

METODYKA OCENY ZASOBÓW DYSPOZYCYJNYCH WÓD LECZNICZYCH REJONU MUSZYNY NA PODSTAWIE MODELOWANIA W SYSTEMIE ArcGIS I GMS

METHODOLOGY ON THE EVALUATION OF DISPOSABLE RESOURCES OF MEDICAL WATERS FROM MUSZYNA REGION BASED ON MODELLING IN ArcGIS AND GMS SYSTEMS

JAROSŁAW KANIA¹, IRENA JÓZEFKO², STANISŁAW WITCZAK¹

Abstrakt. GMS i ArcGIS zostały użyte do zbudowania wielowarstwowego regionalnego modelu rejonu Muszyny. Model koncepcyjny przygotowany w środowisku ArcGIS został przetransponowany do numerycznego modelu GMS. Rozpoznano lokalny i regionalny system przepływu w ośrodku szczelinowo-porowym w utworach fliszu w obszarze górskim. Lecnicze wody mineralne są związane z obszarami drenażu regionalnego systemu przepływu. Trójwymiarowy (3D) model numeryczny umożliwił ocenę zasobów dyspozycyjnych wód mineralnych i współwystępujących wód zwykłych. Taki model wydaje się być dobrym narzędziem prowadzenia racjonalnej eksploatacji wód podziemnych w skomplikowanym systemie krążenia wód zwykłych i mineralnych.

Słowa kluczowe: wody mineralne, zasoby dyspozycyjne, numeryczny model przepływu, GMS, GIS.

Abstract. GMS and ArcGIS were used to build a regional, multilayered model of the Muszyna region. A conceptual model performed in ArcGIS environment was transformed into a GMS numerical model. Local and regional flow systems were identified in fissured, porous flysh rocks of the mountainous area. The occurrence of the mineral medicinal waters is associated with the area of regional flow system drainage. A three-dimensional numerical model enables estimation of disposable resources of mineral and fresh waters. Such a model seems to be an important tool for rational groundwater exploitation in the complicated flow system of mineral and fresh waters.

Key words: mineral water, disposable resources, numerical flow model, GMS, GIS.

WSTĘP

Przedstawiona w artykule ocena zasobów dyspozycyjnych wód leczniczych rejonu Muszyny wymagała zastosowania odpowiedniej metodyki, przy wykorzystaniu wielowarstwowego regionalnego modelu koncepcyjnego, zintegrowanego w systemie ArcGIS i GMS (Kania i in., 2009). Opisane w tej publikacji warstwy informacyjne, przygotowane w ramach realizacji modelu koncepcyjnego, zostały przetransponowane do modelu numerycznego GMS (Jones,

2005) w celu jego kalibracji i oceny zasobów dyspozycyjnych wód leczniczych. Dzięki modelowi numerycznemu uzyskano spójny obraz warunków krążenia i wymiany wód podziemnych dla rejonu Muszyny, uwzględniający większość dostępnych danych bezpośrednich i pośrednich. Pozwoliło to ocenić zasoby dyspozycyjne wód leczniczych oraz towarzyszących im wód zwykłych.

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: jkania@agh.edu.pl

² Przedsiębiorstwo Badań Geologicznych GEOPROFIL sp. z o.o., ul. Friedleina 13, 30-009 Kraków

PRZEKSZTAŁCENIE MODELU KONCEPTUALNEGO GMS W MODEL NUMERYCZNY GMS MODFLOW

W pakiecie programowym GMS przekształcenie modelu konceptualnego w model numeryczny skutkuje podziałem modelowanej przestrzeni na bloki obliczeniowe o założonych rozmiarach i o miąższości odpowiadającej miąższości wydzielonych warstw modelu. Zastosowano podział na bloki 50×50 m, a skutki dyskretyzacji pokazano przykładowo dla rozkładu współczynników filtracji w drugiej warstwie modelu (fig. 1).

Niezależnie od automatycznego procesu przekształcania struktury modelu, konieczne były korekty wprowadzane manualnie. Dotyczyło to przepuszczalności stref przyskokowych, przepuszczalności w strefach przyotworowych, niektórych elementów symulacji rzek oraz ekstremalnego zgażowania wód.

Dyslokacje tektoniczne były wprowadzane automatycznie przez przyjęcie pionowej ścianki pomiędzy blokami modelu (*Horizontal Flow Barrier* – HFB) o grubości 10 m, symulującej samą strefę uskokuwą. Dodatkowo, w blokach modelu przylegających do dyslokacji zmieniano manualnie przepuszczalność skał, zależnie od typu stref uskokuwowych (A, B, C – por. Kania i in., 2009).

Współczynniki filtracji poszczególnych litotypów zostały przetransponowane z modelu konceptualnego do modelu numerycznego automatycznie, zgodnie ze zintegrowaną bazą danych (por. Kania i in., 2009 – fig. 3). Taki obraz regionalny został uzupełniony manualnie w otoczeniu odwiertów, gdzie przyjęto współczynniki filtracji wynikające z interpretacji wyników próbnych pompowań. Biorąc pod uwagę do-

