

Andrzej RÓŻKOWSKI, Andrzej STACHURA

Warunki filtracji wód w utworach jury na przykładzie wybranego obszaru w południowej Polsce

WSTĘP

W artykule przedstawiono warunki filtracji wód w utworach jury na przykładzie wybranego obszaru w południowej Polsce, określone metodą analogii elektrohydrodynamicznej (AEHD). Przeprowadzone badania stanowią kontynuację studiów nad modelem hydrodynamicznym zlewni podziemnych zbudowanych z utworów jurajskich. Zapoczątkowane zostały one przez jednego z autorów w zlewni rzeki R, przy użyciu metody pomiarów ciśnień potencjalnych (A. Różkowski, 1970). Badania modelowe, których wyniki omawiane są w artykule, wykonane zostały dla tego samego obszaru. Ponieważ budowa geologiczna i stosunki hydrogeologiczne rozpatrywanej zlewni scharakteryzowane zostały w poprzedniej pracy, w niniejszym artykule potraktowane są marginesowo.

Wyniki badań analogowych przedstawiono na modelach płaskich i płasko-przestrzennych, przy użyciu papieru elektroprzewodzącego i wanny elektrolitycznej. Modele były konstruowane w Zakładzie Geologii Kopalnianej Głównego Instytutu Górniczego w Katowicach. Uwzględniając warunki krążenia wód w szczelinowo-krasowych poziomach wodonośnych, jak również stosowaną metodę modelowania, uzyskane wyniki charakteryzują wyłącznie jakościowe prawidłowości. W przyszłości przewiduje się wykonanie szczegółowych badań filtracji nie ustalonej przy użyciu analizatora pola.

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA TERENU

Badany obszar położony jest w dorzeczu rzeki R, której dopływami są potoki: B, K, Bo, P (fig. 1). Rzeka płynie w szerokiej, płaskiej dolinie, o tektonicznych założeniach.

Potoki wykazują przebieg południkowy, płyną w dolinach wciętych 50÷80 m w poziomy wierzchołach zbudowanych z wapieni malmu. Wierzchołki pochyłone są w kierunku doliny rzeki R. Spadek terenu jest rzędu 4,5‰, różnice wysokości terenu wynoszą 160 m. Utwory jurajskie pod-

ścielone osadami paleozoicznymi są pocięte uskokami na szereg bloków; przebieg uskoków jest głównie równoleżnikowy.

W profilu hydrogeologicznym opisywanego obszaru występują 4 podstawowe piętra wodonośne: czwartorzędowe, kredowe, jurajskie, oraz związane z różnowiekowymi utworami paleozoiku.

Czwartorzędowy poziom wodonośny występuje lokalnie i jest związany z tarasami potoków i rzek.

Margliste utwory kredowe są słabo wodonośne. Występują one w rowie tektonicznym określającym zasięg doliny rzeki R. Łącznie z nieprzepuszczalnymi osadami trzeciorzędu przykrywają tu one utwory jurajskie (fig. 2) stwarzając dogodne warunki występowania ciśnień artezyjskich w poziomach wodonośnych ostatniej formacji.

W piętrze jurajskim znajdują się 2 podstawowe poziomy wodonośne związane z utworami mal-

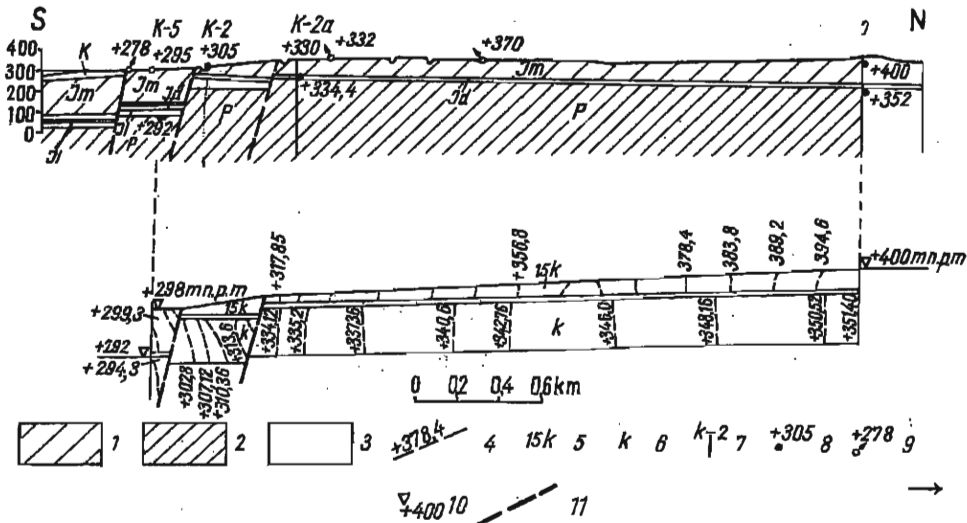


Fig. 1. Szyk sytuacyjny terenu

Situation sketch

1 — źródła; 2 — linie przekrojów

1 — springs; 2 — line of cross sections



mu i doggeru. Lokalnie obserwuje się występowanie wód również w piaskach i żwirach liasu, które to utwory, ogólnie biorąc, są jednak nieprzepuszczalne i występują w postaci izolowanych soczew (fig. 2).

W wapieniach malmu występuje szczelinowo-krasowy poziom wodonośny, charakteryzujący się swobodnym zwierciadłem wód w zasięgu wierzchowin. Poziom ten jest odwadniany przez sieć rzeczna.

Piaskowce doggeru leżą na ogół bezpośrednio na utworach paleozoiku i wraz z nim tworzą szczelinowo-warstwowy poziom wodonośny, którego wody znajdują się pod ciśnieniem. Warstwę izolującą między poziomem wodonośnym doggeru a malmu stanowią margle dolnego oksfordu (A. Rózkowski, 1970).

METODYKA BADAŃ ANOLOGOWYCH

Badane poziomy wodonośne spełniają warunki filtracji płaskiej, w związku z czym konstrukcje elektrycznych modeli analogowych oparto na papierach elektroprzewodzących i wannie elektrolitycznej.

Zróznicowanie miąższości i współczynników filtracji warstw wodonośnych, określone współczynnikiem przewodności hydraulicznej T , odwzorowano za pomocą różnych oporności modelu. Warunki brzegowe konstruowanych modeli zostały ustalone przez odpowiednio podłączone elektrody.

Modele płaskie — przedstawione w formie pionowych przekrojów — konstruowane były na papierze elektroprzewodzącym typu *Funkenregistrierpapier*. Elektrody zostały wykonane z płaskowników i drutu miedzianego i łączone z papierem elektroprzewodzącym klejem elektroprzewodzącym. Pomiar oporności prądów i napięć przeprowadzono za pomocą kompensatora prądu stałego KED-2.

