

ANDRZEJ HAŁADUS*, RYSZARD KULMA*

Schematyzacja złożonych warunków hydrogeologicznych dla prognozowania dopływów do kopalń na przykładzie rejonu olkuskiego

Słowa kluczowe

Hydrogeologia, odwadnianie kopalń, modelowanie procesów filtracji

Streszczenie

Prognozy hydrogeologiczne coraz częściej są wykonywane metodami modelowania matematycznego. W stosunku do obliczeń wzorami analitycznymi wymagają znacznie mniejszego zakresu schematyzacji warunków hydrogeologicznych. Dotychczasowa praktyka autorów wskazuje, że nawet dla złożonych warunków występowania poziomów wodonośnych i przy uwzględnieniu czynników antropogenicznych można uzyskać wiarygodne wyniki obliczeń.

W pracy przedstawiono model cyfrowy skomplikowanych warunków hydrogeologicznych na przykładzie rejonu olkuskiego. Budują go cztery zbiorniki wodonośne typu porowego lub szczelinowo-krasowego, tj. czwartorzędowy, jurajski, triasowy i paleozoiczny, związane ze sobą poprzez różnego typu kontakty hydrauliczne. Naturalne warunki w tym rejonie zostały bardzo silnie zmienione przez intensywny drenaż górniczy, osiągający wydajność ponad 300 m³/min, a także ujęcia wód podziemnych. W wyniku odwadniania powstał regionalny lej depresyjny o zasięgu kilkuset km² i maksymalnym obniżeniu około 140 m.

Do stworzenia modelu cyfrowego warunków hydrogeologicznych wykorzystano program z biblioteki HYDRYLIB. Model ma charakter dwuwarstwowy i składa się z warstwy górnej (czwartorzędowo-jurajskiej) i dolnej (czwartorzędowo-triasowo-dewońskiej). Został zweryfikowany w oparciu o dopływy do kopalń i pomiary zwierciadła wód podziemnych wg stanu na I kwartał 2001 r. Na modelu uzyskano bardzo wysoką zgodność tych wielkości z danymi rzeczywistymi. Model może zostać wykorzystany do prognoz hydrogeologicznych, w tym dopływów do kopalń w fazie ich likwidacji. Wiarygodność rozwiązań prognostycznych jest szczególnie istotna z uwagi na występowanie w tym rejonie dwóch głównych zbiorników wód podziemnych: jurajskiego i triasowego.

* Dr inż., Zakład Hydrogeologii i Ochrony Wód AGH, Kraków.

Wprowadzenie

Badania modelowe procesów filtracji wód podziemnych stanowią jedną z podstawowych i uznanych metod badawczych, wykorzystywanych do rozwiązywania zagadnień z zakresu hydrogeologii.

Wiarygodność wyników badań modelowych zależy głównie od:

- stopnia złożoności i rozpoznania budowy geologicznej oraz warunków hydrogeologicznych, a także sposobu i zakresu ich schematyzacji,
- możliwości programu obliczeniowego, w tym: poprawności odwzorowania modelowanej struktury hydrogeologicznej, weryfikacji modelu, właściwej interpretacji założeń i sposobu prezentacji uzyskanych wyników,
- wiedzy, doświadczenia i intuicji wykonawców badań.

Aby model warunków hydrogeologicznych stanowił podstawę do realizacji rozwiązań prognostycznych musi zostać poddany żmudnemu procesowi weryfikacji (identyfikacji). Generalnie sprowadza się ona do szukania takiego rozkładu wartości parametrów hydrogeologicznych na modelu i korekty warunków brzegowych, aby otrzymać rozkłady wysokości hydraulicznych zbliżone do stanów rzeczywistych, a uzyskane przepływy wód podziemnych były realne.

Budowa modelu cyfrowego warunków hydrogeologicznych dla rejonu olkuskiego była zagadnieniem bardzo skomplikowanym. Na złożone warunki nałożył się intensywny drenaż górotworu przez wyrobiska podziemne kopalń rud cynku i ołowiu. Spowodowało to powstanie rozległego leja depresji obejmującego powierzchnię kilkuset km².

Dotychczasowe, wieloletnie doświadczenia autorów wskazują, że mimo złożoności warunków hydrogeologicznych stany prognozowane, uzyskane za pomocą poprawnie sformułowanego i zweryfikowanego modelu, są wiarygodne.

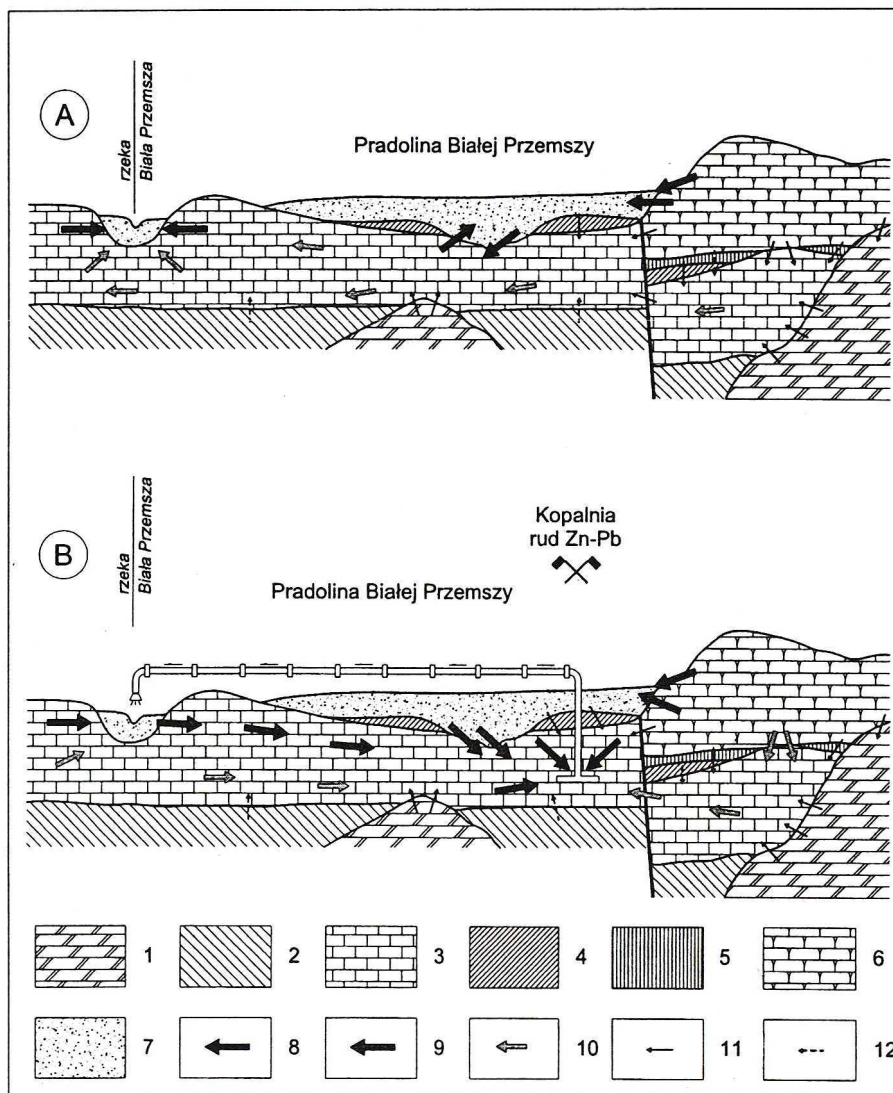
W rejonie olkuskim odwadniane są dwie kopalnie: zlikwidowana Bolesław (rzędna odwodnienia 249 m n.p.m.) i Olkusz-Pomorzany, przy czym Rejon Olkusz jest odwadniany do rzędnej około 238 m n.p.m., a Pomorzany — do około 180 m n.p.m.. Ponadto w obrębie złoża Olkusz udostępniono złożę Olkusz-Podpoziom, które zostało włączone w system odwadniania Rejonu Pomorzany. Łącznie z tych kopalń odprowadza się ponad 300 m³/min wody.

Badania modelowe zrealizowano w ramach umowy nr 11.11.140.251.

1. Warunki hydrogeologiczne

1.1. Charakterystyka pięter wodonośnych

W rejonie olkusko-zawierciańskim na sfałdowanych i pociętych uskokami utworach paleozoicznych leżą niezgodnie osady pokrywy permo-mezozoicznej, pocięte uskokami związanymi z alpejskimi ruchami górotwórczymi. Zagłębienia erozyjne w utworach paleozoicznych i mezozoicznych są wypełnione osadami czwartorzędowymi. Taki układ i różnorodność litostratygiczna występujących tu skał jest powodem, że drogi przepływu wód podziemnych (zasilania i drenażu) są bardzo skomplikowane (rys. 1).



Rys. 1. Schemat krążenia wód podziemnych w rejonie olkuskim (Motyka, Wilk 1980)

- A. Warunki naturalne, B. Warunki zakłócone działalnością górnictwa i ujęć wód podziemnych
- 1 — dewon, seria węglanowa, 2 — perm, zlepieńce, gliny, 3 — trias, ret i wapien muszlowy, seria węglanowa, 4 — trias, kajper, seria ilasta, 5 — jura, margle, 6 — jura, wapienie, 7 — czwartorzęd, piaski rumosze, 8 — intensywna wymiana wody, 9 — bardzo łatwa wymiana wody, 10 — łatwa wymiana wody, 11 — utrudniona wymiana wody, 12 — bardzo utrudniona i wolna wymiana wody

Fig. 1. Scheme of groundwater circulation in the Olkusz area (after Motyka, Wilk 1980)

- A — natural conditions, B — conditions disturbed by mining operations and groundwater intakes
- 1 — Devonian, carbonate series, 2 — Permian, conglomerates, clays, 3 — Triassic, Roeth and Muschelkalk, carbonate series, 4 — Triassic, Keuper, clay series, 5 — Jurassic, marls, 6 — Jurassic, limestones, 7 — Quaternary, sands, rubble, 8 — intensive water exchange, 9 — very easy water exchange, 10 — easy water exchange, 11 — impeded water exchange, 12 — strongly impeded and slow water exchange

W rozpatrywanym obszarze występują wodonośne piętra: czwartorzędowe, jurajskie, triasowe i paleozoiczne.

Czwartorzędowe piętro wodonośne

To piętro wodonośne tworzą osady rzeczno-lodowcowe, częściowo przewiane, wypełniające doliny rzek współczesnych i starszych oraz głębokie wcięcia erozyjne. Są to głównie piaski średnio- i drobnoziarniste, w których występują wkładki żwirów, rumoszy, iłów, glin i pyłów. Obecność tych ostatnich osadów powoduje niekiedy lokalne rozdzielanie czwartorzędowego piętra wodonośnego na drobniejsze warstwy wodonośne.

