

PROGNOZA WPŁYWU ODWODNIENIA KOPALŃ SUROWCÓW SKALNYCH NA ŚRODOWISKO WODNE W REJONIE ŁAGOWA W GÓRACH ŚWIĘTOKRZYSKICH

PREDICTION OF THE IMPACT OF MINE DEWATERING ON AQUATIC ENVIRONMENT – EXAMPLES FROM THE QUARRIES OF INDUSTRIAL MINERALS IN THE ŁAGÓW REGION, THE HOLY-CROSS MOUNTAINS

KATARZYNA BIAŁECKA¹, JAN PRAŻAK¹

Abstrakt. Centralna część synklinorium kielecko-łagowskiego w Górach Świętokrzyskich jest rejonem występowania licznych udokumentowanych i perspektywicznych złóż wapieni i dolomitów środkowodewońskich. W celu określenia wpływu oddziaływania odwodnienia wyrobisk górniczych na warunki wodne wykonano model matematyczny rejonu z wykorzystaniem programu Visual Modflow. Obliczono na nim prognozy zasięgu oddziaływania planowanych odwodnień i ich wpływu na zasoby eksploatacyjne okolicznych ujęć wód podziemnych. Pozwolą one władzom samorządowym na poznanie skutków zmian warunków wodnych już na wstępnym etapie starań zakładów górniczych o pozyskanie koncesji na wydobycie kopaliny poniżej zwierciadła wód podziemnych.

Słowa kluczowe: modelowanie matematyczne, odwodnienia górnicze, rejonowy lej depresji.

Abstract. The central part of the Kielce-Łagów Synclinorium in the Holy-Cross Mts. is famous of numerous, assessed and prospective deposits of Middle Devonian limestones and dolomites. In order to determine the impact of dewatering operations in quarries on aquatic environment, a regional mathematical model was generated using the Visual Modflow software. The modelling allowed the authors to predict the range of planned dewatering operations and their influence on admissible volumes of groundwater in the surrounding water intakes. This would allow the local authorities to learn about the effects of changes in groundwater conditions at the early stages of negotiations of the quarry owners concerning the mining concessions beneath the groundwater table.

Key words: mathematical model, mine dewatering, regional groundwater depression cone.

WSTĘP

W rejonie Łagowa znajduje się wiele złóż wapieni i dolomitów dewońskich. Utwory te stanowią jednocześnie znaczący użytkowy zbiornik wód podziemnych, z którego miejscowa ludność zaopatruje się w wodę. Duże zapotrzebowanie na kruszywo powoduje, że wciąż dokumentowane są nowe złoża i planowana jest eksploatacja kopalni poniżej zwierciadła wód podziemnych. Kopalnie zlokalizowane są bardzo blisko siebie i w przypadku

planowanego odwodnienia wyrobisk górniczych powstanie ich wspólny rejonowy lej depresji, który obejmie swym zasięgiem czynne ujęcia wód podziemnych.

Wykonane na modelu matematycznym obliczenia prognozowanego zawodnienia wyrobisk górniczych i zasięgu rejonowego leja depresji pozwolą władzom gminy na podjęcie wyprzedzających działań w zakresie rekompensaty przewidywanych szkód górniczych na przykład w zasobach eksploatacyjnych ujęć wód podziemnych

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Świętokrzyski, ul. Zgoda 21, 25-020 Kielce; e-mail: katarzyna.bialecka@pgi.gov.pl, jan.prazak@pgi.gov.pl.

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Teren badań położony jest w województwie świętokrzyskim w powiecie kieleckim (gminy Górnio, Daleszyce, Bieliny i Łagów) i opatowskim (gminy Baćkowice i Iwaniska). Pod względem hydrograficznym leży on w obrębie zlewni trzech rzek drugiego rzędu: Nidy (rzeka Belnianka), Czarnej Staszowskiej (rzeki Łagowica i Wszachówka) i Koprzywianki. Od północy jest ograniczony Łysogórami i Pasmem Jeleniowskim, a od południa ciągiem zalesionych wzniesień Pasma Orłowińskiego. Obejmuje on środkową część synklinorium kielecko-łagowskiego w trzonie paleozoicznym Gór Świętokrzyskich (fig. 1). Od północy i południa otoczony jest przez występujące w jądrach antyklin półprzepuszczalne i/lub nieprzepuszczalne utwory starszego paleozoiku (piaskowce kwarcowe, iły, iłowce, mułowce). Samo synklinorium jest wąską depresyjną strukturą o kierunku NWW–SSE, wypełnioną utworami dewonu środkowego (wapień i dolomity), dewonu górnego (margle ilaste, łupki margliste) i dolnego karbonu (piaskowce i łupki) przykrytych nieciągłą pokrywą osadów czwartorzędowych (piaski, lessy i gliny). Cała struktura charakteryzuje się obecnością licznych uskoków poprzecznych i podłużnych. Na tle regionalizacji hydrogeologicznej kraju, rejon badań jest położony w granicach jednolitych części wód podziemnych (JCWPd) nr 101,

115 i 116, w prowincji Wisły, subregionie środkowej Wisły, wyżynnym – część centralna (Prazak, 2007). Obejmuje on części dwóch lokalnych zbiorników wód podziemnych Górnio i Łagów (Prazak, 2012) oraz zachodni fragment głównego zbiornika wód podziemnych (GZWP) nr 421 Włostów (Kleczkowski, 1990; Meszczyński i in., 2001a, b) (fig. 1). Główny poziom wodonośny stanowią tam wapień i dolomity eifelu, żywetu i franu.