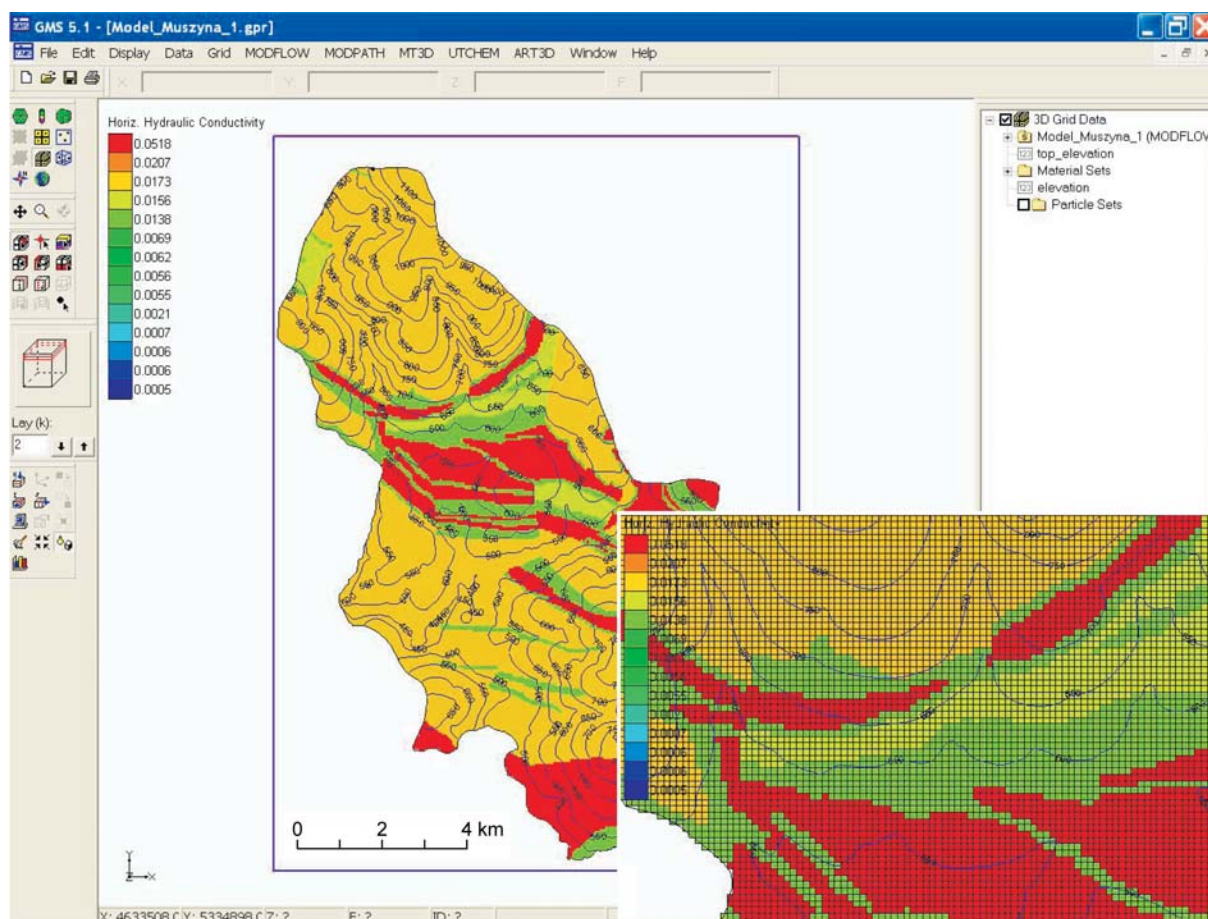


Fig. 1. Przykład wprowadzenia wygenerowanych warstw informacyjnych ArcGIS do modelu numerycznego GMS. Widoczny rozkład współczynników filtracji w warstwie drugiej modelu numerycznego (do 30 m p.p.t.). Powiększenie pokazuje strukturę modelu przy podziale na bloki 50×50 m. Izolinie pokazują układ pola hydrodynamicznego

Example of initial values of information layers after transformation from conceptual to GMS numerical model. Distribution of hydraulic conductivity in the second layer of the model (down to 30 m b.g.l.) is visible. Magnification shows the model structure divided into 50×50 m blocks. Equipotential lines shows simulated hydrodynamic field

świadczenia literaturowe i doświadczenia własne autorów, wartości współczynników filtracji z próbnych pompowań wprowadzono w zasięgu 9 bloków (blok centralny z odwiertem i 8 otaczających go bloków).

Rzeki odwzorowywane są na modelu numerycznym GMS automatycznie według danych wprowadzonych do modelu konceptualnego. Okazało się jednak, że algorytm GMS nie jest w tym przypadku doskonały. W blokach, w których występują fragmenty dwóch lub więcej cieków, interpolacja rzędnych poziomu wody realizowana jest oddzielnie dla każdego z nich. W konsekwencji, np. w miejscach ujścia dopływu do większego cieku, model wskazywał trzy różne wartości rzędnej zwierciadła wody symulujące warunki III rodzaju w tym samym bloku. Tę niedoskonałość modelu trzeba było usunąć ręcznie.

Zgazowanie wód dwutlenkiem węgla stanowi istotny element dla wód mineralnych w rejonie Muszyny i Krynicy. Pakiet GMS nie pozwala na symulację ruchu dwufazowego (woda, gaz). Według oceny autorów symulacja na modelu ruchu jednofazowego (dwutlenek węgla rozpuszczony w wo-

dzie) jest jednak dopuszczalna. Przyjmując takie założenie, oparto się na badaniach hydrodynamicznych rejonu Krynicy (Ciężkowski i in., 1999; Nałęcki i in., 2002) oraz pomiarach wykładnika gazowego w ramach badań w rejonie Muszyny. Pomiary w większości odwiertów wykazały, że w warunkach złożowych dwutlenek węgla jest rozpuszczony w wodzie. Tylko w odwiertach wód typu zuber oraz w ograniczonych przestrzennie strefach gaz może występować w formie odrębnej fazy. Uznano, że dla symulacji krążenia regionalnego nie ma to istotnego znaczenia i ruch odrębnej fazy gazowej pominięto. Jedynym wyjątkiem w tym zakresie jest rejon odwiertów P-3 i Antoni w SW części obszaru, gdzie zgodnie z dokumentacją hydrogeologiczną (Haładus i in., 2004) wytworzyła się poduszka gazowa nad złożem wód leczniczych uniemożliwiająca wymianę wody z warstwami płytszymi. W tym przypadku też nie symulowano ruchu dwufazowego, na co program GMS nie pozwala, ale wprowadzono poduszkę gazową jako strefę nieprzepuszczalną dla wody, co wydaje się dostatecznie odzwierciedlać warunki eksploatacji wód leczniczych w tym miejscu.