Wanna elektrolityczna służyła do konstrukcji modelu płasko-przestrzennego. Model elektrolityczny umożliwił uproszczone modelowanie „nie dogłębionych” dolin potoków, które nie dochodziły do spągu warstwy wodonośnej. Niedogłębienie modelowano używając dodatkowych oporów elektrycznych podłączonych do elektrod modelujących potoki. Pomiar parametrów elektrycznych opisywanego modelu zostały wykonane przy pomocy kompensatora prądu zmiennego typu KED-1.

Przed przystąpieniem do modelowania określono schemat hydrogeologiczny badanego obszaru oraz ustalono jego podstawowe parametry. Na

Fig. 2. Przekrój hydrogeologiczny A—A'

Hydrogeological section A—A'

1 — górna warstwa wodonośna (malm); 2 — dolna warstwa wodonośna (dogger + paleozoik); 3 — warstwa izolująca (dolny oksford); 4 — linie ekwipotencjalne; 5 — współczynnik filtracji górnej warstwy wodonośnej; 6 — współczynnik filtracji dolnej warstwy wodonośnej; 7 — otwór wiertniczy; 8 — rzędna zwierciadła wody w m n.p.m. pomierzona w otworze; 9 — źródło i rzędna wypływu w m n.p.m.; 10 — rzędne zwierciadła wody w m n.p.m. na granicach modelu; 11 — uskoki; Jm — wapienie malmu; Jd — piaskowce i piaski doggeru; J1 — ły, piaski i węgle liasu; P — dolomity, wapienie i piaskowce paleozoiku

1 — upper water-bearing bed (Malm); 2 — lower water-bearing bed (Dogger + Palaeozoic); 3 — isolating bed (Lower Oxfordian); 4 — equipotential lines; 5 — permeability coefficient of the upper water-bearing bed; 6 — permeability coefficient of the lower water-bearing bed; 7 — bore hole; 8 — ordinate of water table in metres, above sea level, measured in bore hole; 9 — spring and ordinate of outflow, in metres above sea level; 10 — ordinates of water tables in metres above sea level at the boundary of the model; 11 — faults; Jm — Malm limestones, Jd — Dogger sandstones and sands; J1 — Liassic clays, sands and coals; P — Palaeozoic dolomites, limestones, and sandstones

podstawie tego schematu skonstruowano modele analogowe, w których parametry hydrogeologiczne zastąpiono parametrami elektrycznymi. Modele po wykonaniu uległy zweryfikowaniu, tj. sprawdzeniu rzeczywistego rozkładu znanych wartości ciśnień i wydatków badanej zlewni z wynikami badań modelowych. W przypadku występowania niezgodności rewidowano przyjęty schemat hydrogeologiczny.

W zakres wykonywanych pomiarów wchodziło wykreślenie potencjałów w postaci linii ekwipotencjalnych oraz natężenia prądów dopływających do elektrod na modelu. Dokładność wykonanych pomiarów wynosiła 90—95%. Błąd pomiarów jest więc nieznaczny w porównaniu do błędów popełnianych przy pomiarach terenowych oraz przy określaniu schematu hydrogeologicznego obszaru.

W końcowym etapie badań modelowych przeprowadzono interpretację wyników. Pomierzone wartości linii ekwipotencjalnych przeliczono na odpowiednie hydroizohipsy, a wielkość prądów na wartości wydatków filtracji.

Wartość gradientów hydrodynamicznych i prędkość filtracji oraz przepływów zredukowanych na modelach płaskich obliczono na podstawie siatki hydrodynamicznej, którą wyznaczyły linie ekwipotencjalne i prostopadłe do nich linie prądu. Przepływy zredukowane określono również na podstawie wielkości natężenia prądów. Wykorzystane do obliczeń wzory, przedstawione w dalszej części pracy, zaczerpnięto z prac N. J. Drużinina (1956, 1966) oraz W. J. Karplusa (1958).

CEL I ZAŁOŻENIA WYKONANYCH BADAŃ MODELOWYCH

Celem badań analogowych było przedstawienie warunków formowania się pola hydrodynamicznego badanej zlewni na dwuwarstwowych płaskich modelach elektrycznych (fig. 2, 3, 4, 6) oraz płaskoprzestrzennym modelu elektrycznym (fig. 7).

Przy konstrukcji modelu hydrodynamicznego obszaru należało ustalić: 1) ilość występujących systemów krążenia i warunków filtracji wód w ich zasięgu, 2) współzależność hydrauliczną między poszczególnymi systemami krążenia, 3) rolę potoków w drenowaniu systemów krążenia, 4) rolę uskoków i warstw izolujących poziomy wodonośne w systemach krążenia badanej zlewni i 5) wpływ rowu tektonicznego na drenaż jurajskich poziomów wodonośnych.

Konstrukcja modeli analogii elektrohydrodynamicznej wymagała przyjęcia pewnego schematu warunków hydrogeologicznych badanej zlewni. Przyjęty schemat stanowił założenia do budowy modeli.

W zakresie płaskich modeli, przedstawionych w formie pionowych przekrojów, przyjęto następujące założenia:

1. Poziomy wodonośne związane są ze szczelinowymi, węglanowymi utworami malmu i paleozoiku oraz piaskowcami doggeru i paleozoiku.

2. Wody poziomu wodonośnego doggeru znajdują się w bezpośrednich związkach hydraulicznych z wodami krążącymi w utworach paleozoicznych. Stanowią one, poza zasięgiem stref dyslokacji rowu tektonicznego, jedną łączną warstwę wodonośną.

3. Utwory doggeru i przepuszczalne utwory paleozoiku stanowią, poza zasięgiem rowu tektonicznego, jedną łączną warstwę wodonośną określoną w dalszej części pracy mianem dolnej warstwy wodonośnej.

4. Poziom wodonośny malmu — górna warstwa wodonośna — odizolowany jest od dolnej warstwy wodonośnej praktycznie nieprzepuszczalnymi marglami dolnego oksfordu oraz lokalnie występującymi ilastymi osadami liasu.

5. Związki hydrauliczne między wodami występującymi w górnej i dolnej warstwie wodonośnej odbywają się poprzez strefy uskokowe oraz w nieznacznym zakresie przez warstwę izolującą.

6. Miąższość zawodnionej górnej warstwy ustalono na podstawie badań terenowych. Określono, że miąższość dolnej warstwy wodonośnej wynosi 200 m, przyjmując zwiększoną przepuszczalność górnych ogniw utworów paleozoicznych.

