

WPŁYW PROJEKTOWANEJ KOPALNI KRUSZYWA IŃSKO NA ŚRODOWISKO WÓD PODZIEMNYCH I POWIERZCHNIOWYCH – MODEL MATEMATYCZNY

INFLUENCE OF THE SAND AND GRAVEL OPEN PIT AT IŃSKO (POLAND) ON WATER ENVIRONMENT – A NUMERICAL MODEL

MAREK KACHNIC¹, ARKADIUSZ KRAWIEC¹

Abstrakt. Szczecińskie Kopalnie Surowców Mineralnych planują budowę kopalni piasku i żwiru na SE od miasta Ińsko. Projektowany jest odkrywkowy system eksploatacji bez odwadniania złoża. Model matematyczny przepływu wód podziemnych (o warunkach ustalonych) zbudowano za pomocą pakietu MODFLOW. Model składa się z trzech warstw o blokach siatki 50×50 m. Efekt oddziaływania kopalni na środowisko wód podziemnych i powierzchniowych odwzorowano poprzez zadanie warunku II rodzaju ($Q = \text{const}$) w blokach odpowiadających zasięgom projektowanych wyrobisk. Wydatek w poszczególnych blokach obliczono przy założeniu strat w zasobach wodnych w wyniku zwiększonego parowania wody. Straty te oszacowano na około $65 \pm 10 \text{ m}^3/\text{d}$. Obliczony wydatek strat rozłożono na powierzchni bloków reprezentujących wyrobisko. Dla tak ustalonych warunków symulacje prognostyczne określiły zasięg oddziaływania projektowanej kopalni. Obniżenie zwierciadła wody na granicy złoża wyniosło 0,3 m, przy błędzie modelu $\pm 0,5$ m. Zadając zawyżony wydatek, przekraczający 20-krotnie obliczone straty, obniżenie zwierciadła wody (izolinia 0,3 m) nie sięgnęło brzegów jezior Ińsko, Długie i Wisala, co oznacza brak możliwości dynamicznego oddziaływania projektowanej kopalni na wody tych jezior.

Słowa kluczowe: kopalnia kruszywa, oddziaływanie kopalni, MODFLOW, system krążenia wód.

Abstract. The Szczecin Mineral Raw Materials Pits Company Ltd is planning to build an open pit of sand and gravel close to Ińsko town. Rock extraction is planned without dewatering. There are conflicting opinions in the local community on the influence on the hydrology system in the vicinity of the open pit. The authors of the paper calculated influence of the open pit by a numerical modelling method. Two aquifer are recognized in the research area. There is the unconfined aquifer comprising the outwash glacial sand and the confined aquifer under a glacial till layer. A steady-state flow simulation was performed in MODFLOW Processing (PMWin ver. 5.3). The aquifer was simulated using the three model layers with a regular grid 50×50 m. Loss of water from the groundwater was evaluated by taking into account 1) increased evaporation after taking off the unsaturated zone, 2) loss of water from wet sand and gravel and 3) the amount of water taken for social purpose. The total loss of water was estimated at the amount of $65 \pm 10 \text{ m}^3/24\text{h}$. This discharge was evenly distributed across the open pit area. The results of simulation provided information about the cone of depression. The cone of depression (isoline 0.3 m) did not reach the lake shore. The depression within the mine area was only 0.3 m, so it is not remarkable. Therefore there will be no influence of the open pit on water environment.

Key words: open pit, impact assessment, MODFLOW, groundwater flow system.

WSTĘP

Szczecińskie Kopalnie Surowców Mineralnych planują budowę kopalni piasku i żwiru na SE od miasta Ińsko. Projektowany jest odkrywkowy system eksploatacji bez odwad-

niania złoża. Z powodu rozbieżnych zdań na temat możliwego wpływu projektowanej inwestycji na wody podziemne i powierzchniowe autorzy wykonali prace, w których wska-

¹ Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Wydział Biologii i Nauk o Ziemi, ul. Gagarina 9, 87-100 Toruń; marek.kachnic@umk.pl, arkadiusz.krawiec@umk.pl

zali zasięg oddziaływania projektowanej kopalni na podstawie wyników modelowania matematycznego (Kachnic, Krawiec, 2007).

Przez ponad rok na analizowanym obszarze prowadzono obserwacje położenia zwierciadła wody w piezometrach oraz

stanów wody w jeziorach. Wykonany został model matematyczny przepływu wód podziemnych o warunkach ustalonych, za pomocą którego przeprowadzono szereg symulacji prognostycznych, które miały określić zasięg oddziaływania projektowanej kopalni na środowisko wód podziemnych.

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Analizowany obszar jest zlokalizowany na Równinie Drawskiej. W bezpośrednim sąsiedztwie, na zachód od obszaru badań, znajduje się strefa moren czołowych wyznaczających zasięg fazy pomorskiej zlodowacenia wisły.

