

Andrzej HAŁADUS, Jacek MOTYKA, Andrzej SZCZEPAŃSKI, Zbigniew WILK*

PROGNOZOWANIE METODĄ MODELOWANIA
ANALOGOWEGO DOPŁYWÓW WODY DO KOPALŃ
PRACUJĄCYCH W SKAŁACH SZCZELINOWO-KRASOWYCH

(11 fig.)

*Forecasting of ground-water inflow into mines in fissure-karst
horizons using the electric analog simulation method*

(11 Figs.)

Treść: W pracy przedstawiono przykład prognozy dopływów do istniejących kopalń eksploatujących złoża kopaliny zalegające w warstwie spękanych i skrasowanych wapieni oraz dolomitów, którą opracowano na podstawie badań za pomocą siatkowego analizatora pola. Skonfrontowano wyniki prognozy z rzeczywistymi dopływami i rozkładem ciśnienia piezometrycznego dla początkowej fazy okresu prognozy. Wyniki konfrontacji wskazują, że w konkretnym przypadku zastosowanie metody modelowania dla warunków skał szczelinowo-krasowych dało wyniki, których dokładność odpowiada praktycznym potrzebom.

WSTĘP

Zagadnienie prognozowania wielkości dopływów do kopalń głębiny-
wych można traktować jako zadanie określenia wydatku ujęcia wody
podziemnej. Kopalnie podziemne są jednak ujęciami szczególnego ro-
dzaju, które w porównaniu z ujęciami klasycznymi typu studni wier-
czonej wykazują szereg istotnych różnic. Różnice te warunkują osiągalny
stopień wiarygodności wyników, którego miarą jest zgodność dopływu
prognozowanego z rzeczywistym. Jedną ze specyficznych cech kopalni
jako ujęcia wodnego jest np. fakt, że jej przestrzenne parametry (kon-
tury, głębokość), które współdecydują o wielkości dopływów, są zazwy-
czaj funkcją czasu. Z rozmaitych przyczyn m. in. technicznych, geolo-
gicznych i koniunkturalnych funkcja ta na ogół rzadko kiedy może być
dokładnie znana z dostatecznym wyprzedzeniem. Dlatego też prognozo-

* Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Akademia Górniczo-Hutnicza
im. St. Staszica, al. Mickiewicza 30, Kraków 30-059

wanie zawodnienia kopalń jest zadaniem bardzo trudnym i złożonym. Rozwiązuje się je zazwyczaj za pomocą jednego z następujących sposobów: bilansu wodnego, podobieństwa (analogii) hydrogeologicznego, metod statystycznych, modelowania analogowego lub wzorów hydrodynamiki podziemnej. Te ostatnie stosuje się ostatnio przy użyciu metod numerycznych i maszyn cyfrowych.

Metoda modelowania analogowego znajduje zastosowanie przeważnie wówczas, gdy złożę eksploatowane przez kopalnię zalega w skałach porowatych. Rzadko natomiast stosuje się ją w przypadku skał szczelinowych, czy szczelinowo-krasowych. Powodem tego są m. in. różnice między założeniami leżącymi u podstaw metody modelowania (ważność prawa Darcy'ego) a domniemanym turbulentnym charakterem ruchu w skałach szczelinowo-krasowych.

W niniejszym artykule przedstawiono przykład prognozy dopływów do istniejących kopalń, eksploatujących złożę zalegające w warstwie spękanych i skrasowanych dolomitów oraz wapieni, który dowodzi, że w pewnych warunkach wspomniana metoda może być stosowana z dokładnością odpowiadającą praktycznym potrzebom.

KRAŻENIE WÓD PODZIEMNYCH W BADANYM OBSZARZE FILTRACJI

Warunki hydrogeologiczne rozpatrywanego pola filtracji zostały omówione w kilku wcześniejszych publikacjach (Wilk i in. 1971; Wilk, Zimny, 1973; Wilk, Motyka, 1977). W profilu geologicznym tego obszaru występują cztery piętra wodonośne: czwartorzędowe, jurajskie, triasowe i paleozoiczne (fig. 1).

Najwyższe czwartorzędowe piętro wodonośne występuje w piaskach z wkładkami żwirów, rumoszach oraz podrzędnie osadach pylastych, ilastych i gliniastych. Wodonośne piętro jurajskie związane ze spękanyimi wapieniami płytowymi i skalistymi malmu jest rozwinięte tylko we wschodniej części badanego obszaru. Reprezentuje ono typ zbiornika szczelinowego lub szczelinowo-krasowego. Podobnym typem zbiornika jest paleozoiczne piętro wodonośne zbudowane z wapieni i dolomitów dolnokarbońskich i dewońskich.

Triasowe piętro wodonośne, które było przedmiotem przeprowadzonych badań analogowych, jest zbudowane z wapieni i dolomitów wapienia muszlowego i retu. Za Zimnym (1964) oraz Wilkiem i in. (1971) dla potrzeb modelowania przyjęto, że spękane osady triasu w rozpatrywanym rejonie są przepuszczalne w całym profilu pionowym. Założenie takie potwierdzone ostatnio wynikami badań (Motyka, Wilk, 1976) upraszcza modelowanie analogowe, gdyż pozwala traktować wodonośne utwory triasu jako horyzont jednowarstwowy.

Wodoprzepuszczalność triasowego piętra wodonośnego mieści się w bardzo szerokim przedziale (Motyka, Wilk, op. cit.).

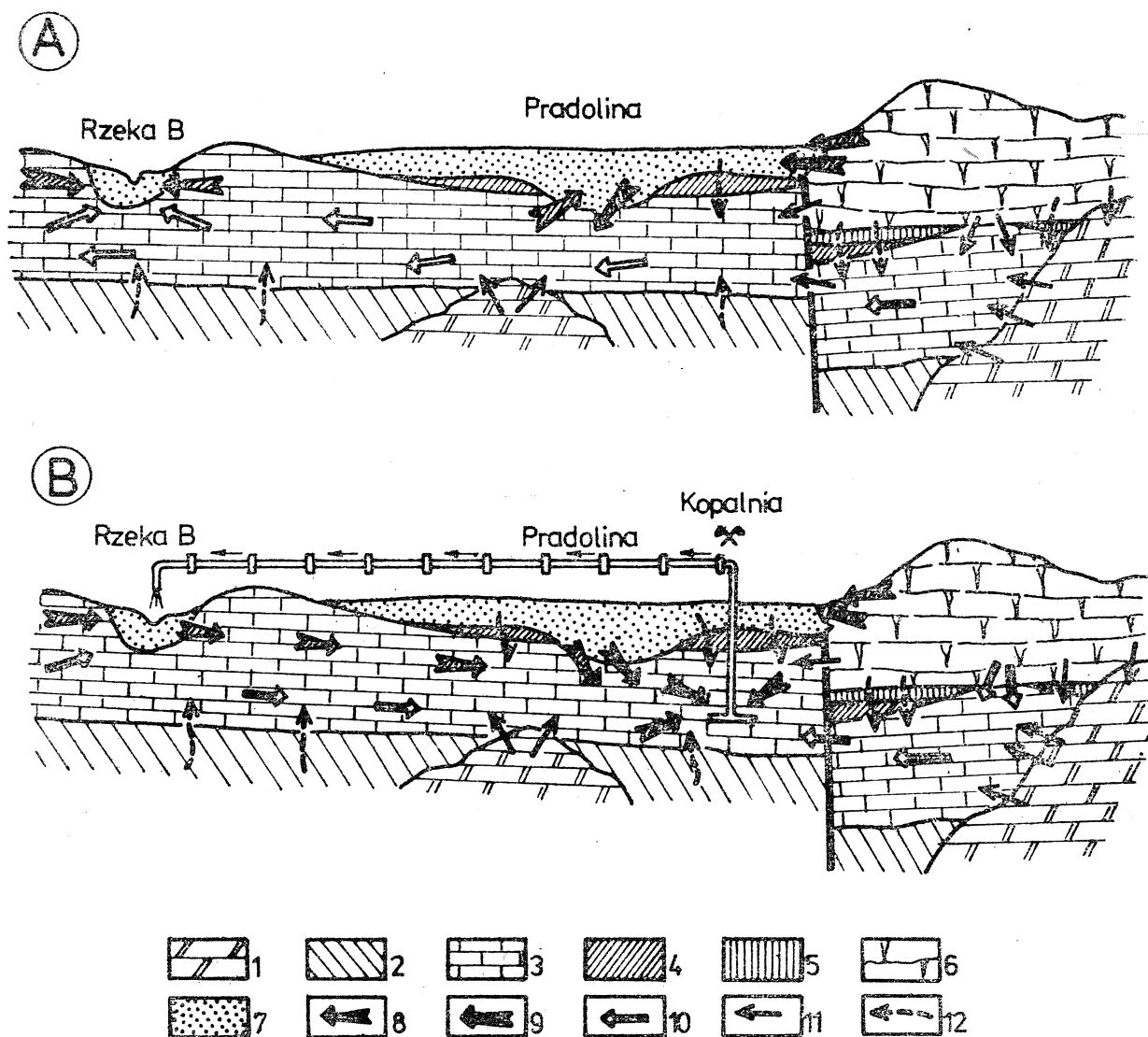
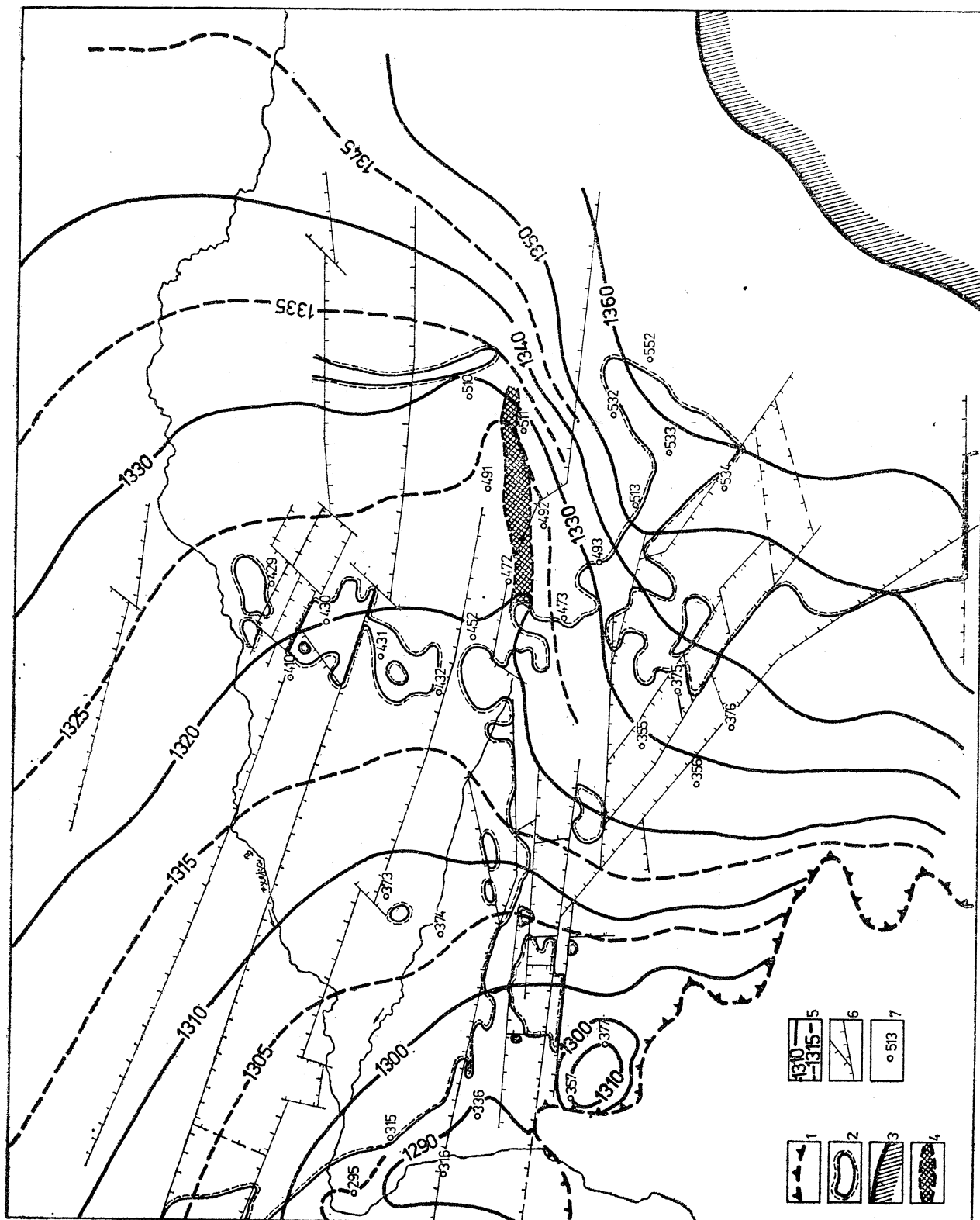