Piętro czwartorzędowe odgrywa ważną rolę w pradolinie Przemszy, przebiegającej przez wschodnie i południowe peryferia rozpatrywanego obszaru. Południowym fragmentem pradoliny płynie częściowo rzeka Sztoła. Miąższość wodonośnych osadów czwartorzędowych jest bardzo zmienna, zależna od rzeźby starszego podłoża. Największą miąższość, przekraczającą 70 m, stwierdzono w osi pradoliny Przemszy. Ze względu na pojemność i przewodność hydrauliczną osady czwartorzędu są tu głównym piętrzem wodonośnym. W kierunku wierzchowin i elewacji starszego podłoża miąższość wodonośnego piętra czwartorzędowego stopniowo maleje do kilku bądź kilkunastu metrów.

Utwory wodonośne piętra czwartorzędowego zasilane są przez infiltrację opadów atmosferycznych oraz częściowo przez wody infiltrujące ze stawów poflotacyjnych, zlokalizowanych między Bolesławiem a Bukownem. Obecnie dominuje antropogeniczny drenaż piętra wodonośnego spowodowany działalnością górniczą.

Rozpoznanie podstawowego parametru hydrogeologicznego, jakim jest współczynnik filtracji, opiera się na próbnym pompowaniu otworów studziennych oraz polowych badaniach wodoprzepuszczalności w szybkach (metoda Girińskiego). Uzyskane wyniki mieściły się w szerokim przedziale wielkości od $7,0 \cdot 10^{-5}$ do $5,4 \cdot 10^{-2}$ m/s. Średni współczynnik filtracji piasków czwartorzędowych oceniony został na $2,7 \cdot 10^{-4}$ m/s (Motyka, Witczak 1975). Biorąc pod uwagę wyniki przytoczonych badań należy uznać piaski czwartorzędowe za utwory dobrze przepuszczalne.

Jurajskie piętro wodonośne

Utwory tego piętra wodonośnego są niejednorodne pod względem litologicznym. Jego stropową część budują wapienie skaliste i płytowe górnej jury (malmu), a część spagową — piaskowce i zlepieńce jury środkowej (doggeru). Utwory wodonośne występują we wschodniej części olkuskiego obszaru złożowego. Dominujące znaczenie ma poziom wapienny, a podrzędne — poziom piaskowcowy. Drogami przepływu wody w nieulaconych wapieniach skalistych są głównie szczeliny, zwykle pionowe lub zbliżone do pionowych, oraz kanały krasowe. W wapieniach skalistych ławicowych oraz w wapieniach płytowych sieć spękań i kanałów krasowych jest uzupełniana płaszczynami oddzielności międzyławicowych.

Głębokość zalegania spągu jurajskiego piętra wodonośnego wynosi od 10 do ponad 100 m p.p.t., natomiast miąższość utworów wodonośnych zmienia się od kilku do około 100 m (najczęściej 40—60 m). Strefa wglębnego zasięgu wodonośnych spękań i skrasowienia wapieni jurajskich nie jest znana. Wartość współczynnika filtracji mieści się w przedziale od $4,3 \cdot 10^{-6}$ do $1,0 \cdot 10^{-5}$ m/s (Motyka, Wilk 1980).

Triasowe piętro wodonośne

Piętro to składa się z różnych odmian skał węglanowych dolnego i środkowego triasu. Podrzednie w jego profilu występują wkładki margli i ilów, głównie jako przeławicenia w wapieniach warstw gogolińskich oraz pośród dolomitycznych osadów retu. Warstwą rozdzielającą wodonośne utwory jury i triasu (wapienia muszlowego) są izolujące utwory triasu górnego, tj. kajpru. Ich miąższość jest zróżnicowana. Zawiera się ona najczęściej w przedziale od 10 do 50 m. Maksymalnie wynosi 90 m. Profil wodonośnego piętra triasowego przedstawia się następująco:

- dolomity margliste warstw tarnowickich — środkowy wapień muszlowy,
- dolomity diploporowe — środkowy wapień muszlowy,
- dolomity kruszconośne — dolny wapień muszlowy,
- wapienie warstw olkuskich i gogolińskich — dolny wapień muszlowy,
- dolomity — górny pstry piaskowiec (ret).

Dolomity margliste warstw tarnowickich występują tylko lokalnie, w formie niewielkich płatów. Nie odgrywają zatem większej roli jako część triasowego piętra wodonośnego. Dolomity diploporowe i kruszconośne mają natomiast decydujące znaczenie jeśli chodzi o wodoprzewodność i zasobność zbiornika triasowego. Są to skały porowate, spękane i skawernowane. Szczególnie dużą porowatością i odsączalnością charakteryzują się ziarniste odmiany dolomitów. Wapienie warstw gogolińskich przewodzą wodę dzięki obecności szczelin, fug międzylawicowych i systemu kawern. Występujące w nich cienkie przeławicenia ilaste lub ilasto-margliste utrudniają przepływ wód podziemnych. Dolomity retu są — podobnie jak dolomity wapienia muszlowego (dolomity diploporowe i kruszconośne) — porowate, spękane i również w nich spotyka się kawerny.

Głębokość zalegania spągu wodonośnego piętra triasowego zależy przede wszystkim od tektoniki uskokowej. W rowach tektonicznych węglanowe utwory triasowe zalegają najgłębiej, a w zrębach — najpłycej.

Od tektoniki oraz zaawansowania procesów erozji zależy miąższość osadów triasowego piętra wodonośnego. Stąd wynika jej duża zmienność. Największe miąższości, rzędu 120—150 m, wodonośne utwory triasu osiągają w rowie Bolesławia. W południowej części pradoliny Przemszy miąższość węglanowych osadów triasu zmniejsza się do kilkunastu metrów. Przez południową i południowo-zachodnią część obszaru olkuskiego przebiega erozyjna granica zasięgu występowania węglanowych utworów triasu.

Formy zasilania triasowego piętra wodonośnego są zróżnicowane. Na obszarze wychodni jest to zasilanie bezpośrednie, jako infiltracja opadów atmosferycznych. Tam gdzie utwory triasu są przykryte miąższą serią piasków czwartorzędowych zasilanie ma charakter pośredni i odbywa się drogą odsączania wody z osadów nadległych. W rozpatrywanym rejonie triasowe piętro wodonośne jest drenowane prawie wyłącznie przez kopalnie rud cynku i ołowiu. Sztuczną bazę drenażu wyznacza najniższej położone wyrobisko górnicze, które do niedawna znajdowało się na rzędnej około +225 m n.p.m. Związane to było z funkcjonowaniem odwadniania tzw. poziomu retu w kopalni Bolesław. Układ zwierciadła wody w piętrze triasowym jest dostosowany do położenia głównych baz drenażu i przebiegu dyslokacji nieciągłych o dużych amplitudach zrzutu.

Ze względu na szczelinowo-krasowy charakter triasowego zbiornika wód podziemnych przepuszczalność utworów które go budują jest bardzo zróżnicowana zarówno w pionie, jak

i w poziomie (Motyka, Wilk 1977). Współczynniki filtracji skał węglanowych w rozpatrywanym obszarze zawierają się w przedziale od $7,0 \cdot 10^{-7}$ do $5,5 \cdot 10^{-3}$ m/s. Najczęściej spotykane wartości tego parametru hydrogeologicznego są rzędu 10^{-4} do 10^{-5} m/s.

Paleozoiczne piętro wodonośne

Piętro paleozoiczne tworzą wapienie i dolomity dewonu, głównie środkowego i częściowo górnego (Ekiert 1971) oraz utwory karbonu. Pod względem hydrogeologicznym jest ono słabo rozpoznane. W części północno-zachodniej (Brudzowice-Zawiercie) badaniami objęto osady dewońskie wzdłuż linii wypiętrzeń tych utworów. Eksploatowanych jest tutaj kilka studni ujmujących wody podziemne w stropowej części tego poziomu. Współczynnik filtracji w tym rejonie zawiera się w przedziale od $9,7 \cdot 10^{-5}$ do $3,07 \cdot 10^{-5}$ ms⁻¹. W rejonie olkuskim współczynniki filtracji w utworach dewońskich, określone w dwu otworach badawczych, wynoszą: $7,6 \cdot 10^{-6}$ ms⁻¹ i $7,0 \cdot 10^{-5}$ ms⁻¹ (Motyka, Wilk 1980; Haładus 1988).

Zarówno strefy zasilania, jak i drenażu tych utworów są słabo rozpoznane. Na wschód od Olkusza osady dewonu kontaktują się bezpośrednio z jurą i różnymi ogniwami triasu. Należy sądzić, że są one zasilane przez wody piętra jurajskiego, a drenowane przez węglanowe utwory triasu. Występują nieliczne odsłonięcia utworów dewońskich, bezpośrednio na powierzchni lub pod przykryciem osadów czwartorzędowych (w rejonie Brudzowic, Zawiercia i Olkusza). Obszary te w niewielkim stopniu są miejscem zasilania tego piętra wodonośnego. Liczne kontakty hydrauliczne dewonu i triasu pozwalają przypuszczać, iż następuje między nimi wymiana wód. Między innymi taką strefę kontaktu między dewonem a triasem obserwujemy wzdłuż linii Brudzowice-Zawiercie-Wolbrom.

1.2. Kontakty hydrauliczne między piętrami wodonośnymi

W rejonie olkusko-zawierciańskim można wydzielić regionalne i lokalne warunki przepływu wód podziemnych (Haładus 1988; Motyka 1988). Regionalnym obszarem zasilania jest pasmo wzgórz Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej (rzędne 400—500 m n.p.m.) zbudowane z wodonośnych utworów jury, a regionalną podstawą drenażu są doliny rzek Wyżyny Śląskiej położone na rzędnych 250—300 m n.p.m. Regionalny przepływ strumienia wód podziemnych odbywa się z północnego-wschodu i wschodu ku południowemu-zachodowi i zachodowi. Jest on modyfikowany przez lokalne podstawy drenażu (naturalne i antropogeniczne), nieciągłości geologiczne i niejednorodności ośrodka filtracji. Istotnymi elementami kształtowania warunków przepływu wód podziemnych są ich związki hydrauliczne z wodami powierzchniowymi, tektonika, struktury pustek w obrębie osadów węglanowych, kontakty hydrauliczne między piętrami i poziomami wodonośnymi oraz ujęcia wodne i wyrobiska górnicze olkuskich kopalń rud cynku i ołowiu.