Poziom środkowo- i górnodewoński w rejonie badań jest rozczłonkowany i leży w wąskich odizolowanych od siebie strukturach wodonośnych. Zwierciadło wody występuje na głębokości od kilku do 50 m i w skali regionalnej ma charakter swobodny, a głębokość strefy aktywnego krążenia wód podziemnych sięga do 150 m (Wróblewska, Herman, 2000a, b; Białecka, Gała, 2011). Zróżnicowanie litologiczne utworów dewonu oraz różny stopień ich zaangażowania tektonicznego i skrasowienia są przyczyną dużej zmienności parametrów hydrogeologicznych. Najkorzystniejsze warunki hydrogeologiczne panują w wapieniach żywetu wyróżniających się wysokim stopniem spękania i skrasowienia. Utwory najwyższej części dewonu górnego – famenu (margle ilaste, łupki margliste) w jądrach synklin są bardzo słabo wodonośne i nie stanowią użytkowego poziomu wodonośnego. Występują w nich głównie wody szczelinowe i charakteryzują na niskimi

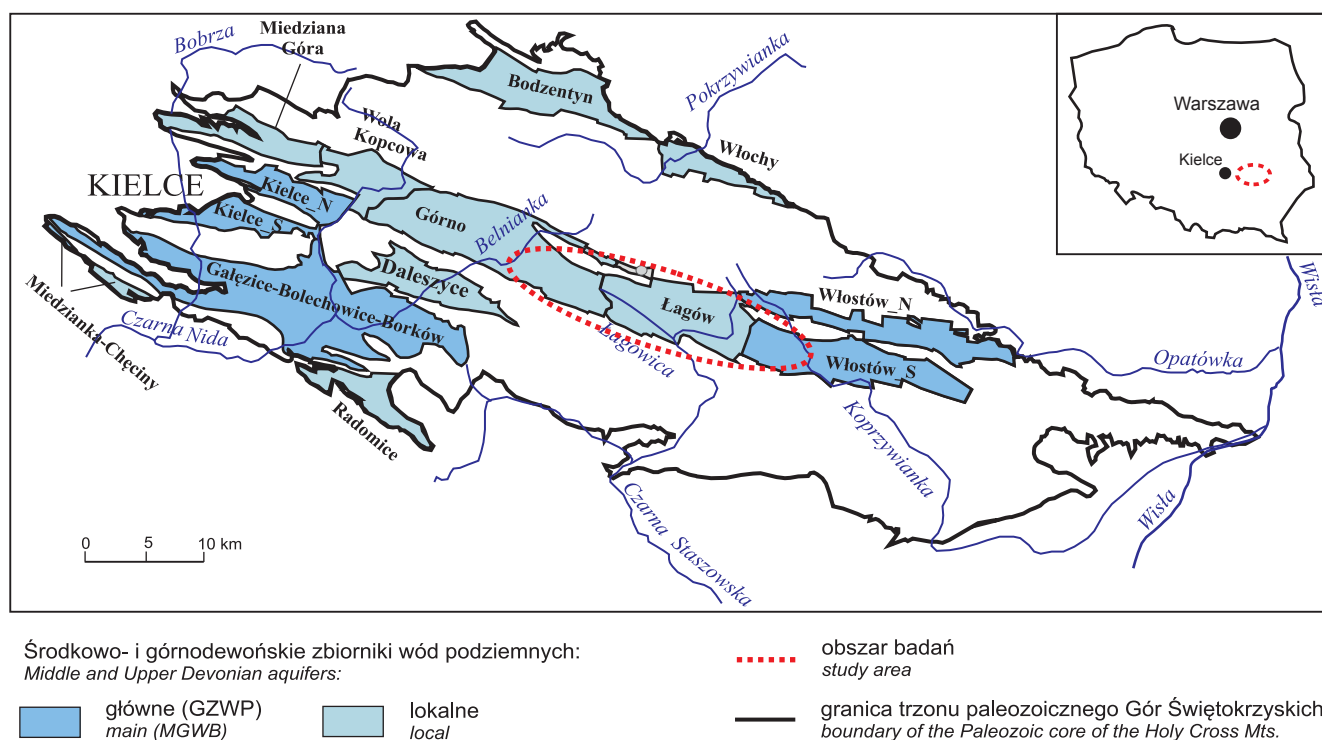


Fig. 1. Lokalizacja obszaru badań na tle środkowo- i górnodewońskich zbiorników wodonośnych trzonu paleozoicznego Gór Świętokrzyskich (Prazak, 2012)