Fig. 1. Schemat krążenia wód podziemnych w badanym obszarze. A. Warunki naturalne; B. Warunki zakłócone działalnością górnictwa i ujęć wód podziemnych. 1 — dewon, seria węglanowa; 2 — perm, zlepieńce, gliny; 3 — trias, ret i wapień muszlowy, seria węglanowa; 4 — trias, kajper, seria ilasta; 5 — jura, 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. Ground-water circulation diagram in the investigated area. A. Natural conditions; B. Conditions disturbed by mining operations and ground-water supplies. 1 — Devonian, carbonate series; 2 — Permian, conglomerates, clays; 3 — Triassic, Roethian and Muschelkalk, carbonate series; 4 — Triassic, Keuper, clay series; 5 — Jurassic, marls; 6 — Jurassic, limestones; 7 — Quaternary, sands, weathered rocks; 8 — intensive water circulation and quick water exchange; 9 — very easy water circulation; 10 — easy water circulation; 11 — difficult water circulation; 12 — very difficult water circulation and slow water exchange

Przy średnim współczynniku filtracji równym $6,5 \times 10^{-5}$ m/s jego minimalna wartość wynosi $1,6 \times 10^{-7}$ m/s, a maksymalna $4,7 \times 10^{-3}$ m/s. Współczynnik odsączalności charakteryzujący pojemność wodną węglanowych skał triasowych osiąga średnio 0.05 w południowej części rejonu, zaś 0,026 w części centralnej (Motyka, 1975).

Drogi krążenia wód podziemnych w rozpatrywanym obszarze filtra-



cji są bardzo skomplikowane (fig. 1). Wpływa na to złożona budowa geologiczna terenu badań, a także różnorodne — przy tym często niezbyt dobrze rozpoznane — warunki zasilania i drenażu poszczególnych pięter wodonośnych. Ponadto piętra te pozostają ze sobą w więzi hydraulicznej, której formy są bardzo urozmaicone (Wilk, Motyka, 1977), a kontury stref kontaktów poza nielicznymi wyjątkami nie są znane.

Zasilanie triasowego piętra wodonośnego odbywa się drogą bezpośredniej infiltracji opadów na wychodniach lub pośredniej poprzez pokrywę osadów czwartorzędowych. Zwierciadło wody w utworach jurajskich i paleozoicznych kształtuje się wyżej niż w skałach triasowych. Stąd też kontakty hydrauliczne między tymi piętrami a wodonośnymi skałami triasowymi są strefami zasilania triasu wodami dopływającymi z jury i paleozoiku. W warunkach reżimu naturalnego wodonośne piętro triasowe było zapewne zasilane poprzez czwartorzęd w strefach erozyjnych kontaktów hydraulicznych obu pięter wodonośnych (fig. 1A).

Drenaż triasowego piętra wodonośnego w warunkach naturalnych odbywał się głównie za pośrednictwem cieków powierzchniowych i źródeł. W północnej części rejonu piętro to było ponadto drenowane przez strefy erozyjnych kontaktów hydraulicznych z utworami czwartorzędowymi. Lokalny drenaż omawianego piętra wodonośnego odbywał się prawdopodobnie także przez systemy form krasowych rozwiniętych w skałach wapienia muszlowego (fig. 2). Konieczność uwzględnienia takiego lokalnego, bliżej nie zidentyfikowanego systemu drenującego we wschodniej części obszaru, wyłoniła się w trakcie przeprowadzonych badań analogowych.

W warunkach reżimu zakłóconego poborem dużych ilości wód z utworów triasu i odwadniania kopalni rud uległy zmianie kierunki wód podziemnych (fig. 1B). W miejsce prawie ustalonych warunków przepływu triasowych wód ku rzece B powstało nie ustabilizowane pole filtracji o liniach prądu skierowanych do lokalnych baz drenażu (ujęcia odwadniające wyrobiska kopalń) położonych znacznie poniżej naturalnej pod-

Fig. 2. Pierwotny układ pola hydrodynamicznego w badanym obszarze. 1 — zasięg wychodni utworów triasu pod czwartorzędem; 2 — zasięg utworów nieprzepuszczalnych pokrywających węglanowe osady triasu; 3 — strefa kontaktu hydraulicznego typu sedymentacyjno-transgresywnego pomiędzy triasowym i dewońskim piętrzem wodonośnym; 4 — przypuszczalny zasięg hipotetycznego systemu form krasowych w węglanowych utworach triasu; 5 — linie ekwipotencjalne pola hydrodynamicznego w triasowym piętrze wodonośnym z podaną wysokością ciśnienia w jednostkach umownych (UJW); 6 — uskoki; 7 — środek i numer bloku obliczeniowego, w którym założono warunek brzegowy wewnętrzny

Fig. 2. Primary hydraulic head distribution in the investigated area. 1 — the extend of Triassic rocks under Quaternary; 2 — the extend of impermeable formations covering Triassic carbonate deposits; 3 — hydraulic contact zone of sedimentary and transgressive type between Triassic and Devonian water-bearing horizons; 4 — the supposed extend of the hypotetic karst channel system in Triassic carbonate rocks; 5 — equipotential hydraulic head lines in Triassic water-bearing horizon in coventional units of measure (UJW); 6 — faults; 7 — the center and the number of calculation block, in which internal boundary condition is assumed

stawy drenażu. Uległy także powiększeniu gradienty hydrauliczne, a w ślad za tym wzrosły prędkości przepływu wody w skałach triasowych. Na pewnych obszarach badanego pola filtracji, szczególnie w bliskim otoczeniu wyrobisk kopalnianych lub studni, ruch wód podziemnych przeszedł z laminarnego w burzliwy lub mieszany.

Zmiana kierunków przepływu wód podziemnych zintensyfikowała wymianę wody w strefach kontaktów hydraulicznych utworów triasu z innymi piętrami wodonośnymi. W strefach kontaktów erozyjnych czwartorzędu z triasem nastąpiło odwrócenie kierunku i intensyfikacja przepływu wód z piętra czwartorzędowego do triasowego (fig. 1B). Odwrócenie kierunku przepływu obserwuje się także w otoczeniu cieków powierzchniowych posiadających więź hydrauliczną z drenowanymi skałami wodonośnymi.

W strefach kontaktów tektonicznych jurajskiego z triasowym piętrzem wodonośnym powstają warunki do wzmożonego przepływu wód z utworów jury do triasu wskutek powstania gradientów poprzecznych do dyslokacji. W strefach kontaktów hydraulicznych typu sedymentacyjno-transgresywnego pomiędzy tymi piętrami powstają warunki do intensyfikacji naturalnego przepływu wody z jury do triasu (fig. 1B).

Na podstawie ogólnych przesłanek geologicznych i hydrogeologicznych można przypuszczać, że ważną rolę w zasilaniu utworów triasu odgrywają strefy hydraulicznych kontaktów typu sedymentacyjno-transgresywnego wodonośnych utworów paleozoicznych z triasowym (fig. 1). Zmniejszenie naporu hydraulicznego w skałach triasowych pod wpływem ujmowania wody i odwadniania kopalń stwarza warunki do wzmożonej ascenzji wód z paleozoiku do triasu. Słabe rozpoznanie tego typu kontaktów hydraulicznych nie pozwala na pełne uwzględnienie ich w przeprowadzonych badaniach modelowych.

GRANICZNE WARUNKI ROZWIĄZANIA

Założenia ogólne

Badaniami modelowymi, które zostały wykonane na siatkowym analizatorze pola AP-600, objęto obszar o powierzchni ponad 400 km², a przy uwzględnieniu warunków brzegowych zewnętrznych (fig. 3) ponad 500 km². Rozpatrywane pole filtracji zostało podzielone na bloki obliczeniowe po przyjęciu kwadratowej siatki o kroku $\Delta x = \Delta y = 1250$ m. W niniejszej pracy przedstawiono jedynie fragment badanego obszaru wpływający bezpośrednio na wyniki obliczeń prognostycznych.

Przeprowadzone badania analogowe zostały wykonane w oparciu o podstawowe równania przepływu Fouriera (warstwa naporowa) i Bousinesqua z tym, że pominięto pionową składową filtracji. Zdaniem Śmiejańskiego (1969) wyniki obliczeń nie są z tego powodu obarczone istot-

