

ANDRZEJ HAŁADUS*, JAROSŁAW KANIA*, RYSZARD KULMA*

Badania modelowe zmian stosunków wodnych w obrębie złoża piasków na obszarze górniczym Szczakowa III

Słowa kluczowe

Hydrogeologia, odwadnianie kopalń, modelowanie procesów filtracji

Streszczenie

W warunkach złożonej budowy geologicznej oraz bezpośrednich i pośrednich połączeń hydraulicznych istniejących między piętrami wodonośnymi czwartorzędu, triasu i karbonu prowadzona jest działalność wydobywcza Kopalni Piasku Szczakowa. Grawitacyjne odwadnianie tej kopalni prowadzone rozbudowanym systemem kanałów i rowów odwadniających spowodowało znaczące zmiany stosunków wodnych, głównie w obrębie piętra czwartorzędowego. Zmiany te potęgowane są przez drenujące oddziaływanie podziemnych wyrobisk kopalń rud cynku i ołowiu oraz studziennych ujęć wodnych.

Aktualne warunki formowania strumieni wód podziemnych zostały odtworzone na numerycznym modelu obszaru filtracji. Model ten wykorzystano również do wykonania obliczeń symulacyjnych i przedstawienia prognozy hydrogeologicznej związanej z przewidywanym zakończeniem wydobycia piasków podsadzkowych i rekreacyjnym przeznaczeniem terenów pogórnich. Określony został docelowy układ hydrodynamiczny w piętrze czwartorzędowo-triasowym oraz spodziewane przepływy w ciekach powierzchniowych, kanałach i rowach. Wskazano także obszary objęte depresją bądź impresją zwierciadła wód podziemnych.

Wprowadzenie

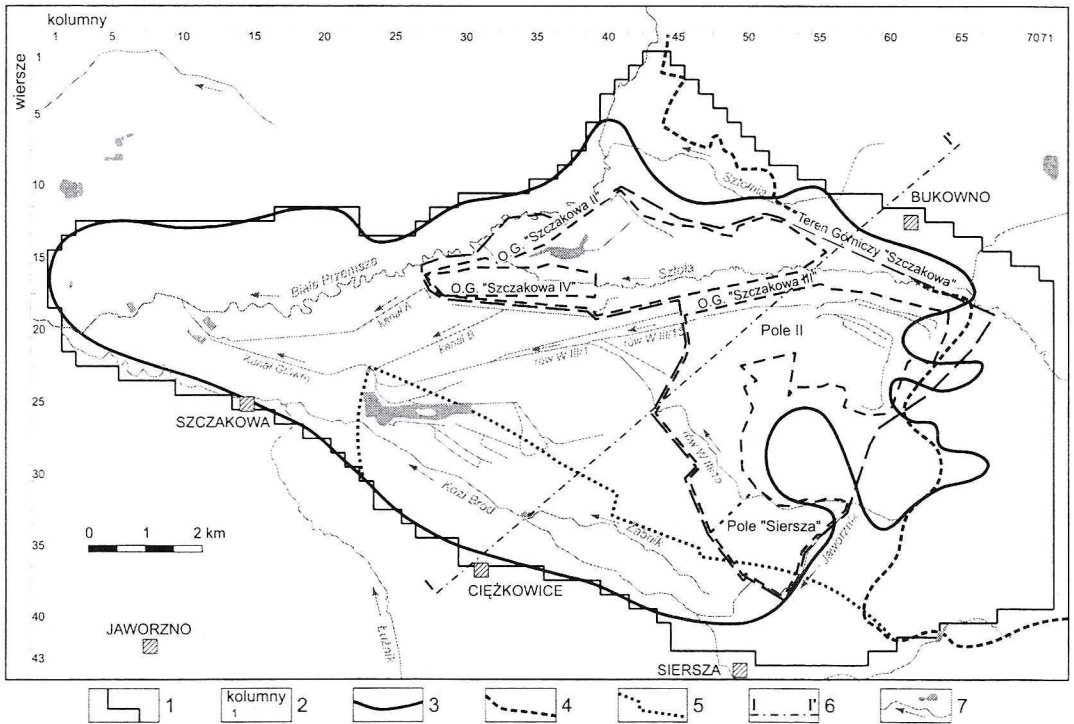
Kopalnia Piasku Szczakowa S.A. w Jaworznie położona jest w odległości około 3 km w kierunku północno-wschodnim od miejscowości Jaworzno-Szczakowa. Należy do największych odkrywkowych zakładów górniczych w Polsce, w którym eksploatuje się złoża piasku związane z utworami czwartorzędowymi (plejstoceniowymi) występującymi w dolinie

* Dr inż., Zakład Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej WGGiOŚ AGH, Kraków.

kopalnej Białej Przemśy. Kopalnia powstała na początku lat pięćdziesiątych ubiegłego wieku, a celem jej działalności było, i jest do dzisiaj, dostarczanie piasku podsadzkowego dla kopalń węgla na terenie Śląska i Zagłębia oraz kopalń rud cynku i ołowiu w rejonie olkuskim i chrzanowskim. W ostatnim okresie eksploatowane są również piaski do celów budowlanych oraz dla przemysłu metalurgicznego (Szczepańska i in. 2001). Do roku 2005 wydobyć kopalni wyniosło ponad 650 mln m³ piasku.

Na terenie o powierzchni 30 km², objętym badaniami modelowymi, Kopalnia Piasku Szczakowa prowadzi działalność wydobywczą w obrębie następujących obszarów górniczych (rys. 1):

- Szczakowa II, złoża piasków podsadzkowych Szczakowa – Pole I,
- Szczakowa III, złoża piasków podsadzkowych Szczakowa – Pole II i Siersza-Misiury,
- Szczakowa IV (w obrębie O.G. Szczakowa II), złoża piasków formierskich.