Location of the study area referred to Middle and Upper Devonian groundwater aquifers in the Paleozoic core of the Holy-Cross Mts. (Prazak, 2012)

współczynnikami filtracji (Wróblewska, Herman, 2000a; Rzonca, 2005). Niewodonośne są natomiast skały starszego paleozoiku (kambru, ordowiku, syluru, dewonu dolnego) wykształcone jako łupki, iłowce i piaskowce kwarcytowe, a także iłowce i mułowce karbonu. Wymienione serie skalne są zawadnione tylko w swych zwietrzałych stropowych partiach, a poniżej są praktycznie bezwodne (Prażak, 2012).

MODEL KONCEPCYJNY SYSTEMU WODONOŚNEGO

Główne założenia schematyzacji warunków hydrogeologicznych:

- zbiornik wodonośny szczelinowo-krasowy;
- granice systemu wodonośnego stanowią rzeki i strukturalne granice zbiornika środkowo- i górnodewońskiego;
- rzeki mają bezpośredni kontakt hydrauliczny z warstwą wodonośną i w naturalnych warunkach są drenujące;
- zasilanie warstw wodonośnych odbywa się poprzez infiltrację opadów atmosferycznych i dopływ boczny (lateralny);
- system krążenia wód podziemnych przyjęto jako ciągłą strukturę wodonośną składającą się z trzech warstw o różnych współczynnikach filtracji, pozostających ze sobą w bezpośrednim kontakcie hydraulicznym.

Od strony zachodniej i wschodniej granice modelu przyjęto na rzekach stanowiących naturalne strefy drenażu wód podziemnych. Od strony zachodniej jest to rzeka Belnianka, a od wschodniej Koprzywianka. Na wschodniej granicy modelu, po wschodniej stronie rzeki Koprzywianki znajduje się odwadniane wyrobisko kopalni dolomitów Piskrzyn. Dno wyrobiska na poziomie 200 m n.p.m. jest już poniżej koryta rzeki. Na wysokości kopalni przyjęto tam warunek I rodzaju. Od strony północnej i południowej granica modelu biegnie po granicach strukturalnych zbiornika wodonośnego (fig. 2).

Naturalnymi strefami drenażu modelowanego systemu wodonośnego są doliny rzek: Belnianki, Koprzywianki, Łagowicy i Wszachówki. Sztuczne strefy drenażu stanowią natomiast odwadniane wyrobiska kopalni Piskrzyn na wschodniej granicy modelu i położonej wewnątrz systemu kopalni Wszachów oraz ujęcia wód podziemnych (studnie wiercone).

Zasilanie wód podziemnych struktury wodonośnej w warunkach naturalnych odbywa się przez infiltrację efektywną opadów atmosferycznych na wychodniach warstw wodonośnych lub przez nadkład osadów czwartorzędowych oraz przez dopływy boczne ze stropowych partii półprzepuszczalnych i/lub nieprzepuszczalnych utworów starszego paleozoiku. Zasilanie zbiornika spływem podpowierzchniowym z przylegających utworów staropaleozoicznych w wyniesionym Paśmie Łysogór zostało zasymulowane zwiększonym zasilaniem brzeżnych bloków modelu (warunek II rodzaju). Średni opad atmosferyczny

z wielolecia w obszarze badań wynosi 625 mm/rok (wg danych IMiGW). Infiltrację efektywną obliczono dla utworów powierzchniowych w zależności od ich przepuszczalności w ilości od 5 do 30%, w tym: wychodnie wapieni i dolomitów (D2, 3) – 30%, piaski i żwiry – 25%, wapienie margliste, łupki (D3), lessy (Q) – 10%, piaskowce, mułowce, iłolupki (C1, D1) – 7%, gliny zwałowe – 5%.

Wapienie i dolomity środkowo i górnodewońskie (fran) są ośrodkiem szczelinowo-krasowym dla którego charakterystyczne są sezonowe i wieloletnie wahania położenia zwierciadła wód podziemnych. Przykład stanowią obserwacje prowadzone przez PIG-PIB w punkcie sieci krajowej monitoringu ilościowego wód podziemnych w stacji II rzędu w Baćkowicach (baza SOH nr II/880/1). Amplituda wahań zwierciadła wody w latach 2009–2018 wynosiła w tym punkcie 3,33 m.