KALIBRACJA MODELU NUMERYCZNEGO

Proces kalibracji stworzonego wstępnie modelu numerycznego odbywał się metodą kolejnych przybliżeń. Początkowo kalibracji dokonano dla warunków naturalnych, bez włączonych otworów eksploatacyjnych. Dopasowywano:

- odpływ podziemny ze zlewni cząstkowych symulowany na modelu z odpływem podziemnym, ocenionym metodą hydrologiczną w okresie jesieni 2003 roku;
- symulowane pole hydrodynamiczne z wysokością hydrauliczną w punktach obserwacyjnych (odwierty i źródłowe odcinki rzek).

Biorąc pod uwagę możliwość występowania podkorytowych przepływów hyporeicznych, do porównania odpływu podziemnego uzyskanego na modelu z odpływem pomierzonym w okresie jesieni 2003 r. wybrano tylko zlewnie uznane za reprezentatywne. Chodzi o zlewnie, gdzie przekroje pomiarowe uznano za niepodlegające przepływowi hyporeicznym. Są to zlewnie górnego Szczawnika, Szczawniczka i Potoku Złockiego.

Odpływ na modelu dla zlewni reprezentatywnych okazał się większy od terenowych pomiarów hydrologicznych. Kalibracja wymagała zatem zmniejszenia zasilania z infiltracji na modelu średnio wg współczynnika 0,89. Dokonano tego dla całego modelu, bez zmian proporcji między indywidualnymi wydzieleniami opartymi na ocenie dokonanej metodą infiltracyjną (por. Kania i in., 2009). Biorąc pod uwagę wieloletnią zmienność opadów, przeliczono następnie zasilanie z roku 2003 na rok średni. Założono zmianę zasilania proporcjonalnie do stosunku wysokości opadów z 2003 roku w odniesieniu do średniej z wielolecia 1955–2005 dla stacji opadowej IMGW w Muszynie. Wymagało to przemnożenia zasilania z 2003 roku przez współczynnik 1,27.

Zasilanie oszacowane w powyższy sposób dla roku średniego zostało przyjęte do następnego kroku kalibracji, polegającego na uzyskaniu jak najlepszej zgodności regionalnego zwierciadła wód podziemnych z obserwacjami terenowymi. Jako punkty obserwacyjne potraktowano:

- dane o ustalonym zwierciadle wody w otworach hydrogeologicznych na badanym obszarze;
- położenie zwierciadła wody w źródłowych odcinkach rzek.

Kalibrację prowadzono dla warunków zasilania w roku średnim przy otworach hydrogeologicznych z wyłączoną eksploatacją. Dopasowania dokonywano przez zmianę współczynników filtracji dla poszczególnych warstw modelu. Dopasowanie regionalne prowadzono w pierwszej fazie zmieniając całość współczynników w poszczególnych warstwach modelu z zachowaniem przyjętych proporcji między poszczególnymi litotypami. Najlepsze dopasowanie uzyskano przy użyciu następujących mnożników dla poszczególnych warstw modelu:

- warstwa 1: 0,5;
- warstwa 2: 0,02;
- warstwy 3–4: 0,05;
- warstwy 5–10: 1,0.

W kolejnym kroku kalibracji, metodą prób i błędów, korygowano współczynniki filtracji w miejscach szczególnie złego dopasowania zwierciadła wody. Ostateczny stopień dopasowania, który uznano za zadowalający, przedstawia wykres wg GMS (fig. 2). Niewielki błąd bilansowy (0,00042%) świadczy o poprawnym numerycznym działaniu modelu (fig. 3).

W drugiej fazie kalibracji, na wykalibrowanym modelu włączono eksploatację wód podziemnych zwykłych i mine-