Rys. 1. Mapa obszaru GZWP 453 Biskupi Bór

- 1 – granica modelu hydrodynamicznego, 2 – podział modelowanego obszaru filtracji,
- 3 – granica GZWP 453 Biskupi Bór, 4 – granica zasięgu występowania węglanowych utworów triasu,
- 5 – granica zasięgu występowania przepuszczalnych utworów karbonu, 6 – linia przekroju hydrogeologicznego,
- 7 – rzeki, rowy, kanały i zbiorniki powierzchniowe

Fig. 1. Map of the area of MGWB 453 Biskupi Bór

- 1 – boundary of hydrodynamical model, 2 – division of the filtration area into grids of numerical flow model,
- 3 – boundary of the MGWB 453 Biskupi Bór, 4 – boundary of occurrence of carbonate Triassic deposits,
- 5 – boundary of occurrence of permeable Carboniferous deposits, 6 – hydrogeological cross-section line,
- 7 – rivers, drainage trenches, channels and surface reservoirs

Eksploracja piasków prowadzona jest ze złoża odwadnianego grawitacyjnie przez system rowów i kanałów, którym odprowadzana jest duża część zasobów czwartorzędowego zbiornika GZWP 453 Biskupi Bór (tab. 1).

TABELA 1

Zasoby wód podziemnych głównych zbiorników występujących w obszarze modelowanym
(Rózkowski i in. 1997)

TABLE 1

Groundwater resources of main aquifers in the study area (after Rózkowski i in. 1997)

Nazwa i symbol zbiornika	Powierzchnia zbiornika [km ²]		Zasoby odnawialne [m ³ /d]	Moduł zasobowy [l/s/km ²]
	całkowita	w obszarze modelowanym		
GZWP 453 Biskupi Bór, Q/4 (czwartorzędowy)	67	67	77 500	13,4
GZWP 454 Olkusz-Zawiercie, T/4 (triasowy)	1 033	19	461 260	5,2
GZWP Tychy-Siersza, C/2 (karboński)	710	13	263 174	4,3

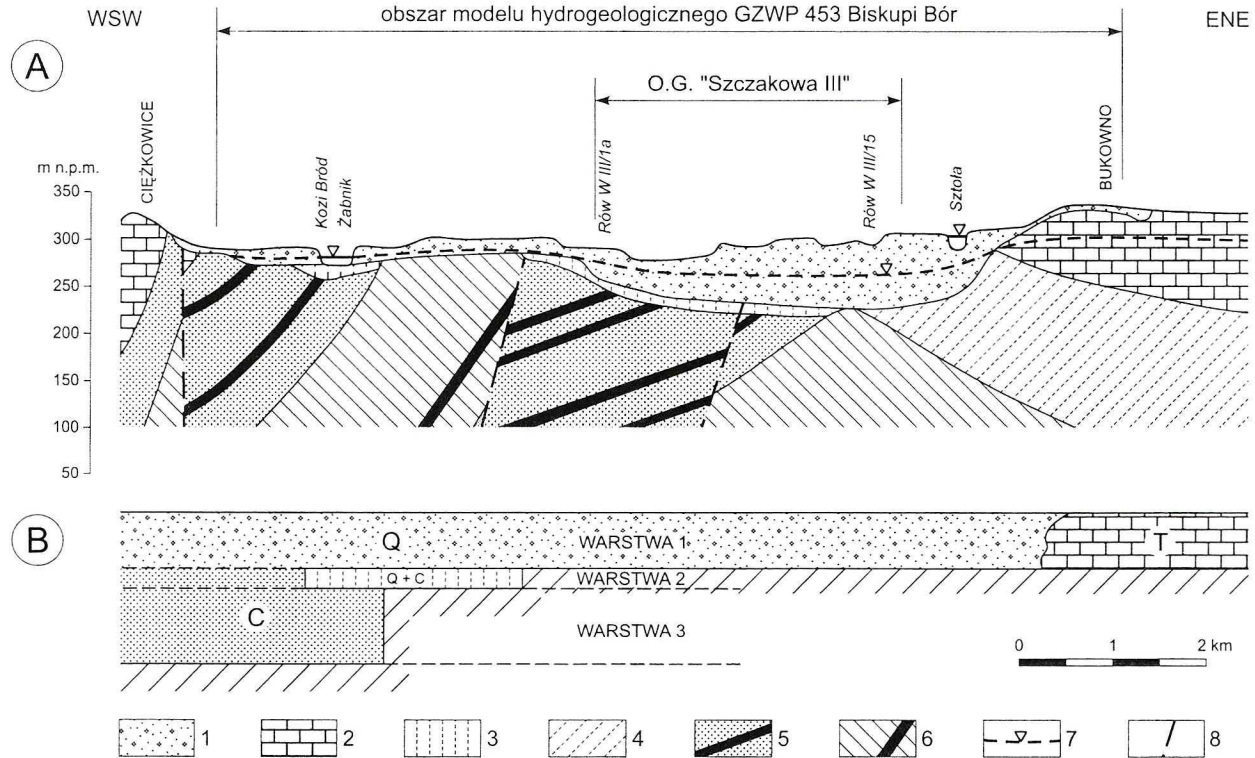
W rejonie obszaru górniczego Szczakowa III prowadzona jest także eksploatacja złóż rud cynku i ołowiu z utworów triasowych. Koncentruje się ona w obszarach położonych, w stosunku do terenu badań, na północny-wschód (rejon olkuski) i południowy-zachód (rejon chrzanowski). Podziemne wyrobiska górnicze czynnej kopalni Olkusz-Pomorzański oraz zlikwidowanej kopalni Bolesław wpływają głównie na stan zasobowy triasowego zbiornika GZWP 454 Olkusz-Zawiercie (Haładus, Kulma 2004), oddziałują ponadto na zasoby zbiornika Biskupi Bór.

Na obraz stosunków wodnych w badanym obszarze wpływa również zlikwidowana kopalnia węgla kamiennego Siersza (Rogoż i in. 2000), a zwłaszcza pobór wody z otworów studziennych rozmieszczonych wokół byłego szybu górniczego Lech. W utworach karbonu wydzielony jest zbiornik GZWP C/2 Tychy-Siersza.

Wykonane badania modelowe miały na celu określenie zmian stosunków wodnych w obrębie obszaru górniczego Szczakowa III po zakończeniu eksploatacji złóż piasku. Badaniami objęto w całości lub fragmentarycznie obszary trzech głównych zbiorników wód podziemnych (tab. 1) wydzielonych w utworach czwartorzędu, triasu i karbonu.