Kontakty hydrauliczne pomiędzy piętrami wodonośnymi odgrywają zasadniczą rolę w kształtowaniu przepływu wód podziemnych na omawianym obszarze (Wilk, Motyka 1977). W jego wschodniej części występują kontakty hydrauliczne typu sedimentacyjno-transgresywnego, łączące piętra wodonośne: triasowe i paleozoiczne oraz jurajskie i paleozoiczne. Kierunki przepływu wód podziemnych w strefach więzi hydraulicznej zależą od wysokości ciśnień hydrodynamicznych w kontaktujących się ze sobą piętrach wodonośnych.

W środkowej partii omawianego obszaru duże znaczenie mają kontakty hydrauliczne między jurajskim i czwartorzędowym piętrzem wodonośnym. Granica kontaktu przebiega wzdłuż kuesty jurajskiej, która jest jednocześnie strefą znacznego zasilania piętra czwartorzędowego i drenażu wapieni górnourajskich. Część wód podziemnych w tej strefie odpływa z piętra jurajskiego dość licznie występującymi źródłami.

Wzdłuż kuesty jurajskiej ciągnie się głęboka pradolina Przemszy. Między Bukownem i Olkuszem skręca ona na zachód prawie pod kątem prostym. W dnie pradoliny, i niektórych połączonych z nią mniejszych formach, zostały wyerodowane izolujące utwory kajpru, które rozdzielają wodonośne piętra czwartorzędowe i triasowe oraz jurajskie i triasowe. W oknach erozyjnych dochodzi do bezpośredniej więzi hydraulicznej między piaskami czwartorzędowymi i węglanowymi utworami triasu. W warunkach naturalnych strefy tych kontaktów odgrywały istotną rolę w kształtowaniu przepływów wód podziemnych w zlewni Białej Przemszy. Również obecnie, w warunkach zakłóconych intensywnym drenażem węglanowych osadów triasu, znaczenie stref kontaktowych jest duże. Obecność grubego ekranu wodoszczelnego (utwory kajpru) w nadkładzie utworów wodonośnego piętra triasowego stwarzała w naturalnych warunkach możliwość występowania zwierciadła naporowego i artezyjskiego. Rozległy obszar występowania wód artezyjskich został rozpoznany w części tzw. niecki Błędowskiej, na północ od miejscowości Krzykawa i Laski. W takiej sytuacji niektóre okna erozyjne w pradolinie Przemszy były strefami rozładowania ciśnienia artezyjskiego w piętrze triasowym. Po zdrenowaniu utworów triasu stały się one strefami przepływu wód podziemnych z czwartorzędu do triasu, tzn. strefami zasilania wodonośnego piętra triasowego.

Kierunki oraz ilość wód podziemnych przepływających przez omawiany obszar zależą głównie od przebiegu dyslokacji nieciągłych, szczególnie tych o dużej amplitudzie zrzutu. Tego rodzaju uskoki hamują, a niekiedy nawet uniemożliwiają przepływ strumienia wód podziemnych w kierunku poprzecznym do ich biegu. Jednocześnie towarzyszące im strefy spękań stwarzają korzystne, czasem wręcz uprzywilejowane drogi przepływu wzdłuż ich biegu.

Hydrogeologiczna rola uskoków wyraźnie zaznacza się w warunkach reżimu zakłóconego drenażem utworów triasu przez wyrobiska górnicze i przez studnie ujęć. Kształt rozległego, regionalnego leja depresji, jaki powstał wokół odwadnianych kopalń rud cynku i ołowiu oraz ujęć wodnych jest w dużym stopniu uzależniony od przebiegu dyslokacji o amplitudach zrzutu wynoszących co najmniej kilkudziesiąt metrów. Ograniczają one rozwój leja depresyjnego w kierunku poprzecznym do ich biegu. W omawianym fragmencie zlewni Białej Przemszy takimi uskokami, lub systemami dyslokacji, są: uskoki Niesułowic, uskoki Czarnej Góry, uskoki Olkusza, uskoki Pomorzana oraz uskoki Ciągowice-Kolbark wraz z systemem zrębów i rowów Rodaków i Rokitna Szlacheckiego. Wymienione dyslokacje mają kierunek zbliżony do równoleżnikowego. We wschodniej części zlewni Białej Przemszy występują także słabo rozpoznane uskoki o kierunku południkowym. Uskoki mogą także ułatwiać pionowy przepływ wód podziemnych między węglanowymi utworami jury i triasu nawet tam, gdzie są one odizolowane od siebie ilastymi osadami kajpru. Dość istotną rolę w zasilaniu węglanowych utworów triasu przypisuje się (Haładus 1988) wodom migrującym pionowo w dół, wzdłuż stref dyslokacji nieciągłych, przez margliste osady jury środkowej i ilaste osady kajpru.

Warunki hydrogeologiczne na omawianym obszarze zostały bardzo zmienione pod wpływem intensywnego drenażu górniczego oraz poboru wody. Bezpośrednim drenażem objęte są

węglanowe osady triasu, odwadniane wyrobiskami podziemnymi kopalń rud cynku i ołowiu oraz otworami studziennymi, a także piaski czwartorzędowe — drenowane na wielką skalę przez odkrywkową kopalnię piasku Szczakowa. Zmiany stosunków wodnych w rejonie olkuskim spowodowały także inwersję naturalnego przepływu wody w dolinach rzecznych. Niektóre dopływy Białej Przemszy, jak np. Baba, zaniknęły prawie zupełnie, choć w ich miejsce pojawiły się sztuczne kanały odprowadzające wody pompowane z podziemnych wyrobisk górniczych (np. kanał Południowy). Inne dopływy, między innymi Sztoła, przekształciły się z drenujących w zasilające. Jedynie odcinki cieków płynące po wapieniach jury lub po piaskach czwartorzędowych leżących na utworach jury zachowały swój pierwotny, drenujący charakter.

2. Rozwój drenażu wód podziemnych

Naturalne stosunki wodne w rejonie olkusko-zawierciańskim zostały silnie przeobrażone wskutek intensywnego drenażu wód podziemnych. W rejonie zawierciańskim jest to głównie drenaż przez działające ujęcia studzienne, a w rejonie olkuskim — wyrobiskami górniczymi kopalń rud cynku i ołowiu. Ostatecznie utworzył się jeden wspólny lej depresji, obejmujący prawie cały rejon olkusko-zawierciański. Poniższa charakterystyka dotyczy głównie rejonu olkuskiego.

2.1. Drenaż triasowego piętra wodonośnego

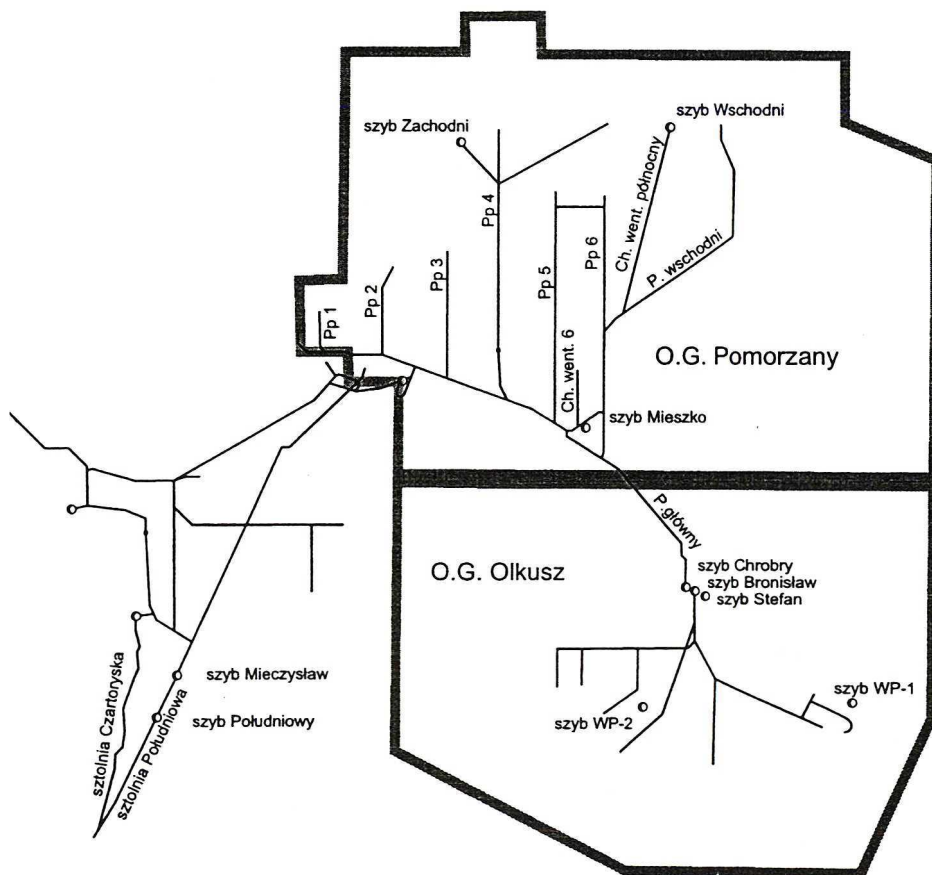
Triasowe piętro wodonośne rejonu olkuskiego poddane jest silnemu drenażowi spowodowanemu głównie oddziaływaniem górnictwa rud cynkowo-ołowiowych. Sztuczną podstawę drenażu tworzą wyrobiska górnicze kopalń Bolesław i Olkusz-Pomorzański (rys. 2). Dodatkowo na działalność górnictwa nakłada się wpływ poboru wód z utworów triasu przez duże ujęcie wód podziemnych w Łazach Będowskich oraz szeregu innych pojedynczych studni głębinowych. Lej depresji wytworzony w obrębie utworów triasu jest więc lejem wspólnym dla kopalń i ujęć wód podziemnych.

W warunkach naturalnych drenaż triasowego piętra wodonośnego odbywał się głównie za pośrednictwem Białej Przemszy (Haładus 1998) oraz w niewielkim stopniu przez jej dopływy (m.in. rzekę Sztołę). W strefach kontaktów hydraulicznych pomiędzy piętrami wodonośnymi następowała descenzja wody z jury do triasu. W obrębie współczesnej doliny Białej Przemszy i zasypanej jej pradoliny dochodziło do rozładowania ciśnienia w naporowym piętrze wodonośnym triasu (Wilk, Motyka 1977; Haładus, op.cit.), które skutkowało zasilaniem utworów czwartorzędowych.