MODEL MATEMATYCZNY

Zawadnienie wyrobisk górniczych i wpływ odwodnienia na warunki wodne w rejonie Łagowa obliczono na regionalnym trójwarstwowym modelu matematycznym wykonanym w programie Visual Modflow i obejmującym powierzchnię 113,8 km². Modelowany obszar podzielono na bloki obliczeniowe o wymiarach 250/250 m, z tym, że w rejonie Łagowa siatkę dyskretyzacyjną zagęszczono do wymiarów 50/50 m. Na modelu przyjęto następujące warunki brzegowe: I rodzaju w blokach symulujących odwodnienie kopalni Wszachów i Piskrzyn, II rodzaju zastosowano do symulacji zasilania z infiltracji opadów atmosferycznych do pierwszej warstwy wodonośnej oraz dla ujęć wód podziemnych, a III rodzaju w blokach, które symulują rzeki i ciekły wód powierzchniowych zarówno wewnątrz obszaru, jak i na jego zewnętrznych granicach.

Współczynniki filtracji środkowo- i górnodewońskich warstw wodonośnych zostały rozpoznane w 27 otworach studziennych i 3 otworach hydrogeologiczno-badawczych. W przypadku pozostałych utworów tj. kambru dolnego, dewonu dolnego i syluru górnego (starszego paleozoiku) wartości współczynnika filtracji przyjęto przez analogię do terenów sąsiednich (Ginalska-Prokop, 1990) (tab. 1).

Tabela 1

Wartości współczynnika filtracji Hydraulic conductivity values

Utwory wydzielone na modelu	Średni współczynnik filtracji [m/s]
środkowo- i górnodewońskie (fran) – D2,3	$1 \cdot 10^{-5}$
górnodewońskie (famen) – D3 (fa)	$1 \cdot 10^{-6}$
karbon dolny i lokalnie starszy paleozoik (dewon dolny, sylur)	$1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-8}$

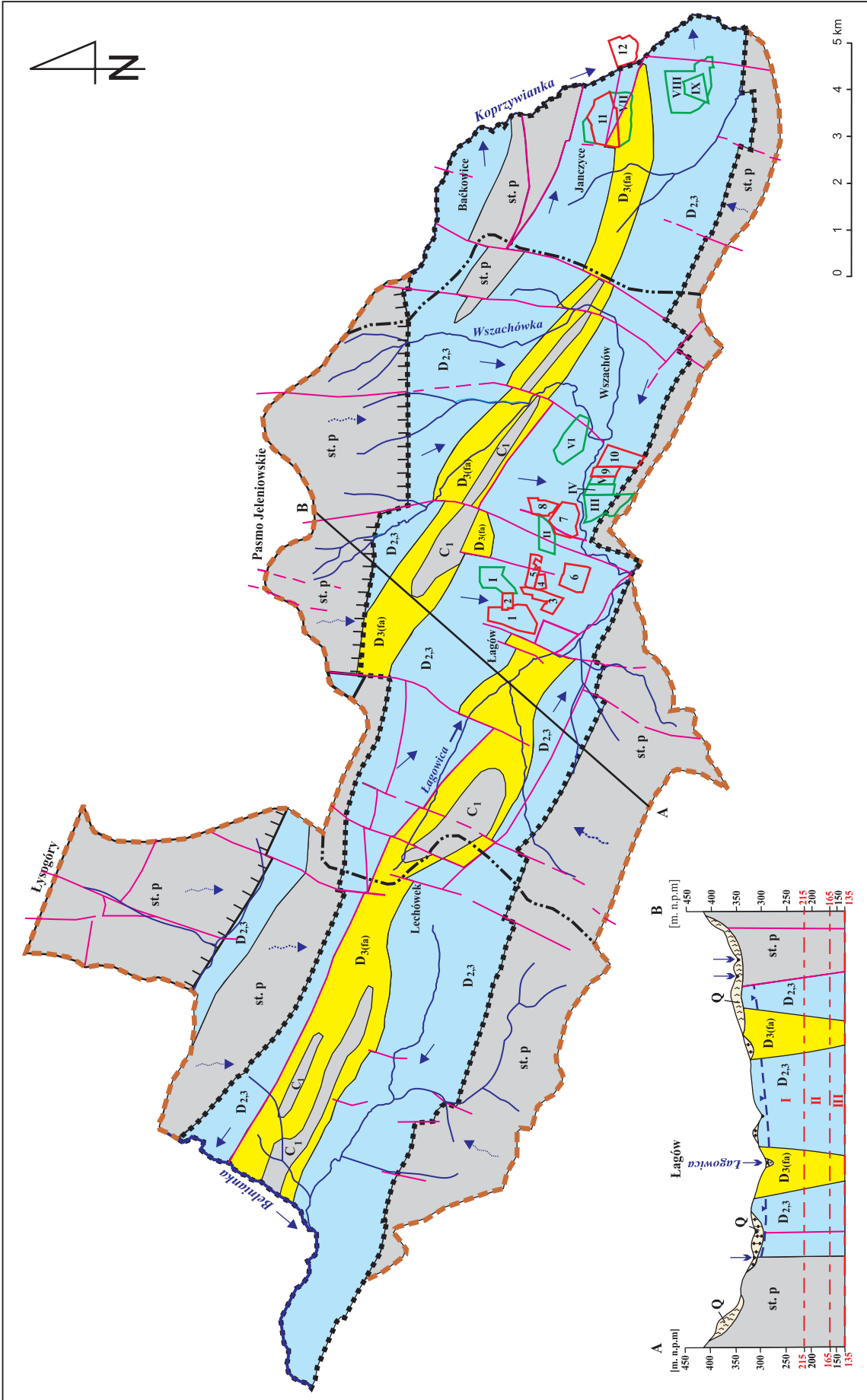
















Fig. 2. Model koncepcyjny krążenia wód w rejonie Łagowa
Conceptual model of the groundwater circulation system in the Łagów region