1. Warunki hydrogeologiczne

W rejonie Kopalni Piasku Szczakowa występują trzy piętra wodonośne: czwartorzędowe, triasowe i karbońskie (rys. 2). Wody podziemne tych pięter pozostają ze sobą w więzi hydraulicznej lub są oddzielone pakietami utworów słaboprzepuszczalnych bądź izolujących.



Rys. 2. Schematyczny przekrój hydrogeologiczny (A) i odwzorowanie warstw (B) na modelu hydrodynamicznym GZWP 453 Biskupi Bór
 1, 2 – przepuszczalne utwory czwartorzędowe (1) i triasu (2), 3, 4 – słaboprzepuszczalne utwory czwartorzędowo-karbońskie (3) i permskie (4), 5, 6 – utworu karbonu
 przepuszczalne (5) i słaboprzepuszczalne (6), 7 – położenie zwierciadła wody w czwartorzędowo-triasowym piętrze wodonośnym, 8 – uskoki

Fig. 2. Schematic hydrogeological cross-section (A) and layers (B) of hydrodynamical model of the MGWB 453 Biskupi Bór
 1, 2 – permeable Quaternary (1) and Triassic (2) deposits, 3, 4 – semi-permeable Quaternary-Carboniferous (3) and Permian (4) deposits, 5, 6 – permeable (5)
 and semi-permeable (6) Carboniferous deposits, 7 – groundwater level of the Quaternary-Triassic aquifer, 8 – faults

1.1. Czwartorzędowe piętro wodonośne

Zawodnione utwory czwartorzędu stanowią główne piętro wodonośne. Tworzą go przede wszystkim piaski średnio- i drobnoziarniste z wkładkami żwirów i rumoszy oraz pyłów, występujące w dolinie kopalnej Białej Przemyś. Obecność wkładek ilastych powoduje niekiedy lokalne rozdzielenie piętra czwartorzędowego na poziomy wodonośne. Na przeważającej części obszaru nieprzepuszczalną serię spągową stanowią gliny czwartorzędu lub ilaste utwory karbonu i permu. Miąższość wodonośnych osadów czwartorzędowych jest bardzo zmienna, zależna od rzeźby starszego podłoża, i wynosi od kilku do nawet 70 m. Średni współczynnik filtracji waha się w granicach od około 11,5 m/d – na Polu Siersza do około 48,9 m/d – na Polu I (Zimny i in. 1995).

Występowanie w strefie aeracji utworów piaszczystych o dobrej przepuszczalności, niewielkie spadki terenu i drenaż górniczy sprawiają, że na obszarze zbiornika istnieją bardzo korzystne warunki dla infiltracji wód opadowych zasilających czwartorzędowe piętro wodonośne.

W warunkach naturalnych swobodne zwierciadło wód podziemnych w utworach czwartorzędowych stabilizowało się na głębokości od 5,0 do 14,5 m. Bezpośredni drenaż czwartorzędowego piętra wodonośnego wywołany jest przez system grawitacyjnego odwadniania KP Szczakowa. Eksploatacja złoża piasków odbywa się kilkanaście metrów poniżej pierwotnego poziomu zwierciadła wody, co spowodowało m.in. zanik naturalnego przepływu w rzece Sztole. Obecnie prowadzi ona wody pompowane z kopalni Olkusz-Pomorzany i zrzucane za pomocą Kanału Południowego (Baby).

Pośrednie odwadnianie utworów czwartorzędu odbywa się między innym jako skutek obniżenia zwierciadła wody w utworach triasu, spowodowanego drenującym wpływem kopalń rud cynku i ołowiu. W szczególności ma to miejsce od strony wschodniej i północno-wschodniej, gdzie uwidacznia się wpływ zlikwidowanych kopalń Bolesław i Olkusz oraz czynnej kopalni Olkusz-Pomorzany. W części południowo-wschodniej zaznacza się ponadto wpływ kopalni węgla kamiennego Siersza (zlikwidowana w grudniu 2000 r.) i ujęcia Lech, eksploatującego wody połączonego piętra wodonośnego czwartorzędowo-karbońskiego.

Główne przepływy strumieni wód podziemnych w czwartorzędowym piętrze wodonośnym odbywają się z północnego-wschodu, wschodu i południowego-wschodu w kierunku południowo-zachodnim, zachodnim i północno-zachodnim do rowów i kanałów stanowiących system odwodnienia KP Szczakowa.

1.2. Triasowe piętro wodonośne

Występuje w północno-wschodniej i wschodniej części obszaru górniczego Szczakowa III, a tworzą go węglanowe skały dolnego i środkowego triasu. Podrzednie w profilu tego piętra występują wkładki margli i ilów, głównie jako przeławicenia w wapieniach warstw gogolińskich oraz pośród osadów retu (górnego pstrego piaskowca). Z uwagi na liczne spękania i kawerny, umożliwiające pionową wymianę wody, utwory triasu są zwykle

traktowane jako jeden, wspólny poziom wodonośny wapienia muszlowego i retu (Haładus, Kulma 2003).

Miąszość wodonośnych utworów piętra triasowego cechuje się dużą zmiennością, w przedziale od kilku do około 90 m, wynikającą z tektoniki i zaawansowania procesów erozji. Również przepuszczalność skał serii węglanowej, ze względu na ich szczelinowo-krasowy charakter, jest przestrzennie bardzo zróżnicowana (Motyka, Wilk 1976). Współczynniki filtracji utworów wodonośnych zawierają się w przedziale od 0,06 do 32,8 m/d, a najczęściej przyjmują wielkości od 1 do 10 m/d.

Zasilanie triasowego piętra wodonośnego odbywa się w sposób bezpośredni, jako infiltracja opadów atmosferycznych na obszarze wychodni, lub pośrednio – jako przesączanie wody przez nadległe utwory czwartorzędu. Drenaż wód podziemnych powodowany jest głównie przez wyrobiska górnicze kopalń rud cynku i ołowiu oraz częściowo przez system odwadniania KP Szczakowa. Układ zwierciadła wody w piętrze triasowym jest dostosowany do położenia istniejących baz drenażu i przebiegu dużych dyslokacji nieciągłych.