Rozpatrywany obszar położony jest na terenie sandru Drawy, w jego początkowej, północno-zachodniej części (fig. 1). Sandr ten należy do najbardziej rozległych na Niżu Polskim (Dobracka, Piotrowski, 2003). Jego długość, od Ińska do ujścia Drawy, wynosi 60 km. Na powierzchni występują głównie osady piaszczyste sandru, a gliny znajdują się tylko w zachodniej i północno-zachodniej części analizowanego obszaru. Na rozpatrywanym obszarze utwory czwartorzędowe występują zwartą pokrywą o miąższości ok. 100 m. W rejonie Ińska powierzchnia spągowa czwartorzędów znajduje się na rzędnej ok. 0 m n.p.m. Rozpoznanie budowy geologicznej na terenie ba-

dań jest słabe, a stan ten nieco poprawiły otwory kartograficzne wykonane w 2006 r. (Multan, 2007).

Przez teren badań przebiega dział topograficzny I rzędu pomiędzy dorzeczem Odry (Drawa) i dorzeczem rzek Przymorza (Rega). Istotnym elementem sieci hydrograficznej są jeziora Ińsko, Wisala i Długie. Rynna jez. Ińsko występuje w słabo przepuszczalnych osadach glin morenowych lub mułków. Znaczna różnica w położeniu zwierciadła wody w jez. Ińsko w porównaniu do pobliskich jezior (ok. 10 m) wynika z podpiętrzenia wód tego jeziora wskutek wyniesienia osadów słabo przepuszczalnych.

Średnia wielkość opadów w ciągu roku w rejonie Ińska wynosi 680 mm (Graf, 2004). Na podstawie danych dotyczących opadów atmosferycznych oraz parowania terenowego (~500 mm) wielkość infiltracji oszacowano na ok. 180 mm.

