

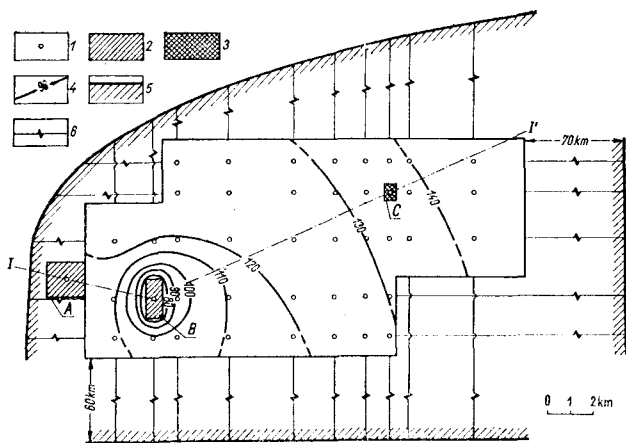
EFEKTY ODWADNIANIA I JEDNOCZESNEGO TŁOCZENIA WÓD NA OBSZARZE WYSTĘPOWANIA NAPOROWEGO POZIOMU WODONOŚNEGO W UTWORACH MIOCENU

UKID 622.5:556.334:[622.271+622.277]

W pracy rozpatrzono zmiany warunków hydrogeologicznych na obszarze naporowego poziomu wodonośnego, w którego obrębie prowadzona jest eksploatacja kopaliny użytecznej. Eksploatacja złoża prowadzona jest metodą odkrywkową oraz przy zastosowaniu otworów wiertniczych o specjalnej konstrukcji. Odkrywkowa metoda eksploatacji, wymagająca odwodnienia złoża, prowadzona jest w strefie wychodni. Eksploatacja przy zastosowaniu otworów wiertniczych, wymagająca tłoczenia wód do warstwy złożowej, zlokalizowana jest na obszarze, gdzie duża głębokość zalegania kopaliny uniemożliwia odkrywkowe jej wydobycie. Tak więc złożo występujące w obrębie tego samego naporowego poziomu wodonośnego wymaga przy jego eksploatacji zarówno odwodnienia płycej

zalegających partii, jak i tłoczenia dodatkowej ilości wody w obszarach zalegających głębiej od powierzchni terenu.

Prowadzenie eksploatacji złoża przy tak różnorodnej technologii powoduje znaczne zmiany naturalnych warunków hydrogeologicznych. Dokładna prognoza zmian tych warunków, a w szczególności zmian dotyczących ciśnienia hydrostatycznego w poziomie wodonośnym występującym w złożu, jest czynnikiem decydującym o przygotowaniu frontu eksploatacji. Ze względu na skomplikowany charakter obliczeń związanych z wykonaniem takiej prognozy, wynikający zarówno z niestalonego charakteru filtracji wód podziemnych jak i różnorodnych i zmiennych w czasie warunków granicznych procesu odwadniania i tłocze-

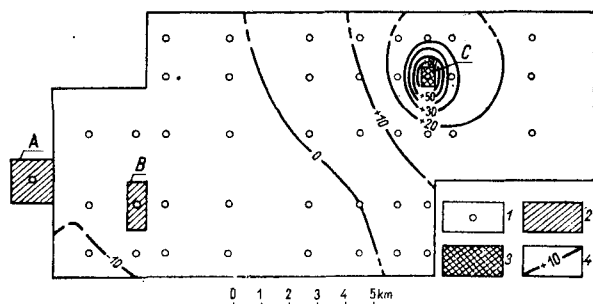


Ryc. 1. Warunki graniczne rozwiązania (wariant I i II).

1 — centrum bloku obliczeniowego, 2 — obszar odwadniania (A, B), 3 — obszar tłoczenia wody (C), 4 — hydroizohipsy naporowego poziomu wodonośnego, 5 — granice zasięgu poziomu wodonośnego, 6 — graniczne opory filtracji, — — — linie przekroju.

Fig. 1. Threshold conditions of the solution (variants I and II).

1 — center of calculation block, 2 — drained areas (A, B), 3 — area where water is pumped under pressure (C), 4 — hydroisohyps of extent of water-bearing horizon, 6 — threshold resistances of filtration, — — — lines of cross-sections.

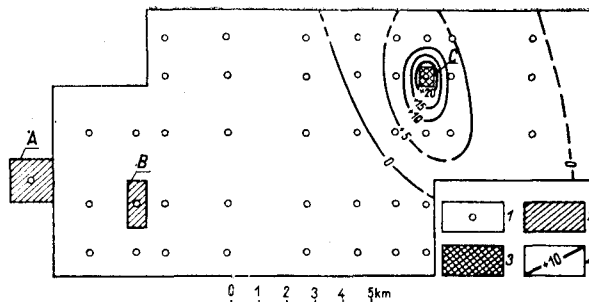


Ryc. 3. Prognozowany zasięg represji po 2 latach tłoczenia wody, w obszarze C (war. I). Objaśnienia jak na ryc. 2.