7. Współczynnik filtracji górnej warstwy wodonośnej określono jako k , natomiast dolnej warstwy jako $1/15 k$.

8. Zasilanie górnej warstwy odbywa się przez infiltrację opadów atmosferycznych.

9. Warunki graniczenia modeli ustalono przez interpretację wyników badań terenowych.

10. Warstwy są jednorodne i izotropowe, a ruch wody podlega prawu Darcy.

Przy konstrukcji modelu płasko-przestrzennego przyjęto ponadto dodatkowe założenia:

1. Miąższość górnej warstwy wodonośnej wynosi średnio 100 m.

2. Związki hydrauliczne między wodami górnej i dolnej warstwy wodonośnej nie istnieją.

3. Wysokość zwierciadła wody zmodelowana w północnej części obszaru określa granicę zasilania. Zwierciadło wód potoków wyznacza obszary drenażu.

4. W zasięgu rowu tektonicznego nie obserwuje się wpływu wododziałów i drenażu przepływającej tu rzeki ze względu na występującą serię izolujących margli kredowych i ilów trzeciorzędowych. W związku z tym zamodelowano jedynie spadek zwierciadła wody z zachodu na wschód oraz uwzględniono zasilanie z wierzchowin.

BADANIA WARUNKÓW FILTRACJI WÓD W ÚTWORACH JURY METODĄ AEHD

PRZEDSTAWIENIE POLA HYDRODYNAMICZNEGO NA PŁASKICH MODELACH PIONOWYCH

Badania modelowe wykonane na płaskich modelach pionowych dostarczyły podstawowych informacji do określenia warunków filtracji wód w badanej zlewni podziemnej.

Za podstawę modeli służyły przekroje hydrogeologiczne (fig. 2—4), na których przedstawiono schemat budowy geologicznej obszaru oraz ułożenie i rozprzestrzenienie warstw wodonośnych, jak również uwzględniono wielkości ciśnień hydrostatycznych pomierzonych w czasie badań terenowych.

Przebieg przekroju A—A' (fig. 2) jest w przybliżeniu zgodny z kierunkiem regionalnego spływu wód podziemnych, natomiast linie przekrojów: B—B' i C—C' (fig. 3 i 4) są doń prostopadłe.

Schemat elektryczny jednego z modeli przedstawiono na fig. 5. Interpretacja hydrodynamiczna wyników badań modelowych podana jest na

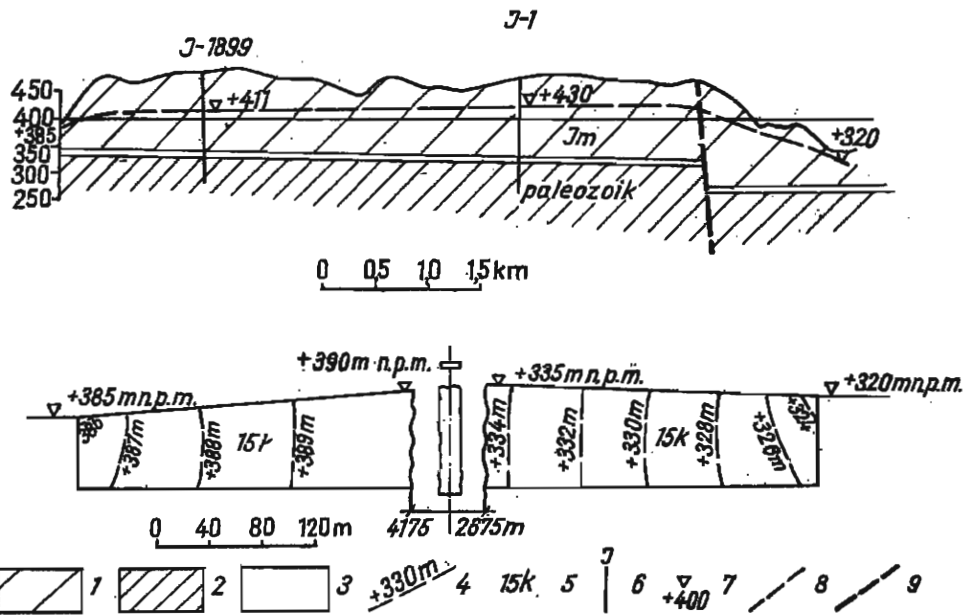


Fig. 3. Przekrój hydrogeologiczny B—B'
Hydrogeological section B—B'

1 — górna warstwa wodonośna; 2 — dolna warstwa wodonośna; 3 — warstwa izolująca;
4 — linie ekwipotencjalne; 5 — współczynnik filtracji górnej warstwy wodonośnej;
6 — otwór wiertniczy; 7 — rzędne zwierciadeł wody w m n.p.m.; 8 — zwierciadło wody;
9 — uskoki; Jm — wapienie maimu
1 — upper water-bearing bed; 2 — lower water-bearing bed; 3 — isolating bed;
4 — equipotential lines; 5 — permeability coefficient of the upper water-bearing bed;
6 — bore hole; 7 — ordinates of water tables in metres above sea level; 8 — water table; 9 — faults; Jm — Malm limestones

przekrojach pionowych w postaci linii ciśnień i prądów. Ze względu na znaczne długości przekrojów interpretowane zostały wyłącznie ich charakterystyczne wycinki.

Zróznicowanie wartości ciśnień w górnej i dolnej warstwie wodonośnej wskazuje na występowanie w tych warstwach 2 odrębnych systemów krążenia. Zjawisko to zostało już uprzednio zaobserwowane i opisane przez jednego z autorów (A. Rózkowski, 1970) na podstawie wyników pomiarów ciśnień potencjalnych w profilu badanych warstw.

Zróznicowanie ciśnień, jak to ilustruje przekrój A—A', jest maksymalne na obszarze kulminacji terenu, maleje wzdłuż drogi spływu wód. Układ linii ekwipotencjalnych w rozpatrywanych systemach krążenia wskazuje na występowanie między nimi kontaktów hydraulicznych.

GÓRNA WARSTWA WODONOŚNA

Warunki filtracji wód w górnej warstwie wodonośnej zostały poznane dość dobrze. Warstwa ta o zróżnicowanej miąższości jest pocięta przez równoleżnikowe uskoki na szereg bloków obniżających się w kierunku doliny rzeki R (fig. 2). W związku z tym w strefach uskokowych górna warstwa wodonośna może znajdować się w bezpośrednim kontakcie z warstwą dolną.