Na późniejsze stosunki wodne w południowej części rejonu olkuskiego wywierały wpływ kopalnie Olkusz i Bolesław, część północna natomiast podlegała oddziaływaniu kopalni Pomorzański oraz dużego ujęcia Łazy Będowskie. Wskutek wytworzenia sztucznej podstawy drenażu powstał rozległy lej depresyjny, którego zasięg i kształt został wymuszony przez tektonikę uskokową oraz kontakty hydrauliczne piętra triasowego z wyższymi poziomami wodonośnymi i wodami powierzchniowymi. We wschodniej i południowo-wschodniej części rejonu olkuskiego nastąpił wyraźny wzrost gradientu hydraulicznego, natomiast w części pół-

nocnej i zachodniej odwróceniu uległ kierunek przepływu wody od rzeki Białej Przemszy i jej pradoliny do systemu drenażowego kopalń. Decydujący wpływ na rozwój drenażu w obrębie triasowego piętra wodonośnego wywarła budowa kopalni Pomorzany. Spowodowała powstanie najgłębszej i największej terytorialnie bazy drenażowej rejonu olkuskiego (głębokość głównych wyrobisk wynosi około 150 m). W rezultacie doprowadziła do bardzo dużych zmian w naturalnym reżimie wód podziemnych oraz poprzednich stanach hydrodynamicznych, spowodowanych odwodnieniem kopalń Bolesław i Olkusz. Szybki postęp drążenia wyrobisk kopalni Pomorzany spowodował intensywny drenaż górotworu na północ od uskoku Pomorzany. W efekcie wytworzył się lej depresyjny wspólny dla wszystkich kopalń. Jego rozwój przebiegał bardzo szybko, szczególnie w kierunku północnym i północno-wschodnim, obejmując swym zasięgiem coraz większy obszar.

Systematyczne obniżanie się zwierciadła wód podziemnych w rejonie ujęć wodnych, jako skutek drenażu górniczego, wywołało spadek wydajności studni i konieczność ich modernizacji. Odwiercenie i eksploatacja nowych otworów studziennych na ujęciach Łązy Błędowskie



Rys. 2. Schemat głównych wyrobisk górniczych w rejonie olkuskich kopalń rud cynku i ołowiu

Fig. 2. Sketch map of main underground workings in the mines of the Olkusz Zn-Pb ore district

i Klucze, zapewniających utrzymanie ich poprzedniej wydajności, doprowadziło do dalszego pogłębiania i poszerzania regionalnego, wspólnego z kopalniami leja depresji. Osiągnął on powierzchnię około 700 km².

Intensyfikacja rozwoju drenażu utworów triasu, wynikająca głównie z oddziaływania kopalni Pomorzany w latach 1974—1986, doprowadziła do osuszenia Sztolni Ponikowskiej (na odcinku 3,5 km), rzeki Baby (na odcinku 9,0 km) oraz rzeki Białej od źródeł aż do ujścia kanału Dąbrówka (na odcinku 7,5 km). Na znacznej długości (ok. 15 km) rzeka Biała Przemsza zmieniła charakter z ciek drenującego (w warunkach naturalnych) na zasilający, tracąc między Golczowicami i Okradzionowem około 1 m³/s wody ze swojego przepływu. Również rzeka Sztola zmieniła charakter z ciek drenującego na infiltrujący, głównie jednak w wyniku oddziaływania Kopalni Piasku Szczakowa (Adamczyk 1990).

2.2. Drenaż jurajskiego piętra wodonośnego

Odwodnienie utworów jurajskich jest efektem bezpośredniego odbioru wody przez liczne studnie głębinowe lub pośredniego oddziaływania intensywnego drenażu w innych piętrach wodonośnych.

Lej depresyjny uformowany w wodonośnym piętrze triasowym, jako skutek odwadniania kopalń rud Zn-Pb, może się przenosić do wapieni malmu w rejonach bezpośrednich kontaktów hydraulicznych. Strefy takie, nawet jeżeli mają niewielkie powierzchnie, powodują, że wokół nich rozwijają się lokalne leje depresji o znacznym zasięgu. Zdrenowane w ten sposób wodonośne utwory jury stwierdzono w rejonie Sieniczna, Wiśliczki i Olewina, a także w północnej części Witeradowa. Już na początku lat sześćdziesiątych zaobserwowano w tych miejscowościach trwałe zaniki wody w studniach gospodarskich.

Trudny do rozstrzygnięcia jest problem, czy margle jurajskie występujące w rejonach gdzie brak izolujących utworów kajpru mogą stanowić dostatecznie szczelny ekran nieprzepuszczalny. Nie można bowiem wykluczyć, że na obszarach położonych w zasięgu leja depresji, obejmującego utwory triasu, może wzrosnąć intensywność przesiąkania wody z utworów jury. W okresie kilkuletnim należy się wówczas spodziewać znaczących obniżen zwierciadła wody także w utworach jury.

Na wody podziemne piętra jurajskiego oddziałuje również drenaż utworów czwartorzędowych, przez okna hydrogeologiczne występujące głównie w obrębie pradoliny Białej Przemszy. Obniżanie zwierciadła wody w osadach czwartorzędu skutkuje taką samą zmianą naturalnej bazy drenażu dla zawodnionych wapieni malmu. Wskutek tego rozwinął się w nich lej depresyjny, który występuje wzdłuż kuesty jurajskiej i sięga na odległość około 500 m na wschód od jej granicy.

2.3. Drenaż czwartorzędowego piętra wodonośnego

Wodonośne utwory czwartorzędu drenowane są bezpośrednio przez rowy i kanały tworzące system odwadniania Kopalni Piasków Szczakowa. Znaczący jest również drenaż pośredni, będący skutkiem odwadniania utworów triasu przez kopalnie rud cynku i ołowiu oraz ujęcia wód podziemnych.

Lej depresji wywołany działalnością górnictw KP Szczakowa opiera się o wzgórze zbudowane z utworów triasowych, leżące na południowo-wschodnich peryferiach piaszczyn. W kierunku wschodnim i północno-wschodnim, gdzie miąższości piasków są duże (rzędu kilkudziesięciu metrów), lej depresyjny sięga na odległość około 2,0 km od wyrobisk kopalnianych. Łączy się on w tym rejonie z lejem depresyjnym olkuskich kopalń rud. Jest rzeczą niewątpliwą, że drenujące oddziaływanie kopalń rud przenosi się w strefach kontaktów hydraulicznych na utwory czwartorzędowe.

Istnienie bezpośredniej więzi hydraulicznej piętra triasowego i czwartorzędowego stwierdzono w południowej i południowo-zachodniej części rejonu olkuskiego, gdzie węglanowe utwory triasu odsłaniają się na powierzchni terenu lub występują bezpośrednio pod utworami czwartorzędu. W tym rejonie, na skutek drenażu piętra triasowego, piętro wodonośne czwartorzędu, zostało prawie w całości osuszone.

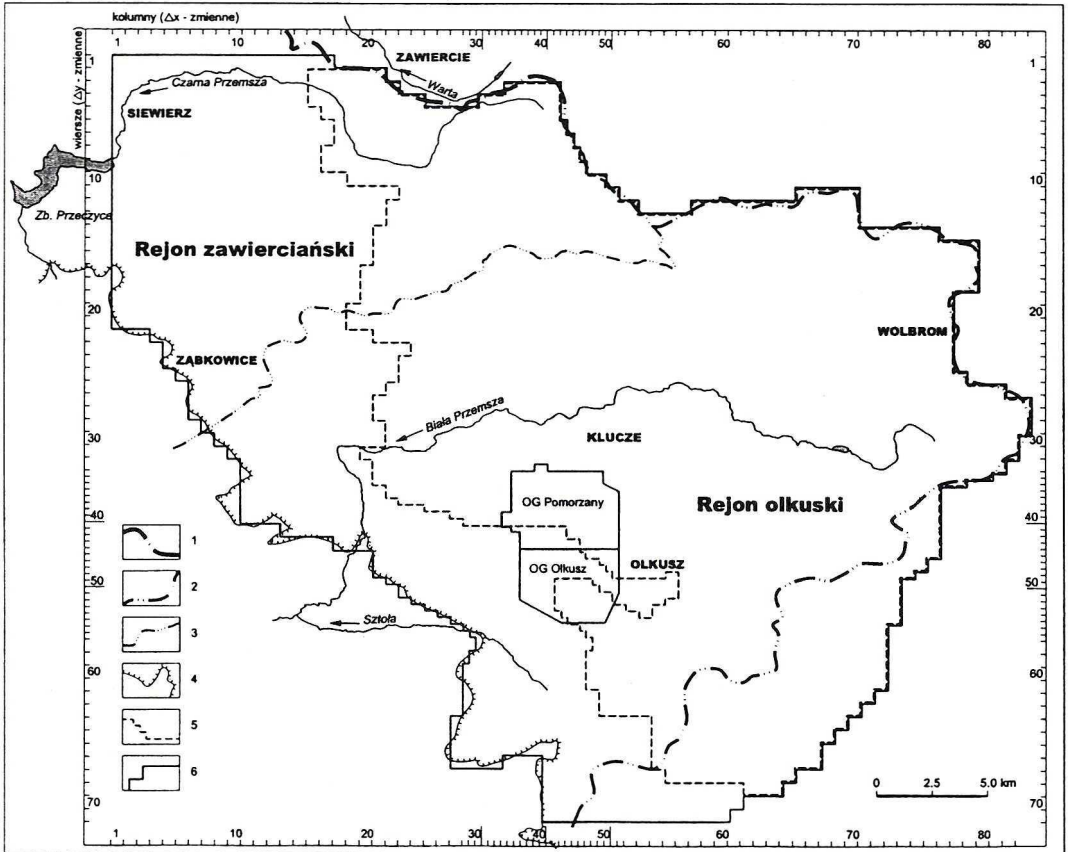
3. Model cyfrowy warunków hydrogeologicznych

3.1. Przygotowanie modelu obliczeniowego

Podstawą do opracowania obecnego modelu cyfrowego złożonych warunków hydrogeologicznych rejonu olkuskiego były wcześniejsze modele (Haładus, 1988; Szczepański i in. 1998; Adamczyk, Haładus 1998). Do rozwiązania postawionego zadania badawczego wykorzystano specjalnie opracowany w 1998 r. program z biblioteki HYDRYLIB (Szymanko i in. 1982), w którym uwzględniono możliwość odwzorowania kierunkowych zmian przepuszczalności górotworu i jego osuszania w całym profilu.