1.3. Karbońskie piętro wodonośne

W południowej części badanego obszaru występują utwory wodonośne górnego karbonu (warstw łaziskich) o znaczeniu użytkowym. Wykształcone są w postaci serii piaskowców średnio- i drobnoziarnistych, przeważnie słabozwężłych i silnie spękanych. Utwory te zalegają bezpośrednio pod osadami czwartorzędowymi, z którymi pozostają w łączności hydraulicznej lub są od nich izolowane warstwami glin i łupków.

Warunki hydrogeologiczne piętra karbońskiego zostały dobrze rozpoznane do głębokości około 150 m, gdyż na taką sięgają studnie ujęcia Lech. Współczynnik filtracji utworów wodonośnych w partii przystropowej warstw łaziskich wynosi około 34,5 m/d i maleje wraz z głębokością do 0,05 m/d (Kisiel 1994).

Zasilanie karbońskiego piętra wodonośnego odbywa się na wychodniach serii piaskowcowych przez wody infiltrujące z utworów czwartorzędowych. Drenaż powodowany jest przez wyrobiska górnicze zlikwidowanej kopalni Siersza, a zwłaszcza przez ujęcie wód podziemnych Lech. Lej depresji wywołany jego eksploatacją rozwija się w kierunku Pola Siersza, powodując obniżenie zwierciadła wody również w piętrze czwartorzędowym.

2. Badania modelowe

2.1. Ogólne uwagi o modelu

Trójwarstwowy model warunków hydrogeologicznych (rys. 2) został opracowany z wykorzystaniem programu komputerowego Processing Modflow (Chiang, Kinzelbach 1998). Bezpośrednimi badaniami objęto obszar filtracji o powierzchni około 108,6 km², który podzielono na kwadratowe bloki obliczeniowe o wymiarach $\Delta x = \Delta y = 250$ m. Pierwszą

modelowaną warstwę czwartorzędowo-triasową utworzyło 1737 bloków obliczeniowych. Kolejne, niżej leżące warstwy uwzględnione zostały jedynie fragmentarycznie. Warstwa 2 wystąpiła w południowej części obszaru na powierzchni 5,75 km² (92 bloki obliczeniowe) i służyła do odwzorowania osadów słaboprzepuszczalnych zalegających pomiędzy wodonośnymi utworami czwartorzędu i karbonu. Warstwa 3 umożliwiła symulację zawadzionych utworów karbonu, występujących na powierzchni 12,94 km² (207 bloków obliczeniowych).

Granice wyznaczające zewnętrzny zarys modelu pokrywają się w większości z konturem czwartorzędowego zbiornika GZWP 453 Biskupi Bór, w obrębie którego, w części wschodniej, występuje obszar górniczy Szczakowa III o powierzchni 12,2 km². Rozszerzenie obszaru modelu w kierunku północno-wschodnim i wschodnim o fragment występowania utworów triasowych zbiornika GZWP 454 Olkusz-Zawiercie wynika z istnienia bezpośredniego kontaktu hydraulicznego pomiędzy czwartorzędowym i triasowym piętrzem wodonośnym. Również południowa granica modelu wykracza poza zasięg GZWP 453, przy czym przyłączony obszar umożliwił odwzorowanie na modelu stwierdzonego oddziaływania ujęcia wód podziemnych Lech, występującego w obrębie karbońskiego zbiornika C/2 Tychy-Siersza.

Cieki i zbiorniki wód powierzchniowych występujące na obszarze Kopalni Piasku Szczakowa lub w jej pobliżu, stanowiły wewnętrzne warunki brzegowe obliczeń symulacyjnych. Uwzględniono w ten sposób odcinek Białej Przemszy (od Sławkowa – na północy, do Maczek – na zachodzie) oraz jej lewostronne dopływy: Warwas, Sztołę i Kozi Bród wraz z Żabnikiem i Jaworznikiem. Jako lewostronny dopływ Białej Przemszy potraktowany został również system odprowadzający wody z terenu górniczego Szczakowa, w postaci Kanału Głównego, kanałów A i B, rowów odpływowych W III/1, W III/15, W III/1a i innych drugorzędnych, oraz zbiornika Sosina wraz z rowami C i D. Ponadto na modelu, jako wewnętrzne warunki brzegowe, odwzorowano studzienne ujęcia wód podziemnych zafiltrowane w utworach czwartorzędu, triasu i karbonu. Łączny pobór wody z tych utworów wynosił 7683 m³/d.

2.2. Weryfikacja modelu

Zapewnienie wiarygodności wyników obliczeń prognostycznych na modelu cyfrowym wymagało jego weryfikacji. Ta wstępna faza badań symulacyjnych, polegająca na odwzorowaniu z zadowalającą dokładnością określonego stanu zwierciadła wód podziemnych i przepływów filtracyjnych, ma w głównej mierze wykazać prawidłowość przeprowadzonej schematyzacji hydrogeologicznej, przyjęcia parametrów filtracyjnych warstw wodonośnych i warunków brzegowych.

Weryfikację modelu (wariant 0) przeprowadzono w odniesieniu do 35 otworów obserwacyjnych i studni, w których wykonano (w maju 2001 r.) pomiary głębokości zalegania zwierciadła wody. Różnice między wielkościami obserwowanymi i uzyskanymi na modelu dla warstwy 1 (czwartorzędowo-triasowej) zawierały się w granicach od 0,0 do ±0,5 m (błąd średni około 0,23 m), natomiast dla warstwy 3 (karbońskiej) od 0,0 do ±0,8 m (błąd średni 0,31 m). Średnie odchylenia standardowe wyniosły odpowiednio 0,21 i 0,35 m.