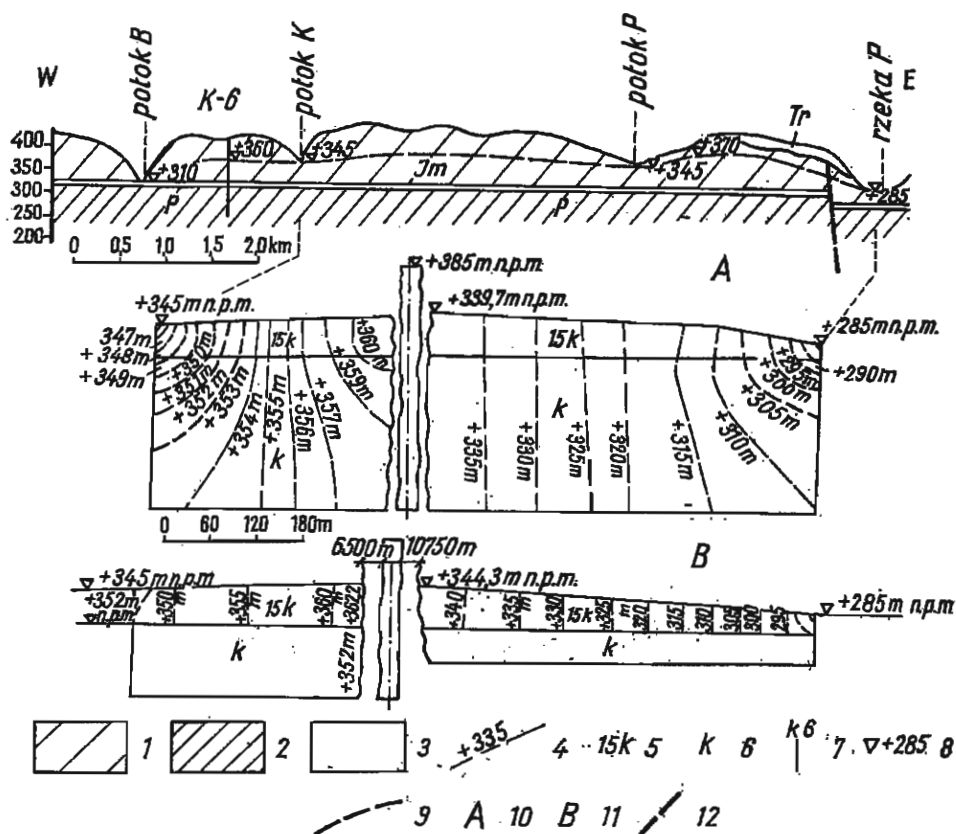


Fig. 4. Przekrój hydrogeologiczny C—C'

Hydrogeological section C—C'

1 — górna warstwa wodonośna; 2 — dolna warstwa wodonośna; 3 — warstwa izolująca; 4 — linie ekwipotencjalne; 5 — współczynnik filtracji górnej warstwy wodonośnej; 6 — współczynnik filtracji dolnej warstwy wodonośnej; 7 — otwór wiertniczy; 8 — rzędne zwierciadła wody w m n.p.m.; 9 — zwierciadło wody; 10 — formowanie się pola ciśnienia w warunkach braku warstwy izolującej dolnego oksfordu; 11 — formowanie się pola ciśnienia w przypadku występowania warstwy izolującej dolnego oksfordu; 12 — uskoki; Jm — wapienie malmu; Tr — iły trzeciorzędu; P — wapienie i piaskowce paleozoiku

1 — upper water-bearing bed; 2 — lower water-bearing bed; 3 — isolating bed; 4 — equipotential lines; 5 — permeability coefficient of the upper water-bearing bed; 6 — permeability coefficient of the lower water-bearing bed; 7 — bore hole; 8 — ordinates of water table in metres above sea level; 9 — water table; 10 — formation of pressure field when Lower Oxfordian isolating bed is missing; 11 — formation of pressure field when Lower Oxfordian isolating bed occurs; 12 — faults; Jm — Malm limestones; Tr — Tertiary clays; P — Palaeozoic limestones and sandstones

Zasilanie rozpatrywanego poziomu wodonośnego odbywa się w północnej części obszaru badań wzdłuż dróg spływu podziemnego. Interpretacja pola ciśnienia wykreślonego na przekroju A—A' wskazuje na spływ wód w kierunku doliny rzeki R. Wartości spadków hydraulicznych wahają się w granicach 1÷4,5‰; wzrastają one w sąsiedztwie potoków i doliny rzeki R.

W zasięgu rowu tektonicznego (fig. 2) — pod przykryciem nieprzepuszczalnych utworów kredy i trzeciorzędu — zwierciadło wód górnej

warstwy jest napięte. Z układu linii ekwipotencjalnych wynika, że występuje tu przepływ boczny, skierowany prostopadle do osi tej struktury. Jest to jednak kierunek pozorny, odpowiadający tylko jednej składowej przepływu. Podstawowy kierunek filtracji wód w górnej warstwie wodonośnej — w zasięgu rowu tektonicznego — zbliżony jest do W—E.

Z przedstawionych rozważań opartych na analizie pola hydrodynamicznego górnej warstwy wodonośnej wynika jej drenaż regionalny przez rów tektoniczny. Przekroje hydrogeologiczne B—B' i C—C' (fig. 3, 4) wskazują na odwadnianie tej warstwy również przez doliny potoków w zasięgu wierzchołków. Zaznacza się to sferycznym układem linii ekwipotencjalnych w bezpośrednim sąsiedztwie wspomnianych dolin (fig. 3). Zagadnienie drenażu zostanie rozpatrzone szerzej przy opisie badań modelu płasko-przestrzennego.

DOLNA WARSTWA WODONOŚNA

Warunki filtracji wód w dolnej warstwie wodonośnej są słabo rozpoznane. W badaniach modelowych uwzględniono wyłącznie stropową część warstwy. Dolna warstwa wodonośna w części południowej badanej zlewni (fig. 2) jest zaburzona uskokami obniżającymi ją schodkowo w kierunku osi rowu tektonicznego.

Ponieważ na opisywanym obszarze utwory paleozoiczne nie odsłaniają się na powierzchni, nie istnieje więc bezpośrednio zasilanie rozpatrywanej warstwy przez opady atmosferyczne. Określono tu zasilanie pośrednie wykonując badania na modelach płaskich, pionowych, biorąc pod uwagę możliwości zasilania dolnej warstwy przez warstwę górną poprzez izolującą serię margli dolnego oksfordu.

Badania przeprowadzono na przekroju A—A' (fig. 2) uwzględniając północną część obszaru, położoną poza zasięgiem stref uskoku rowu tektonicznego. Wyniki badań mogą być jednak obciążone dużym błędem ze względu na słabe rozpoznanie hydrogeologiczne opisywanych poziomów wodonośnych. Na modelu (fig. 2) odtworzono zarejestrowane ciśnienia hydrostatyczne w górnej warstwie wodonośnej. Wodoprzewodność izolujących margli modelowano za pomocą oporników, jak to ilustruje schemat elektryczny przedstawiony na fig. 5. Wartość oporników dobierano metodą kolejnych przybliżeń aż do uzyskania wyników doświadczalnych z obserwacjami ciśnień w warstwie dolnej. Porównując w ten sposób wyniki badań modelowych z wynikami obserwacji terenowych można było odtworzyć na modelu elektrycznym wodoprzewodność warstwy rozdzielającej.