Modelowany obszar filtracji, aby wyeliminować możliwe oddziaływanie zewnętrznych jego granic, miał zasięg znacznie wykraczający poza rejon eksploatacji rud cynku i ołowiu, gdzie górotwór jest poddany intensywnemu drenażowi. Przygotowany model obszaru filtracji zawiera istotne informacje dotyczące budowy geologicznej, warunków hydrogeologicznych i hydrologicznych oraz czynników techniczno-eksploatacyjnych. Odpowiednie wielkości, wczytane w postaci tablic, tworzą zbiór danych wyjściowych. W przypadku niniejszego rozwiązania model hydrogeologiczny obszaru badań utworzył dziewiętnaście tablic. Zostały one przygotowane odrębnie dla warstwy pierwszej (1), obejmującej przepuszczalne utwory czwartorzędowe i jurajskie, oraz dla warstwy drugiej (2), którą utworzyły utwory triasu (w obrębie wychodni wraz z utworami czwartorzędu), a w części południowo-wschodniej także utwory dewonu. W postaci tablicowej zapisane zostały następujące informacje:

- współczynnik filtracji wzdłuż osi x i y (K_{1x} , K_{1y} , K_{2x} , K_{2y}),
- warunki brzegowe obliczeń symulacyjnych (INF1 i INF2),
- strop warstwy (ZT1 i ZT2),
- spąg warstwy (ZS1 i ZS2),
- zasilanie infiltracyjne (Q i Q2),
- początkowe zwierciadło wody (H1 i H2),
- wydajności studni (QST1 i QST2),
- zwierciadło wody górnego warunku brzegowego (HGWB1 i HGWB2),



Rys. 3. Schemat obszaru modelowanego

1, 2 i 3 — wododziały rzędu: I (1), II (2) i III (3), 4 — zasięg występowania triasowego piętra wodonośnego pod utworami czwartorzędowymi lub na powierzchni terenu (węglanowych utworów triasu), 5 — modelowana warstwa 1, czwartorzędowo-jurajskie piętro wodonośne, 6 — modelowana warstwa 2, czwartorzędowo-triasowo-dewońskie piętro wodonośne

Fig. 3. Sketch map of the modelled area

1, 2, 3 — watersheds of I (1), II (2) and III (3) order, 4 — range of Triassic groundwater horizon under Quaternary cover or at the surface (Triassic carbonates), 5 — modelled layer 1, Quaternary-Jurassic groundwater horizon, 6 — modelled layer 2, Quaternary-Triassic-Devonian groundwater horizon

— przewodnictwo pionowe warstwy słaboprzepuszczalnej rozdzielającej dwie modelowane warstwy wodonośne (TPR1).

Dla systemu wodonośnego taki zestaw tablic odwzorowuje ośrodek filtracyjny jako strukturę ciągłą o stałych lub zmiennych parametrach hydrogeologicznych. Jednoznaczność rozwiązania symulacyjnego w ustalonym reżimie filtracji związana jest z przyjęciem właściwych warunków brzegowych. Zapewnić mają one podobieństwo zasilania lub drenażu warstw wodonośnych zarówno dla stanów naturalnych, jak i wymuszonych eksploatacją górniczą oraz poborem wody z ujęć wód podziemnych.

Model warstw wodonośnych opracowany został w oparciu o dotychczasowy stan rozpoznania geologicznego i hydrogeologicznego. Bezpośrednimi badaniami symulacyjnymi objęty został obszar około 937 km² podzielony na bloki obliczeniowe zawierające się w 71 wierszach i 83 kolumnach (rys. 3). Siatkę podziału obszaru filtracji stanowią bloki prostokątne o zróżnicowanych wymiarach: 300 × 300 m, 600 × 600 m, 300 × 600 m i 600 × 300 m. Pierwszą modelowaną warstwę czwartorzędowo-jurajską utworzyło 2550 bloków obliczeniowych, a drugą (czwartorzędowo-triasowo-dewońską) — 3965 bloków.

Przyjęty podział obszaru filtracji zapewnił poprawną symulację drenującego oddziaływania kopalń Bolesław i Olkusz-Pomorzany oraz licznych studzien eksploatujących wody podziemne, zwłaszcza z utworów triasu i jury. Zachodnia i północno-zachodnia granica modelu przebiega w rejonie rzeki Czarnej Przemszy, na wschód od kopalni piasku Kuźnica Wareżyńska. Granicę południowo-zachodnią wyznaczają wychodnie węglanowych utworów triasu. Pozostałe granice odwzorowują istniejący układ zlewniowy. W południowej i południowo-wschodniej części obszar objęty badaniami modelowymi przekracza wododział między zlewniami Białej Przemszy, Rudawy i Prądnika. W części wschodniej granicę modelu wyznacza wododział między zlewniami Białej Przemszy a zlewniami Prądnika i Pilicy. W części północnej granica przebiega wzdłuż wododziałów rozdzielających zlewnie Pilicy i Białej Przemszy oraz Czarnej Przemszy i Warty.

Badaniami modelowymi objęto więc zlewnię Białej Przemszy po zasięg utworów węglanowych triasu, a w części północnej, północno-zachodniej i zachodniej także część zlewni Czarnej Przemszy. Natomiast w części południowej, południowo-wschodniej i wschodniej badaniami objęto fragmenty zlewni Rudawy i Prądnika.

Odwzorowane na modelu naturalne i sztuczne ciekі powierzchniowe stanowiły jego ważny element, bowiem na przepływie w ich korytach bazują istniejące i projektowane ujęcia wód powierzchniowych. Studzienne ujęcia wód podziemnych z utworów czwartorzędowych, jurajskich, triasowych i dewońskich zostały uwzględnione jako wewnętrzne warunki brzegowe obliczeń na modelu hydrogeologicznym.

3.2. Schematyzacja hydrogeologiczna obszaru badań

Parametry hydrogeologiczne i warunki brzegowe oraz inne informacje przypisane poszczególnym blokom obliczeniowym stanowiły treść tablic (pakietów) danych wyjściowych, koniecznych do przeprowadzenia obliczeń symulacyjnych. Przyjęte wielkości pochodzą głównie z wiertniczego rozpoznania struktur geologicznych, natomiast w zakresie własności filtracyjnych znajdują oparcie w wynikach badań polowych i laboratoryjnych.

Współczynnik filtracji

Przygotowane tablice $K1_x$, $K1_y$, $K2_x$, $K2_y$ zawierają wartości tego podstawowego parametru, wyrażającego przepuszczalność ośrodka skalno-gruntowego dla wody podziemnej. Rejonizacja współczynnika filtracji, dokonana na podstawie informacji zgromadzonych w Regionalnym Banku Danych Hydrogeologicznych (RBDH) i innych materiałów dokumentacyjnych, umożliwiła utworzenie zbioru danych wyjściowych dla obu modelowanych warstw. Przyjęcie reprezentatywnej wielkości w każdym bloku obliczeniowym wymagało wykorzystania metod interpolacyjnych.

Tablice $K1_x$ i $K1_y$ zawierają współczynniki filtracji czwartorzędowych i jurajskich utworów wodonośnych tworzących pierwszą warstwę. Wielkość tego parametru zmienia się w przedziale od około 0,2 do około 40 m/d.

Tablice $K2_x$ i $K2_y$ zawierają współczynniki filtracji węglanowych utworów triasu i dewonu oraz częściowo piasków czwartorzędowych tworzących drugą warstwę wodonośną. Współczynniki filtracji w tym różnowiekowym piętrze wodonośnym zawierają się w granicach od 0,3 do 90 m/d.

Warunki brzegowe obliczeń symulacyjnych

Przeprowadzenie obliczeń symulacyjnych dla przyjętego obszaru filtracji staje się możliwe z chwilą realizacji na modelu warunków granicznych rozwiązania. Stanowią je warunki początkowe i brzegowe. Prawdliwość ich przyjęcia w bezpośredni sposób rzutuje na wiarygodność uzyskanych wyników.

Warunki brzegowe zewnętrzne określają granice modelowanego obszaru i symulują jego połączenie z otoczeniem. Warunki brzegowe wewnętrzne wymuszane są w blokach obliczeniowych położonych wewnątrz obszaru. Oddziałują one na modelowane pole filtracji w formie utrzymania odpowiedniego przepływu bądź kształtowania się zwierciadła wód podziemnych. Warunki brzegowe dzielą się na:

— Warunki brzegowe I rodzaju — określa się zadając w bloku obliczeniowym stałą rzędną zwierciadła wody $H = const$. Blok taki zostaje wyłączony z obliczeń nowej (prognozowanej) wysokości hydraulicznej, prowadzi się w nim natomiast obliczenia wielkości przepływu. Tego rodzaju wymuszeń użyto do odwzorowania większości wyrobisk górniczych drenujących obszar filtracji oraz do modelowania wód powierzchniowych o dobrej więzi hydraulicznej z warstwami wodonośnymi.

— Warunki brzegowe II rodzaju — podaje się w postaci wydatku wody wpływającej lub wypływającej z bloku obliczeniowego $Q = const$. W przypadku modelu hydrogeologicznego rejonu olkuskiego warunki tego rodzaju wykorzystano do odwzorowania powierzchniowego zasilania czwartorzędowego piętra wodonośnego przez opady atmosferyczne (tablice $Q1$ i $Q2$) oraz ujęć wodnych, eksploatujących warstwy wodonośne z określoną wydajnością (tablice $QST1$ i $QST2$). Zostały również zastosowane do symulacji przebiegu granic modelu w strefach wododziałowych. Także warunkami II rodzaju zrealizowano zasilanie pochodzące z innych naturalnych bądź sztucznych źródeł, np. z rzeki Sztoły, stawów odpadów poflotacyjnych, hałdy odpadów ponutralizacyjnych i zbiornika wód kopalnianych KWK Siersza — w sytuacjach, kiedy źródła te nie mają więzi hydraulicznej z warstwą wodonośną.

— Warunki brzegowe III rodzaju — realizowane są w tych blokach modelu, w których ma miejsce pośredni (poprzez osady słaboprzepuszczalne) kontakt hydrauliczny wód powierzchniowych i podziemnych. Warunek ten polega na zadaniu dodatkowego zasilania Q (przesączanie), które jest funkcją wysokości położenia zwierciadła wody H_{GWB} , najczęściej w cieku powierzchniowym, obliczonej w tym bloku rzędnej zwierciadła wód podziemnych H_{ZW} oraz przewodności pionowej TPR warstwy półprzepuszczalnej (kolmatycznej). Warunek III rodzaju wykorzystywany był również do symulacji odsuniętych granic modelu w jego części południowo-zachodniej, zachodniej i północno-zachodniej.

Wszystkie warunki brzegowe wymuszone na modelu hydrogeologicznym zostały zapisane w postaci odpowiednich symboli na tablicach INF1 i INF2. Tablice te zawierają ponadto informacje, czy dany blok obliczeniowy należy do modelowanego obszaru filtracji (warstwy wodonośnej) czy też położony jest poza nim.