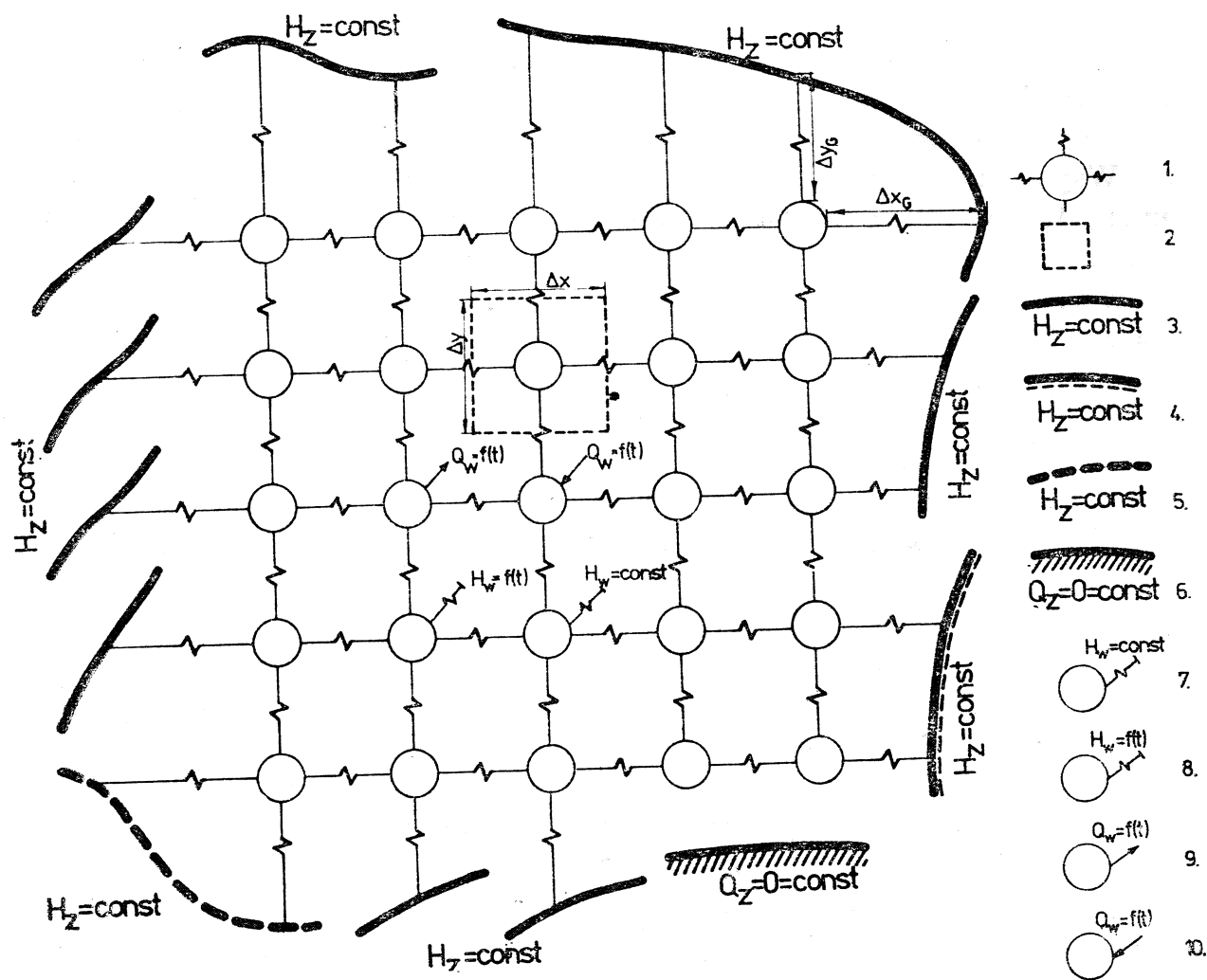


Fig. 3. Diagram of boundary conditions in the sectors of the investigated area. 1 — net junction of field analyser (knot) corresponding to the center of gravity of the calculation block; 2 — calculation block where Δx and Δy are the lengths of the block sides; 3 — external boundary condition of the 1st kind (contour of the constant hydraulic head); 4 — external boundary condition of the 1st kind, corresponding with the hydraulic head isoline contour of the hydraulic contact zone of Devonian and Triassic; 5 — external boundary condition of the 1st kind, hydraulic head varies along outcrops of carbonate Triassic under the Quaternary; 6 — external boundary condition of the 2nd kind, impermeable fault zone; 7 — internal boundary condition of the 1st kind, hydraulic contact with river B, with respect to the supposed karst solution channel or cavern passages system in the Triassic; 8 — internal boundary condition of the 1st kind, erosional hydraulic contact of the Triassic with the Quaternary; 9 — internal boundary condition of the 2nd kind, ground-water extraction from Triassic aquifer by ore mines and municipal water supplies; 10 — internal boundary condition of the 2nd kind, indirect recharge of the Triassic aquifer from Jurassic or Devonian

Fig. 3. Diagram of boundary conditions in the sectors of the investigated area. 1 — net junction of field analyser (knot) corresponding to the center of gravity of the calculation block; 2 — calculation block where Δx and Δy are the lengths of the block sides; 3 — external boundary condition of the 1st kind (contour of the constant hydraulic head); 4 — external boundary condition of the 1st kind, corresponding with the hydraulic head isoline contour of the hydraulic contact zone of Devonian and Triassic; 5 — external boundary condition of the 1st kind, hydraulic head varies along outcrops of carbonate Triassic under the Quaternary; 6 — external boundary condition of the 2nd kind, impermeable fault zone; 7 — internal boundary condition of the 1st kind, hydraulic contact with river B, with respect to the supposed karst solution channel or cavern passages system in the Triassic; 8 — internal boundary condition of the 1st kind, erosional hydraulic contact of the Triassic with the Quaternary; 9 — internal boundary condition of the 2nd kind, ground-water extraction from Triassic aquifer by ore mines and municipal water supplies; 10 — internal boundary condition of the 2nd kind, indirect recharge of the Triassic aquifer from Jurassic or Devonian

nym błędem ze względu na to, że miąższość strumienia wód jest nieporównywalnie mniejsza od jego wymiarów w planie.

Wspomniane równania opisują laminarny przepływ wód podziemnych. W związku z powstawaniem dużych gradientów w otoczeniu odwadnianych kopalń należy liczyć się z możliwością wystąpienia przepływów turbulentnych lub mieszanych. Wydaje się jednak, że w stosunku do całego rozpatrywanego pola filtracji powierzchnie obszarów przepływów turbulentnych lub mieszanych są niewielkie i nie wpływają istotnie na końcowy wynik prognozy. Podobny pogląd poparty wynikami badań modelowych, dotyczących pracy jednego z ujęć pobierającego wodę ze szczelinowych utworów triasu, wyraził także Dąbrowski (1975). Ten istotny problem jest przedmiotem bieżących badań autorów. Wpływ obszarów przepływów turbulentnych lub mieszanych należałoby natomiast uwzględnić przy określaniu wartości współczynników charakteryzujących własności hydrogeologiczne badanej warstwy wodonośnej.

Dla przeprowadzenia obliczeń hydrogeologicznych lub badań modelowych konieczne jest opracowanie schematu obliczeniowego, zawierającego podstawowe informacje o budowie geologicznej i warunkach hydrogeologicznych, czyli tzw. dane wyjściowe obliczeń.

W schemacie obliczeniowym obszar filtracji traktuje się jako strukturę fizycznie ciągłą, wewnątrz której rozkład ciśnień, szybkość i wielkość przepływu wód określa się tzw. warunkami granicznymi. Sposób ich określania wynika ze stopnia rozpoznania badanej struktury hydrogeologicznej oraz wybranej metodyki obliczeń.

Pod pojęciem „warunki graniczne” rozumie się warunki początkowe w badanym obszarze filtracji oraz warunki brzegowe występujące na jego brzegach (konturach) zewnętrznych i w punktach charakterystycznych wnętrza.

Warunki początkowe rozwiązania obejmują przyjęte do obliczeń wartości wodoprzewodności (T), współczynników odsączalności (μ) oraz rozkład ciśnień hydrodynamicznych w badanej warstwie wodonośnej w umownym momencie czasu przyjętym jako wyjściowy.

Warunki brzegowe wyznaczają zmienność funkcji zmian ciśnienia lub jej pochodnej na granicach zewnętrznych badanego pola filtracji (warunki brzegowe zewnętrzne) i w punktach charakterystycznych wnętrza (warunki brzegowe wewnętrzne). W przypadku procesu filtracji wyróżnia się warunki brzegowe I i II rzędu. Warunki brzegowe I rzędu obrazują zmiany ciśnienia hydrodynamicznego w czasie, a warunki II rzędu zmiany wielkości przepływu. Niekiedy na granicach obszaru filtracji lub w jego wnętrzu występują warunki brzegowe będące liniową kombinacją warunków I i II rzędu, które według Szczepańskiego (1974) są warunkami III rzędu.

Warunki początkowe

W poszczególnych blokach obliczeniowych przyjęto wartości przewodności wynikające z rozpoznania hydrogeologicznego badanego terenu. Uwzględniono także nie publikowane wyniki badań analogowych na integratorze hydraulicznym Łukjanowa wykonanych w latach 1974—1975 przez zespół pracowników Instytutu Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH. W obszarach, w których brakowało informacji o przewodności, wartości tego parametru przyjęto drogą ekstrapolacji lub interpolacji z sąsiednich rejonów o znanej przewodności.

Przewodność hydrauliczną dla kwadratowej siatki symulującej ciągły obszar filtracji wyliczono z zależności:

$$T_H = \frac{2T_1 \cdot T_2}{T_1 + T_2} \text{ m}^2/\text{d} \quad (1)$$

Wartość ta między końcowym węzłem siatki a warunkiem granicznym wynosi:

$$\text{równoległe do osi } x: T_{G_x} = \frac{\Delta y}{\Delta x_G} \cdot T, \quad (2)$$

$$\text{równoległe do osi } y: T_{G_y} = \frac{\Delta x}{\Delta y_G} \cdot T. \quad (2a)$$

We wzorach (1), (2), (2a) oznaczają:

T_H — przewodność hydrauliczna między węzłami w obszarze filtracji,

T_G — przewodność hydrauliczna między końcowym węzłem siatki i granicą,

T_1, T_2 — przewodność hydrauliczna w węzłach, między którymi oblicza się T_H ,

$\Delta x_G, \Delta y_G$ — odległość od węzła końcowego do granicy,

$\Delta x, \Delta y$ — szerokość i długość bloku obliczeniowego,

T — przewodność średnia na odległości $\Delta x_G, \Delta y_G$.

Wartości współczynników odsączalności niezbędnych dla zamodelowania nieustalonego procesu filtracji przyjęto w poszczególnych blokach za Motyką (1975). Na obszarach o nieznanym współczynniku odsączalności przyjęto jednolite wartości tego parametru, tzn. 0.05 dla południowej części terenu, oraz 0.03 dla części północnej. W blokach odznaczających się znacznym udziałem osadów czwartorzędowych w profilu pionowym, uwzględniając dużą odsączalność tych osadów, przyjęto odpowiednio większe współczynniki odsączalności mieszczące się w granicach 0.10—0.15.

Dla każdego węzła siatki obliczono dodatkowy opór (tzw. oporność czasowa) symulujący przebieg procesu filtracji w czasie:

$$R_t = \frac{\Delta t}{\mu \cdot \Delta x \cdot \Delta y} \cdot \frac{T_H}{T_E}, \quad (3)$$

gdzie:

R_t — oporność czasowa na modelu w Ω ,

Δt — przyjęty krok czasowy w dobach,

T_H — przewodność hydrauliczna w m^2/d ,

μ — współczynnik odsączalności,

$\Delta x, \Delta y$ — długość i szerokość bloku obliczeniowego w metrach,

T_E — przewodność elektryczna w s.

Za stan wyjściowy pola hydrodynamicznego, tj. rozkład ciśnień w czasie uznanym za początkowy, przyjęto układ zwierciadła wód podziemnych, jaki istniał przed podjęciem jakiejkolwiek działalności odwadniającej triasowe piętro wodonośne. W poszczególnych blokach przyjęto więc rzędne zwierciadła określone na podstawie danych pomiarowych z otworów wiertniczych, piezometrów, studni komunalnych i gospodarskich. Wykorzystano także dane dotyczące triasowych źródeł powierzchniowych i rzędnych lustra rzeki B na odcinku stwierdzonych kontaktów hydraulicznych z badanym piętrzem wodonośnym.

Wyjściowy układ zwierciadła wody w utworach triasu posłużył do wstępnej korekty przyjętego modelu. Polega ona na wykonaniu tzw. modelowań odwrotnych (Śmietański, 1969; Szczepański, 1974), czyli skorygowaniu przyjętych z rozpoznania parametrów hydrogeologicznych oraz założonych warunków brzegowych obliczeń. Warunkiem uzyskania poprawnych rozwiązań tych wstępnych modelowań jest dysponowanie kilkoma stanami rozkładu ciśnień hydrodynamicznych zarejestrowanymi w różnym czasie. Za model skorygowany (wytarowany) uważa się taki, w którym uzyskano porównywalne układy pola hydrodynamicznego zarejestrowanego w terenie i uzyskanego na modelu.

W wyniku przeprowadzenia modelowań odwrotnych sprawdzono założone warunki brzegowe zewnętrzne i wewnętrzne oraz skorygowano przyjęte między poszczególnymi blokami wartości przewodności. W rezultacie przeprowadzonych poprawek otrzymano na modelu rozkład ciśnień zbliżony do stanu wyjściowego (fig. 2). Uzyskany na modelu układ pola hydrodynamicznego przyjęto jako podstawę do dalszych badań analogowych.