Fig. 3. Forecasted extent of repression after 2 years of water pumping under pressure over the area C (variant I). Key as in Fig. 2.

nia wód w złożę, wykorzystano do analizy tego problemu metodę analogii hydraulicznych. Metodę tę zrealizowano wykorzystując do obliczeń integrator hydrauliczny Łukjanowa.

Rozwiązaniem analogowym objęto znaczną część obszaru występowania zawadzonego złoża (około 150 km²). Na obszarze tym zlokalizowane były dwie kopalnie odkrywkowe w rejonie wschodni złoża (ryc. 1, kop. A i B) oraz kop. C eksploatująca złożę metodą otworów wiertniczych o specjalnej konstrukcji. Warstwa złożowa zalega pod nieprzepuszczalnymi utworami ilastymi na głębokości około 15 m w rejonie wschodni (ryc. 1, kop. A), zapadając pod kątem kilku stopni w kierunku południowo-wschodnim. Warstwę złożową podścielają utwory piaszczyste leżące na nieprzepuszczalnym podłożu. Warstwa piasków podścielających i warstwa złożowa zbudowana ze spękanych skał węglanowych stanowią jeden dwuwarstwowy naporowy poziom wodonośny. Obszar alimentacji tego poziomu wodonośnego związany jest z wychodniami warstwy piaszczystej i warstwy spękanych skał węglanowych. Schematyczny kontur alimentacji rozważonego poziomu wodonośnego podano na ryc. 1.

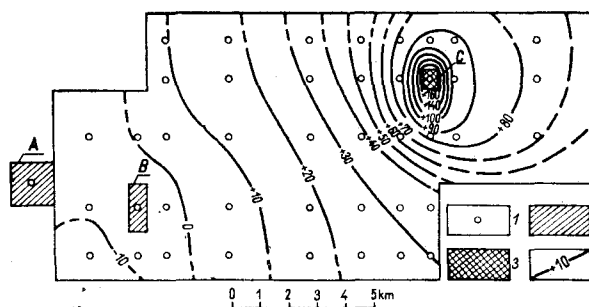


Ryc. 2. Prognozowany zasięg represji po 0,5 rocznym okresie tłoczenia wody w obszarze C (war. I).

1 — centrum bloku obliczeniowego, 2 — obszar odwadniania, 3 — obszar tłoczenia, 4 — izolinie przyrostu ciśnienia.

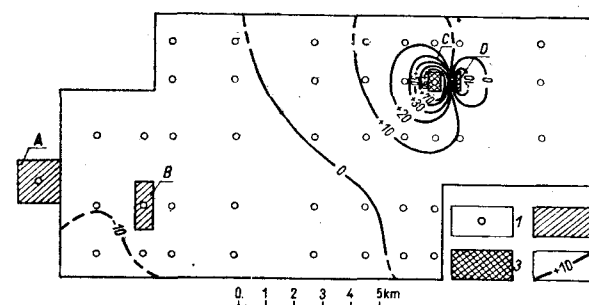
Fig. 2. Forecasted extent of repression after 0.5 a year of water pumping under pressure over the area C (variant I).

1 — center of calculation block, 2 — drainage area, 3 — water pumping area, 4 — isolines of pressure increase.



Ryc. 4. Prognozowany zasięg represji po 4,5 latach tłoczenia wody w obszarze C (war. I). Objaśnienia jak na ryc. 2.

Fig. 4. Forecasted extent of repression after 4.5 years of water pumping under pressure over the area C (variant I). Key as in Fig. 2.



Ryc. 5. Prognozowany zasięg represji po 4,5 latach tłoczenia wody w obszarze C (war. II) i 1,5 rocznym odprężaniu ciśnienia wody barierą studni w strefie D. Objaśnienia jak na ryc. 2.

Fig. 5. Forecasted extent of repression after 4.5 years of water pumping under pressure over the area C (variant II) and 1.5 years' water pressure relaxation by the well barrier in the zone D. Key as in Fig. 2.