Strop warstwy

Utworzenie tablic ZT1 i ZT2, określających położenie stropu warstw wodonośnych na modelu hydrogeologicznym, jest potrzebne do obliczenia miąższości tych warstw ($m = ZT - ZS$) oraz kontroli, czy warunki przepływu wód podziemnych są naporowe ($H > ZT$) czy swobodne ($H \leq ZT$). W przedstawionych zapisach funkcyjnych przyjęto oznaczenia: *ZS* — rzędna spągu warstwy wodonośnej, *H* — *rzędna zwierciadła wody obliczona w programie symulacyjnym*.

Strop pierwszej od powierzchni terenu warstwy wodonośnej jest jednoznacznie wyznaczony jedynie w przypadku występowania utworów słaboprzepuszczalnych w strefie przypowierzchniowej. Przy braku takich utworów powierzchnię stropową warstwy wodonośnej wyznacza najczęściej rzędna terenu. Odczytano ją z map sytuacyjno-wysokościowych w skali 1:25 000.

Spąg warstwy

Odwzorowanie spągu warstw wodonośnych na modelu hydrogeologicznym olkuskiego obszaru występowania rud Zn-Pb odpowiada obecnemu stanowi rozpoznania geologicznego. Tablice ZS1 i ZS2 zawierają informacje o zmienności tego parametru, służą jednocześnie do obliczenia miąższości warstwy wodonośnej w każdym bloku obliczeniowym. Położenie spągu czwartorzędowych utworów piaszczystych oraz wapieni jurajskich i triasowych odwzorowane zostało w oparciu o liczne otwory badawcze i złożowe.

Zasilanie infiltracyjne

Dla warstwy czwartorzędowo-jurajskiej, oraz fragmentarycznie warstwy czwartorzędowo-triasowej, wielkość zasilania infiltracyjnego (tablice Q1 i Q2) została przyjęta z uwzględnieniem wysokości opadów atmosferycznych i wykształcenia litologicznego utworów strefy aeracji.

Podstawą do przyjęcia wielkości zasilania powierzchniowego były obserwacje wysokości opadów atmosferycznych rejestrowane w stacjach IMiGW, położonych bezpośrednio na obszarze badań modelowych lub w jego sąsiedztwie. Dane hydrologiczne opracowane zostały w postaci rozkładu średnich rocznych sum opadów za lata 1998—2000. Należy przyjąć, że zarówno wysokość opadów, jak ich zróżnicowanie z wystarczającą dokładnością charakteryzują obecne warunki zasilania powierzchniowego, przyjęte w badaniach modelowych według stanu na I kwartał 2001 r.

O wielkości zasilania infiltracyjnego decydują również inne czynniki, związane głównie z ukształtowaniem terenu i rodzajem utworów geologicznych w strefie przypowierzchniowej. Obszar uwzględniony na modelu hydrogeologicznym najczęściej charakteryzuje się korzystnymi warunkami, dla których przyjęty wskaźnik infiltracji efektywnej zawiera się najczęściej w przedziale od $w = 0,2$ — dla obszarów częściowo zabudowanych, do $w = 0,5$ — dla obszarów odkrytych i silnie zdrenowanych.

Początkowe zwierciadło wody

Określenie warunków początkowych, rozumianych jako położenie zwierciadła wody w momencie czasu $t = 0$, przyjmowanym za wyjściowy dla rozwiązania prognostycznego, ma zasadnicze znaczenie tylko w przypadku prowadzenia obliczeń uwzględniających nieustalony ruch strumienia filtracyjnego. Ponieważ obecną prognozą hydrogeologiczną objęty jest jedynie stan końcowy, osiągnąony po odpowiednio długim czasie ($t = \infty$), przy założeniu niezmienności warunków zasilania i drenażu, określenie początkowego położenia zwierciadła wody spełnia tylko funkcję pomocniczą. Utworzenie tablic zawierających rzeczywiste położenie powierzchni piezometrycznej (H_1 i H_2), stwierdzonej pomiarami terenowymi na całym obszarze badań, ma duży aspekt praktyczny. Jest bowiem niezbędne dla poprawnego przeprowadzenia weryfikacji (kalibracji) modelu. Istotne dla jednoznaczności rozwiązania jest wskazanie wysokości hydraulicznej w tych blokach obliczeniowych, w których zadeklarowany został warunek brzegowy I rodzaju.

Tablice zwierciadła wody dla całego obszaru badań modelowych utworzyły wielkości wczytane z dokumentacyjnych map hydroizohips (Szczepański i in. 1998; Adamczyk, Haładus 1998), uzupełnione aktualnym (I kwartał 2001) rozpoznaniem w sieci otworów obserwacyjnych. W piętrze triasowym obserwowany układ zwierciadła wody przedstawia lej depresji powstały jako skutek działania systemu odwadniania kopalń oraz eksploatacji ujęć wód podziemnych. Stany hydrodynamiczne przyjęte dla poszczególnych warstw uznane zostały za dostatecznie wiarygodne i w stosunku do nich przeprowadzono weryfikację innych parametrów hydrogeologicznych, których rozpoznanie, zwłaszcza w niektórych rejonach modelowanego obszaru, jest niepełne.

Wydajności studni

Wykorzystanie tego modułu programowego pozwala na symulację odbioru wody z warstwy wodonośnej (bądź jej zatłaczania) z określoną wydajnością. Jest to zatem realizacja wewnętrzznego warunku brzegowego II rodzaju $Q = const$. W badaniach na modelu hydrogeologicznym rejonu olkuskiego wymuszenie takie zastosowano w odniesieniu do ujęć wód podziemnych. W obszarze tym eksploatowane jest większe ujęcie w Łazach Błędownskich oraz kilkadziesiąt mniejszych czerpiących wodę z utworów jury i czwartorzędu (warstwa pierwsza) oraz triasu (warstwa druga).

Wielkości poborów wody zrealizowane w badaniach symulacyjnych na modelu odpowiadają średniemu zapotrzebowaniu z I kwartału 2001 roku lub, w przypadku braku aktualnych danych, z lat 1999—2000. Zawierają się one w granicach od kilku bądź kilkudziesięciu m^3/d (pojedyncze studnie wodociągów wiejskich) do około 14 000 m^3/d — w przypadku ujęcia Łazy Błędownskie.

Odsunięte granice modelu

Realizacja zasilania lateralnego (dodatniego lub ujemnego) w obliczeniach symulacyjnych została oparta na opcji programowej umożliwiającej wykorzystanie odsuniętych granic modelu. Przy takim sposobie wymuszenia dopływu/odpływu wody do/z bloków obliczeniowych tworzących brzeg modelu wielkość zasilania będzie dostosowana, przynajmniej w pewnym zakresie, do zmian położenia zwierciadła wód podziemnych wewnątrz obszaru filtracji.

Odsunięte granice modelu, w postaci wybranych hydroizohips przebiegających poza obszarem modelu, wykorzystano fragmentarycznie zarówno dla warstwy czwartorzędowo-jurajskiej, jak i warstwy czwartorzędowo-triasowo-dewońskiej. Dane wyjściowe do obliczeń wielkości zasilania bocznego, zapisane na tablicach INF1 i INF2 jako warunki III rodzaju, opierają się na następujących informacjach:

- wysokość położenia zwierciadła wód podziemnych na odsuniętej granicy (H_{GR}),
- przewodność warstwy wodonośnej między brzegiem modelu a granicą odsuniętą (T),
- odległość od brzegu modelu do odsuniętej granicy (L).

Rzeki

Oddziaływanie niektórych rzek (Biała Przemsza z dopływami, Czarna Przemsza i inne) na wody podziemne piętra czwartorzędowo-jurajskiego (warstwa 1) i czwartorzędowo-triasowo-dewońskiego (warstwa 2) zostało uwzględnione w obliczeniach symulacyjnych głównie w postaci warunków brzegowych III rodzaju $Q = f(H_{GWB} H_{ZW})$. Wielkość przesączania zależy w tej sytuacji od pionowej przewodności utworów słaboprzepuszczalnych (TPR) oraz wysokości położenia zwierciadła wody w rzece (H_{GWB}) i warstwie wodonośnej (H_{ZW}). Odpowiednie symbole, oznaczające wykorzystanie takich wymuszeń oraz potrzebne parametry obliczeniowe, zostały zapisane na tablicach INF1 i INF2 oraz HGWB1 i HGWB2.

Przewodność pionowa utworów słaboprzepuszczalnych

Warstwa słaboprzepuszczalna, w postaci iłwców i mułwców triasu górnego (kajper i retyk), zalegająca pod węglanowymi utworami górnej jury, a także lokalnie czwartorzędu, rozdziela pierwszą i drugą warstwę wodonośną. Zasięg jej występowania obejmuje północną, północno-wschodnią i wschodnią część obszaru objętego badaniami modelowymi. Ponadto stwierdza się występowanie warstwy słaboprzepuszczalnej (margle) w obrębie utworów jury górnej. Przyjęte w badaniach modelowych wielkości liczbowe, charakteryzujące przewodność pionową tych utworów, zostały zapisane na tablicy TPR1.

3.3. Weryfikacja modelu

Model matematyczny warunków hydrogeologicznych rejonu olkuskiego od chwili powstania (Haładus 1988) jest stale doskonalony, tak aby możliwie najwierniej odtwarzał rzeczywiste rozkłady wysokości hydraulicznych i przepływy w piętrach wodonośnych. W obecnie stworzonym modelu cyfrowym parametry filtracyjne i warunki brzegowe zostały poddane weryfikacji (identyfikacji). Proces ten obejmował zwłaszcza korektę współczynników filtracji, wielkości zasilania oraz oporów przeciekania między piętrami wodonośnymi i warunków brzegowych.

Zadowolająca zgodność rzeczywistego układu zwierciadła wód podziemnych, stwierdzonego pomiarami terenowymi i odtworzonego w badaniach modelowych oraz dopływów do kopalni przy założonych rzędnych odwodnienia jest miernikiem wiarygodności rezultatów uzyskanych w obliczeniach prognostycznych.

W celu identyfikacji modelu przyjęto następujący reżim warunków hydrogeologicznych:

- w kopalni Bolesław najniższa rzędna odwadniania wyrobisk górniczych wynosiła +249,0 m n.p.m. (tab. 1),

TABELA 1

Dopływy do wyrobisk górniczych kopalni Bolesław na podstawie badań modelowych [$\text{m}^3\text{d}^{-1}/\text{m}^3\text{min}^{-1}$]

TABLE 1

Inflows to the workings of the Bolesław Mine based upon modelling [$\text{m}^3\text{d}^{-1}/\text{m}^3\text{min}^{-1}$]

Pomiary rzeczywiste lub dane z modelu	Poziom odwodnienia	Całkowity dopływ
Rzeczywiste średnie zmierzone w I kwartale 2001 r.	249,0*	<u>12 770</u> 8,87
Z modelu wg stanu w I kwartale 2001 r.	249,0*	<u>13 080</u> 9,08
Dokładność odwzorowania dopływów na modelu [%]		-2,43%

* Najniższy poziom odwadniania.