W rozpatrywanym stanie wyjściowym kierunki przepływów strumienia wód podziemnych w piętrze czwartorzędowym były zróżnicowane, z przewagą południowego i południowo-zachodniego w części północnej obszaru objętego badaniami modelowymi oraz północno-zachodniego w jego części południowej (wariant 0). W części wschodniej dominował kierunek przepływu ku zachodowi. Rzędne zwierciadła wody zmieniały się od około 257 m n.p.m. – w części zachodniej obszaru, do ponad 345 m n.p.m. – w części południowo-wschodniej.

Odtworzony na modelu bilans wodny potwierdza wielkości przepływów w kanałach i rowach odwadniających zmierzone w maju 2001 r. Różnice obliczone w stosunku do wielkości uzyskanych z badań modelowych wynosiły od 0,50% (kanał B) do 0,83% (rów III/15). Wyniki weryfikacji modelu potwierdziły również fakt utraty więzi hydraulicznej wód w korycie Sztoły z wodami podziemnymi (Adamczyk, Haładus 1997). Wielkości strat infiltracyjnych tej rzeki, określone na modelu w wysokości 34 650 m³/d, w pełni korespondują ze stratami wyznaczonymi na podstawie pomiarów przepływu (Fischer i in. 1992).

O poprawności schematyzacji warunków hydrogeologicznych na utworzonym modelu i pozytywnych rezultatach jego weryfikacji świadczy duża dokładność odwzorowania powierzchni piezometrycznych oraz wielkości przepływów w rowach i kanałach odwadniających KP Szczakowa, a także w naturalnych ciekach występujących w otoczeniu pól eksploatacyjnych.

2.3. Wyniki badań modelowych

Na cyfrowym modelu warunków hydrogeologicznych rejonu KP Szczakowa, oprócz odtworzenia warunków początkowych (wariant 0), zrealizowano trzy warianty obliczeń prognostycznych w warunkach filtracji ustalonej (tab. 2).

W wariantach 1 i 2 utrzymano rzędne odwodnienia w kanałach, rowach i ciekach powierzchniowych takie jak dla stanu wytarowanego (wariant 0). Eksploatacja piasków w kopalni odbywa się powyżej zwierciadła wód podziemnych. Natomiast w wariantcie 3 w obrębie Pola II symulowano utworzenie zbiornika powierzchniowego, wskutek czego podstawa drenażu ulegnie niewielkiej modyfikacji. We wszystkich wariantach obliczeniowych ujęcia wód podziemnych położone są poza obszarem górniczym Szczakowa III.

Wariant 1 wykonano przy założeniu, że wielkość zasilania powierzchniowego osiągnie poziom odpowiadający średniej rocznej wysokości opadów z okresu trzydziestolecia (1971–2000). W stosunku do stanu początkowego (wariant 0) oznacza to zmniejszenie efektywnej infiltracji wód opadowych o około 4,4%.

Wariant 2 zrealizowano zakładając zwiększone pobory z istniejących ujęć wód podziemnych oraz z ujęcia projektowanego. Łączny średni pobór wody ze studni głębinowych został zwiększony do 15 077 m³/d, tj. o 96,2%. Na niezmienionej wysokości utrzymane zostało zasilanie powierzchniowe (jak w wariantcie 1).

Wariant 3 miał na celu przedstawienie prognozowanych stosunków wodnych, jakie mogą zaistnieć po zakończeniu eksploatacji piasków ze złoża Szczakowa i utworzeniu

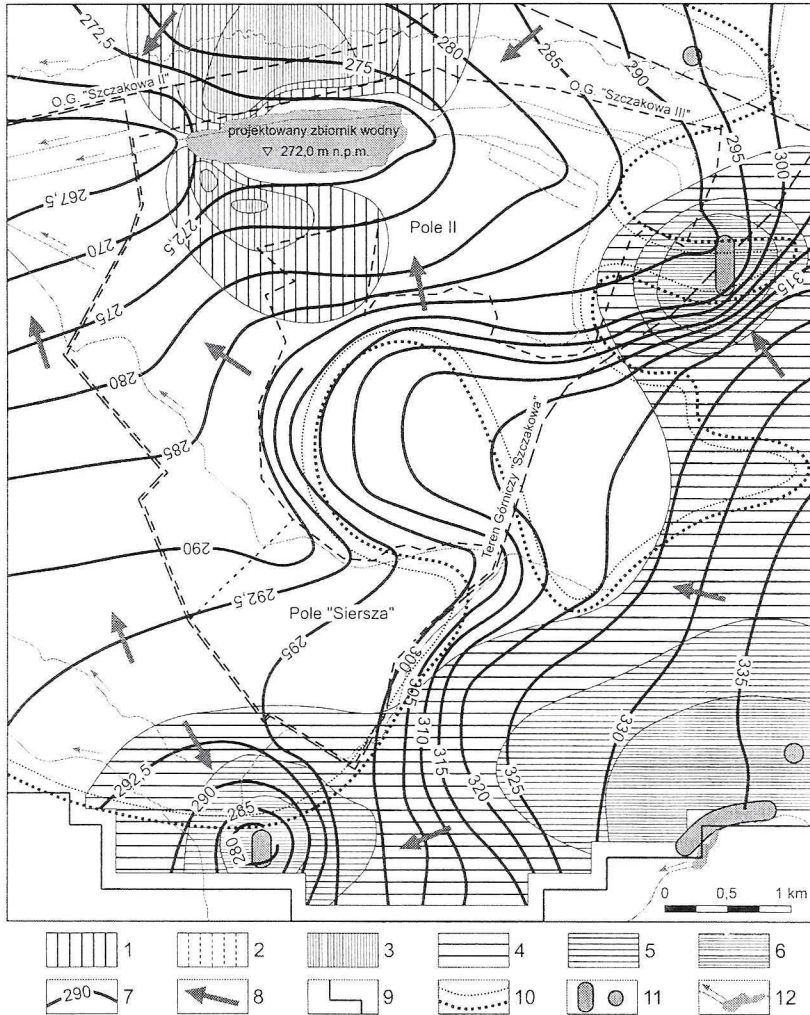
TABELA 2

Bilans przepływu wód podziemnych w czwartorzędowo-triasowym piętrze wodonośnym rejonu KP Szczakowa, według badań modelowych

TABLE 2

Groundwater budget of the Quaternary-Triassic horizon in the Szczakowa sand pit (after modelling studies)