Współczynnik filtracji k_1 serii marglistej rozdzielającej górną i dolną warstwę określono przy pomocy wzoru:

$$k_1 = k \frac{M}{L} \cdot \frac{R_q}{R} \quad [1]$$

gdzie: k = współczynnik filtracji górnej warstwy wodonośnej, $k = 7,6 \cdot 10^{-5}$ m/sek;
 M = miąższość warstwy margli, 5 m;
 L = długość modelowanego odcinka, 325 m;
 R_q = oporność kwadratu papieru elektroprzewodzącego, $R_q = 1877$;
 R = oporność zastępcza modelująca wycinek obszaru $M \times L$, wynosząca 3 M.

Po podstawieniu tych wartości do wzoru otrzymamy:

$$k_1 = k \cdot \frac{5}{325} \cdot \frac{1887}{3 \cdot 10^6} = 0,000\ 076 \cdot 0,000\ 0866 = 6,6 \cdot 10^{-9} \text{ m/sek}$$

Z układu pola ciśnień (fig. 2) wynika, że dolna warstwa wodonośna może być zasilana poprzez serię marglistą.

Dopływ wód do dolnej warstwy z warstwy górnej określono na modelu metodą oporową i przeliczono orientacyjnie przy zastosowaniu wzoru:

$$\frac{q}{k} = \frac{H}{U} \cdot B \cdot R_q \cdot I \quad [2]$$

gdzie: U = napięcie modelujące depresję H ,

I = natężenie prądu na elektrodzie,

B = szerokość wycinka warstwy wodonośnej; pozostałe oznaczenia jak we wzorze 1.

Schemat elektryczny modelu ilustruje fig. 5. Wielkość przepływu określał opornik R_q modelujący wycinek warstwy marglistej 325 m długości. Natężenie prądu na elektrodzie wynosiło $I = 0,9$ A. Po podstawieniu tych danych do wzoru uzyskano wielkość zasilania w postaci przepływu zredukowanego, tj. $\frac{q}{k} = 0,006 \text{ m}^2$.

Kształtowanie się pola ciśnień na przekroju A — A' wskazuje, że przepływ wód w dolnej warstwie odbywał się z północy na południe, ku dolinie rzeki R. Spadki hydrauliczne w północnej części obszaru wynoszą około 6‰, są więc znacznie niższe od analogicznych gradientów w warstwie górnej. Wartości ich wzrastają w strefie dyslokacji ograniczających rów tektoniczny.

Dolna warstwa wodonośna, w obszarze wierzchołcin, przy braku izolującej serii margli może być drenowana przez doliny potoków. Wpływ takiego teoretycznego drenażu przedstawiono na przekroju C — C' (fig. 4). Zasięg jego, uwzględniając sferyczny układ linii ciśnień na wspomnianym przekroju, sięgałby w kierunku pionowym poniżej 200 m.

ROLA STREF USKOKOWYCH W SYSTEMIE KRAŻENIA WÓD PODZIEMNYCH

Dyslokacje uskokowe stwierdzone w południowej części badanego obszaru przemieszczają położenie poziomów wodonośnych i powodują występowanie bezpośrednich kontaktów bocznych górnej i dolnej warstwy wodonośnej (fig. 2). Strefy uskokowe wykazują głównie przebieg równoleżnikowy, prostopadły do kierunku regionalnego spływu wód.

Szczegółowe obserwacje prowadzone przez jednego z autorów (A. Rózkowski, 1970) w otworach wierconych w dolinie K (fig. 1) pozwoliły prześledzić zróżnicowanie ciśnień wód w zdyslokowanym obszarze.

Wyniki obserwacji zostały wykorzystane do konstrukcji modeli AEHD, na których próbowano rozwiązać, jaką rolę odegrały strefy uskokowe w systemie krążenia wód podziemnych opisywanego obszaru. Interpre-

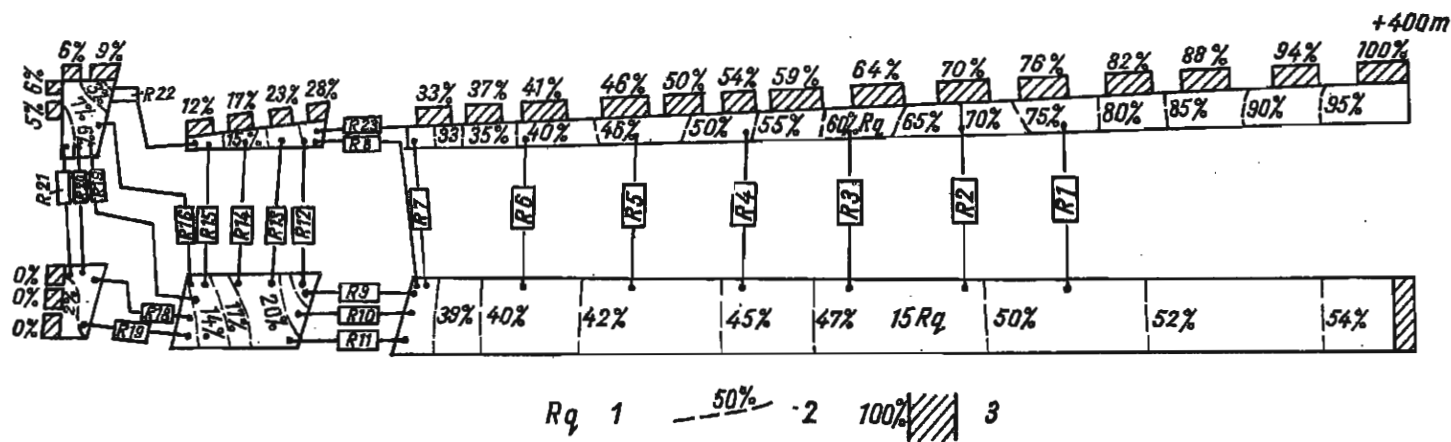


Fig. 5. Schemat elektryczny przekroju A—A'
 Electric log scheme of section A—A'

1 — oporność kwadratu papieru elektroprzewodzącego; 2 — linia ekwipotencjalna; 3 — elektroda zasilająca model
 1 — resistivity of square of electroconducting paper; 2 — equipotential line; 3 — feeder electrode of the model