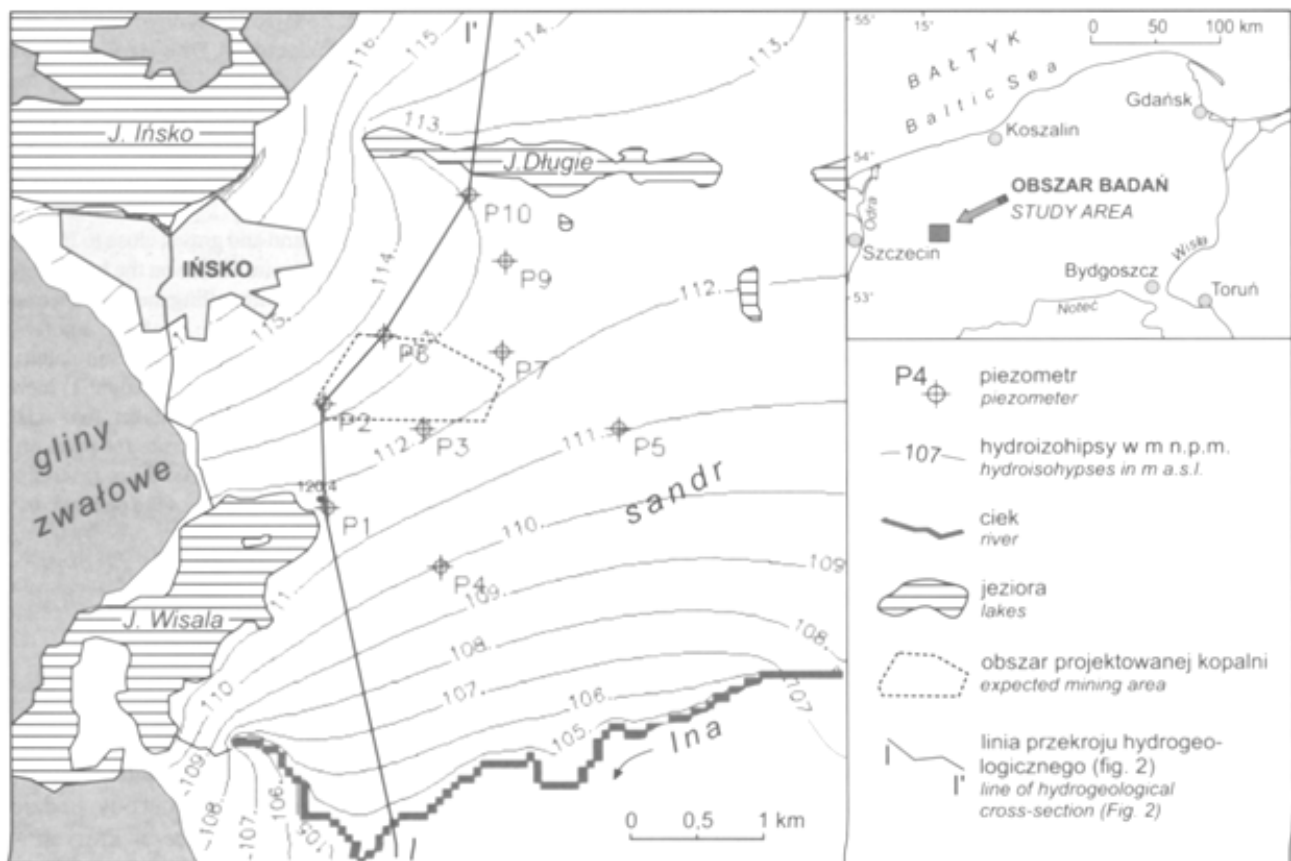


Fig. 1. Mapa hydroizohips poziomu sandrowego dla warunków naturalnych wraz z lokalizacją obszaru badań

Hydroisohypses of the sandur aquifer – natural state and location of the study area

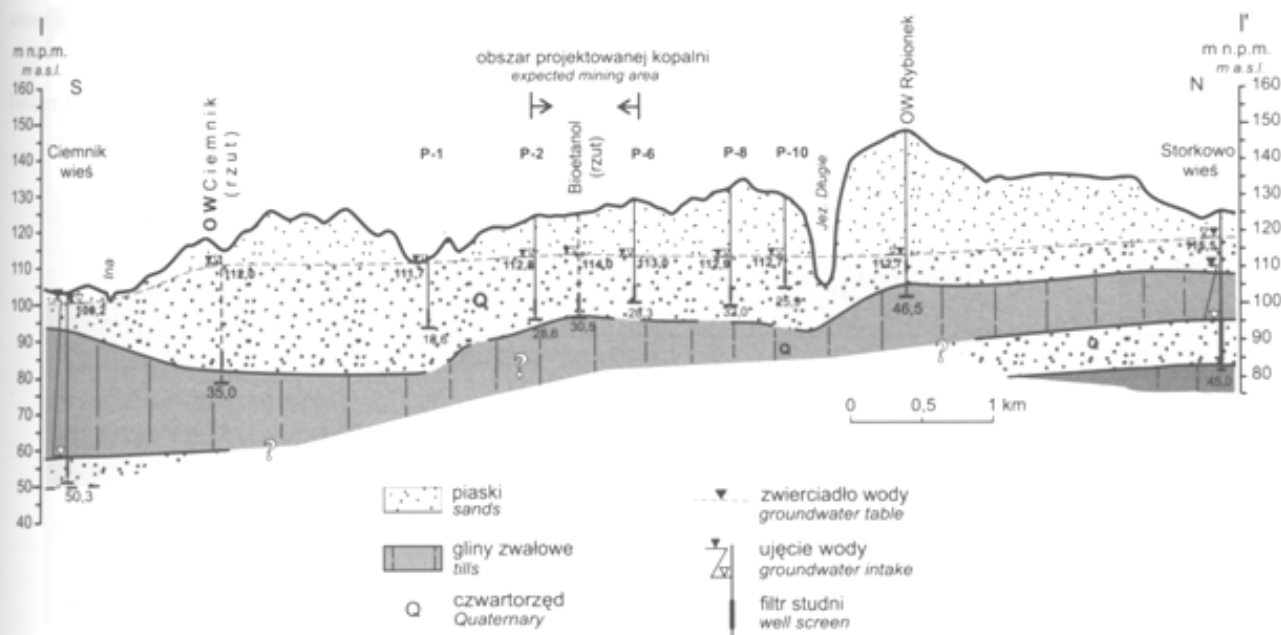


Fig. 2. Przekrój hydrogeologiczny

Hydrogeological cross-section

W analizowanym obszarze rozpoznano dwa poziomy wodonośne w utworach czwartorzędowych, tj. poziom sandrowy oraz poziom międzyglinowy (fig. 2). Wody podziemne z warstw czwartorzędu należą do wód dwujonowych typu $\text{HCO}_3\text{-Ca}$, o mineralizacji do 800 mg/dm^3 . Miąższość poziomu sandrowego wynosi najczęściej 10–20 m, a wydajności potencjalne studzien osiągną 20–50 m^3/h . Zasilanie tego poziomu następuje w sposób bezpośredni przez opady atmosferyczne, a dodatkowo występuje zasilanie od strony jez. Ińsko i strefy moren czołowych. Poziom sandrowy drenowany jest przez Drawę, pomimo że jego brzeżne partie znajdują się w obrębie górnych części zlewni topograficznej Regi (na północy) i zlewni Iny (na południu). Wododział wód podziemnych nie nawiązuje do wododziału topograficznego i przebiega na północ od analizowanego obszaru. Międzyglinowy poziom wodonośny związany jest z osadami piaszczystymi zlodowaceń środkowopolskich. Jego zasięg ma charakter regionalny, a na zachód od analizowanego obszaru jest

to główny poziom wodonośny. Na badanym obszarze jest słabo rozpoznany i stanowi podrzędny poziom wodonośny.