— w części północnej Rejonu Olkusz kopalni Olkusz-Pomorzany symulowano odwadnianie górotworu na rzędnej +238 m n.p.m., a w jego części południowej, tj. w obrębie złoża Olkusz-Podpoziom, na rzędnej +180 m n.p.m. (tab. 2 i 3),

— w Rejonie Pomorzany kopalni Olkusz-Pomorzany przyjęto odwadnianie wyrobisk górniczych na poziomie +180 m n.p.m.,

— wielkości poboru wody przez ujęcia głębinowe oraz układ zwierciadła przyjęto według stanu w I kwartale 2001 r.

— symulowano infiltrację wód nadosadowych ze stawów odpadów poflotacyjnych do górotworu z wydajnością 5,2 m^3/min .

TABELA 2

Dopływy do wyrobisk górniczych Rejonu Olkusz na podstawie badań modelowych [$\text{m}^3\text{d}^{-1}/\text{m}^3\text{min}^{-1}$]

TABLE 2

Inflows to the workings of the Olkusz Mine based upon modelling [$\text{m}^3\text{d}^{-1}/\text{m}^3\text{min}^{-1}$]

Pomiary rzeczywiste lub dane z modelu	Poziom odwodnienia [m n.p.m.]	Rejon kopalni				Dopływ całkowity
		zachodni	południowy	centralny	wschodni	
Rzeczywiste średnie zmierzone w I kwartale 2001 r.	238,0	<u>2 840</u> 1,97	<u>3 120</u> 2,17	<u>11 520</u> 8,0	<u>41 790</u> 29,02	<u>59 270</u> 41,16
Z modelu wg stanu w I kwartale 2001 r.	238,0	<u>2 910</u> 2,02	<u>3 180</u> 2,21	<u>11 300</u> 7,85	<u>42 150</u> 29,27	<u>59 540</u> 41,35
Dokładność odwzorowania dopływów na modelu [%]		-2,46	-1,92	1,91	-0,86	-0,46

TABELA 3

Dopływy do wyrobisk górniczych Rejonu Pomorzany na podstawie badań modelowych [$\text{m}^3\text{d}^{-1}/\text{m}^3\text{min}^{-1}$]

TABLE 3

Inflows to the workings of the Pomorzany Mine based upon modelling [$\text{m}^3\text{d}^{-1}/\text{m}^3\text{min}^{-1}$]

Pomiary rzeczywiste lub dane z modelu	Poziom odwad- niania [m n.p.m.]	Rejon kopalni										Dopływ całkowity
		Pp1	Pp2	Pp3	Pp4	PG*	$\Sigma(\text{Pp1—4}$ — PG)	Pp5	Pp6	Mieszko poz.+236	Przekop połud. (OPP)	
Rzeczywiste średnie zmierzone w I kwartale 2001 r.	175—180	<u>3 460</u>	<u>11 810</u>	<u>4 560</u>	<u>179 670</u>	<u>330</u>	<u>199 830</u>	<u>14 830</u>	<u>123 310</u>	<u>7 200</u>	<u>16 460</u>	<u>361 630</u>
		2,40	8,20	3,17	124,77	0,23	138,77	10,30	85,63	5,00	11,43	251,13
Z modelu wg stanu w I kwartale 2001 r.	175—180	<u>3 610</u>	<u>12 120</u>	<u>4 500</u>	<u>180 060</u>	<u>0,00</u>	<u>200 290</u>	<u>14 540</u>	<u>123 210</u>	<u>7 110</u>	<u>16 700</u>	<u>361 850</u>
		2,51	8,42	3,12	125,04	0,00	139,09	10,10	85,56	4,94	11,60	251,29
Dokładność odwzorowania dopływów na modelu [%]		-4,34	-2,62	1,32	-0,22	—	-0,23	1,96	0,08	1,25	-1,46	-0,01

* W modelu nie uwzględniono dopływów do wyrobisk PG, ponieważ zostały wykonane w utworach słaboprzepuszczalnych, nieodwzorowanych w modelu.

Układ zwierciadła wody w piętrze czwartorzędowo-jurajskim rejonu olkuskiego odzwierciedla aktualne (I kwartał 2001) warunki formowania strumienia filtracji. Kierunki przepływów są zróżnicowane, z przewagą południowego w północnej części obszaru oraz północno-zachodniego i zachodniego w części południowej. Generalnie przepływ skierowany jest ku naturalnym granicom warstwy wodonośnej wyznaczonych przebiegiem kuesty jurajskiej. Na drodze tego zasadniczego kierunku występują jednak okna hydrogeologiczne, w obrębie których brak izolujących osadów kajpru (trias górny) powoduje „wlewanie” się wody z utworów czwartorzędu do triasu. Pośredni drenaż górniczy powoduje obniżenie zwierciadła wody w piętrze czwartorzędowo-jurajskim do rzędnych około +290 m n.p.m. — w Rejonie Pomorzany i około +310 m n.p.m. — w części obszaru stanowiącej Olkusz-Podpoziom. W północnym fragmencie obszaru obserwuje się wyraźne, drenujące oddziaływanie Białej Przemszy. Rzeka ta wraz ze swoimi dopływami znacząco modyfikuje układ hydrodynamiczny.

Położenie zwierciadła wód podziemnych w piętrze czwartorzędowo-triasowo-dewońskim przedstawia sobą rozległy lej depresji osiągający maksymalne obniżenia: do około 140 m — w Rejonie Pomorzany (maksymalna rzędna odwadniania dochodzi do +175 m n.p.m.), do ponad 90 m — w Rejonie Olkusz (poziom odwadniania +238 m n.p.m.) i do około 70 m — w kopalni Bolesław (rzędna odwadniania +249 m n.p.m.).

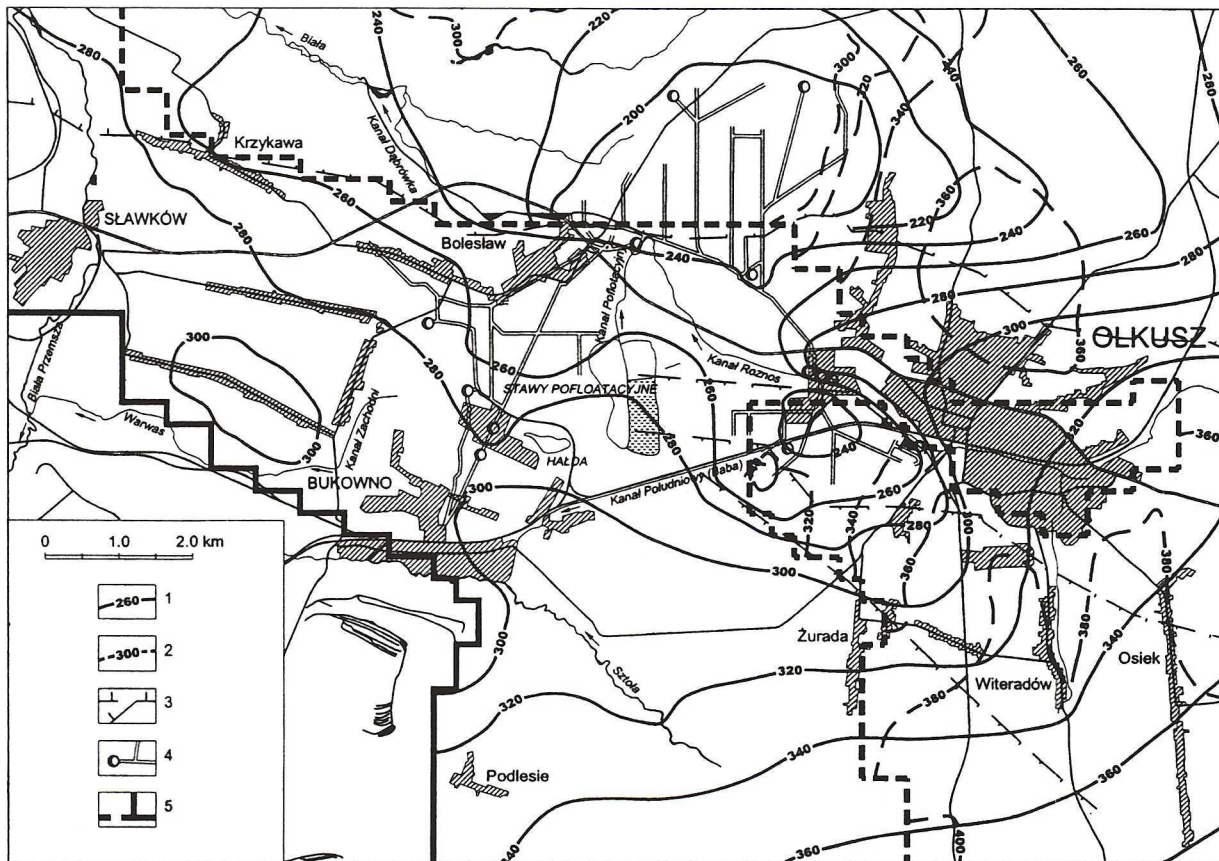
Ważną rolę w kształtowaniu strumienia filtracyjnego spełniają dyslokacje tektoniczne, w szczególności uskoki Pomorzany i Ciągowice-Kolbrak oraz uskoki ograniczające złoża Olkusz i Olkusz-Podpoziom.

Odwzorowanie na modelu tak zróżnicowanych pól hydrodynamicznych (rys. 4) w piętrze czwartorzędowo-jurajskim (warstwa 1) i czwartorzędowo-triasowo-dewońskim (warstwa 2) wymagało ogromnego nakładu pracy. Uzyskane na etapie weryfikacji modelu obrazy pól filtracyjnych wskazują na dużą zgodność z pomiarami rzeczywistymi (rys. 5), przyjętymi według stanu w I kwartale 2001 r. Różnice między wielkościami obserwowanymi i uzyskanymi na modelu na ogół zawierały się w granicach od 0,0 m do 2,0 m dla warstwy 1 (błąd średni wynosił ok. 0,6 m) oraz od 0,0 do 3,0 m dla warstwy 2 (błąd średni ok. 0,4 m). Odchylenia standardowe wynosiły odpowiednio 1,9 i 1,7 m.

Średnie zmierzone dopływy do kopalni Bolesław, według stanu w I kwartale 2001 r., wynoszą 8,87 m³/min (tab. 1), do Rejonu Olkusz — 41,16 m³/min (tab. 2) i do rejonu Pomorzany — 251,13 m³/min (tab. 3), w tym 11,43 m³/min pochodzi z dopływów do wyrobisk Olkusz-Podpoziom. Sumaryczny odbiór wód kopalnianych wynosił 301,16 m³/min.