Objaśnienia do figury 2 Explanation to Figure 2

	granica modelu <i>model boundary</i>	Stratygrafia: <i>Stratigraphy:</i>	
	obszar zasilania <i>recharge area</i>	Q	czwartorzęd <i>Quaternary</i>
	osady półprzepuszczalne <i>semipermeable sediments</i>	C ₁	karbon dolny <i>Lower Carboniferous</i>
	zbiornik środkowo- i górnodewoński <i>Middle and Upper Devonian reservoir</i>	D _{3(fa)}	dewon górny (famen) <i>Upper Devonian (Famennian)</i>
	poziom bardzo słabo wodonośny <i>very low-capacity groundwater horizon</i>	D _{2,3}	dewon środkowy i górny (fran) <i>Middle and Upper Devonian (Frasnian)</i>
	skały półprzepuszczalne i/lub nieprzepuszczalne <i>semipermeable and impermeable rock</i>	st. p	starszy paleozoik (dewon dolny, sylur, ordowik, kambr) <i>older Paleozoic (Lower Devonian, Silurian, Ordovician, Cambrian)</i>
	uskok <i>fault</i>		złoża eksploatowane / <i>exploited deposits:</i> 1 – Łagów II, 2 – Łagów-Zagościec, 3 – Łagów IV, 4 – Łagów III, 5 – Łagów V, 6 – Nowy Staw, 7 – Winna, 8 – Komorniki, 9 – Wszachów II, 10 – Wszachów I, 11 – Janczyce I, 12 – Piskrzyn
	dział wodny <i>watershed</i>		złoża nieeksploatowane / <i>unexploited deposits:</i> I – Łagów-Nowy Staw, II – Nowy Staw I, III – Winna Południe, IV – Wszachów III, V – Wszachów, VI – Komorniki-Smyki, VII – Janczyce, VIII – Stobiec, IX – Stobiec I
	zwierciadło wód podziemnych <i>groundwater table</i>	I, II, III	numer warstwy na modelu <i>layer No. on the model</i>
	kierunek przepływu wód podziemnych <i>groundwater flow direction</i>		
	spływ podpowierzchniowy <i>subsurface flow</i>		
A—B	linia przekroju hydrogeologicznego <i>hydrogeological cross-section</i>		
	nasunięcie łysogórskie <i>Łysogóry overthrust</i>		

WARUNKI PRZEPIYU WÓD PODZIEMNYCH WEDŁUG BADAŃ MODELOWYCH

Pierwszym etapem realizacji prac było odtworzenie na modelu matematycznym aktualnych warunków przepływu wód podziemnych w rozpatrywanym rejonie. Model poddano tarowaniu (kalibracji) na stan obecnych warunków hydrogeologicznych (maj 2018 r.). Sumaryczna eksploatacja ujęć wód podziemnych uwzględniona w fazie tarowania wynosi 108,5 m³/h, natomiast dopływ do odwadnianej kopalni Wszachów około 150 m³/h. Symulację przeprowadzono dla warunków zasilania w średnim roku hydrologicznym.

Z obliczeń modelowych otrzymano przestrzenny obraz aktualnego pola hydrodynamicznego (hydroizohips) (fig. 3). Na tak przygotowanym modelu obliczono bilans wód podziemnych na obszarze badań i wyznaczono zasięg obniżenia zwierciadła wody spowodowanego eksploatacją ujęć i odwadnianiem kopalni Wszachów i Piskrzyn (fig. 3). W procesie tarowania modelu obliczono także stan pseudonaturalny. W związku z tym, że w omawianym rejonie obserwowane są duże sezonowe i wieloletnie wahania zwierciadła wody za zewnętrzną granicę lejów depresji przyjęto obliczone na modelu obniżenie zwierciadła wód podziemnych o 2 m

w stosunku do obliczonego stanu pseudonaturalnego. Bilans wodny dla stanu pseudonaturalnego, obecnego i prognozy zamieszczono w tabeli 2.