W bezpośrednim sąsiedztwie projektowanej kopalni znajdują się dwa czynne ujęcia wody. Są to studnie ujmujące poziom sandrowy znajdujące się na terenie zakładów Bioetanol oraz Gryf-skand. Pierwsza studnia ma głębokość 30,5 m, a zatwierdzone zasoby eksploatacyjne wynoszą $50 \text{ m}^3/\text{h}$. Głębokość drugiej studni wynosi 27 m, zatwierdzone zasoby eksploatacyjne $12 \text{ m}^3/\text{h}$. W rejonie jez. Ińsko znajduje się kilka jednootworowych ujęć wód podziemnych na terenach ośrodków wczasowych. Ich eksploatacja prowadzona jest okresowo w sezonie letnim, a wydajność niewielka. Największe ujęcie wód podziemnych znajduje się w Ińsku. Eksploatowany jest poziom podglinowy występujący na głębokości około 25–42 m. Zatwierdzone zasoby dla tego ujęcia wynoszą $120 \text{ m}^3/\text{h}$, przy depresji 4,7 m. Średni dobowy pobór wody waha się od 300 do $700 \text{ m}^3/\text{d}$. Ujęcie to znajduje się w odległości ponad 2,5 km od krawędzi projektowanego wyrobiska.

MODEL MATEMATYCZNY

Symulacje numeryczne zrealizowano za pomocą algorytmu MODFLOW-96 (McDonald, Harbaugh, 1988) pracującym w nakładce graficznej Processing MODFLOW (PMWIN ver. 5.3), opracowanym przez Chianga i Kinzelbacha (2003).

Założony model koncepcyjny dla ustalonych warunków hydrodynamicznych zawierał trzy warstwy (fig. 3). Górna warstwa (I) była odpowiednikiem warstwy wodonośnej występującej w osadach sandru. Na zachodzie i północy, gdzie nie występują osady sandru, bloki tej warstwy zostały zdezak-

tywowane. II warstwa była warstwą pomocniczą, niezbędną do właściwego odwzorowania słabo przepuszczalnych osadów dennych jezior Ińsko, Długie i Wisala oraz wpływu jezior na przyległy obszar. Spągowa warstwa (III) była odpowiednikiem warstwy wodonośnej występującej pod serią glin morenowych (poziom podglinowy).

Rozpatrywany obszar zdyskretyzowano kwadratową siatką o stałym kroku odległościowym Δx i Δy i zmiennej miąższości Δz . Wymiar bloku ustalono na 50 m, zaś wysokość bloku wynosiła od 1 do 24 m. Bloki obliczeniowe, reprezen-

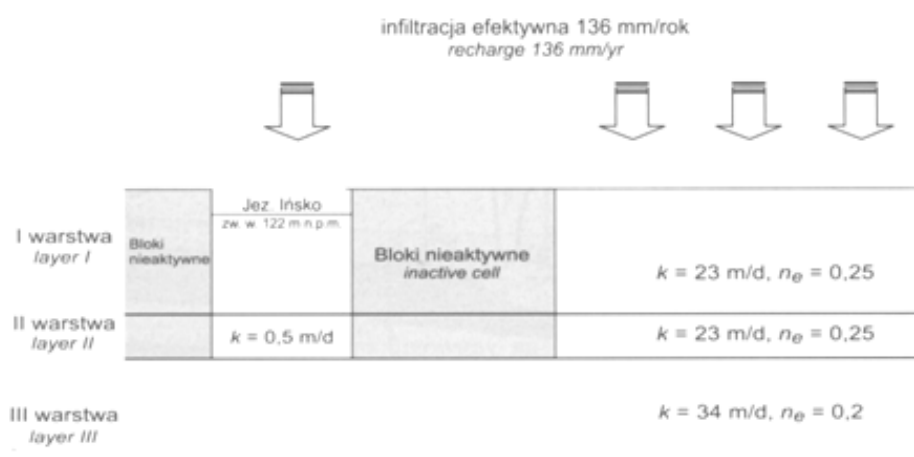


Fig. 3. Schemat ułożenia warstw na modelu matematycznym

A scheme of mathematical model

tujące niewodonośny obszar wychodni glin morenowych², zostały zaznaczone jako nieaktywne, czyli nie brały udziału w obliczeniach symulacyjnych. Cały modelowany obszar został podzielony na 131 wierszy i 123 kolumny. Wielkość efektywnego zasilania z opadów atmosferycznych (infiltracja efektywna) ustalono na 20% opadu rocznego i przyjęto w wielkości 136 mm/rok.