Warunki brzegowe zewnętrzne

Przy określaniu zewnętrznych warunków brzegowych rozwiązania natrafiono na poważne trudności wynikające z niedostatecznego rozpoznania geologicznego i hydrogeologicznego, szczególnie peryferycznych

części badanego obszaru. Po szczegółowej analizie budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych przyjęto taki ich układ, jak to przedstawiono schematycznie na fig. 3. Południową granicę obszaru filtracji oparto częściowo na uskoku, który potraktowano jako warunek brzegowy II rodzaju, tzn. $Q = 0$, przyjmując tym samym brak zasilania piętra triasowego od tej strony. W zachodniej części tej dyslokacji przyjęto możliwość zasilania, stawiając warunek graniczny I rodzaju, tzn. $H = \text{const.}$

Przebieg południowo-zachodniej granicy przyjęto wzdłuż wychodni węglanowej serii triasu pod czwartorzędem (fig. 2). Wysokości hipsometryczne tej linii intersekcyjnej są zmienne, a w związku z tym zamodelowano wzdłuż jej przebiegu liniowo zmienne warunki drenażu lub zasilania $H = f(x, y)$. Wielkości ciśnień wzdłuż tej wychodni utrzymano na stałej wysokości w całym okresie czasu objętym badaniami modelowymi.

Zachodnia granica badanego pola filtracji jest zupełnie nierozpoznana. Analiza rozkładu ciśnienia w tej części rozpatrywanego obszaru prowadzi do wniosku, że istnieje przepływ wskazujący na możliwość zasilania z tego kierunku. Biorąc to pod uwagę przyjęto warunek graniczny II rodzaju o generalnym przebiegu N — S i spadku południowym. Przyjęto zatem proporcjonalne zmniejszanie się ciśnienia w kierunku południowym, utrzymując w czasie eksperymentu modelowania stałe wysokości zwierciadła wody w odległościach około 1500 m od ostatnich zachodnich węzłów siatki.

Północno-zachodnią i północną słabo rozpoznaną granicę oparto na przebiegu hydroizohips na wododziale. Przyjęto zatem zasilanie piętra triasowego od strony północno-zachodniej i północnej, co znajduje swoje odzwierciedlenie na mapie wyjściowego zwierciadła (fig. 2).

We wschodniej części modelowanego obszaru węglanowe utwory triasu spoczywają przekraczając na skałach paleozoicznego kompleksu wodonośnego (Wilk, Motyka, 1977). Strefy kontaktów hydraulicznych pomiędzy paleozoikiem i triasem stanowią strefy ascenzyjnego zasilania tego ostatniego wodami z utworów paleozoicznych. Prócz tego w tej części obszaru wodonośne piętro triasowe jest przypuszczalnie zasilane przez wody podziemne, przenikające descenzyjnie z należących utworów jurajskich. Znając przebieg granicy strefy kontaktu hydraulicznego paleozoiku z triasem oraz wysokość panujących tam ciśnień wód podziemnych, przyjęto w tej części obszaru filtracji warunek zasilający I rodzaju: $H = \text{const.}$

Przyjęte zewnętrzne warunki graniczne zostały sprawdzone na modelu w trakcie obliczeń kontrolnych.

Warunki brzegowe wewnętrzne

Na podstawie wstępnego etapu badań modelowych, których wynikiem była mapa wyjściowego zwierciadła wody w utworach triasu (fig. 2), stwierdzono, że właściwy model badanego pola filtracji wymaga uwzględnienia szeregu naturalnych warunków wewnętrznych (fig. 3 i fig. 4).

RODZAJ WARUNKU	REŻIM NATURALNY	REŻIM ZAKŁÓCONY
WIĘŹ HYDRAULICZNA Z RZEKĄ B		
POŚREDNI KONTAKT Z IZOLOWANĄ HYDROSTRUKTURĄ		
HYDRAULICZNY KONTAKT EROZYJNY CZWARTORZĘDU Z TRIASEM		
POŚREDNI KONTAKT HYDRAULICZNY JURY Z TRIASEM		
KONTAKT HYDRAULICZNY TRIASU Z DEWONEM		
PRZYPUSZCZALNY SYSTEM FORM KRASOWYCH W TRIASIE		

Fig. 4. Schemat wewnętrznych warunków brzegowych uwzględnionych w przeprowadzonych badaniach modelowych. Objaśnienia geologiczne jak do fig. 1

Fig. 4. Diagram of internal boundary conditions as modeled on the analog. Geological explanations as in Fig. 1

W południowo-zachodniej części rozpatrywanego obszaru wody badanego poziomu pozostają w więzi hydraulicznej z rzeką B. W przeciwieństwie do wyrażanych niekiedy poglądów autorzy, opierając się na obserwacjach terenowych uważają, że w warunkach naturalnych rzeka

B drenowała utwory triasu. W związku z tym założono wzdłuż niej w stałych punktach warunki I rodzaju, tzn. $H = \text{constans}$ odpowiadające rzędnym lustra wody w rzece. Z tymi punktami połączono środki bloków obliczeniowych 294, 295, 315, 316 i 336 (fig. 2). Ilość wody wyrażo-

Tabela 1

Warunki wewnętrzne triasowego piętra wodonośnego w stanie naturalnym
/znak + oznacza zasilanie, znak - drenaż triasowego piętra wodonośnego/

Lp.	Rodzaj warunku wewnętrznego	Nr węzłów siatki	Wielkość przepływu Q	
			UJO/min	UJO/dobę
1.	Więź hydrauliczna z rzeką B	294, 295, 315, 316, 336	- 31.64	- 45560
2.	Kontakt erozyjny z czwartorzędem	373, 374	- 11.92	- 17160
3.	Kontakt erozyjny z czwartorzędem	410	- 4.89	- 7040
4.	jak wyżej	429	- 7.81	- 11250
5.	Jak wyżej	430	- 3.00	- 4320
6.	jak wyżej	431	0	0
7.	jak wyżej	432	- 1.46	- 2100
8.	jak wyżej	452	+ 2.96	+ 4260
Suma poz. 3 do 8			-14.20	- 20450
9.	Pośredni kontakt hydrauliczny z jurą	493, 573, 532, 533, 534, 552	+21.70	+ 31240
10.	Drenaż przez system form krasowych	472, 473, 491, 492, 510, 511	-24.69	- 35550

na w umownych jednostkach objętości (UJO) odbierana z utworów triasu przez rzekę B wynosiła w warunkach naturalnych około 31.6 UJO/min (tabela 1).

W tej samej części terenu stwierdzono obecność izolowanej hydrostruktury, z której nadmiar wód podziemnych przelewa się do utworów triasu położonych w kierunku wschodnim (fig. 3). Zachodzi tu przypadek pośredniego zasilania utworów triasu bez naruszenia stosunków wodnych w obrębie wspomnianej hydrostruktury. Sytuację tę zamodelo-

wano w ten sposób, że w symulujących ją blokach 357 i 377 (fig. 2) przyjęto stałe rzędne ciśnień wyrażone w umownych jednostkach wysokości (UJW), $H = 1310$ UJW, które utrzymywano przez cały czas badań modelowych.

W trakcie wstępnego etapu badań analogowych okazało się, że ważną rolę w kształtowaniu naturalnego zwierciadła w triasie odgrywa wymiana wód w strefach kontaktów hydraulicznych pomiędzy czwartorzędowym i triasowym piętrzem wodonośnym (fig. 2 i 4). Wspomniane okna hydrogeologiczne są strefami zasilania, bądź drenażu badanego poziomu. Przykładem strefy rozładowania ciśnienia artezyjskiego może być niewielkie okno hydrogeologiczne pomiędzy blokami 373 i 374 (fig. 2), które połączono z założoną stałą rzędną ciśnienia w centrum okna, $H = 1304$ UJW. W trakcie wstępnego etapu badań modelowych okazało się także, że dla uzyskania w rejonie tego okna wysokości ciśnień zwierciadła wody w triasie w warunkach naturalnych zbliżonych do stanu wyjściowego, należy uwzględnić odpływ wód przez to okno z triasu do czwartorzędu w ilości około 12 UJO/min (tab. 1).

W centralnej części badanego obszaru występuje kilka okien erozyjnych w osi pogrzebanej formy dolinnej (fig. 2). Okna te są strefami drenażu, bądź zasilania triasowego piętra wodonośnego (fig. 4). Hydrodynamiczne współdziałanie czwartorzędowego i triasowego piętra wodonośnego w tym rejonie symulowano w następujący sposób. W pierwszej kolejności wydzielono w czwartorzędzie obszar filtracji o powierzchni około 20 km², wewnątrz którego znajdowały się wspomniane okna erozyjne. Następnie obszar ten podzielono na 7 bloków obliczeniowych i ograniczono stałymi warunkami typu $H = \text{const}$. W dalszej kolejności połączono 6 bloków obszaru filtracji w czwartorzędzie z blokami 410, 429, 430, 431, 432 i 452 symulującymi część pola filtracji piętra triasowego (fig. 2). W trakcie kontrolnych badań analogowych sprawdzano zmiany stanów zwierciadła w czwartorzędzie i w triasie w kilku punktach pomiarowych. Ilości wody, jakie przepływały z triasu do czwartorzędu lub z czwartorzędu do triasu w rejonie opisywanych okien hydrogeologicznych, zestawiono w tabeli 2.

Ważną rolę w zasilaniu triasowego piętra wodonośnego pełni przypuszczalnie dopływ wód z piętra jurajskiego. Zagadnienie to jest odrębnym problemem badawczym o poważnym znaczeniu praktycznym, jak dotąd nie rozwiązany. W przeprowadzonych przez autorów badaniach modelowych zasilanie triasu przez wody przepływające z jury zostało częściowo uwzględnione. Zamodelowano tylko zasilanie typu pośredniego, pomijając bezpośrednie kontakty typu sedymentacyjno-transgresywnego oraz tektonicznego. W blokach 493, 513, 532, 533, 534 i 552 (fig. 2) przyjęto warunki wewnętrzne $Q = f(t)$, które symulowały pośrednie zasilanie triasu. Warunki te były sprawdzone i częściowo korygowane w trakcie modelowań kontrolnych. W rezultacie ustalono, że globalna wielkość pośrednie-

Tabela 2

Zestawienie wielkości zasilania i drenażu triasowego piętra wodonośnego w przedziale czasu od 1.10.1973 do 1.04.1976 r.

Rodzaj warunku wewnętrznego	Nr węzła siatki	Wielkość zasilania /+/, lub drenażu -/- UJO/min				
		1.10.73	1.10.73 do 1.01.74	1.01-1.04 1974	1.04.74 do 1.04.75	1.04.75 do 1.04.76
Więź hydrauliczna z rzeką B	294, 295, 315, 316, 336	- 4.28	- 4.28	-3.58	+ 5.14	+ 18.62
Kontakt erozyjny z czwartorzędem	410	- 1.22	0.00	+1.83	+ 9.17	+ 15.28
	429	+ 0.87	+ 2.60	+1.74	+ 0.81	+ 1.56
	430	+ 3.00	+ 4.50	+4.50	+ 9.17	+ 1.11
	431	+ 4.06	+ 6.08	+10.14	+15.83	+ 28.11
	432	+ 1.46	+ 4.38	+13.61	+24.31	+ 38.52
	452	+ 3.33	+ 4.58	+ 8.33	+ 0.94	+ 3.69
	Suma	+11.50	+22.14	+40.15	+60.23	+ 88.27
Kontakt erozyjny z czwartorzędem	373, 374	+ 2.31	+ 2.77	+ 1.92	+ 1.92	+ 5.50
Pośrednie zasilanie z jury	493, 513, 532, 533, 534, 552	+13.75	+13.75	+13.75	+13.23	+ 9.78
Kontakt hydrauliczny z dewonem	450, 456, 475, 476	+31.78	+31.78	+31.78	+31.78	+ 20.93
Wpływ systemu form krasowych	472, 473, 491, 492, 510, 511	+ 5.72	+ 4.29	+ 5.22	+15.47	+ 24.89
Ujęcie I		-62.69	-62.69	-62.69	-62.69	- 62.69
Ujęcie II		-30.00	-30.00	-30.00	-30.00	-25.00
Ujęcie III		- 3.00	- 3.00	- 3.00	- 2.00	- 1.00
Kopalnia K ₁	436	-26.17	-26.17	-26.04	-24.56	-18.54
Kopalnia K ₂	474, 494	-62.02	-61.97	-61.56	-59.21	-55.86
Kopalnia K ₃	432, 433, 452	0.00	-23.80	-94.10	-148.80	-207.20
Przekop D		-13.32	-13.27	-12.98	-10.30	- 6.53
Szyb M		- 2.90	-2.90	- 5.20	-15.00	- 11.10

go zasilania triasu przez wody spływające z jury w rejonie wymienionych wyżej bloków wyrażone w umownych jednostkach objętości (UJO) wynosiła w warunkach naturalnych około 21.7 UJO/min (tab. 1).