PROGNOZOWANY WPŁYW DALSZEJ EKSPLOATACJI KOPALŃ PONIŻEJ ZWIERCIADŁA WODY

Prognozowane zmiany warunków wodnych na obszarze badań obliczono przy założeniu odwodnienia kopalń Wszachów i Piskrzyn na najniższych poziomach eksploatacyjnych (odpowiednio 235 i 200 m n.p.m.) oraz odwodnienia tylko pierwszych zawodnionych poziomów kolejnych kopalń: Łagów III, Łagów V, Komorniki I i Nowy Staw (od 265 do 259 m n.p.m.). Wszystkie kopalnie zasymulowano warunkami I rodzaju. Prognozowany dopływ do odwadnianych wyrobisk w rejonie Łagowa wyniesie 556,4 m³/h, a do kopalni Piskrzyn – 49,4 m³/h (łącznie 605,8 m³/h) (tab. 2).

W wyniku dalszej eksploatacji kopalni poniżej zwierciadła wody powstanie rozległy rejonowy lej depresji, który obejmie swym zasięgiem znaczną część struktury hydrogeologicznej (fig. 4). W zasięgu leja znajdują się również studnie

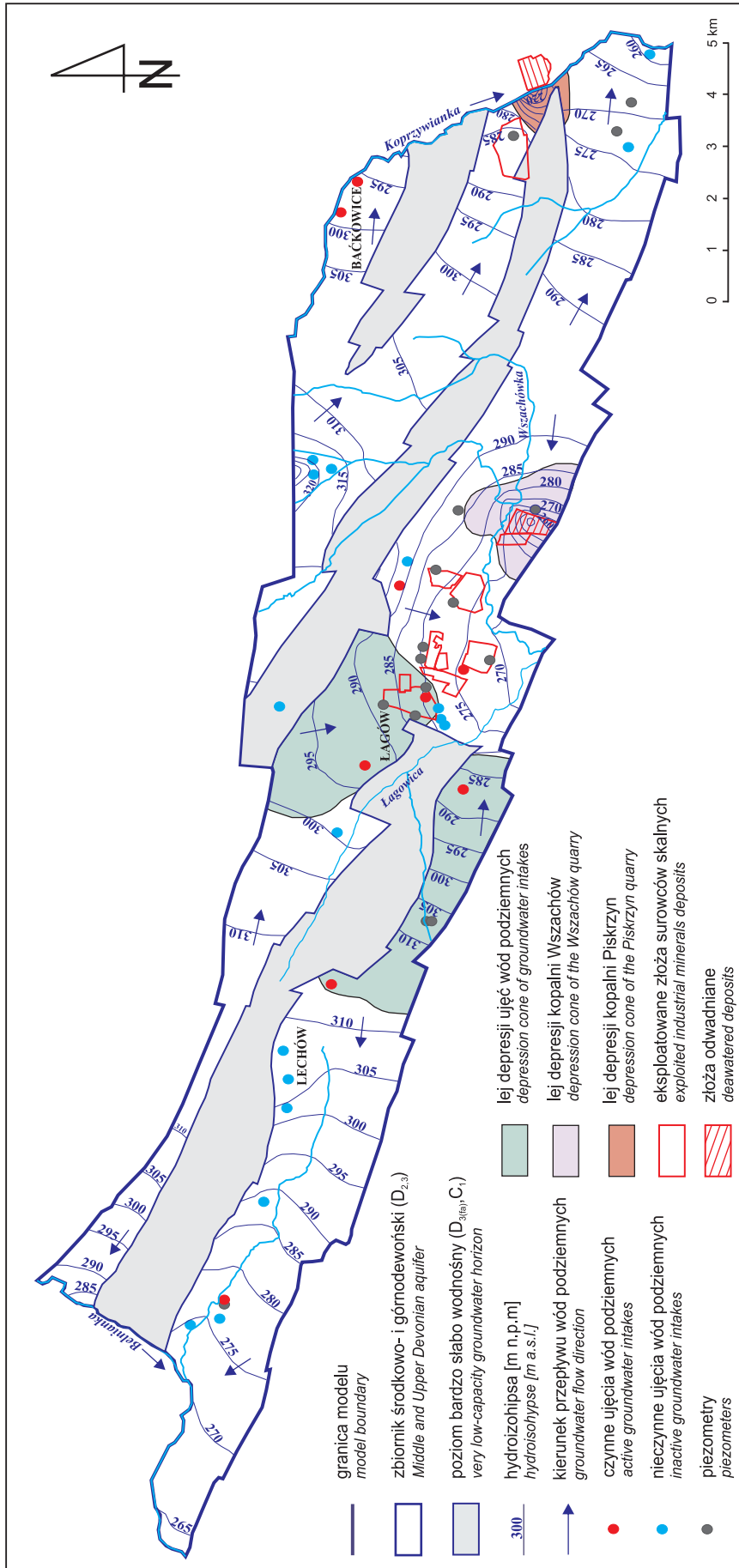


Fig. 3. Mapa hydroizohips rejonu badań – stan aktualny (maj 2018 r.) według badań modelowych

Hydroisohypses map of the study area – recent conditions (as of May, 2018) according to model calculations