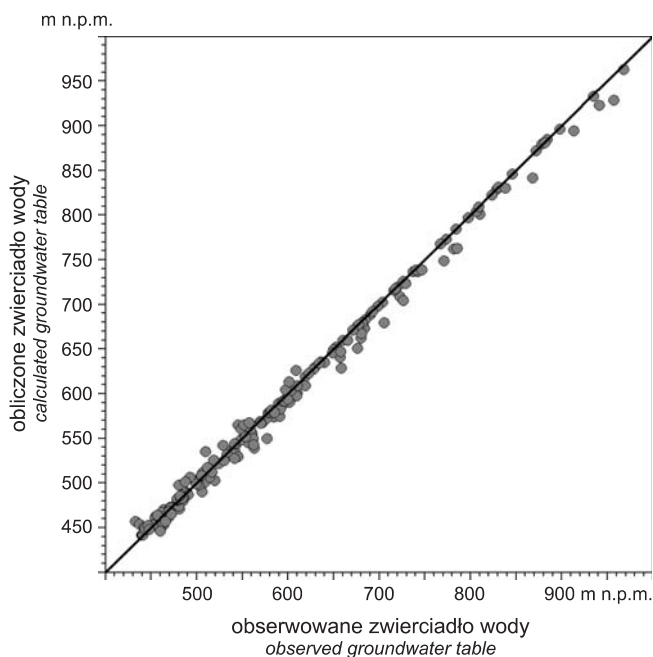
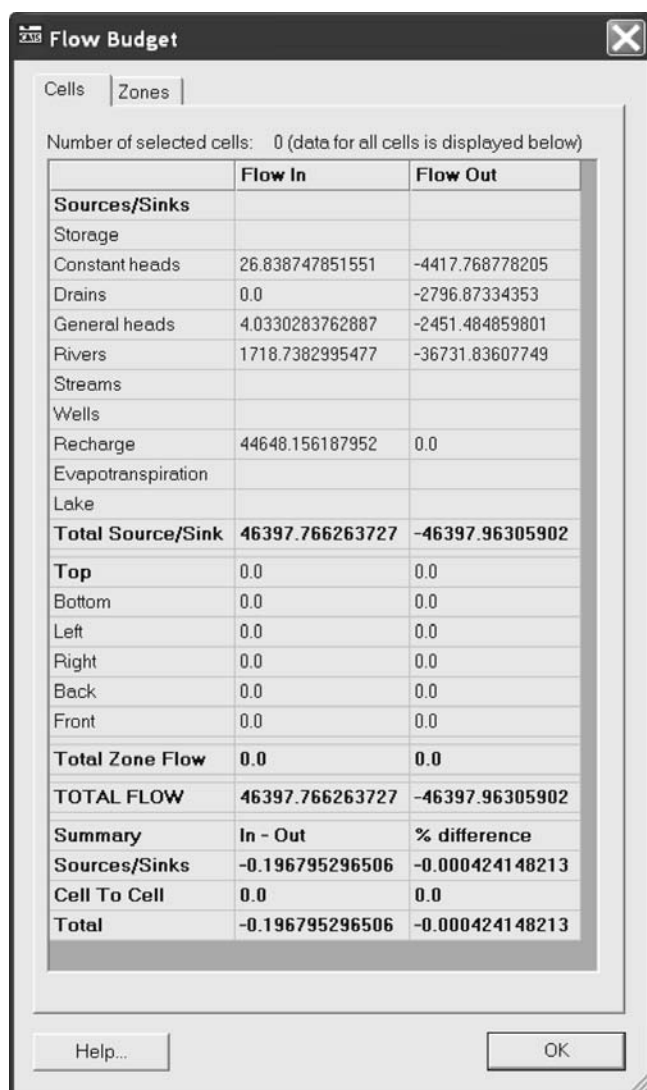


Fig. 2. Wykres kalibracyjny modelu dla warunków naturalnych, w roku o średnich opadach atmosferycznych (1955–2005). Porównanie wartości obliczonych na modelu z obserwowanymi w odwiertach (70) oraz źródłowych odcinkach rzek

Calibrated plots of the model in natural conditions with recharge simulated for mean annual precipitation (1955–2005). Calculated versus observed values from wells (70) and beginning sections of springs



ralnych, z wydatkami odpowiadającymi ustalonym zasobom eksploatacyjnym. Porównanie wielkości depresji uzyskanej zgodnie z symulacją na modelu z ustalonymi depresjami eksploatacyjnymi dla poszczególnych odwiertów wskazuje na zadowalającą zgodność modelu z danymi doświadczalnymi (fig. 4).

Tak wykalibrowany model stał się podstawą wyznaczenia zasobów dyspozycyjnych wód zwykłych i leczniczych (symulacja z wyłączoną eksploatacją) oraz rezerwy zasobów dyspozycyjnych (symulacja z włączoną eksploatacją na poziomie zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych).

Ważnym efektem poznawczym, uzyskanym dzięki modelowaniu 3D, jest możliwość przedstawienia trójwymiarowego charakteru leja depresyjnego wokół studni (fig. 5). Taki charakter leja depresyjnego wymaga nowego podejścia do oceny warunków dopływu wód do otworu eksploatacyjnego i warunków mieszania się zwykłych wód płytkiego krążenia i wód mineralnych głębokiego krążenia. Leje depresyjne w poszczególnych warstwach modelu interferują ze sobą zarówno w pionie, jak i w poziomie i stąd dla każdej warstwy rozkład depresji jest odmienny. Granica między wodami zwykłymi i leczniczymi może w tych warunkach mieć charakter hydrodynamiczny, niekoniecznie oparty na

Fig. 3. Bilans wodny modelu dla warunków naturalnych z zasileniem symulowanym dla opadów średnich z wielolecia 1955–2005

Flow budget of the model in natural conditions with recharge simulated for mean annual precipitation (1955–2005)