Identyfikację modelu realizowano odwzorowując dopływy do wyrobisk górniczych warunkami I rodzaju, a tylko w obrębie złoża Olkusz-Podpoziom, odwadnianego przez Rejon Pomorzany, warunkiem III rodzaju. W wyniku obliczeń symulacyjnych na modelu otrzymano dopływy do wyrobisk, które ostatecznie wykazują dużą zgodność z pomiarami kopalnianymi (tab. 1, 2 i 3). Różnice pomiędzy nimi wynosiły: 0,01% — dla Rejonu Pomorzany, 0,46% — dla Rejonu Olkusz i 2,43% — dla kopalni Bolesław, a 0,18% — w odniesieniu do całkowitego dopływu. Nieco większe, na ogół nie przekraczające 2% rozbieżności między tymi dopływami występują w obrębie poszczególnych części kopalń.

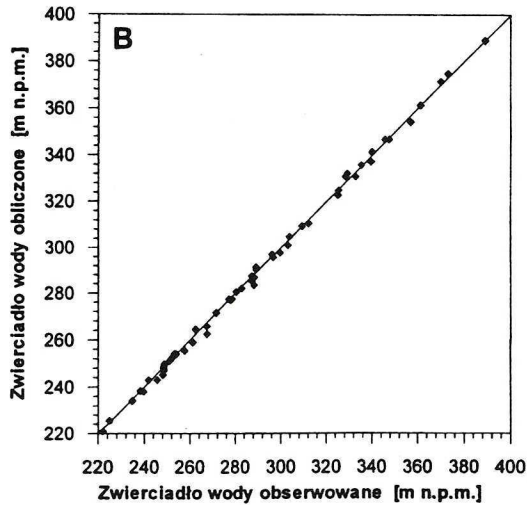
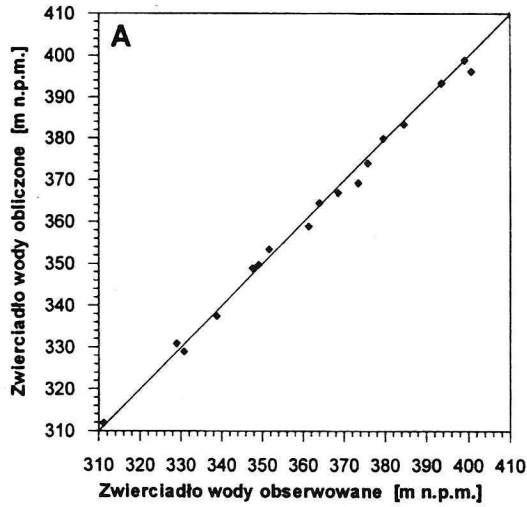
Pobór wody przez ujęcia głębinowe symulowano na modelu warunkami II rodzaju. W rejonie olkuskim eksploatują one głównie triasowe piętro wodonośne. Z obu modelowanych warstw (I kwartał 2001 r.) odbierały łącznie około 23 000 m³/d (ok. 16,0 m³/min).



Rys. 4. Fragment mapy zwierciadła w piętrach wodonośnych rejonu olkuskiego na podstawie badań modelowych. Stan na I kwartał 2001 r.
 1 i 2 — hydroizohipsy piętra wodonośnego w m n.p.m.: czwartorzędowo-triasowo-dewońskiego (1), czwartorzędowo-jurajskiego (2), 3 — główne uskoki,
 4 — główne wyrobiska górnicze kopalń rud Zn-Pb, 5 — granice modelu

Fig. 4. Fragment of the hydroisohypses map of groundwater horizons in Olkusz area based upon modelling (data for I quarter 2001)
 1 and 2 — hydroisohypses of groundwater tables in meters above sea level: Quaternary-Triassic-Devonian (1) and Quaternary-Jurassic (2), 3 — main faults,
 4 — main workings of Zn-Pb ore mines, 5 — boundaries of hydrogeological model

Reasumując można stwierdzić, że potwierdzeniem poprawności przyjętej dla celów modelowania schematyzacji złożonych warunków hydrogeologicznych oraz wykonanej weryfikacji modelu jest bardzo duża dokładność odwzorowania powierzchni piezometrycznych i dopływów do kopalń. Model jest więc wiarygodny, może zatem być wykorzystywany dla prognozowania zmian stosunków wodnych oraz dopływów do kopalń w warunkach realizowanej bądź planowanej likwidacji górnictwa rud cynku i ołowiu w rejonie olkuskim.



Rys. 5. Dokładność odwzorowania na modelu wysokości hydraulicznych w czwartorzędowo-jurajskim (A) i czwartorzędowo-triasowo-dewońskim (B) piętrze wodonośnym

Fig. 5. Accuracy of representation of groundwater table position in the model for Quaternary-Jurassic (A) and Quaternary-Triassic-Devonian (B) groundwater horizons

Podsumowanie

W rejonie olkuskim występują bardzo złożone warunki hydrogeologiczne. Występują tu cztery piętra wodonośne: czwartorzędowe, jurajskie, triasowe i paleozoiczne, połączone poprzez różnego rodzaju kontakty hydrauliczne.

Aktualnie rejon olkuski jest bardzo silnie drenowany przez górnictwo rud cynku i ołowiu oraz ujęcia wód podziemnych. Wykorzystując zmodyfikowaną i przystosowaną do złożonych warunków hydrogeologicznych wersję programów z biblioteki HYDRYLIB stworzono model cyfrowy tego rejonu. Badaniami objęto olkusko-zawierciański obszar filtracji, wykraczając poza zasięg leja depresji wywołanego głównie przez drenaż górniczy. Model ma charakter dwuwarstwowy i stanowi go:

- warstwa górna, tj. czwartorzędowo-jurajska,
- warstwa dolna, tj. czwartorzędowo-triasowo-dewońska.

Model cyfrowy warunków hydrogeologicznych rejonu olkuskiego został zweryfikowany w oparciu o dopływy wody do kopalni, wielkości poboru przez ujęcie głębinowe oraz pomiary zwierciadła wody w otworach obserwacyjnych według stanu na I kwartał 2001 r. Na modelu uzyskano wysoką zgodność dopływów i układu zwierciadła z danymi rzeczywistymi. Czyny to model wiarygodnym. Może być on wykorzystywany do symulacji zmian stosunków wodnych w rejonie olkuskim, w tym prognozowania dopływów do wyrobisk górniczych. Dokładność tych prognoz ma szczególne znaczenie z uwagi na wydzielenie w tym rejonie dwóch głównych zbiorników wód podziemnych, tj. GZWP (J₃) nr 326 Częstochowa (E) i GZWP (T_{1,2}) nr 454 Olkusz-Zawiercie.

LITERATURA

- Adamczyk A.F., Haładus A., 1998 — Prognoza dopływu wód do kopalni Olkusz-Pomorzany. Maszynopis, Arch. ZGH Bolesław.
- Adamczyk A.F., 1990 — Wpływ górnictwa rud cynku i ołowiu w rejonie olkuskim na wody podziemne i powierzchniowe. Zesz. Nauk. AGH 1368, Sozologia i Sozotechnika z. 7.
- Ekier F., 1971 — Budowa geologiczna podpermskiego podłoża północno-wschodniego obrzeżenia Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Prace Inst. Geol. t. 66, Warszawa.
- Haładus A., 1988 — Modelowanie analogowe intensywnego drenażu utworów triasu w SE części monokliny śląsko-krakowskiej. Praca doktorska, Bibl.Gł. AGH, Kraków.
- Motyka J., 1988 — Węglanowe osady triasu w olkusko-zawierciańskim rejonie rudnym jako środowisko wód podziemnych. Zesz. Nauk. AGH, Geologia z. 36, Kraków.
- Motyka J., Wilk Z., 1980 — Olkuski rejon złożowy. Piętra wodonośne i ich charakterystyka. [W:] Warunki hydrogeologiczne złóż rud cynku i ołowiu regionu śląsko-krakowskiego. Prace Inst. Geol., Wyd. Geol., Warszawa.
- Motyka J., Witczak S., 1975 — Zasięg drenażu jednej z kopalń piasku podsadzkowego w warunkach zasilania poziomu wodonośnego przez rzekę. Zesz. Nauk. AGH, Geologia z. 24, Kraków.
- Szczepański A., Adamczyk A., Haładus A., 1998 — Dokumentacja hydrogeologiczna kopalni rud Zn-Pb Olkusz-Pomorzany obejmująca złoża Pomorzany, Olkusz, Mazaniec i Olkusz-Podpoziom. Maszynopis, Arch. ZGH Bolesław.
- Szymanko J. (red.) i in., 1982 — Biblioteka programów obliczeniowych HYDRYLIB Centralnego Urzędu Geologii 1—7. Wyd. Geol., Warszawa.
- Wilk Z., Motyka J., 1977 — Kontakty między poziomami wodonośnymi w olkuskim rejonie kopalnictwa rud. Rocznik Pol. Tow. Geol. 42, Kraków.

**SCHEMATIZATION OF COMPLICATED HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS FOR THE PROGNOSED
OF INFLOWS TO UNDERGROUND MINES — EXAMPLES FROM OLKUSZ DISTRICT****Key words**

Hydrogeology, mine drainage, filtration modelling

Abstract

Recently, mathematical modelling methods are still more commonly applied to hydrogeological prognosing. In comparison with analytical formulae calculations, the mathematical methods require much less schematization of hydrogeological conditions. According to author's experience, even complicated geological settings of groundwater horizons and consideration of anthropogenic factors do not preclude the credible results of calculations.

The paper presents digital model of complicated hydrogeological conditions based upon the example of the Olkusz district. Four groundwater aquifers of porous or fracture-karstic type occur in the study area: Quaternary, Jurassic, Triassic and Paleozoic. The aquifers are interconnected by various hydraulic contacts. Natural conditions have been strongly modified by intensive mine drainage (over 300 m³/min) and groundwater intakes. The resulting regional depression cone covers some hundreds of square kilometers and reaches groundwater table depression about 140 meters.

The HYDRYLIB software library was used for construction of digital model of hydrogeological conditions. The model includes two layers: upper (Quaternary-Jurassic) and lower (Quaternary-Triassic-Devonian). Verification of the model was provided by measured inflows to the mines and groundwater table positions (data for I quarter of 2001). Very high consistence was obtained for modelled and measured values. The model can be applied to hydrogeological prognoses including the inflow to the mines during closure and remediation. Credibility of prognoses is particularly important due to the presence of two main groundwater aquifers: Jurassic and Triassic in the study area.