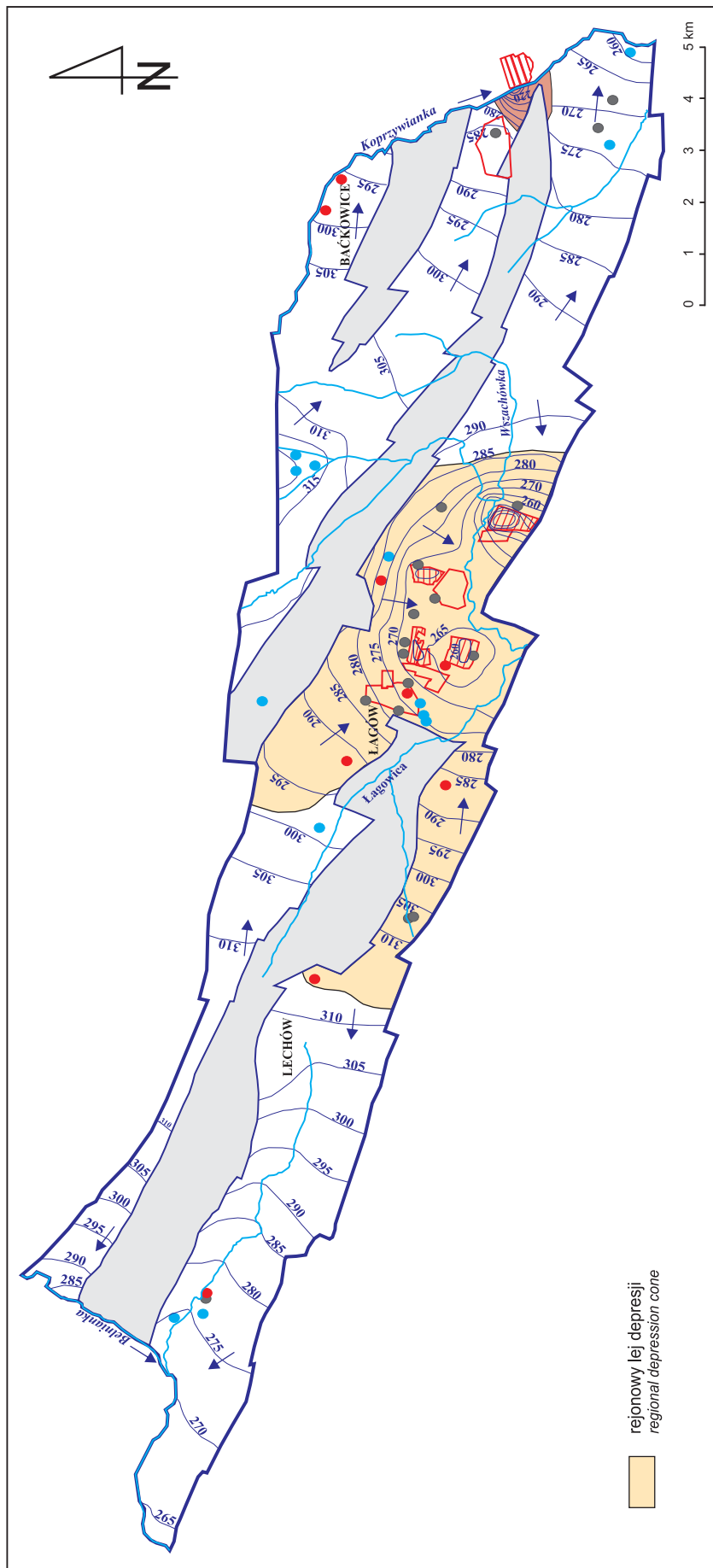


Fig. 4. Mapa hydroizohips – prognoza odwodnienia kolejnych kopalń w rejonie Łagowa (pozostałe objaśnienia na figurze 3)

Hydroisohyps map of the study area – prognosis after dewatering of new quarries in the Łagów region (for other explanations see Figure 3)

Tabela 2

Bilanse wód podziemnych dla różnych wariantów obliczeń na modelu

Groundwater balances for various calculation variants of the modeling

Element bilansu	Stan pseudonaturalny		Stan obecny (maj 2018 r.)		Wariant odwodnienia kolejnych kopalń	
	zasilanie (+)	drenaż (-)	zasilanie (+)	drenaż (-)	zasilanie (+)	drenaż (-)
	[m ³ /h]		[m ³ /h]		[m ³ /h]	
Infiltracja opadów atmosferycznych	1275,3	–	1275,1	–	1269,5	–
Dopływ do / odpływ z cieków powierzchniowych	8,2	1283,5	68,6	1031,5	188,6	743,8
Dopływ do kopalń	–	–	–	203,8	–	605,8
Aktualna eksploatacja ujęć wód podziemnych	–	–	–	108,5	–	108,5
Suma	1283,5	1283,5	1343,7	1343,8	1458,1	1458,1

komunalnych ujęć wód podziemnych gminy Łagów. Nie dojdzie w nich jeszcze do odsłonięcia filtrów, niemniej jednak zmniejszy się ich wydajność i konieczne będzie odwiercenie studni awaryjnych, które będą stanowiły dodatkowe zabezpieczenie funkcjonowania wodociągu gminnego.