Weryfikację modelu przeprowadzono metodą kolejnych przybliżeń, przyjmując jako podstawowe kryterium zgodność pomiędzy położeniem zwierciadła wody dla stanu pomierzonego w piezometrach³ P1–P10 z wysokością zwierciadła uzyskaną z obliczeń modelowych (fig. 4). Tarowanie modelu przeprowadzono przy założeniu pracy studzien ujęcia Gryf-skand, ujęcia komunalnego w Insku i studni OW Rybionek. Wielkość wydatku w tych studniach została zadana jak dla typowego poboru.

Pomierzone od czerwca 2006 do lipca 2007 wahania zwierciadła wody w piezometrach P1–P10 nie przekraczały 26 cm od stanu średniego. Największe wahania wystąpiły w piezometrze P2 – 53 cm. Było to prawdopodobnie spowodowane wpływem pracy studzien pobliskich firm Gryf-skand i Bioetanol. Najmniejsze odchyłki położenia zwierciadła wody wykazywał piezometr P5, gdzie zanotowane skrajne wahania wyniosły 24 cm, oraz P10 – 26 cm. Należy podkreślić, iż pomierzone wartości wskazują na niewielkie zmiany położenia zwierciadła wody. Różnice w pomierzonym i obliczonym zwierciadle wody wahają się od 0,03 do 0,5 m, przy średniej 0,14 m. Uzyskany układ hydrodynamiczny odpowiada warunkom występującym w okresie obserwacji zwierciadła wody.

Wyniki pomiarów stanów wody w jeziorach w 2007 r. wskazują na nieznaczne wahania poziomu wody. W jez. Insko średnia rzędna zwierciadła wody wyniosła 121,70

$\pm 0,21 \text{ m n.p.m.}$, w jez. Długie – $112,73 \pm 0,28 \text{ m n.p.m.}$ a w jez. Wisala – $111,74 \pm 0,23 \text{ m n.p.m.}$ Niewielkie wahania stanów wód wymienionych jezior potwierdzają także obserwacje obejmujące wielolecie 1976–2000 (Graf, 2004), gdzie średnia roczna amplituda wahań w jez. Insko wyniosła

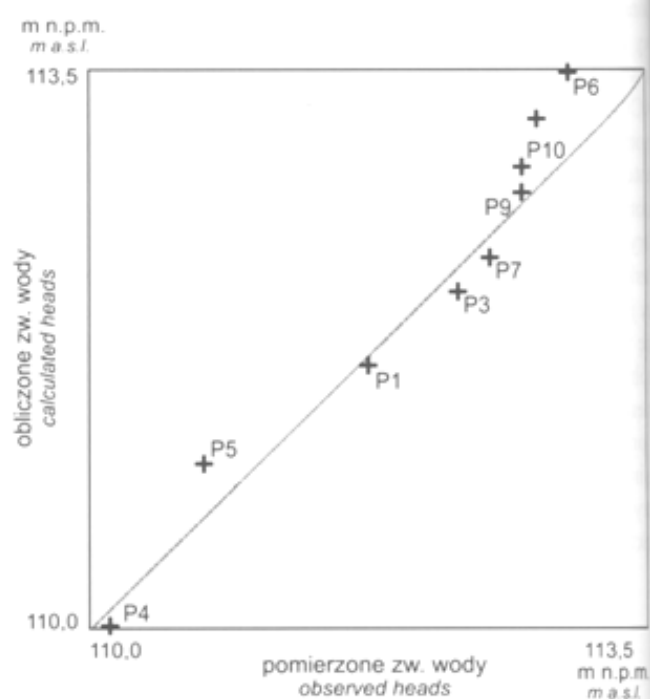


Fig. 4. Porównanie pomierzonego i obliczonego położenia zwierciadła wody w piezometrach

Observed and calculated head values in piezometers

² Położenie bloków nieaktywnych w siatce zostało określone zgodnie z zasięgiem występowania glin morenowych wg Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1: 50 000 (Mulan, 2007).

³ Nie analizowano pomiarów z piezometru P8 z powodu jego uszkodzenia.