Składnik bilansu strumienia filtracyjnego	Natężenie przepływu strumienia filtracyjnego [m ³ /d]			
	Wariant 0	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3
Efektywna infiltracja opadów atmosferycznych na modelu, w tym:	+93 423/0	+89 458/0	+89 458/0	+88 262/0
— na obszarze Pola II	+10 850	+9 825	+9 825	+8 630
— na obszarze Pola Siersza	+3 495	+3 145	+3 145	+3 145
Dopływ/odpływ przez zewnętrzne granice modelowanego obszaru, w tym efektywny dopływ:	+12 107/–6 384	+12 273/–6 138	+14 990/–5 227	+14 988/–5 239
— przez granice Pola II	+33 070	+32 725	+30 855	+29 540
— przez granice Pola Siersza	+3 745	+3 720	+3 390	+3 400
Zasilanie/drenaż wewnątrz modelowanego obszaru, w tym efektywny odpływ:	+53 578/–148 465	+53 868/–145 469	+54 248/–148 199	+58 472/–151 187
— w obrębie Pola II	–43 920	–42 550	–40 680	–38 170
– rów W III/15 + W III/1	–40 350	–39 500	–37 750	–35 135
– rów W III/1a (odcinek środkowy)	–3 570	–3 050	–2 930	–3 035
— w obrębie Pola Siersza (rów W III/1a – odcinek górny)	–7 210	–6 840	–6 470	–6 480
Przesączanie do/z czwartorzędowo-triasowego piętra wodonośnego, w tym efektywnie:	+2 809/–6 900	+2 753/–6 785	+2 423/–7 726	+2 423/–7 726
— na Polu Siersza	–65	–25	–65	–65
Suma składników bilansu modelu,	+161 917/–161 749	+158 352/–158 392	+161 119/–161 152	+164 145/–164 152
w tym: w obrębie Pola II i Pola Siersza	+51 130/–51 130	+49 415/–49 415	+47 215/–47 215	+44 715/–44 715



Rys. 3. Mapa hydroizohips czwartorzędowo-triasowego piętra wodonośnego w rejonie obszaru górniczego Szczakowa III – wariant 3

1, 2, 3 – obszary o prognozowanym przyroście (impresji) wysokości położenia zwierciadła wód podziemnych w stosunku do stanu wytarowanego wynoszący: 1–2 m (1), 2–3 m (2) i >3 m (3), 4, 5, 6 – obszary o prognozowanym obniżeniu (depresji) wysokości położenia zwierciadła wód podziemnych w stosunku do stanu wytarowanego wynoszący: 1–2 m (4), 2–3 m (5) i >3 m (6), 7 – hydroizohipsy w m n.p.m., 8 – kierunki przepływu wód podziemnych, 9 – granica modelu hydrogeologicznego, 10 – granica GZWP 453 Biskupi Bór, 11 – istniejące i projektowane ujęcia wód podziemnych, 12 – rzeki, rowy, kanały i zbiorniki powierzchniowe

Fig. 3. Water-table map of the Quaternary-Triassic aquifer in the region of Szczakowa III mining area – variant 3

1, 2, 3 – areas of predicted increase in water level compared to the results of calibrated flow model amount to: 1–2 m (1), 2–3 m (2) i >3 m (3), 4, 5, 6 – areas of predicted decrease in water level (drawdown) compared to the results of calibrated flow model amount to: 1–2 m (4), 2–3 m (5) i >3 m (6), 7 – water table contours in m a.s.l., 8 – directions of groundwater flow, 9 – boundary of hydrogeological model,

10 – boundary of the MGWB 453 Biskupi Bór, 11 – existing and projected groundwater intakes, 12 – rivers, drainage trenches, channels and surface reservoirs

zbiornika wodnego na zrehabilitowanych terenach Pola II (rys. 3). Powierzchnia akwenu wynosiłaby około $0,75 \text{ km}^2$ przy jego napełnieniu do wysokości 272,0 m n.p.m. Wielkość infiltracji z opadów atmosferycznych i wydajności ujęć wód podziemnych zostały utrzymane na poziomie jak w wariantach 1 i 2.

Całkowita ilość wód podziemnych uwzględniona w bilansie piętra czwartorzędowo-triasowego na całym obszarze objętym modelem hydrogeologicznym wynosi (tab. 2) około $158\,400 \text{ m}^3/\text{d}$ (wariant 1) do $164\,100 \text{ m}^3/\text{d}$ (wariant 3). Z tej wielkości około 30%, tj. od $44\,700$ do $51\,100 \text{ m}^3/\text{d}$ – w zależności od rozpatrywanej sytuacji (warianty 0–3), związana jest z obszarem górniczym Szczakowa III.

W części obszaru obejmującej Pole II i Pole Siersza zasadniczą rolę po stronie zasilania warstwy wodonośnej spełnia dopływ boczny, z którego efektywnie pochodzi średnio $35\,100 \text{ m}^3/\text{d}$, tj. około 73% ilości wód bilansowych. Główny strumień wód podziemnych, o natężeniu około $23\,000 \text{ m}^3/\text{d}$, napływa z kierunku północnego i jest wymuszony infiltracją ze Sztoły, zachodzącą poza obszarem Pola II. Uzupełnieniem tego strumienia jest bezpośrednie zasilanie przez opady atmosferyczne, stanowiące pozostałe 27%, tj. około $13\,000 \text{ m}^3/\text{d}$. Rozdział podanych wielkości w obrębie eksploatacyjnego Pola II i Pola Siersza jest proporcjonalny do ich powierzchni jedynie w przypadku zasilania z wód opadowych (ok. 3:1), zmienia się natomiast zasadniczo na korzyść Pola II (w relacji blisko 9:1) w przypadku efektywnego dopływu przez boczne granice.