PODSUMOWANIE

Prognozowane odwodnienie kolejnych kopalń w rejonie Łagowa już na pierwszych zawodnionych poziomach eksploatacyjnych przyczyni się do powstania rejonowego leja depresji, który swym zasięgiem obejmie znaczną część struktury wodonośnej, w tym czynne ujęcia gminy Łagów, co wpłynie na ich wydajność. Przedstawione w artykule wyniki badań modelowych będą podstawą do prowadzenia racjonalnej gospodarki wodnej w rejonie badań podczas kontynuacji działalności górniczej. Ważne jest, żeby obliczenia zawodnienia wszystkich kopalń były wykonywane na jednym modelu matematycznym, a model był na bieżąco aktualizowany (Białecka, Prażak, 2018). Wymaga to jednak ustalenia akceptowanego przez wszystkie kopalnie i gminę „opiekuna modelu”, który będzie gromadził na bieżąco wszystkie wyniki obserwacji hydrogeologicznych w rejonie i wykonywał na modelu wskazane obliczenia.

Niniejszy artykuł jest wynikiem realizacji pracy statutowej Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego nr 61.2404.1701.00.0.

LITERATURA

- BAZA DANYCH MONBADA i SOH – Państw. Inst. Geol.-PIB, Warszawa. Internet: <http://www.pgi.gov.pl> (dostęp: czerwiec 2019 r.)
- BIAŁECKA K., GAŁA I., 2011 – Mapa Hydrogeologiczna Polski. Pierwszy poziom wodonośny – występowanie i hydrodynamika, ark. Opatów (854). Państw. Inst. Geol.-PIB, Warszawa.
- BIAŁECKA K., PRAŻAK J., 2018 – Stacjonarny model matematyczny struktury hydrogeologicznej podstawowym narzędziem dla gospodarki wodami podziemnymi w rejonach skupionego górnictwa odkrywczego w Górach Świętokrzyskich. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **471**: 7–14.
- GINALSKA-PROKOP W., 1990 – Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych województwa kieleckiego. Arch. Przedsiębiorstwa Geologicznego w Kielcach.
- KLECZKOWSKI A.S. (red.), 1990 – Mapa obszarów głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony 1:500 000. AGH, Kraków.
- MESZCZYŃSKI J., SZCZERBICKA M., WILGAT J., 2001a – Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych zlewni Koprzywianki i Opatówki. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- MESZCZYŃSKI J., SZCZERBICKA M., WILGAT J., 2001b – Dokumentacja określająca warunki hydrogeologiczne dla ustanowienia strefy ochronnej GZWP nr 421 Włostów. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- PRAŻAK J., 2007 – Subregion środkowej Wisły wyżynny część centralna. W: Hydrogeologia regionalna Polski. Tom I. Wody słodkie (red. B. Paczyński, A. Sadurski): 174–187. Państw. Inst. Geol., Warszawa.

- PRAŹAK J., 2012 – Pozycja hydrodynamiczna i znaczenie gospodarcze dewońskich zbiornikw wód podziemnych w Górach Świętokrzyskich. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, **198**.
- RZONCA B., 2005 – Hydrogeologiczne właściwości przestrzeni porowej dewońskich skał węglanowych w Górach Świętokrzyskich. *Prz. Geol.*, **53**, 5: 400–409.
- WRÓBLEWSKA E., HERMAN G., 2000a – Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Lągów (853). Państw. Inst. Geol.-PIB, Warszawa.
- WRÓBLEWSKA E., HERMAN G., 2000b – Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Opatów (854). Państw. Inst. Geol.-PIB, Warszawa.

SUMMARY

In the Lągów region (Holy Cross Mts.), numerous deposits of Middle/Upper Devonian limestones and dolomites were discovered. The Devonian formations built synclinal structures within the Paleozoic core of the Holy Cross Mts. and, simultaneously, they constitute important groundwater aquifers in the region. Within 10 quarries, extraction of carbonate rocks has been recently run above the groundwater table. Only the Wszachów I deposit must be dewatered at the rate of about 150 m³/h. Due to high demand for industrial carbonate rocks, the future extraction is planned beneath the groundwater table. In order to determine the impact of quarry dewatering on aquatic environment, calculations were undertaken in the form of a regional mathematical model of the central part the Kielce-Lągów Synclinorium using the

Visual Modflow software. The results demonstrate that, in the new quarries, dewatering of only the shallowest benches beneath the groundwater table will result in the formation of a regional depression cone, which will extend over the significant part of the aquifer, including the active intake of the Lągów commune. Furthermore, the modelling revealed that the intake under such conditions will still be operational; however, an additional monitoring system will have to be installed around the quarries and an emergency well must be drilled in order to additionally secure the water supply system in the commune.

The modelling results presented in this paper may provide the basis for proper groundwater management in that region during the future quarrying operations.