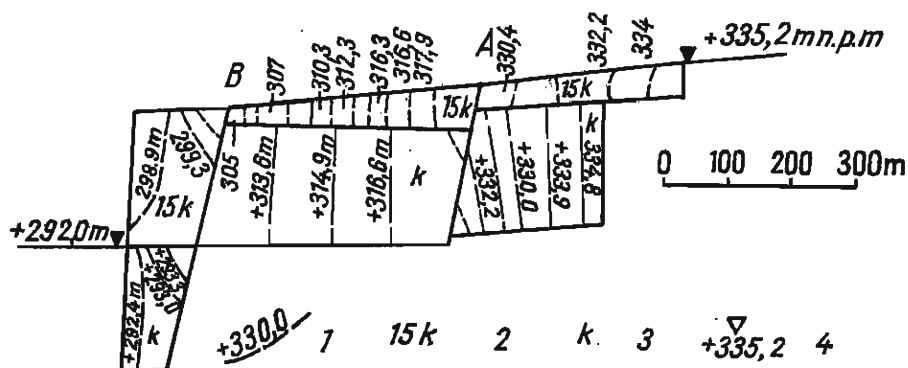


Fig. 6. Formowanie się ciśnień w strefie uskokowej

Formation of pressure in fault zone

1 — linie ekwipotencjalne; 2 — współczynnik filtracji górnej warstwy wodonośnej; 3 — współczynnik filtracji dolnej warstwy wodonośnej; 4 — rzędne zwierciadeł wody w m n.p.m. na granicach modelu

1 — equipotential lines; 2 — permeability coefficient of the upper water-bearing bed; 3 — permeability coefficient of the lower water-bearing bed; 4 — ordinates of water tables in metres above sea level at the boundary of the model

tacja wyników badań w tym zakresie oparta jest na układzie pola ciśnień przekroju hydrodynamicznego (fig. 6) oraz na pomiarach elektrycznych wykonanych dla tego modelu.

Układ ciśnień przedstawiony na przekroju hydrodynamicznym w sąsiedztwie uskoku A wykazuje duży spadek ciśnień. Wspomniane obniżenie wartości ciśnień obserwuje się zarówno w górnej, jak i w dolnej warstwie wodonośnej bloku zrzuconego. W przypadku warstwy górnej różnice ciśnień mieszczą się w granicach 330,4÷317,9 m. Spadek ciśnień w dolnej warstwie wodonośnej określają wartości linii ekwipotencjalnych 332,2÷317,9 m. Znaczne zróżnicowanie ciśnień należy tłumaczyć działaniem uskoku zbliżonym do działania ekranu słabo przepuszczalnego. W tej sytuacji wody w bloku północnym ulegają wypiętrzeniu. Analiza pola ciśnień w strefie uskoku B wskazuje na występowanie podobnego zjawiska. Niewielki spadek ciśnień w górnej strefie wodonośnej sugeruje jednak większą drożność uskoku w strefie przypowierzchniowej.

W obszarze dyslokacji ograniczających rów krzeszowicki (fig. 2) zaznacza się zróżnicowanie ciśnień między górną i dolną warstwą wodonośną. Ciśnienia w tej ostatniej są wyższe, co wskazuje na zasilanie warstwy górnej przez warstwę dolną. Przepływ wód może mieć jednak miejsce wyłącznie wzdłuż strefy uskokowej, a wielkość jego uzależniona jest od drożności tej strefy.

Wielkość zasilania określono orientacyjnie metodą oporową stosując do obliczeń wzór 2. Schemat elektryczny modelu przedstawiony jest na fig. 5. Zasilanie warstwy górnej przez warstwę dolną w strefie uskoku A modelował opornik R_0 . Natężenie przepływającego prądu wynosiło $I = 1,3$ A. Po podstawieniu parametrów hydrogeologicznych z przekroju hydrogeologicznego (fig. 2) do wzoru 2 uzyskano wartość przepływu zre-

dukowanego $\frac{q}{k} = 0,008$ m². Stosując wspomnianą metodę do określania

wielkości zasilania warstwy górnej w strefie uskoku B, symulowanego opornikiem R_{17} , uzyskano wielkość przepływu zredukowanego rzędu $0,315 \text{ m}^2$. Różne wartości przepływów zredukowanych należy wiązać przypuszczalnie ze zmiennymi wielkościami powierzchni bezpośrednich kontaktów warstw w rozpatrywanych strefach uskokowych.

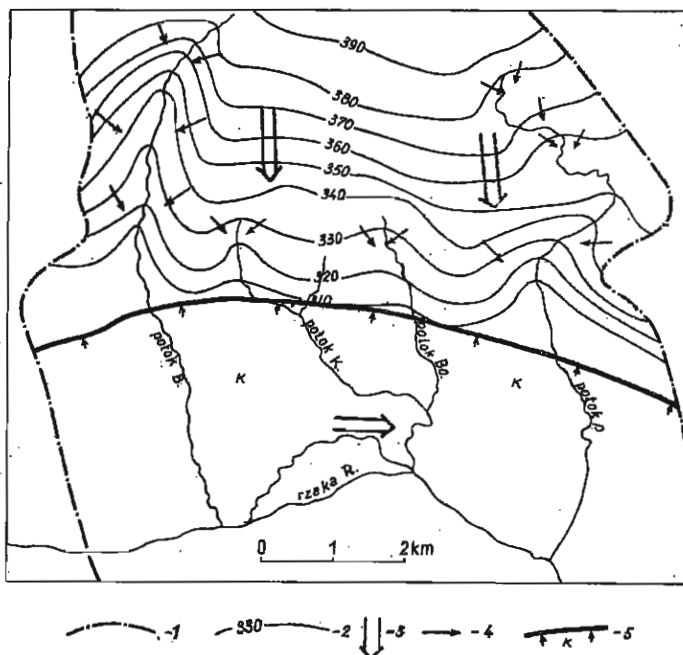


Fig. 7. Interpretacja wyników badań na modelu płasko-przestrzennym

Interpretation of results of investigation on a flat three-dimensional model

1 — granice zlewni; 2 — hydroizochipsy; 3 — generalny kierunek przepływu; 4 — lokalny kierunek przepływu; 5 — granica występowania utworów kredy w zasięgu rowu tektonicznego

1 — boundary of catchment area; 2 — hydroisohypses; 3 — general direction of flow; 4 — local direction of flow; 5 — boundary of Cretaceous formations within the graben

PRZEDSTAWIENIE POLA HYDRODYNAMICZNEGO NA MODELU PŁASKO-PRZESTRZENNYM

Badania na modelu płasko-przestrzennym ograniczone były do górnej warstwy wodonośnej. Model wykonano w skali 1 : 10 000, która umożliwiła zamodelowanie niedogłębionych cieków powierzchniowych. Konstrukcja modelu i przyjęte założenia hydrogeologiczne modelu zostały omówione uprzednio.

Na fig. 7 przedstawiono wyniki badań modelowych północnej części obszaru. Wartości ciśnień układają się w granicach $+420 \div +310 \text{ m}$. Generalny spadek ciśnień hydrostatycznych wynoszący około 1‰ przebiega

zgodnie z nachyleniem wierzchowin w kierunku południowym, ku dolinie rzeki R. Obserwuje się występowanie ścisłej, lecz nieco złagodzonej zależności konfiguracji powierzchni zwierciadła wody od rzeźby terenu. Dolina rzeki R, jak to wynika z układu hydroizohips, jest podstawą drenażu górnej warstwy wodonośnej w badanej zlewni podziemnej. Podziemny dział wodny pokrywa się w rozpatrywanym przypadku z działem powierzchniowym.