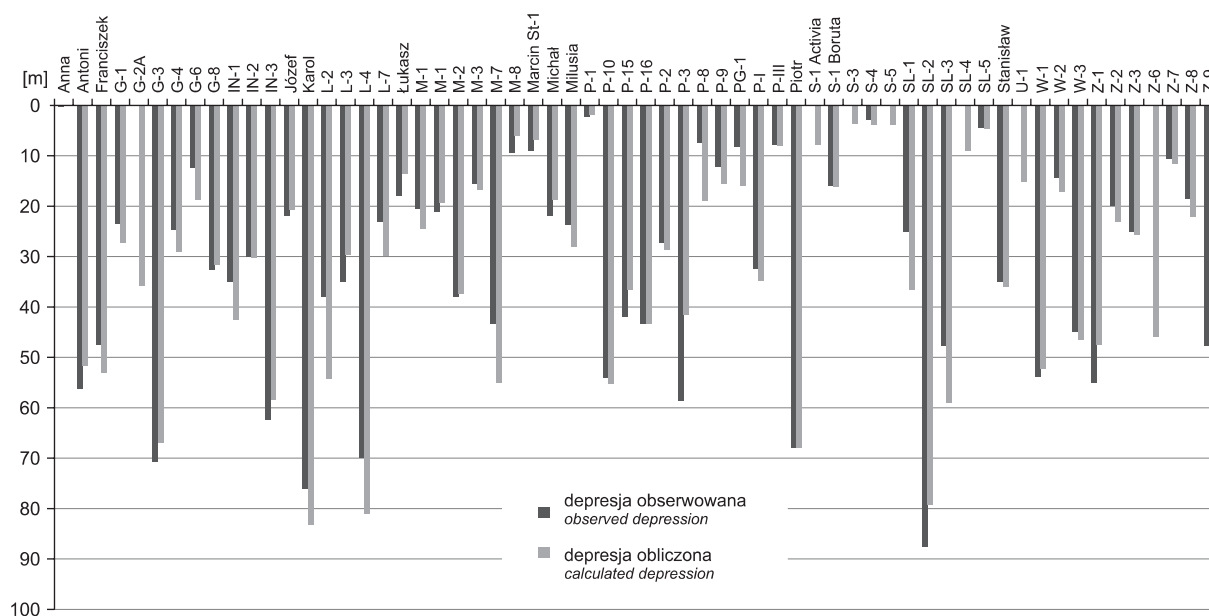


Fig. 4. Symulacja eksploatacji wód podziemnych – porównanie depresji obliczonej na modelu, przy symulacji eksploatacji na poziomie zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych, z zatwierdzoną depresją eksploatacyjną

Simulation of groundwater exploitation – calculated versus observed depression in wells with discharge equal to exploitation concession

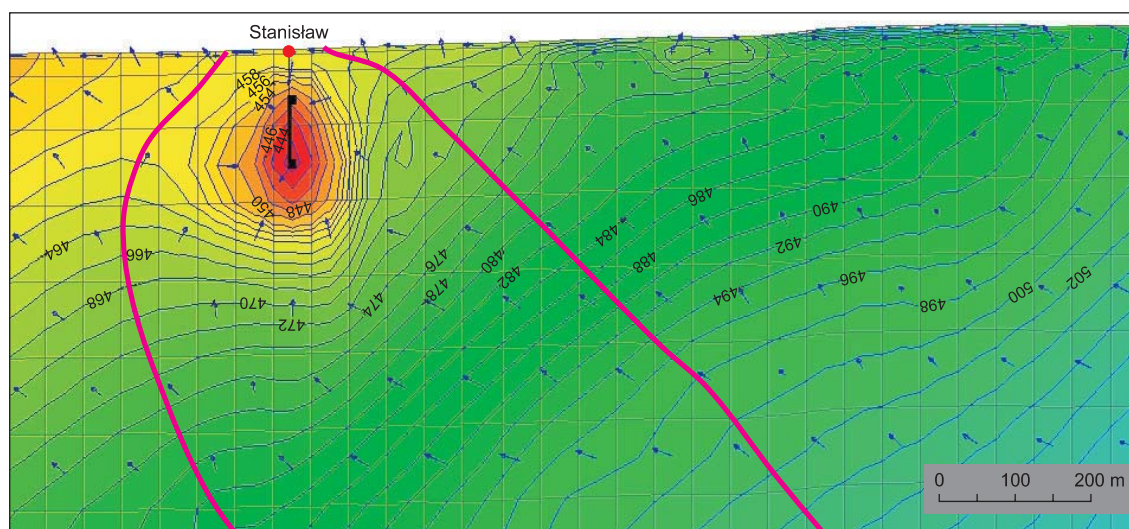


Fig. 5. Przekrój ukazujący przestrzenny charakter leja depresyjnego na przykładzie odwiertu Stanisław

Cross-section showing 3D character of the capture zone in the Stanisław well

istnieniu warstwy izolującej. W takich przypadkach prowadzenie racjonalnej eksploatacji wód jest szczególnie trudne.

Przykładowy przekrój (fig. 5) wykonano w kierunku S–N. Izolinie wysokości hydraulicznej odpowiadają wartościom w płaszczyźnie pionowej przechodzącej przez otwór Sta-

nisław. Pobór wody symulowany jest w centrach bloków (czarne punkty), do których dochodzi filtr otworu. Pogrubioną linią pokazano obszar spływu wód do ujęcia przy $Q_{\text{eks}} = 1,6 \text{ m}^3/\text{h}$.

KRYTERIA PRZYJĘTE DO WYDZIELENIA OBSZARÓW BILANSOWYCH I PODOBSZARÓW ZASOBOWYCH

Do wydzielenia obszarów bilansowych przyjęto podział zlewniowy. Wydzielono pięć obszarów bilansowych (fig. 6): zlewni Szczawnika (Sz), zlewni dolnej Muszynki (M), zlewni Popradu N (PN), zlewni Popradu S (PS), zlewni Smereczka (S). W obrębie każdego z wydzielonych obszarów bilansowych wydzielono dwa podobszary zasobowe. Ważniejszy, w obrębie którego występują zasoby dyspozycyjne wód

lecniczych, i uzupełniający, zawierający zasoby wód zwykłych. W podobszarze zasobowym wód lecniczych mogą występować także zasoby wód zwykłych.