Wewnątrz badanego obszaru filtracji w rejonie bloków 455, 456, 475, 476, 534 węglanowe osady triasu spoczywają bezpośrednio na wodonośnych skałach paleozoicznych. Ponieważ ciśnienie wody w utworach pa-

leozoiku kształtuje się wyżej niż w triasie, to w strefach kontaktów hydrolicznych między tymi piętrami następuje zasilanie triasu. W warunkach naturalnych przepływ wód z paleozoiku do triasu w strefach lokalnych kontaktów między tymi piętrami był przypuszczalnie niewielki. W związku z tym uwzględniono go tylko w badaniach dotyczących reżimu zakłóconego, zadając w wymienionych blokach warunki wewnętrzne typu $Q = f(t)$.

W trakcie następnych badań kontrolnych okazało się, że dla uzyskania na modelu wymaganej wysokości zwierciadła wody we wschodniej części badanego obszaru filtracji należy uwzględnić nie zidentyfikowaną dokładnie co do charakteru i położenia lokalną strefę drenażu triasu (fig. 2) oddającą wodę do pogrzebanej, głębokiej doliny erozyjnej, wypełnionej osadami rzecznotodowcowymi, której oś przebiega z północy na południe mniej więcej przez środek modelowanego obszaru. Może to być np. system form krasowych rozwiniętych w węglanowych utworach triasu (fig. 4). Nie wnikając jednak w charakter owej strefy drenażu założono wzdłuż jej hipotetycznej osi warunki wewnętrzne typu $H = \text{const.}$, które wyrażone w umownych jednostkach wysokości (UJW) mieszczą się w granicach od 1320 do 1325 UJW. Ilość wody, jaka była drenowana tym systemem, w świetle badań analogowych wynosiła w warunkach naturalnych około 25.7 UJO/min.

W warunkach reżimu zakłóconego przyjęto także wewnętrzne warunki brzegowe, wynikające z eksploatacji wody z utworów triasu lub odwadniania tego piętra przez górnictwo rud. We wszystkich przypadkach w obliczeniach kontrolnych przyjmowano w blokach symulujących kopalnie lub grupy studni warunki brzegowe typu $Q = \text{constans}$ lub $Q = f(t)$, porównując jednocześnie zmiany ciśnienia zachodzące na modelu z obserwowanymi w terenie. W blokach symulujących wyrobiska kopalni założono stałe warunki wewnętrzne typu $H = \text{constans}$ odpowiadające rzędnym wyrobisk odwadniających.

PRZEBIEG I WYNIKI MODELOWANIA KONTROLNEGO

W celu uściślenia i zweryfikowania wielkości parametrów hydrogeologicznych przyjętych po wstępnej fazie badań modelowych oraz sprawdzenia założonych warunków brzegowych zewnętrznych i wewnętrznych, przeprowadzono modelowanie kontrolne w warunkach przepływu zakłóconego działalnością górniczo-ujęciową. Do badań tych wybrano przedział czasu od 1 X 1973 do 1 IV 1976 r. Początek tego okresu w przybliżeniu odpowiada momentowi rozpoczęcia drenażu triasu wyrobiskami kopalni K₃. Przed rozpoczęciem odwadniania przez tę kopalnię w badanym obszarze filtracji panowały quasi-ustalone warunki filtracji.

Intensywny drenaż triasowego piętra wodonośnego spowodował znaczne obniżenia zwierciadła wody, a co za tym idzie, zmniejszenie miąższości

warstwy zawodnionej. W związku z tym założono, że zarówno w trakcie obliczeń kontrolnych, jak i prognostycznych zmniejsza się przewodność hydrauliczna (T_H) badanej warstwy. Przyjmując założenie o jednorodności węglanowych utworów triasu w profilu pionowym (Motyka, Wilk, 1976), zmniejszono przewodność proporcjonalnie do zmiany miąższości warstwy zawodnionej. Prócz tego w strefach lokalnych kontaktów hydraulicznych między triasowym piętrzem wodonośnym i innymi piętrami postępujące odwadnianie triasu powodowało zmianę różnic ciśnień hydrodynamicznych (Motyka, Nieć, Wilk, 1978). Zmieniły się więc kierunki przepływu (fig. 1) i ilości wód dopływających do triasu z innych pięter wodonośnych w strefach wspomnianych kontaktów hydraulicznych. Biorąc to pod uwagę założono możliwość ilościowych zmian przyjętych wcześniej warunków wewnętrznych oraz zmiany ich rodzaju (np. zmiana warunku I rodzaju na warunek II rodzaju, zmiana drenażu na zasilanie).

W węzłach symulujących ujęcia i wyrobiska kopalniane zadano warunki II rodzaju, tzn. wydajności lub dopływy (tab. 2). Jednocześnie mierzono na modelu zmiany ciśnienia hydrodynamicznego wewnątrz badanego obszaru filtracji i konfrontowano je z danymi pochodzącymi z pomiarów zwierciadła w kilkudziesięciu otworach piezometrycznych. W obliczeniach kontrolnych i prognostycznych uwzględniono także przepływ wód z dewonu do triasu w strefach wewnętrznych kontaktów hydraulicznych (fig. 1), zadając w węzłach 455, 456, 475, 476 oraz 534 (fig. 2) warunki brzegowe II rodzaju. Wielkości dopływu z dewonu do triasu w wymienionych wyżej węzłach przyjęto szacunkowo (tab. 2).

Po przeprowadzeniu wielokrotnych prób zmian parametrów hydrogeologicznych i warunków brzegowych odtworzono w przybliżeniu, lecz z wymaganą dokładnością stan zwierciadła wody w triasowym piętrze wodonośnym zarejestrowany w terenie na dzień 1 X 1973 (fig. 5). Następny etap tarowania modelu polegał na odtworzeniu stanu zwierciadła wody na dzień 1 IV 1976 (fig. 6). Przeprowadzono także kontrolne rozwiązania dla trzech pośrednich cięć czasowych (1 I 1974, 1 IV 1974, 1 IV 1975). Również i w tej fazie obliczeń kontrolnych korygowano przyjęte w schemacie obliczeniowym parametry hydrogeologiczne (przewodność i współczynnik odsączalności) oraz uściślono zewnętrzne i wewnętrzne warunki brzegowe.

W rezultacie kontrolnych rozwiązań uzyskano rozkład ciśnień hydrodynamicznych zbliżony do stanu wyjściowego w warunkach quasi-ustalonych (fig. 5) oraz znaczne przybliżenie do stanu obserwowanego w okresie trwania przepływów nieustalonych (fig. 6). W rozpatrywanym przedziale czasu uzyskano także wymaganą zgodność modelu z zarejestrowanymi wydajnościami ujęć oraz dopływami do wyrobisk górniczych. Na tej podstawie uznano, że założony model spełnia warunki wymagane dla określenia prognozowanych dopływów do wyrobisk górniczych, a w szczególności do kopalni K_3 , która jest w stadium rozwoju.

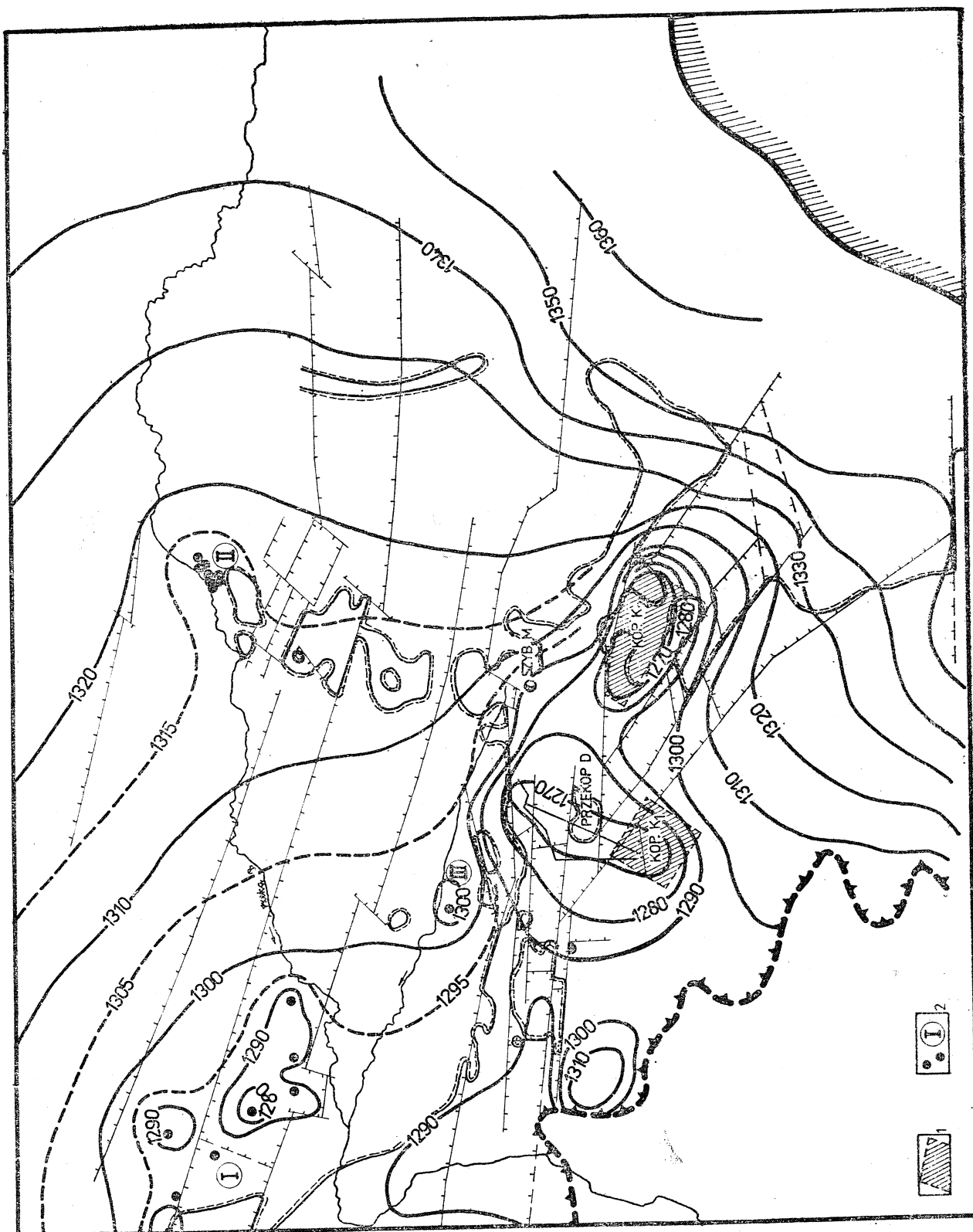


Fig. 5. Układ pola hydrodynamicznego w warunkach reżimu zakłóconego określony na podstawie badań analogowych, stan na 1. X 1973. 1 — założona powierzchnia rozcięcia złoża wyrobiskami kopalnianymi; 2 — ważniejsze ujęcia wód z utworów triasu. Pozostałe objaśnienia jak do fig. 2

Fig. 5. Distribution of hydraulic head (unsteady flow) determined on the basis of analog simulation investigations, status on the 1st October 1973. 1 — assumed size and shape of the mine excavations; 2 — more important ground-water supplies from Triassic. Other explanations as in Fig. 2

PRZEBIEG I WYNIKI MODELOWAŃ PROGNOSTYCZNYCH

Modelowania prognostyczne przeprowadzono dla dwu wariantów rozbudowy kopalni K_3 . Rozwiązania te, obejmujące okres od 1 IV 1976 do 1 IV 1985, wykonano w krokach czasowych $\Delta t = 1$ rok na wytarowanym modelu analogowym. W pierwszym wariantcie założono, że kopalnia K_3 będzie rozbudowana w kierunku północno-wschodnim (fig. 7, 8) oraz że powierzchnia rozcięta wyrobiskami tej kopalni wzrośnie do 1980 r. o 1.56 umownych jednostek powierzchni i o tę samą wartość do 1985 r. W drugim wariantcie rozbudowy założono rozcięcie złoża w kierunku zachodnim (fig. 9, 10) oraz identyczne jak w pierwszym wariantcie przyrosty powierzchni w rozpatrywanych okresach pięcioletnich. W stosunku do kopalń K_1 i K_2 oraz pojedynczych wyrobisk (przekop D, szyb M) założono, że nie ulegną one zmianie w prognozowanym okresie czasu. Utrzymywano także stałe wydajności ujęć I i II w całym przedziale czasu objętym obliczeniami prognostycznymi. Ujęcie III zostało wyłączone, ponieważ w międzyczasie uległo likwidacji.