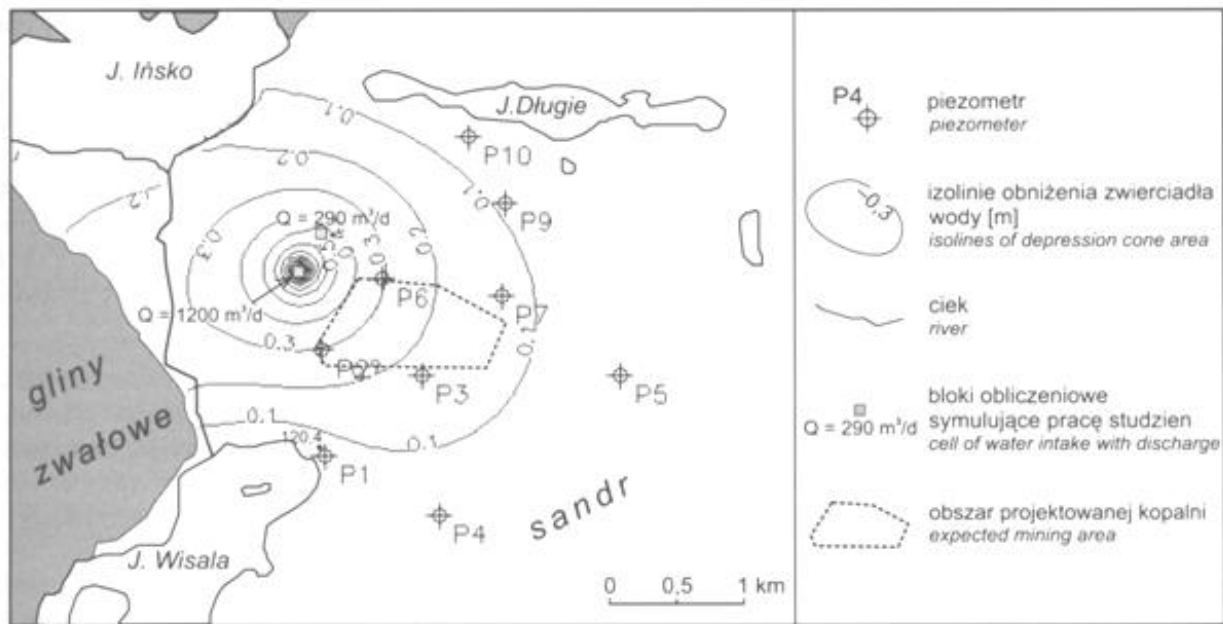


Fig. 5. Symulacja A3 – mapa wypadkowego leja depresji poziomu sandrowego dla warunków maksymalnego dopuszczalnego poboru wody z istniejących studzien, bez uwzględniania pracy kopalni

Results of simulation A3 with the maximum discharge of groundwater from water intakes, open pit excluded

0,23 m. Do obliczeń modelowych przyjęto następujące rzędne wody w jeziorach: Insko – 122,0; Długie – 112,75; Wisala – 111,6 m n.p.m.

Podczas obliczeń przeprowadzono dwie grupy symulacji różnicowania warunków hydrogeologicznych (A i B) oraz jedną symulację (C) zawiązującą drastycznie szacowany ubytek wody wywołany pracą kopalni. Pierwsza grupa symulacji (A1–A3) dotyczyła oceny reakcji systemu wodonośnego na zmiany warunków zasilania warstwy wodonośnej i zmiany poboru wody w ujęciach w pobliżu projektowanej kopalni. Druga grupa symulacji (B1–B3) badała wpływ projektowanej kopalni na zasoby wód podziemnych i powierzchniowych w wariancie z i bez pracy okolicznych studzien. Z uwagi na zbyt małą ilość miejsca w artykule opisano tylko wybrane symulacje.

Symulacje bez projektowanej kopalni (A). Symulacja A1 – warunki naturalne. W symulacji zadano infiltrację rozproszoną w wielkości 136 mm/rok oraz wyłączono studnie w obszarze badań. Rozkład pola hydrodynamicznego przedstawiono na figurze 1. **Symulacja A3** – założono maksymalną wielkość poboru istniejących ujęć wód podziemnych. Celem było określenie zasięgu oddziaływania istniejących ujęć wód podziemnych na wody powierzchniowe i podziemne. Wyniki przedstawiono na figurze 5.

Symulacje z uwzględnieniem pracy projektowanej kopalni (B). Planuje się, że eksploatacja kruszywa odbywać się będzie na wyznaczonych kolejnych polach o powierzchni od 5 do 15 ha, systemem odkrywkowym bez odwadniania złoża. W celu oceny wielkości odwodnienia spowodowane-

go uruchomieniem kopalni oszacowano wielkość zużycia wody, którego składowe przedstawiono na poniższym schemacie:

ubytek wody w warstwie wodonośnej → straty w wywozonym produkcie + wzrost parowania z powierzchni + zużycie wody na cele socjalno-bytowe kopalni

- Ilość wody w wywozonym produkcie. Szacowana ilość gotowego produktu (piasku i żwiru) wywożona poza teren kopalni – ok. 1400 t/d. Jedna tona wywożonego produktu zawiera ok. 2–3% wody⁴. W ciągu doby strata wody wyniesie: $1400 \times 0,03 = 42 \text{ m}^3/\text{d}$ (ilość wody w 1 tonie wywożonego urobku)
- Strata wody w wyniku odsłonięcia warstwy wodonośnej w wyrobiskach kopalni. Różnica między parowaniem terenowym a parowaniem z powierzchni wody wyrobiska jest wielkością strat wywołanych uruchomieniem kopalni w wyniku usunięcia strefy aeracji. Powierzchnia zbiorników wyniesie będzie od 5 do 15 ha. Według Stachy (red. 1987), w rejonie Insko średnia suma roczna parowania terenowego wynosi 480–500 mm/rok, a średnia suma roczna parowania z powierzchni wody – 540–560 mm/rok. Różnica między tymi wartościami to straty spowodowane odsłonięciem powierzchni zwierciadła wody. Straty te wynoszą od 60 do 80 mm/rok. W przeliczeniu na jednostkę wydajności uby-

⁴ Dane uzyskane od Szczecińskich Kopalń Surowców Mineralnych.

tek wody wyniesie od 8 do 33 m³/d w zależności od wariantu prac.