Symulacja na modelu pozwoliła wyróżnić dwa wyraźne systemy krążenia wód podziemnych: lokalny i regionalny. Modelowanie wykazało, że zgodnie ze wstępnym modelem konceptualnym wymiana wód zwykłych w obrębie przestrzeni odwzorowanej na modelu odbywa się głównie w strefie głębokości do 100 m (lokalny system przepływu), co jest zgodne z normalnym charakterem krążenia wód podziemnych w utworach fliszowych Karpat. Dla tworzenia się mineralnych wód lecniczych istotne znaczenie ma głębsze krążenie, w ramach regionalnego systemu przepływu (Witczak i in., 2002). Zasoby wód biorących udział w regionalnym systemie przepływu można utożsamiać z zasobami dyspozycyjnymi wód lecniczych. Bilans tych wód oceniono, wyznaczając na modelu strefę wypływu wód systemu regionalnego do czwartej warstwy modelu (100–200 m p.p.t.). Model GMS umożliwia to przez wyznaczenie różnicy ciśnień i wielkości przepływu między warstwami.

Opisane kryterium hydrodynamiczne pozwala wydzielić potencjalne obszary występowania wód lecniczych w rejonie Muszyny. Ważne są jednak i inne przesłanki, stąd postanowiono wykorzystać trzy podstawowe kryteria do wyznaczenia podobszarów zasobowych wód lecniczych:

- kryterium hydrodynamiczne określające obszar wypływu regionalnego strumienia wód podziemnych do czwartej warstwy modelu;
- zasięg stwierdzonych wystąpień wód lecniczych (otwory z wodami lecniczymi, źródła wód mineralnych, przejały wód mineralnych w potokach);
- występowanie ekshalacji CO₂ oraz podwyższone stężenie CO₂ w powietrzu glebowym na podstawie wykonanego zdjęcia atmochemicznego.

Wyznaczone na tej podstawie zasięgi podobszarów zasobowych wód lecniczych przedstawiono na figurze 6. Ustalony zasięg tych podobszarów obejmuje wszystkie stwierdzone wystąpienia wód lecniczych ujęte odwiertami i występujące w źródłach. Oznacza to, że główne kryterium hydrodynamiczne dobrze po-

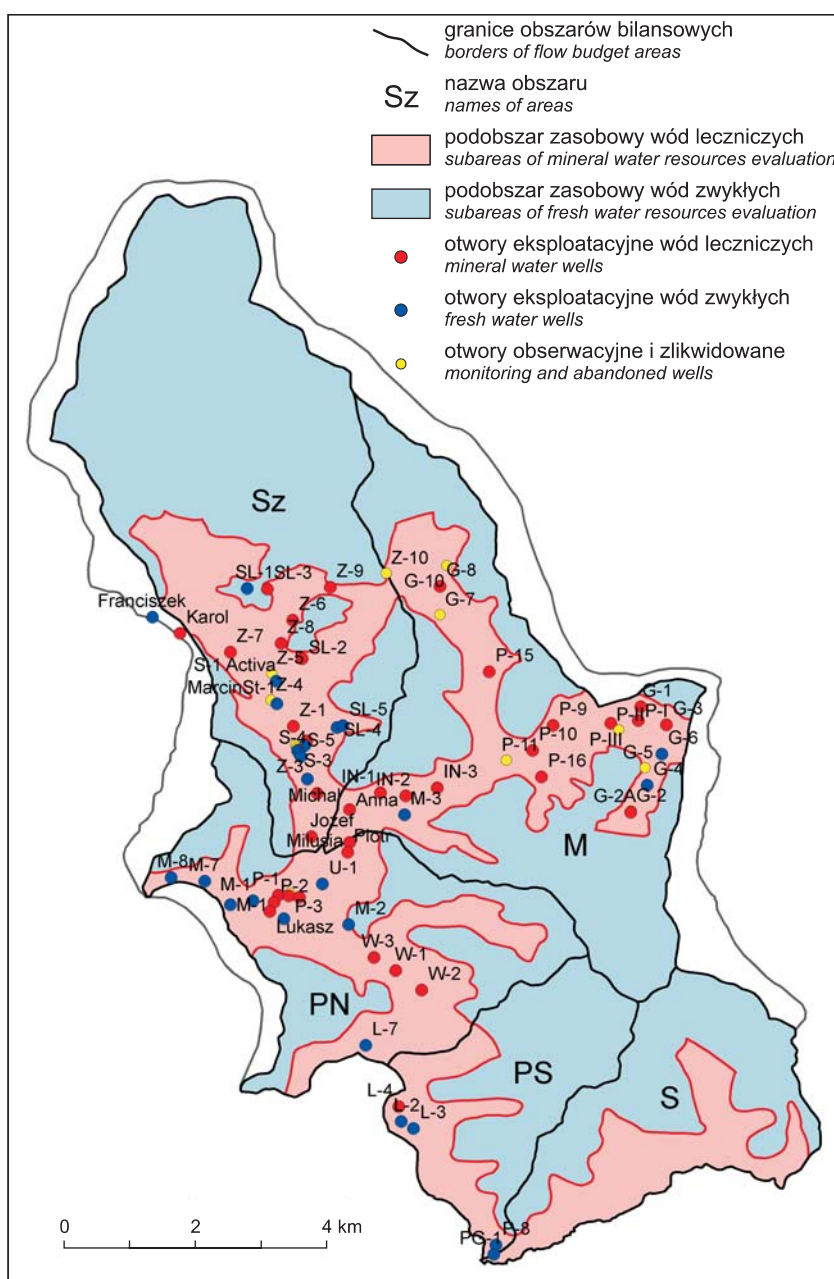


Fig. 6. Otwory eksploatacyjne wód podziemnych na tle obszarów bilansowych i podobszarów zasobowych