Naturalne warunki wewnętrzne typu $H = \text{const.}$ zamieniono na $Q = \text{const.}$ (wciąż z rzeką B, kontakt erozyjny z czwartorzędem w rejonie bloków 373 i 374, przypuszczalne formy krasowe) lub $Q = f(t)$ w rejonie okien erozyjnych w osi pradoliny (fig. 2). Wielkości zasilania triasowego piętra wodonośnego w strefach kontaktów hydraulicznych przyjęto w obliczeniach prognostycznych szacunkowo, kierując się jednakże wynikami obliczeń kontrolnych.

W rezultacie przeprowadzonych modelowań prognostycznych uzyskano rozkłady ciśnień hydrodynamicznych w triasowym piętrze wodonośnym dla wybranych cięć czasowych. Na fig. 7 i 8 przedstawiono przykładowe mapy prognostyczne pola hydrodynamicznego według stanu na 1 IV 1980 r. i 1 IV 1985 r. dla pierwszego wariantu rozbudowy kopalni K_3 , a na fig. 9 i 10 analogiczne mapy dla drugiego wariantu. Dane o wysokości ciśnienia w poszczególnych węzłach siatki modelu symulującego ciągły obszar filtracji posłużyły także do obliczenia prognozowanych dopływów do kopalń K_1 , K_2 , K_3 oraz do przekopu D i szybu M (tab. 3). Dla lepszego zobrazowania prognozowanych zmian dopływów w czasie do wspomnianych kopalń i pojedynczych wyrobisk górniczych sporządzono odpowiedni wykres (fig. 11).

Wyniki obliczeń prognostycznych (tab. 3, fig. 11) wskazują, że kierunek i wzrost powierzchni rozcięcia złoża kopalni K_3 nie powinien mieć istotnego wpływu na kształtowanie się dopływów do jej wyrobisk. Wniosek ten pokrywa się w pełni z wynikami badań Z. Wilka (1965, 1967), który na przykładzie analizy dopływów do polskich kopalń węgla wykazał, że przy pewnej granicznej powierzchni rozcięcia złoża, dalsze jej powiększanie nie powoduje istotnego wzrostu dopływów do kopalni.

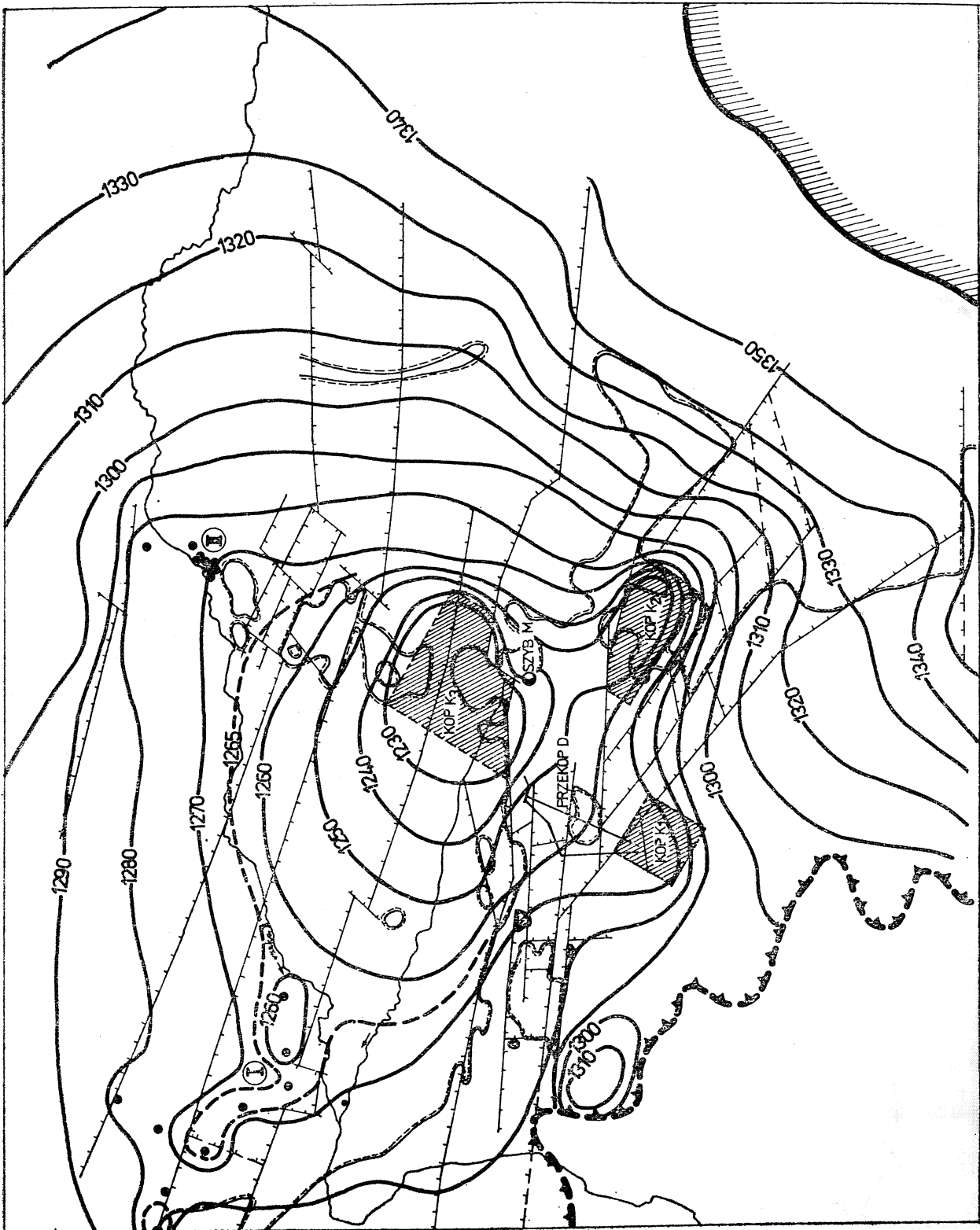


Fig. 7. Prognozowany układ pola hydrodynamicznego według stanu na 1. 04. 1980 dla I wariantu rozbudowy kopalni K₈. Objaśnienia jak do fig. 2 i 5

Fig. 7. Prognosis of hydraulic head distribution, status on the 1st April 1980 for the 1st variant of K_3 mine development. Explanations as in Fig. 2,5

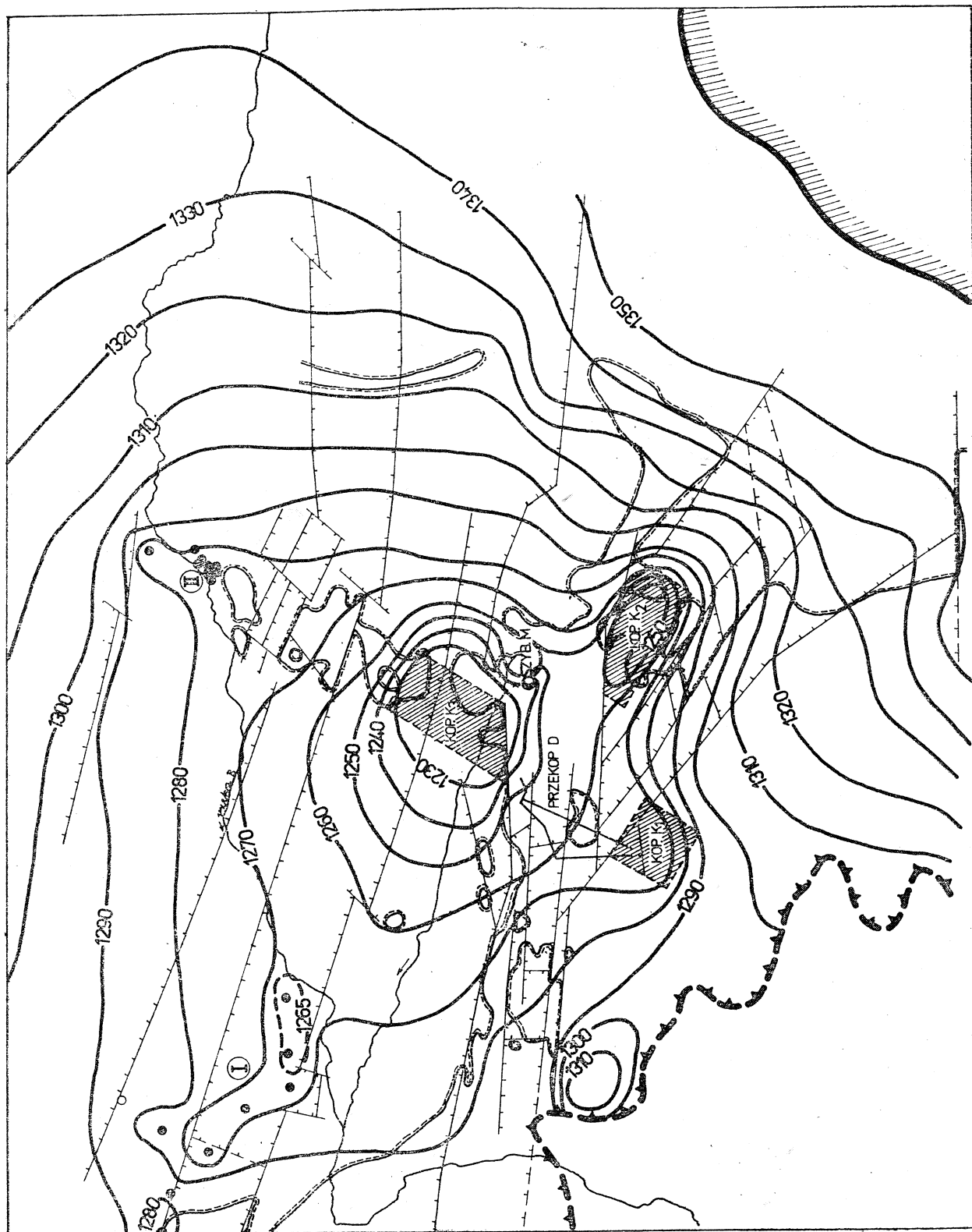


Fig. 8. Prognozowany układ pola hydrodynamicznego według stanu na 1. 04. 1985 dla I wariantu rozbudowy kopalni K₃. Objaśnienia jak do fig. 2 i 5

Fig. 8. Prognosis of hydraulic field distribution, status on the 1st April 1985 for the 1st variant of K₃ mine development. Explanations as in Fig. 2,5