- Zużycie wody na cele socjalno-bytowe.

Administracja i pracownicy kopalni zużywać będą od 2 do 5 m³/d. Sumaryczny ubytek wody w środowisku wywołany uruchomieniem kopalni będzie wynosić od 50 ±10% do 80 m³/d ±10%. W symulacjach B zadano obliczony ubytek wody jako wydatek „rozłożony” na powierzchni od 5 do 15 ha. Lokalizacja bloków z zadaniem wydatkiem $Q = 1,25\text{--}2,75\text{ m}^3/\text{d}$ odpowiada projektowanym zasięgom pól eksploatacyjnych.

Symulację C wykonano w celu określenia, czy ewentualna drastycznie zawyżona zmiana wielkości produkcji kopalni, powierzchni wyrobisk lub innych czynników wpływających na wielkość ubytku wody ze środowiska wpłynie na poziom wód w pobliskich jeziorach. Do symulacji tej wykorzystano założenia pracy w wariancie B, czyli powiększony 20-krotnie wydatek rozłożony w 60 blokach; zadano również maksymalny wydatek studzien Bioetanolu i Gryf-skand. Wydatek studni na cele socjalno-bytowe zwiększono do 10 m³/d.

WYNIKI SYMULACJI

Jak wynika z uzyskanej mapy pola hydrodynamicznego w symulacji A3 (fig. 5), zasięg wpływu działania okolicznych studzien wynosi około 200 m (brano pod uwagę izolnię wypadkowego leja depresji wartości 0,5 m).

W symulacji B prognozowano pracę kopalni, uruchamiając w blokach wydatek równy obliczonemu zużyciu wody przez kopalnię, przy czym okoliczne studnie były włączone z maksymalnym wydatkiem. Z obliczeń wynika, że powstały lej depresji jest niewielki (1,2–0,3 m) i pochodzi głównie od studzien firm Bioetanol i Gryf-skand.

W celu określenia oddziaływania „wydajności” kopalni, przy której powstające odwodnienie będzie zagrożeniem dla

jezior Długie i Wisala, w symulacji (C) prognozowano pracę kopalni zadając zawyżony 20-krotnie wydatek w blokach reprezentujących wyrobiska kopalni, a okoliczne ujęcia pracowały z maksymalnym dopuszczalnym poborem wody podziemnej (fig. 6).

Tak zwiększone parametry powodujące ubytek wody są niemożliwe do technicznego zrealizowania. Jednak nawet przy tak założonych wartościach zasięg leja depresji (izolinia 0,3 m) nie dotarł do brzegów jezior Długie, Wisala i Ińsko.