Exploitation wells on the flow budget areas and subareas of mineral and fresh water resources evaluation

krywa się ze stwierdzonymi wystąpieniami wód leczniczych. W północnej części obszaru ograniczono zasięg występowania wód leczniczych oparty na kryterium hydrodynamicznym ze względu na brak pozostałych dwu przesłanek (przejawy wód mineralnych i/lub ekshalacji CO₂). W niewielkich fragmentach modelu poszerzono podobszar zasobowy

wód leczniczych ze względu na ekshalacje CO₂. Uznano, że przy intensywnych ekshalacjach CO₂ mineralizacji mogą ulec nawet wody obszarów zasilania.

Podobszary zasobowe wód zwykłych w zlewniach (obszarach bilansowych) zostały wyznaczone poza strefami zajętej przez podobszary zasobowe wód leczniczych.

OCENA ZASOBÓW DYSPOZYCYJNYCH WÓD LECZNICZYCH I ZWYKŁYCH

Bilans wodny oraz zasoby dyspozycyjne wód leczniczych i zwykłych zostały wyznaczone na modelu dla wydzielonych podobszarów zasobowych. Symulacji takiej dokonano dla warunków naturalnych z wyłączonymi otworami eksploatacyjnymi.

Biorąc pod uwagę wyniki symulacji na modelu, a także dotychczasowe rozpoznanie wierceniami oraz wyniki wieloletniego monitoringu eksploatacji wód leczniczych uznano, że wody lecznicze pochodzące z regionalnego strumienia wód mieszają się częściowo z wodami zwykłymi płytszego

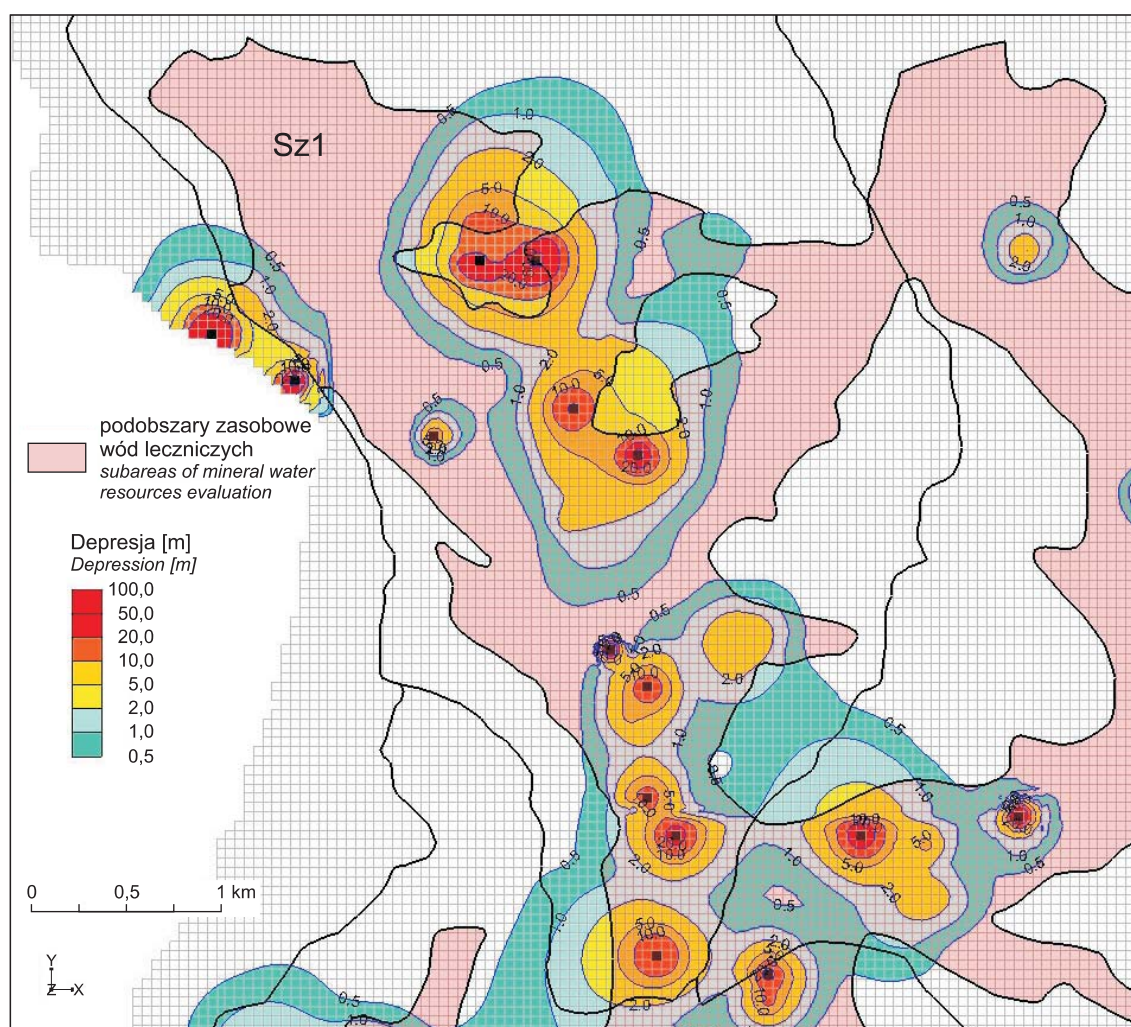


Fig. 7. Przykładowe warunki eksploatacji wód leczniczych w podobszarze zasobowym Sz1. Wykorzystanie rezerwy zasobów dyspozycyjnych możliwe jest w rejonach z depresją <0,5 m, z uwzględnieniem ochrony istniejących źródeł wód leczniczych i obszarów ekshalacji CO₂