Po stronie rozchodów dominującym elementem bilansu wodnego jest drenaż przez rzeki oraz sieć rowów i kanałów odwadniających (tab. 2). Dla całego obszaru modelu jest to wielkość osiągająca od około $145\,500 \text{ m}^3/\text{d}$ (wariant 2) do $151\,200 \text{ m}^3/\text{d}$ (wariant 3), co stanowi ponad 90% ogólnej ilości wód bilansowych. W przypadku obszaru górniczego Szczakowa III odbiór wody przez istniejący system odwodnienia złoża jest praktycznie jedynym czynnikiem (99,9%) efektywnego odpływu. Brakującą wielkość (0,1%) stanowi przesączanie do piętra karbońskiego, i to tylko w obrębie Pola Siersza.

Podstawowe znaczenie dla odwadniania obszaru górniczego Szczakowa III mają dwa ciągi rowów. Wzdłuż granicy północnej przebiega rów W III/15, przechodzący w W III/1, do którego włączają się rowy odprowadzające wody ze skarpy 20 i 21. Na zachodniej granicy Pola II z odwadniania może pochodzić dopływ wody (tab. 2) o natężeniu od $35\,135 \text{ m}^3/\text{d}$ – przy najmniej sprzyjającej sytuacji hydrologicznej i eksploatacyjnej (wariant 3) do $40\,350 \text{ m}^3/\text{d}$ – przy korzystniejszych warunkach zasilania powierzchniowego (wariant 0).

Utworzenie zbiornika wodnego na zrehabilitowanych terenach Pola II (wariant 3), wpłynie na dynamikę przepływu w rowach odwadniających tą część obszaru górniczego. W stosunku do stanu obecnego należy spodziewać się ograniczenia wielkości przepływu, zwłaszcza w rowie W III/15, o około $4\,400 \text{ m}^3/\text{d}$ (tab. 2). W tej wielkości około $1\,750 \text{ m}^3/\text{d}$ jest wynikiem symulowania na modelu zwiększonych poborów wody przez działające i projektowane ujęcia studzienne.

Drugi ciąg rowów, oznaczony jako W III/1a, ma początek na wschodnim krańcu Pola Siersza i wykorzystywany jest do odwadniania sektora 1s. Po około 1,5 km przebiegu równoleżnikowym wzdłuż północnych rubieży tego pola opuszcza je, osiągając na granicy

z Polem II przepływ wynoszący od około 6500 m³/d – przy warunkach niesprzyjających (wariant 2 i 3) do około 7200 m³/d – przy korzystnym zasilaniu powierzchniowym (wariant 0). Na następnym, środkowym odcinku biegu rowu W III/1a, o długości 2,0 km, przepływy wzrastają średnio o około 3000 m³/d (tab. 2) i na zachodniej granicy Pola II osiągają wielkości od 9400 m³/d (wariant 2) do prawie 10 800 m³/d (wariant 0). Drenaż warstwy wodonośnej na kolejnym dolnym odcinku o długości około 1,5 km, leżącym już poza granicą Pola II, powoduje dalsze zwiększenie przepływu w rowie W III/1a, który przed połączeniem z rowem W III/15 prowadzi wody z natężeniem 10 400–11 900 m³/d – w zależności od sytuacji określonej wariantem 2 lub 0.

Zbiornik wodny, utworzony w północnej części Pola II (wariant 3) będzie w sposób ograniczony oddziaływał na przepływ w środkowym odcinku rowu W III/1a. Może on z tego powodu zmniejszyć się o około 500 m³/d, z tym, że w tej wielkości zawiera się również skutek maksymalizacji poboru wód podziemnych przez ujęcia studzienne, wynoszący około 100 m³/d.

Zwiększenie zasilania infiltracyjnego do wielkości średniej z wielolecia ma niewielki wpływ na układ zwierciadła wody w piętrze czwartorzędowo-triasowym. Różnice rzędnych na obszarze modelowanym nie przekraczają kilkunastu centymetrów (warianty 0 i 1). W obrębie obszaru górniczego Szczakowa III wysokości hydrauliczne zawierają się w przedziale od około 267 m n.p.m. (Pole II) do około 304 m n.p.m. (Pole Siersza). Zauważalne zmiany w rozkładzie ciśnień wiążą się natomiast z zakładanym wzrostem wydajności ujęć głębinowych położonych poza obszarem górniczym Szczakowa III (wariant 2). Spowoduje to (w stosunku do wariantu 1) obniżenie zwierciadła wody o ponad 1 m w części południowej Pola Siersza i ponad 2,5 m we wschodniej części Pola II.

Z badań prognostycznych wynika, że utworzenie zbiornika wodnego w północnej części Pola II (wariant 3) spowoduje podwyższenie poziomu wód gruntowych. Wzrost ten, w stosunku do wariantu 1, osiągnie prawie 4,0 m na obszarze położonym na północ od O.G. Szczakowa III, natomiast nie przekroczy 3,0 m w zachodniej części Pola II. W brzeżnych częściach Pola II i Pola Siersza położenie zwierciadła wody nie ulegnie zasadniczej zmianie.

Z badań modelowych wynika, że do Pola II główny strumień filtracyjny napływa od strony północnej (wody kopalniane infiltrujące z rzeki Sztoly) i wschodniej, tj. z obszaru występowania triasowych utworów wodonośnych tworzących zbiornik GZWP 454 Olkusz-Zawiercie. Planowana po 2012 roku likwidacja kopalń rud cynku i ołowiu (Haładus, Kulma 2004) spowoduje zmiany stosunków wodnych na całym obszarze górniczym Szczakowa III, a głównie w obrębie Pola II. Między innymi koryto Sztoly nie będzie odprowadzać wód kopalnianych, co spowoduje zmniejszenie zasilania bocznego Pola II. Ubytki te zostaną częściowo zrekomensowane przez zwiększone zasilanie pochodzące z obszaru zbiornika GZWP 454.

Podsumowanie

Obszar górniczy Szczakowa III o powierzchni 12,2 km² obejmuje wschodnią część czwartorzędowego zbiornika GZWP 453 Biskupi Bór o swobodnym charakterze zwierciadła. W obrębie tego obszaru Kopalnia Piasku Szczakowa S.A. w Jaworznie prowadzi eksploatację piasków podsadzkowych na Polu II i Polu Siersza do poziomu grawitacyjnego odwodnienia, utrzymywanego przez system kanałów i rowów.