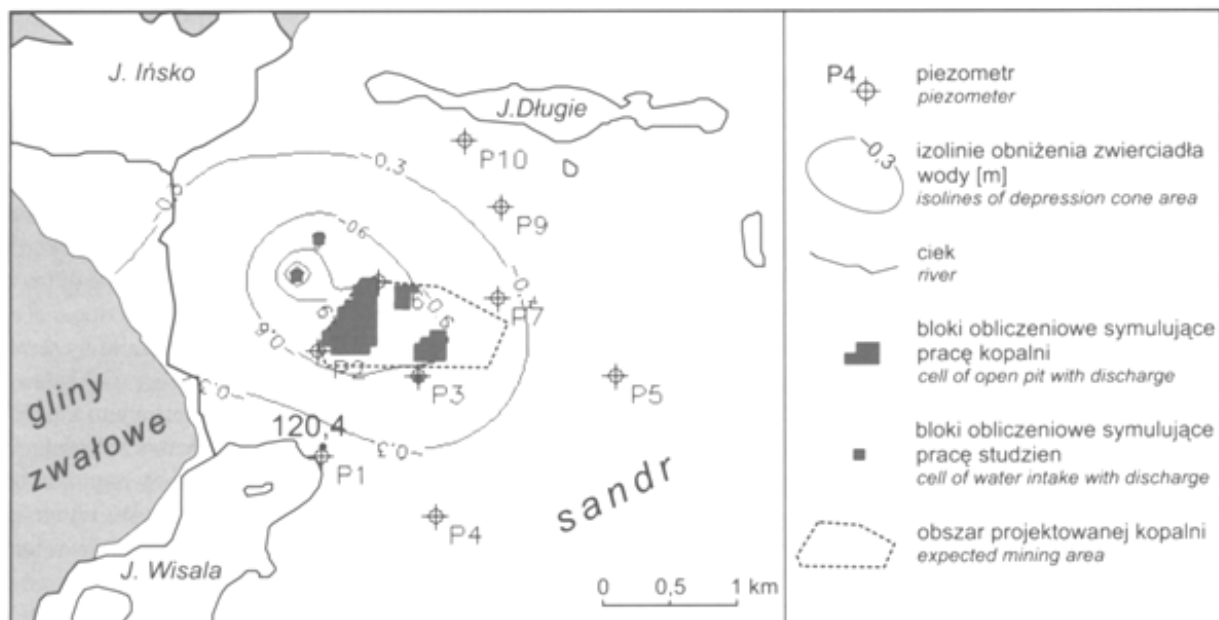


Fig. 6. Symulacja C – mapa wypadkowego leja depresji poziomu sandrowego dla warunków maksymalnego poboru wody z istniejących studzien i 20-krotnie zawyżonej wartości ubytku wody wywołanej pracą kopalni

Results of simulation with 20 times overdischarge of groundwater

PODSUMOWANIE

Projektowana kopalnia kruszywa w Ińsku zlokalizowana jest na obszarze o dużej zmienności warunków geologicznych, hydrograficznych i hydrogeologicznych, wynikających z położenia w strefie marginalnej (krawędziowej) postępu lodolodu ostatniego zlodowacenia. Przez obszar badań przebiega wododział I rzędu wód powierzchniowych zlewni Drawy dorzecza Odry i Regi, należącej do dorzecza rzek Przyorza. Natomiast wododział wód podziemnych przebiega na północny zachód od analizowanego obszaru.

Od czerwca 2006 do lipca 2007 r. w założonej sieci obserwacyjnej co ok. 2–3 tygodnie wykonywano pomiary głębokości zwierciadła wody w piezometrach i co około 5–6 tygodni pomiary geodezyjne stanu wody w jeziorach. Amplituda wahań zwierciadła wód powierzchniowych i podziemnych nie przekraczała 0,26 m w stosunku do stanu średniego. Stwierdzono bezpośrednią łączność hydrauliczną pomiędzy wodami wód jezior Długie i Wisala a wodami podziemnymi.

Symulacje prognostyczne wykazały, że zużycie wody wywołane uruchomieniem kopalni kruszywa Ińsko oznacza ubytek zasobów wód podziemnych, który można przyrównać do ciągłej pracy studni o wydajności około 3 m³/h (ok. 70 m³/d). Obliczone obniżenie zwierciadła wody powstałe w wyniku pracy kopalni (0,3 m) jest mniejsze niż błąd wynikający ze schematyzacji na modelu. Błąd ten w rejonie objętym siecią piezometrów jest szacowany maksymalnie na ok. 0,5 m.

Przeprowadzone obliczenia wykazały brak negatywnego oddziaływania na środowisko wód powierzchniowych i podziemnych wynikający z pracy projektowanej kopalni kruszywa. Na obniżenie zwierciadła wód podziemnych znacznie bardziej może wpłynąć eksploatacja ujęcia Bioetanol z maksymalną wydajnością. Może to spowodować obniżenie zwierciadła wody o ok. 0,5 m przy granicy złoża Ińsko.

LITERATURA

- CHIANG W., H., KINZELBACH W., 2003 – 3D-Groundwater Modeling with PMWIN. Springer-Verlag.
- DOBRAKKA E., PIOTROWSKI A., 2003 – Budowa geologiczna i geomorfologiczna rejonu Drawskiego i Ińskiego Parku Krajobrazowego. Mat. Konf. „Przyroda Drawskiego i Ińskiego Parku Krajobrazowego – geologia, gleby, szata roślinna i świat zwierzęcy”: 5–12. Państw. Inst. Geol., Oddz. Pomorski, Pol. Tow. Geol., Oddz. Szczeciński, Szczecin.
- GRAF R., 2004 – Komentarz do Mapy hydrograficznej w skali 1:50 000, ark. Ińsko. UAM Poznań.
- KACHNIC M., KRAWIEC A., 2007 – Dokumentacja hydrogeologiczna określająca warunki hydrogeologiczne w rejonie projektowanej kopalni piasku i żwiru „Ińsko”. Arch. SKSM, Szczecin.
- McDONALD M.G., HARBAUGH A.W., 1988 – MODFLOW, a modular three-dimensional finite difference ground-water flow model. U.S. Geological Survey. Raport.
- MULTAN M., 2007 – Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Ińsko. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- STACHY J. (red.), 1987 – Atlas hydrologiczny Polski. Wyd. Geol., Warszawa.