Example of mineral water exploitation in one of the subareas of mineral water resources evaluation. Use of mineral water reserves are possible in the areas with depression <0,5 m and with measures necessary for mineral springs and CO₂ exhalations protection

krążenia (trzecia warstwa modelu). Świadczą o tym wyniki analiz hydrogeochemicznych i izotopowych. Oszacowano, że dodatkowy dopływ do podobszaru zasobowego wód leczniczych, pochodzący z trzeciej warstwy modelu (30–100 m p.p.t.), może osiągać około 15% przepływu w tej warstwie.

Ogólne zasoby dyspozycyjne wód leczniczych zostały na modelowanym obszarze ocenione na około 2888 m³/d, co stanowi w przeliczeniu na powierzchnię podobszaru zasobowego moduł 1,05 l/(s·km²), zbliżony do uzyskanego w sąsiedniej zlewni górnej Kryniczanki.

Aktualna rezerwa zasobów dyspozycyjnych wód leczniczych (1307,2 m³/d) może być wykorzystana pod warunkiem, że poszukiwanie wód będzie się odbywać w rejonach,

gdzie w warstwie 4. modelu depresja jest mniejsza od 0,5 m ($s < 0,5$ m) i z uwzględnieniem ochrony źródeł wód leczniczych oraz obszarów ekshalacji CO₂ (fig. 7).

Aktualna rezerwa zasobów dyspozycyjnych wód zwykłych w podobszarach zasobowych wód leczniczych (1641,4 m³/d) może być wykorzystana pod warunkiem, że poszukiwanie wód będzie się odbywać w rejonach, gdzie w warstwie 3. modelu depresja jest mniejsza od 0,5 m ($s < 0,5$ m) i z uwzględnieniem ochrony źródeł wód leczniczych oraz obszarów ekshalacji CO₂. Głębokość nowych odwiertów z wodą zwykłą nie może przekraczać 100 m, aby nie naruszyć reżimu krążenia wód mineralnych.

PODSUMOWANIE

Dzięki modelowi numerycznemu uzyskano spójny obraz warunków krążenia i wymiany wód podziemnych dla rejonu Muszyny, uwzględniający większość dostępnych danych bezpośrednich i pośrednich. Wyniki symulacji są generalnie zgodne z wynikami badań oraz terenowych obserwacji hydrogeologicznych.

Badania modelowe stały się podstawą nowej regionalizacji zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w rejonie Muszyny. Wydzielono pięć podobszarów zasobowych wód leczniczych oraz pięć podobszarów zasobowych wód zwykłych w obrębie pięciu obszarów bilansowych: zlewni Szczawnika (Sz), zlewni dolnej Muszynki (M), zlewni Popradu N (PN), zlewni Popradu S (PS), zlewni Smereczka (S).

Zasoby dyspozycyjne wód leczniczych określono na modelu jako ilość wód wypływających z głębszego, regionalne-

go systemu krążenia do obszaru drenażowego wyznaczonego w obrębie warstwy 4. modelu, występującej na głębokości od 100 do 200 m. Uzupełnieniem zasobów dyspozycyjnych wód leczniczych jest dopływ do tej strefy wód płytszego krążenia, szacowany na 15% przepływu w warstwie 3. (głęb. 30–100 m).

Wykorzystanie rezerwy zasobów dyspozycyjnych wód leczniczych możliwe jest w rejonach z depresją $s < 0,5$ m, z uwzględnieniem ochrony istniejących źródeł wód leczniczych i obszarów ekshalacji CO₂.

Praca częściowo finansowana z badań statutowych Katedry Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH – umowa nr 11.11.140.139.

LITERATURA

- CIĘŻKOWSKI W., JÓZEFKO I., SCHMALZ A., WITCZAK S. i in., 1999 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne wód leczniczych i dwutlenku węgla (jako kopaliny towarzyszącej) ze złożeń w uzdrowisku Krynica oraz ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych (zwykłych, leczniczych i o właściwościach leczniczych) w zlewni Kryniczanki. Arch. UZG Krynica.
- HAŁADUS W., WITCZAK S., DULIŃSKI W., GORCZYCA R., 2004 – Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód leczniczych z utworów trzeciorzędowych ujętych otworami Antoni i P-3 w Muszynie-Zapopradziu. Arch. Spółdz. Pracy „Muszynianka” w Krynicy-Zdroju.
- JONES N.L., 2005 – Groundwater modeling with GMS. GMS training manual. EMS-I, NLJ, Brigham Young University.
- KANIA J., OSZCZYPKON., WITCZAK S., 2009 – Wielowarstwowy regionalny model rejonu Muszyny zintegrowany w systemie ArcGIS i GMS. (ten tom).
- NAŁĘCKI P., REŚKO D., SCHMALZ A., WITCZAK S., 2002 – Charakterystyka parametrów hydrogeologicznych szczelinowo-porowego złożeń wód leczniczych w Krynicy. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **404**: 145–163.
- WITCZAK S., DUŃCZYK L., MOTYKA J., OSZCZYPKO N., 2002 – Regionalny wielowarstwowy model pola hydrodynamicznego w utworach fliszu karpackiego na przykładzie zlewni Kryniczanki (płaszczowina magurska). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **404**: 263–290.