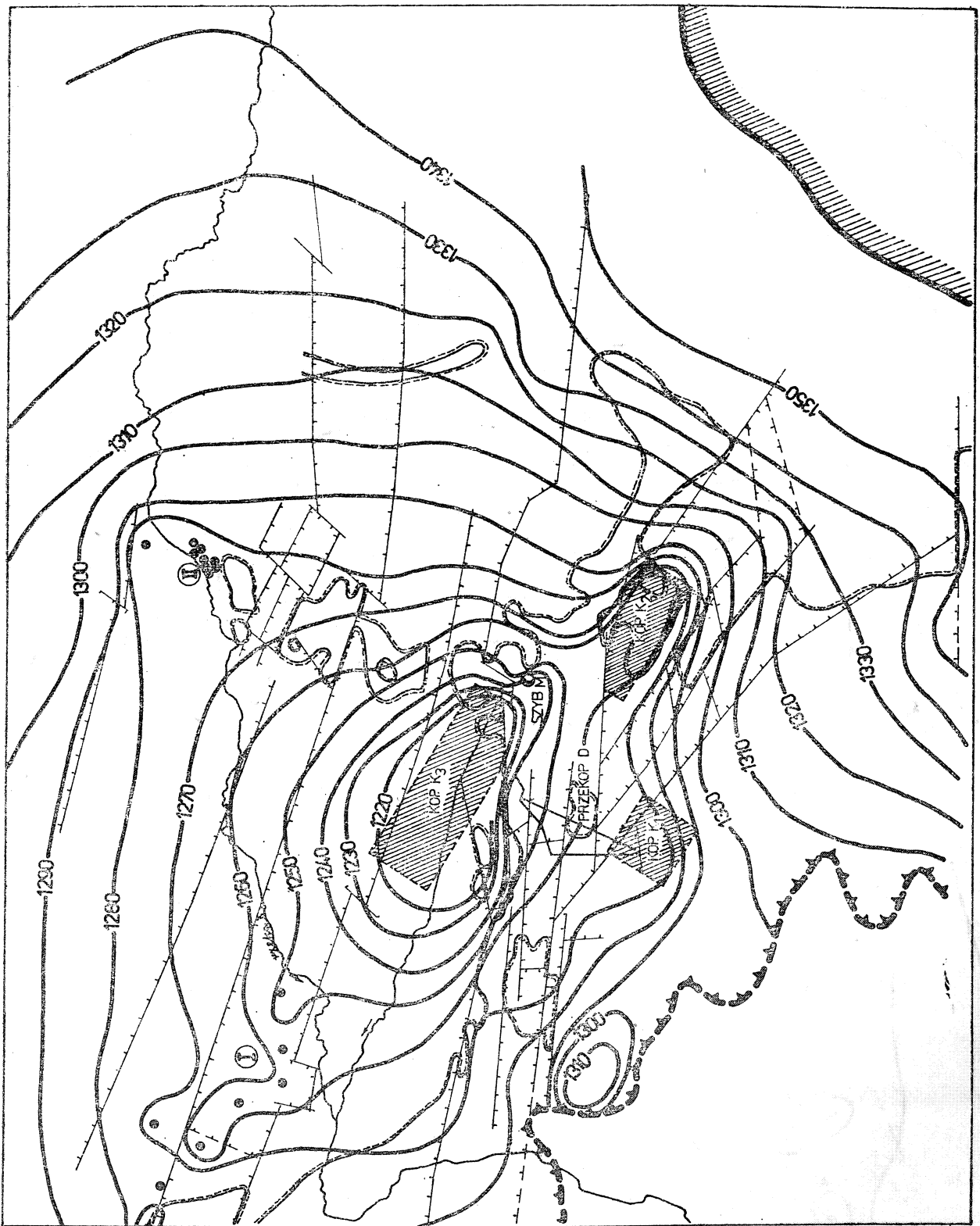


Fig. 9. Prognozowany układ pola hydrodynamicznego według stanu na 1. 04. 1980 dla II wariantu rozbudowy kopalni K₃. Objaśnienia jak do fig 2 i 5

Fig. 9. Prognosis of hydraulic field distribution, status on 1st April 1980 for the IInd variant of K₃ mine development. Explanations as in Fig. 2,5

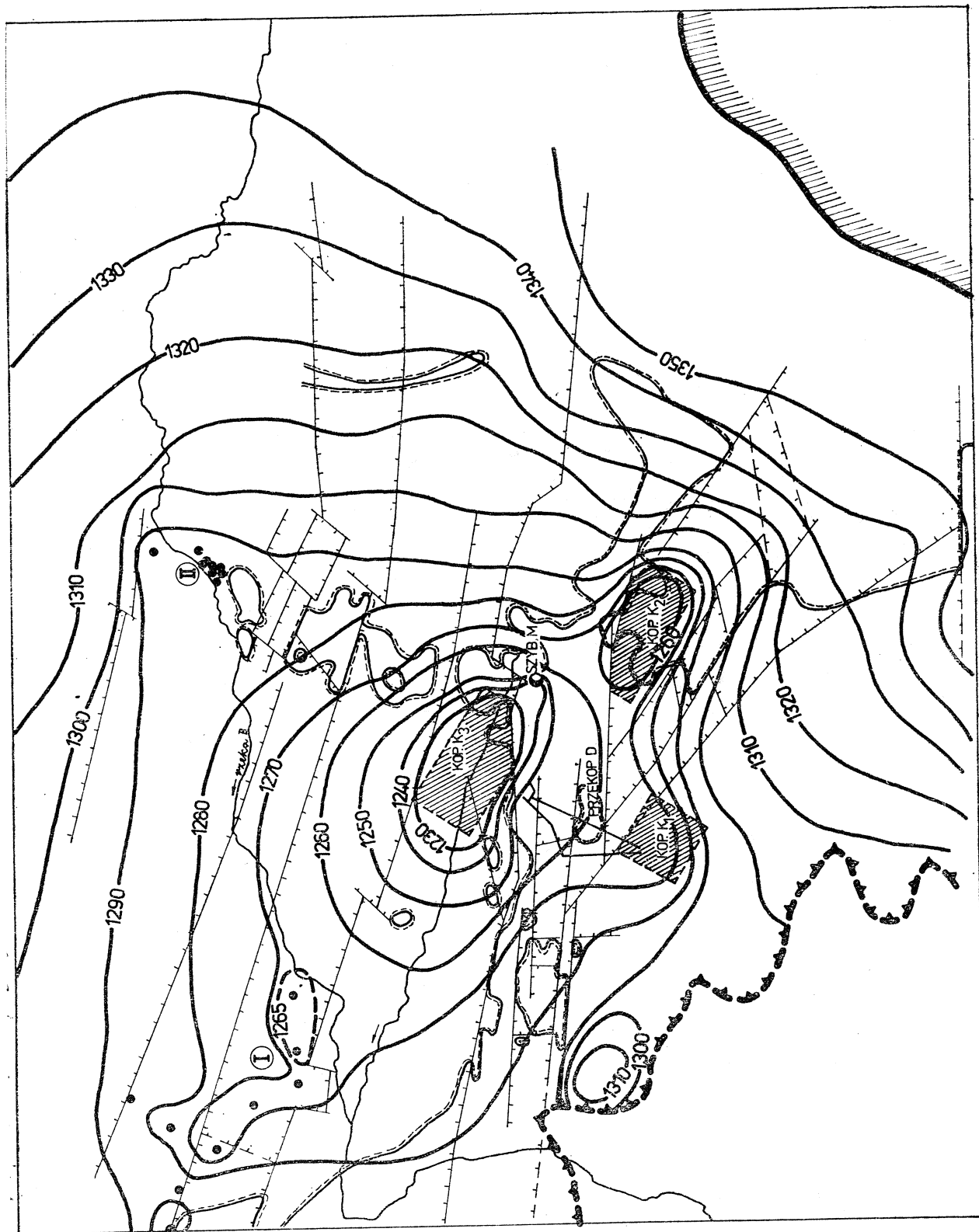


Fig. 10. Prognozowany układ pola hydrodynamicznego według stanu na 1. 04. 1985 dla II wariantu rozbudowy kopalni K₃. Objasnienia jak do fig. 2 i 5

Fig. 10. Prognosis of hydraulic field distribution, status on 1st April 1985 for the II and variant of K₃ mine development. Explanations as in Fig. 2,5

Tabela 3

Prognozowane wielkości zmian dopływów do kopalń
i pojedynczych wyrobisk górniczych

	Obiekt	Dopływy Q (UJO/min)								
		Stan na kwiecień w latach								
		1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
Wariant I rozbudowy kopalni K ₃	Kopalnia K ₁	11.1	10.4	9.6	9.2	9.2	8.9	8.8	8.6	8.4
	Kopalnia K ₂	53.8	51.8	50.0	49.1	48.3	47.5	47.3	46.9	46.8
	Kopalnia K ₃	201.5	239.7	237.3	227.9	220.2	210.8	204.1	197.9	194.0
	Przekop D	4.7	4.1	3.5	3.2	3.1	2.9	2.8	2.7	2.7
	Szyb M	9.0	7.1	5.9	5.1	4.5	4.1	3.9	3.8	3.7
Wariant II rozbudowy kopalni K ₃	Kopalnia K ₁	11.1	10.4	9.5	9.2	8.7	8.4	8.1	7.9	7.5
	Kopalnia K ₂	53.8	52.5	51.2	50.5	49.9	49.6	49.2	49.1	49.0
	Kopalnia K ₃	201.5	225.2	224.1	218.4	229.1	218.2	212.2	203.8	199.8
	Przekop D	4.7	3.6	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2	2.1	2.1
	Szyb M	9.0	8.2	7.3	6.9	6.4	6.1	6.0	5.9	5.7

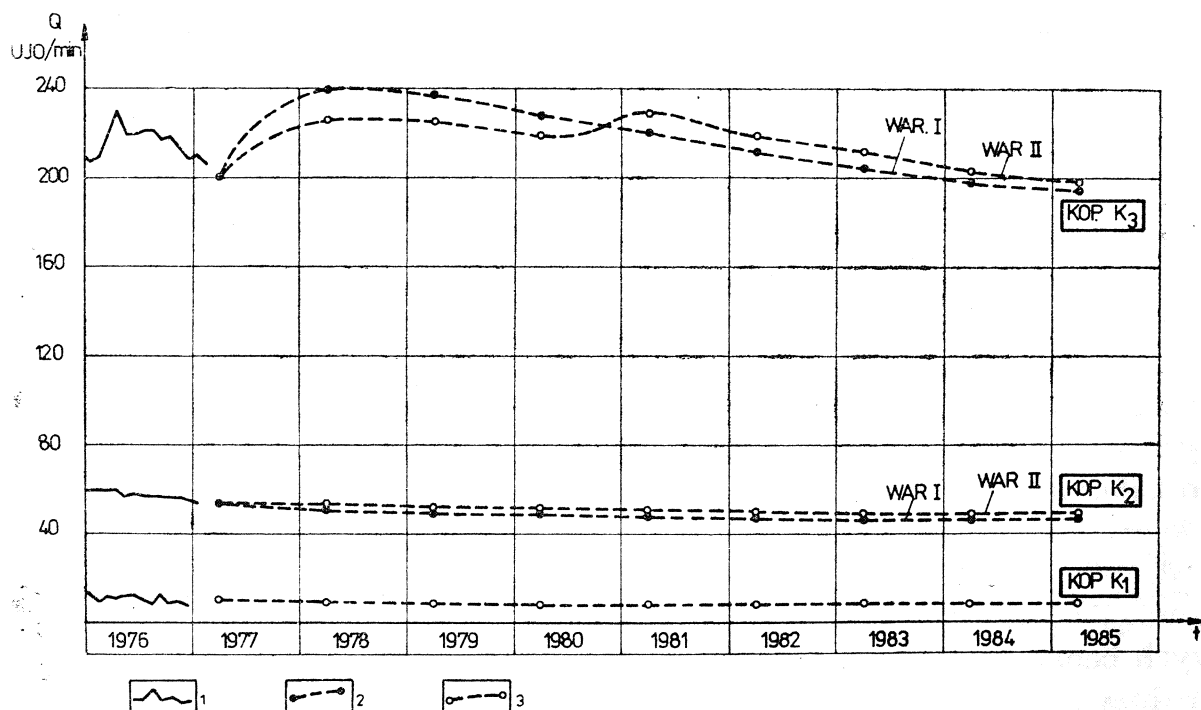


Fig. 11. Wykres prognozowanych dopływów (Q) do kopalń K₁, K₂, K₃ w czasie (t). 1 — krzywa rzeczywistych dopływów; 2 — krzywa prognozowanych dopływów, I wariant rozbudowy kopalni K₃; 3 — II wariant rozbudowy kopalni K₃