Regionalny spływ wód w górnej warstwie wodonośnej w kierunku doliny rzeki R jest zakłócony drenującym wpływem dolin potoków: B, K, Bo, P (fig. 7). Odwadniająca wpływ potoków powoduje w granicach badanej zlewni występowanie zlewni lokalnych. Obszarami zasilania i działaniami wodnymi tych ostatnich są wierzchowiny położone między poszczególnymi dolinami. Zasięg drenującego wpływu dolin, jak to wynika z przebiegu hydroizohips, jest ograniczony. Wpływa na to południkowy przebieg dolin równoległy do kierunku regionalnego spływu wód. Istotną rolę odgrywa również niedogłębienie dolin do spągu warstwy wodonośnej. Niepełny drenaż górnej warstwy wodonośnej przez doliny potoków powoduje podziemny spływ części wód poprzez strefę uskoku do rowu tektonicznego. Opisany model hydrodynamiczny potwierdza warunki krążenia wód w górnej warstwie wodonośnej, określone metodą pomiarów ciśnień potencjalnych w piezometrach (A. Rózkowski, 1970).

Próbie określenia wielkości drenażu regionalnego dokonano w oparciu o obliczenie zredukowanych wydatków filtracji. Wykorzystano do tego celu metodę oporową przyjmując wzór:

$$\frac{q}{k} = \frac{H}{U} \cdot \frac{M}{g} \cdot \frac{1}{c} \cdot I \quad [3]$$

gdzie: H = depresja zwierciadła wody, $H = 200$ m,
 M = miąższość warstwy wodonośnej, $M = 100$ m,
 U = napięcie elektryczne modelujące depresję H ; $U = 13,5$ V,
 I = natężenie prądu elektrycznego,
 c = przewodność właściwa, $c = 0,15$ Sm⁻¹,
 g = grubość modelu, $g = 0,01$ m.

Po podstawieniu tych danych do wzoru zredukowany wydatek filtracji dla poszczególnych potoków kształtuje się następująco:

Potok B ($I = 28,4$ mA):

$$\frac{q}{k} = \frac{200}{13,5} \cdot \frac{100}{0,01} \cdot \frac{1}{0,5} \cdot 28,4 \cdot 10^{-3} = 27\,960 \text{ m}^2$$

Potok Bo ($I = 11,61$ mA):

$$\frac{q}{k} = \frac{200}{13,5} \cdot \frac{100}{0,01} \cdot \frac{1}{0,15} \cdot 11,61 \cdot 10^{-3} = 11\,480 \text{ m}^2$$

Potok P ($I = 22,68$ mA):

$$\frac{q}{k} = \frac{200}{13,5} \cdot \frac{100}{0,01} \cdot \frac{1}{0,15} \cdot 22,68 \cdot 10^{-3} = 22\,320 \text{ m}^2$$

Dolina R ($I = 23,2$ mA):

$$\frac{q}{k} = \frac{200}{13,5} \cdot \frac{100}{0,01} \cdot \frac{1}{0,15} \cdot 23,2 \cdot 10^{-3} = 22\ 840 \text{ m}^2$$

Sumaryczny odpływ zredukowany do podstawowych potoków wynosi 67 760 m².

Z przedstawionych wyników obliczeń można wnioskować, że w zasięgu rozpatrywanej zlewni 73% wód górnej warstwy wodonośnej jest drenowany przez potoki, reszta (27% wód) dopływa do rowu tektonicznego.

Wykonane obliczenia należy traktować wyłącznie jako wartości orientacyjne ze względu na zaobserwowane niezgodności modelu z wynikami badań terenowych. Niezgodności te dotyczą przede wszystkim obszaru rowu tektonicznego. Dla tej części badanego obszaru nie udało się w sposób wiarygodny odtworzyć na modelu warunków filtracji wód w górnej warstwie wodonośnej. Przyczyną tego stanu rzeczy było zbyt słabe rozpoznanie hydrogeologiczne wspomnianej struktury oraz trudności odtworzenia na modelu wpływu dyslokacji ograniczających rów tektoniczny. Skonstruowany model wykazał jedynie wyraźne zróżnicowanie pola ciśnień w ramach poszczególnych bloków, na jakie rów ten jest podzielony. Granice tych bloków wyznaczają uskoki o przebiegu południkowym. Działają one prawdopodobnie jak półprzepuszczalny ekran. Wyników badań modelowych dla tej części badanego obszaru nie przedstawiono graficznie ze względu na małą ich dokładność.

WNIOSKI

Z przedstawionych wyżej opisów i wyników badań można wyprowadzić następujące wnioski:

1. W badanym obszarze, położonym w zlewni rzeki R, występują dwie warstwy wodonośne stanowiące oddzielne systemy krążenia wód podziemnych. Pierwsza z nich związana jest z wapieniami malmu, druga z piaskowcami doggeru oraz wapieniami, dolomitami i piaskowcami paleozoiku. Warstwę izolacyjną stanowią margle dolnego oksfordu oraz lokalnie ility liasu.

2. Budowa geologiczna obszaru oraz układ ciśnień potencjalnych w wspomnianych systemach krążenia wskazują na istnienie związków hydraulicznych między tymi ostatnimi. Związki te mogą występować wzdłuż stref uskokowych oraz w nieznacznym stopniu poprzez warstwę izolacyjną.

3. Górna warstwa wodonośna, reprezentowana przez poziom wodonośny malmu, zasilana jest bezpośrednio przez opady atmosferyczne. Lokalnie, w zasięgu stref uskokowych rowu tektonicznego, jest ona zasilana przez dolną warstwę wodonośną. Regionalny kierunek spływu wód skierowany jest ku dolinie rzeki R. Ułożenie zwierciadła wody jest odbiciem morfologii terenu. Wodonośność warstwy wzrasta wzdłuż dróg krążenia osiągając maksymalne wartości w obszarach drenażu. Górna warstwa wodonośna odwadniana jest głównie przez doliny potoków stanowiących dopływy rzeki R. Drenująca rola rowu tektonicznego, stanowiącego dolinę rzeki R, jest ograniczona. Rozkład ciśnień potencjalnych badanej zlewni wykazuje bowiem stosunkowo małą współzależność systemów krążenia

w rowie tektonicznym i w obszarze wierzchowin. Strefa uskoków ograniczających rów tektoniczny działa jak półprzepuszczalny ekran. Również uskoki poprzeczne w zasięgu rowu tektonicznego posiadają częściowo charakter izolacyjny, powodując podpiętrzanie wód. Wspomniana izolacyjna rola uskoków w rozpatrywanym systemie krążenia wymaga jednak jeszcze dodatkowego potwierdzenia dalszymi, szczegółowymi badaniami hydrogeologicznymi.