Wody występujące w piętrze czwartorzędowym są w bezpośrednim kontakcie hydraulicznym z wodami piętra triasowego (na wschodzie i północnym wschodzie) oraz piętra karbońskiego (w części południowej obszaru). Poprzez ten kontakt następuje obniżenie zwierciadła wody wywołane drenażem górniczym (kopalnia rud Zn-Pb Olkusz-Pomorzany) i eksploatacją ujęcia Lech.

Podstawą do określenia zmian stosunków wodnych w obrębie O.G. Szczakowa III były badania symulacyjne zrealizowane na trójwarstwowym modelu matematycznym obejmującym obszar filtracji o powierzchni 108,6 km². Objęto nim w całości lub fragmentarycznie trzy główne zbiorniki wód podziemnych wydzielone w utworach czwartorzędu, triasu i karbonu.

Prognozowane dopływy strumienia wód podziemnych do O.G. Szczakowa III wyniosą od 44 650 do 51 130 m³/d (w tym do Pola II od 38 170 do 43 920 m³/d, a do Pola Siersza od 6470 do 7210 m³/d) w zależności od rozpatrywanych wariantów obliczeń symulacyjnych, uwzględniających kolejne etapy zagospodarowania złoża.

Zwiększenie poboru wody przez ujęcia głębinowe zlokalizowane poza O.G. Szczakowa III spowoduje obniżenie zwierciadła wód podziemnych w brzeżnych częściach obszaru maksymalnie do około 2,5 m. Natomiast utworzenie zbiornika wodnego na Polu II podniesie zwierciadło w jego otoczeniu maksymalnie do około 4,0 m.

Planowana po 2012 roku likwidacja kopalń rud cynku i ołowiu w rejonie olkuskim wpłynie na zmianę stosunków wodnych również na obszarze górniczym Szczakowa III. Zwłaszcza w obrębie Pola II spowoduje zmniejszenie wielkości drenażu przez działający system grawitacyjnego odwodnienia złoża piasków.

Artykuł powstał przy wykorzystaniu środków finansowych uzyskanych w ramach działalności statutowej Zakładu Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH (umowa 11.11.140.139).

LITERATURA

- Adamczyk A.F., Haładus A., 1997 – Opracowanie hydrogeologiczne dotyczące możliwości zaopatrzenia w wodę pitną dobrej jakości gminy Bukowno w aspekcie oddziaływania górnictwa rud cynku i ołowiu oraz piasków podsadzkowych. Przeds. Usług.-Consult. GEA Sp. z o.o., Kraków.
- Chiang W.H., Kinzelbach W., 1998 – Processing Modflow – A Simulation System for Modeling Groundwater Flow and Pollution. Instrukcja programu, Hamburg-Zurich.
- Fiszler J., Sawicki J., Ślifirski M., 1992 – Prognoza dopływów i rozwoju leja depresji dla Kopalni Piasku „Szczakowa” przy pogłębionej eksploatacji. [W:] Mat. Konfer. „Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski”, Wrocław.

- Haładus A., Kulma R., 2003 – Schematyzacja złożonych warunków hydrogeologicznych dla prognozowania dopływów do kopalń na przykładzie rejonu olkuskiego. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, t. 19, z. 2, Kraków.
- Haładus A., Kulma R., 2004 – Badania modelowe zmian stosunków wodnych w warunkach likwidacji górnictwa rud cynku i ołowiu w rejonie olkuskim. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, t. 20, z. 2, Kraków.
- Kisiel K., 1994 – Ujęcie wód podziemnych z utworów karbońskich. *Przeds. Innov.-Prod. IntechmaT*, Gliwice.
- Motyka J., Wilk Z., 1976 – Pionowe zróżnicowanie wodoprzepuszczalności węglanowych skał triasowych w świetle statystycznej analizy wyników próbnych pompowań (monoklina śląsko-krakowska). *Kwartalnik Geologiczny* 29, 2, Warszawa.
- Rogoż M. i in., 2000 – Konsekwencje hydrogeologiczne likwidacji zakładu górniczego „Siersza” w Trzebini. *Zakł. Geol. i Geof. GIG, Katowice*.
- Rózkowski A., Chmura A., Siemiński A., (red.), 1997 – Użytkowe wody podziemne Górnośląskiego Zagłębia Węglowego i jego obrzeżenia. *Prace PIG CLIX*. Wyd. PIG, Warszawa.
- Szczepańska J., Bielec B., Haładus A., Kania J., Kulma R., 2001 – Dokumentacja określająca warunki hydrogeologiczne wydobycia piasków ze złóż objętych granicą obszaru górniczego „Szczakowa III”. *Fundacja Nauka i Tradycje Górnicze, Kraków*.
- Zimny J. i in., 1995 – Dokumentacja hydrogeologiczna Kopalni Piasku „Szczakowa” według stanu na 1.01.1995 r. (w granicach posiadanej koncesji). *KP „Szczakowa”, Jaworzno*.

ANDRZEJ HAŁADUS, JAROSŁAW KANIA, RYSZARD KULMA

MODELLING OF CHANGES IN THE AQUATIC ENVIRONMENT OF THE SZCZAKOWA III SAND PIT

Key words

Hydrogeology, mine drainage, filtration modelling

Abstract

The Szczakowa sand pit works the sand deposit in the area of complicated geological structure as well as direct and indirect hydraulic connections between the Quaternary, Triassic and Carboniferous groundwater horizons. Gravitational drainage of the pit, carried on with the dense systems of canals and ditches, caused significant changes in the aquatic environment, particularly in the Quaternary groundwater horizon. These changes are intensified by the influence of adjacent Zn-Pb ore mines and water wells.

Current conditions of groundwater flows were reconstructed with the numeric model of filtration area. This model was applied to simulation and prognosing of hydrogeological conditions after the closure of mining operations and during the remediation of the pit towards the recreation purposes. The final hydrodynamic pattern was prognosed within the Quaternary-Triassic groundwater horizon together with the expected flow rates in natural surface flows, canals and ditches. Moreover, the areas of prognosed depression or impression of groundwater table were identified.