Fig. 11. Prognosis of ground-water inflow (Q) to the K₁, K₂, K₃ mines in time (t). 1 — the actual inflow curve; 2 — the forecasted inflow curve, the 1st variant of K₃ mine development; 3 — the 2nd variant of K₃ mine development

Dyskusja wyników obliczeń prognostycznych

Analogowe metody prognozowania wielkości dopływów wód podziemnych do kopalń dają możliwość uwzględnienia największej w stosunku do innych metod ilości podstawowych danych hydrogeologicznych. Stąd też przy odpowiednim stopniu rozpoznania dokładność tych metod prognozowania jest najwyższa. Na dowód powyższego stwierdzenia można przytoczyć porównanie wyników pierwszego etapu prognozy (tab. 3, fig. 11), obejmującego okres od 1 IV 1976 do 31 III 1977 z rzeczywistymi dopływami do kopalń K_1 , K_2 i K_3 . Wyrażony w procentach rzeczywistego dopływu błąd prognozy dla pierwszego etapu obliczeń mieści się w granicach od 3% (kopalnia K_1) do 7% (kopalnia K_3). Wielkość błędu jest więc bardzo mała. Należy jednak podkreślić, że pierwszy etap obliczeń prognostycznych jest najbliższy okresowi objętemu obliczeniami kontrolnymi. W dalszych etapach prognozy różnice między dopływami rzeczywistymi a prognozowanymi z rozmaitych powodów mogą ulec powiększeniu. Jako główne źródła błędów modelowań prognostycznych należy wymienić słabe rozpoznanie zewnętrznych warunków brzegowych, błędnie założone wewnętrzne warunki brzegowe, a zwłaszcza odmienne od założonego tempo i kierunek rozwoju kopalni K_3 .

Obszar filtracji objęty przeprowadzonymi badaniami modelowymi opisanymi w niniejszej pracy jest bardzo dobrze rozpoznany w centralnej części. Natomiast jego peryferie, a co za tym idzie, zewnętrzne warunki brzegowe poza nielicznymi wyjątkami są niemal całkowicie nie rozpoznane. Taki stan rozpoznania hydrogeologicznego odbija się na dokładności prognozy. Dotyczy to szczególnie zasięgu wpływu odwadniania kopalń.

Wielkość oszacowanego zasilania triasowego piętra wodonośnego w badanym polu filtracji w strefach lokalnych kontaktów hydraulicznych z rzeką B i z innymi piętrami wodonośnymi dla ostatniego etapu obliczeń kontrolnych (1 IV 1975 — 31 III 1976) wyniosła 170 UJO/min (tab. 2). Stanowi to około 44% całkowitej ilości wody pobieranej z triasowego piętra wodonośnego przez kopalnie i ujęcia. Jeśli wziąć pod uwagę tylko te kopalnie, do których dopływa praktycznie cała ilość wody z uwzględnionych wewnętrznych warunków brzegowych, to liczba ta wzrośnie do blisko 57%. Widać stąd, jak niezmiernie ważnym problemem jest określenie wielkości zasilania triasowego piętra wodonośnego w strefach kontaktów hydraulicznych z wodami powierzchniowymi i innymi piętrami wodonośnymi. Zagadnienie to będzie można częściowo rozwiązać drogą szczegółowych badań modelowych podjętych przez Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH.

Modelowanie prognostyczne zostało przeprowadzone przy założeniu dość szybkiego tempa rozwoju kopalni K_3 przy jednoczesnej ustalonej powierzchni rozcięcia złoża przez pozostałe kopalnie. Jeśli rozwój kopalni K_3 będzie wolniejszy niż założono, wówczas dopływy do niej będą mniej-

sze niż prognozowane. Należy ponadto mieć na uwadze, że wyrobiska tej kopalni są wykonywane w skałach szczelinowo-krasowych. W związku z tym zawsze istnieje możliwość nagłego wdarcia wody z kanałów krasowych i okresowy wzrost rzeczywistych dopływów znacznie powyżej prognozowanych.

*Maszynopis nadesłano VII 1977
przyjęto do druku XI 1977*

WYKAZ LITERATURY — REFERENCES

- Dąbrowski S. (1975), Przykład badań analogowych grupowego ujęcia wód z dolomitów triasu. *Górn. odkrywk.*, z. 4—5, 174—179.
- Motyka J. (1975), Studia nad własnościami hydrogeologicznymi skał triasowych w rejonie olkuskich kopalń rud. *Praca doktorska*, AGH Kraków.
- Motyka J., Wilk Z. (1976), Pionowe zróżnicowanie wodoprzepuszczalności węglanowych skał triasowych w świetle statystycznej analizy wyników próbnych pompowań (monoklina śląsko-krakowska) (Vertical differentiation in the water permeability of carbonate Triassic rocks in the light of a statistical analysis of the results of pumping tests (Silesia-Cracow Monocline). *Kwart. geol.* 20, 2, 381—399, Warszawa.
- Motyka J., Nieć M., Wilk Z. (1978), O pewnym zastosowaniu metody analizy trendu powierzchni w badaniach hydrogeologicznych (Certain application of trend surfaces analysis to geohydrology). *Rocz. Pol. Tow. Geol.* 48, 1, 129—144.
- Szczepański A. (1974), Prognozowanie wydajności i warunków eksploatacji wód podziemnych metodą analogii hydraulicznych (Forecasting of the Yield and Exploitation Conditions of Underground Water at the Application of Hydraulic Analogies Method). *Pr. geol. PAN*, 81, p. 119.
- Śmietański Z. (1969), Metoda analogii hydraulicznych w ocenie procesów nieustalonej filtracji przy odwadnianiu kopalń odkrywkowych (The Method of Hydraulic Analogies in the Evaluation of Processes of Unsteady Filtration in the Course of Drainage Open-Work Mines). *Pr. geol. PAN*, 56, p. 78.
- Wilk Z. (1965), Zawodnienie a wielkość i głębokość kopalń we wschodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (Relationship between Mine Water Inflow, Size and Depth of the Collieries in the Eastern Region of the Upper Silesia Coal Basin). *Pr. geol. PAN*, 24, p. 117.
- Wilk Z. (1967), Rozwój i zmienność zawodnienia polskich kopalń węgla kamiennego (Development Trends and Variations in the Quantity of Ground Waters in Polish Coal Mines). *Zesz. Nauk. AGH, Geologia* 9, p. 160.
- Wilk Z., Motyka J., Niewdana J. (1971), Charakterystyka i klasyfikacja przejawów wody w wyrobiskach kopalni pracującej w szczelinowo-krasowym poziomie wodonośnym (The Characteristics and classification of the discharges of ground-water in mine workings driven in the fissure-karst water-bearing horizon). *Zesz. Nauk. AGH, Geologia* 14, 43—62.
- Wilk Z., Zimny W. (1973), Problematyka hydrogeologiczna związana z rozwojem górnictwa w rejonie olkuskim (Hydrogeological problems connected with development of the ore mining in the Olkusz area (Cracovian-Upper Silesian Region). *Zesz. Nauk. AGH, Geologia* 17, 117—132.
- Wilk Z., Motyka J. (1977), Kontakty hydrauliczne między poziomami wodonośnymi w olkuskim rejonie kopalnictwa rud (Contacts between water-bearing

horizons (Olkusz ore mining region, near Cracow). *Rocz. Pol. Tow. Geol.* 47, 1, 115—143.

Zimny W. (1964), Problematyka wodna kopalń kruszców w świetle zawodnienia triasu śląsko-krakowskiego. *Przew. do XXXVII Zjazdu Pol. Tow. Geol.* „Problemy surowcowe Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego”, cz. I, 206—211.

SUMMARY

The analog simulation method is applied in hydrogeology chiefly for ground-water flow investigation in porous rocks, rarely being applied for fissured and karst fissured rocks. This is caused by the fact that the principle of the simulation method is the validity of Darcy's Law while real movement of ground-water in karst-fissured rocks is supposed to be turbulent in character. In this paper the authors present an example of water inflow prognosis to an ore mine operating in fissured and karst-fissured, dolomites and limestones. The authors' investigations have proved that in some conditions the analog simulation method can be applied for these kinds of aquifers with accuracy sufficient for practical purposes.

In the geological profiles of investigated area, four aquifers appear: Quaternary, Jurassic, Triassic and Paleozoic (Fig. 1). The Triassic water-bearing horizon, which was the object of simulation investigations is represented by limestones and dolomites of Muschelkalk and Roethian age. The ground-water circulation in the investigated filtration area is very complicated, influenced by the specific recharge and discharge conditions of water-bearing horizons as well as the geological structure. Moreover, these aquifers are interconnected by means of different types of hydraulic contacts (Wilk, Motyka, 1977). For several years, large quantities of ground-water are being extracted from the Triassic water-bearing horizon by ore mines and by municipal as well as industrial water supplies. This caused the radical change of natural water conditions, manifested by the increase of hydraulic gradients, the change in direction of ground-water flow, decrease of river flow rate, extinction of springs etc. These changes are registered with the help of numerous observation wells. Observations indicate that at present there still occurs an unsteady flow, of ground-water in the investigated area as result of man's activity and particularly of mining operations. The modelled area covered ca 500 km², and the considered ground-water filtration field was divided into square blocks $x = \Delta y = 1250$ m. The investigations were carried out by means of the electric RC-analog simulating computer AP-600.

The initial conditions, i. e. the coefficient of transmissibility, the coefficient of storage and the distribution of hydraulic head in the investigated aquifer were admitted on the basis of numerous laboratory and field investigations. They contained among others, the pumping tests and investigations in piezometric wells.

The boundary conditions, i. e. hydraulic head and flow change function on the limits of investigated filtration ground-water field and in the characteristic points of its interior were accepted on the ground of hydrogeological map analysis and of statistic data concerning the quantities of water pumped from mines and ground-water supplies. In order to make hydrological parameters more accurate and to verify the admitted initial and boundary conditions, the control simulation was carried out assuming the ground-water flow conditions disturbed by mine water pumping and municipal ground-water supply activities. The investigations were carried out for several time horizons. During these investigations the hydrogeological parameters accepted in the calculation scheme and external as well as internal boundary conditions were verified. As a result, the distribution of hydraulic head, very similar to the initial situation in natural conditions (Fig. 5) and the significant approximation to the situation observed in the period during the unsteady flow (Fig. 6) were acquired in the model. At the same time, the inflows to the mines and municipal water supplies acquired in the model for the investigated period were different than the measured from 3% to 7%. Basing on these results the inflow prognosis for every year till 1985 was elaborated. This prognosis was elaborated for two variants of mine surface expansion. The results presented in the Table 3 and in the Fig. 11 indicate that expansion direction and the size of the expansion of the mine exploited area should not considerably influence the water inflow. The piezometric surface formation for selected years and for two K_3 mine development variants are represented by Fig. 7—10.

In conclusion, the authors discuss the entity of acquired simplified actual hydrogeological conditions and estimate their possible effects for accurate results.