4. Dolna warstwa wodonośna jest zasilana w północnej części badanego obszaru wyłącznie pośrednio poprzez słabo przepuszczalne margle dolnego oksfordu oraz strefami uskókowymi. Regionalny spływ wód w opisywanej warstwie skierowany jest w kierunku rowu tektonicznego. Dolna warstwa wodonośna w przypadku braku izolującej serii margli może być lokalnie drenowana przez doliny potoków. Wodonośność utworów paleozoiku jest niższa od wodonośności utworów malmu.

5. Wyniki przeprowadzonych badań na modelach płaskich i płaskoprzestrzennych są obarczone błędami. W warunkach izotropowego i jednorodnego środowiska błąd stosowanej metody AEHD nie przekracza 10%. W środowisku wód szczelinowo-krasowych będzie on wyższy. Badania warunków filtracji wód w tego typu środowisku należy w przyszłości prowadzić na analizatorze pola z uwzględnieniem zasilania opadami atmosferycznymi. W szczególności wydaje się interesujące badanie procesów filtracji nie ustalonej, wynikłej ze zmian w zasilaniu i drenażu warstw wodonośnych. Ze względu na niedostateczne rozpoznanie hydrogeologiczne badanego terenu oraz błędy wynikłe ze stosowanej metody wykonane przeliczenia należy przyjąć za orientacyjne. Charakterystyka warunków i dróg filtracji nie budzi naszym zdaniem większych zastrzeżeń. Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że tego typu modelowanie może być w przyszłości wykorzystane do przedstawiania dróg filtracji oraz do przybliżonej oceny wielkości przepływów.

Oddział Górnośląski
Instytutu Geologicznego
Sosnowiec, ul. Białego 3
Zakład Geologii Kopalnianej
Głównego Instytutu Górnictwa
Katowice, Pl. Gwarków 1
Nadesłano dnia 27 października 1970 r.

PISMIENICTWO

- KARPLUS W. J. (1958) — Analog Simulation. New York.
- ROZKOWSKI A. (1970) — Badania przepływu wód metodą pomiarów ciśnień potencjalnych. Kwart. geol., 14, p. 361—378. nr 2, Warszawa.
- ДРУЖИНИН Н. И. (1956) — Метод электро-гидродинамических аналогий и его применение при исследовании фильтрации. Москва.
- ДРУЖИНИН Н. И. (1966) — Изучение региональных потоков подземных вод методом электро-гидродинамических аналогий. Издат. НЕДРА. Москва.

Анджей РУЖКОВСКИ, Анджей СТАХУРА

УСЛОВИЯ ФИЛЬТРАЦИИ ВОД В ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ, ВЫБРАННОЙ НА ЮГЕ ПОЛЬШИ

Резюме

В работе представлены результаты исследований условий фильтрации подземных вод в бассейне реки Р. В состав упомянутого бассейна входит фрагмент юрских возвышенностей, а также плоской формы долины реки Р, расположенной в границах тектонической впадины.

Исследования проводились методом электрогидродинамической аналогии (ЭГДА). Конструкция электрических аналоговых моделей основывается на применении электропроводных бумаг и электролитической ванны. Крайние условия моделей определены на основании результатов ранее проведенных полевых гидрогеологических исследований. Целью аналоговых исследований являлось представление на двухслойных плоских электрических моделях условий формирования гидродинамического поля исследованного бассейна. Анализ условий формирования гидродинамического поля позволил определить пути фильтрации и выделить отдельные системы циркуляции.

В результате проведенных работ в исследуемом бассейне выделено 2 водоносных горизонта, представляющих собой отдельные системы циркуляции. Первый из них связан с известняками маляма, другой — с песчаниками доггера, а также палеозойскими известняками, доломитами и песчаниками. В пределах тектонической впадины отложения доггера составляют независимый водоносный горизонт. Изолирующей серией между выделенными водоносными горизонтами являются мергели нижнего оксфорда и места глины лейаса. Формирование поля потенциальных давлений указывает на наличие между упомянутыми горизонтами локальных гидравлических связей.

Верхний водоносный пласт питается непосредственно атмосферными осадками. Локально, в пределах сбросовых зон грабена, он также питается за счет нижнего водоносного пласта. Региональное течение вод направлено к долине реки Р. Положение зеркала воды является отражением морфологии. Описываемый пласт дренируется главным образом долинами потоков, являющихся притоками реки Р. Дренажная роль грабена ограничена. Зона сбросов, определяющих положение грабена, действует как полупроницаемый экран.

Нижний водоносный пласт питается в северной части исследуемой территории исключительно промежуточным путем через слабо проницаемые мергели нижнего оксфорда и зоны сбросов. Сток вод направлен в сторону грабена. Описываемый пласт в случае отсутствия изолирующей серии мергелей может локально дренироваться долинами потоков.

Andrzej RÓZKOWSKI, Andrzej STACHURA

CONDITIONS OF WATER FILTRATION IN JURASSIC FORMATIONS EXEMPLIFIED BY A SELECTED AREA IN SOUTH POLAND

Summary

The paper presents the results of the research of the groundwater flow conditions of in the catchment area of river R. This area comprises a fragment of the Jurassic upper reaches and the flat form of the river valley R, within the graben.

The research has been made by means of electrohydrodynamical analogy method (AEHD). The construction of the electric analog models has been based on electroconductive papers and on electrolytic tank. Boundary conditions of models have been determined on the basis of the field hydrogeological examinations made previously. The purpose of the analog studies was to present on two-layer flat electric models the conditions of formation of hydrodynamic field of the catchment area investigated. The analysis of the conditions of formation of hydrodynamic field allowed the authors to determine filtration path and to distinguish the individual systems of circulation.

Two water-bearing beds have been distinguished within the catchment area investigated; these represent two separate systems of water circulation. The first one is related to the Malm limestones, the second — to the Dogger sandstones, as well as to the Palaeozoic limestones, dolomites and sandstones. Within the graben, the Dogger formations make a separate water-bearing horizon there. Isolation series between the water-bearing beds consists of the Lower Oxfordian marls, locally of the Liassic clays. The formation of the potential pressure field points to the occurrence of local hydraulic relations between the beds considered.

The upper water-bearing bed is fed directly by atmospheric precipitations. Locally, within the fault zones of the graben, this bed is fed by the lower water-bearing bed too. The regional direction of water flow runs towards the valley of river R. The arrangement of water table corresponds to the morphology of the area. The bed under consideration is drained mainly by the valleys of the streams which are tributaries of river R. The draining role of the graben is restricted, however, mainly due to a fact that the zone of the faults determining the graben plays a part of a semi-permeable screen.

The lower water-bearing bed is fed, in the northern part of the area in study, only indirectly through the feebly permeable marls of Upper Oxfordian age, and the fault zones. Water flow is directed towards the graben. Where the isolating series is absent, the bed may be drained at places by local stream valleys.