 – Model warunków hydrogeologicznych obszaru miedzionośnego dla potrzeb prognozowania dopływów i zagrożeń wodnych w kopalniach podziemnych. KGHM Cuprum – CBR, Wrocław.
- 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.
- GURWIN J., STAŚKO S., WCISŁO M., 2014 – Dokładność odwzorowania wielowarstwowych systemów hydrogeologicznych na szczegółowych modelach numerycznych – analiza dla obszaru LGOM. *W: Modele matematyczne w hydrogeologii* (red. A. Krawiec, I. Jamorska); 45–50. UMK, Toruń.
- KALISZ M., FISZER J., SZCZEPIŃSKI J., 1996 – Prognoza dopływów wód podziemnych do kopalń rud miedzi KGHM. Polska Miedź S.A. Opracowanie CBPM Cuprum, 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. U.S. G.P.O.
- PACZYŃSKI B., SADURSKI A. (red.), 2007 – Hydrogeologia regionalna Polski. T. 1. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- STAŚKO S., TARKA R., KRYZA H., MODELSKA M., BUCZYŃSKI S., GURWIN J., KRYZA J., OLICHWER T., WĄSIK M., WCISŁO M., MOSKWA K., BEDNARZ M., 2011 – Sprawozdanie z realizacji pracy badawczej pt. „Numeryczny model hydrogeologiczny 3D (regionalny), uwzględniający strefę oddziaływania górnictwa rud miedzi LGOM – etap II”. UWroc., Wrocław.
- STAŚKO S., GURWIN J., WCISŁO M., MODELSKA M., KRYZA H., KRYZA J., OLICHWER T., BUCZYŃSKI S., TARKA R., WĄSIK M., BECKER R., 2012 – Model koncepcyjny systemu hydrogeologicznego obszaru oddziaływania LGOM. *W: Modelowanie przepływu wód podziemnych* (red. A.J. Witkowski, A. Sadurski). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **451**: 203–210.
- VOSS C.I., 2011a – Editor’s message: Groundwater modeling fantasies – part 1, adrift in the details. *Hydrogeol. J.*, **19**, 7: 1281–1284.
- VOSS C.I., 2011b – Editor’s message: Groundwater modeling fantasies – part 2, down to earth. *Hydrogeol. J.*, **19**, 7: 1455–1458.

## SUMMARY

The experience gained during the implementation and repeated verification of the numerical model for the LGOM area indicates that it can be successfully used as a permanent tool for performing simulations not only for both the entire area and selected mining areas, but also on a local scale to solve current problems with groundwater in specific mine sub-zones, for which the inflows from the orogen were managed and separated, treated in earlier versions of the model as a general inflow to the entire area. In the OG Polkowice area, detailed verification of measurements of water drained

by excavations indicates a decrease in the total amount of incoming water, and gives opportunity of water balance calculation. Due to the further lowering of the piezometric level in numerous piezometers in the Zechstein and Oligocene aquifers, it should be noted that some of the inflow still comes from static resources. However, as in previous updates, it was assumed that the inflow to OG Polkowice comes in 90% from dynamic resources. It is a result of steady-state model character, dictated by high complex model structure