Eksploatacja na rozważanym obszarze została zapoczątkowana przez kop. A (ryc. 1). W momencie wykonywania badań analogowych kopalnia ta wykazywała ustabilizowaną wielkość dopływów, jak również praktycznie stały zasięg odwadniania. Druga z kopalni odkrywkowych (ryc. 1, kop. B) została uruchomiona

miona w 10 lat później od kop. A i ze względu na większą jej głębokość przejęła część dopływów kop. A. Dziesięcioletnie odwadnianie kop. A i roczna praca bariery odwadniającej kop. B spowodowały znaczne obniżenie ciśnienia w rozpatrywanym poziomie wodonośnym. Uruchomiona w tym czasie kop. C, zlokalizowana w odległości około 10 km w kierunku wschodnim od kop. B, rozpoczęła eksploatację złoża przy zastosowaniu otworów wiertniczych o specjalnej konstrukcji. Na obszarze tej kopalni tłoczy się w złożu pokaźne ilości wody, która rozpryskując się wytwarza rozległy stożek represji. Zasięg tego stożka rozprzestrzenia się w czasie, co może prowadzić do znacznego zwiększenia dopływów do kop. B. Jako zabezpieczenie przed tą ewentualnością zaprojektowano uruchomienie po trzech latach pracy kop. C bariery studni odprężających D, która przejmie znaczne ilości wody i ograniczy rozprzestrzenienie się stożka represyjnego.

Omówione powyżej warunki geologiczne i hydrogeologiczne oraz sposób eksploatacji złoża były przedmiotem szczegółowej analizy, w wyniku której przygotowano program obliczeń analogowych. W rozwiązaniu analogowym cały obszar filtracji został podzielony w sposób zapewniający najlepszą symulację naturalnych warunków hydrogeologicznych i eksploatacyjnych na modelu matematycznym. Kierując się tymi przesłankami ustalono, że obszary objęte działalnością kopalń A, B i C zostaną zastąpione równoważnymi pod względem lokalizacji i powierzchni blokami obliczeniowymi. Ich położenie stanowiło podstawę do dalszego rozcięcia obszaru filtracji na bloki, których wielkość została przyjęta w taki sposób, aby umożliwić szczególnie dokładną analizę hydrodynamiczną w obszarze położonym między wkopem kop. B a kop. C i na wschód od tej ostatniej.

Dla wszystkich bloków, których środki ciężkości oznaczono na ryc. 1—6, obliczono średnie parametry poziomu wodonośnego, które stanowią podstawę przygotowania programu modelu matematycznego rozpatrywanego poziomu wodonośnego. W rozpatrywanym obszarze filtracji przyjęto średnie wartości współczynników filtracji k , które dla poszczególnych serii przedstawiają się następująco:

- warstwa piasków — 2,9 m/dobę,
- spękane skały węglanowe — 7,5 m/dobę.

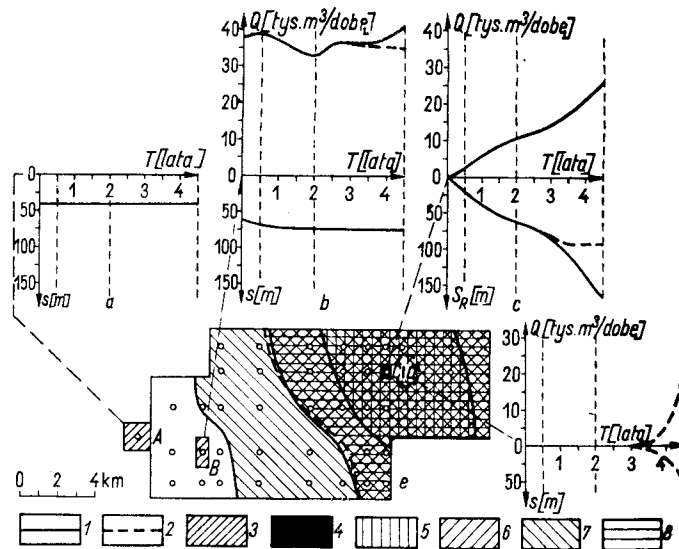
W poszczególnych blokach przyjęto do obliczeń średnie ważone wartości k , określone w stosunku do miąższości poszczególnych serii skał przepuszczalnych. Wartości k wahają się w blokach obliczeniowych w granicach od 2,9 do 6,5 m/dobę. Miąższość poziomu wodonośnego przyjęto jako sumę dwu przepuszczalnych serii: wapieni i piasków. W obszarze objętym podziałem zmienia się ona od 25,1 m (blok 7) do 67,1 m (blok 43).

Wielkość współczynnika pojemności sprężystej β^* przyjęto w całym obszarze jako wartość stałą, równą $3,11 \cdot 10^{-5}$ 1/m. Wartość tego parametru ustalono i przyjęto na podstawie wcześniejszych rozwiązań analogowych, w których uzyskano potwierdzenie wielkości zmian ciśnienia z pomiarami na złożu.

Obliczenia na integratorze hydraulicznym zostały przeprowadzone przy warunkach początkowych, wynikających ze stanu zwierciadła stwierdzonego badaniami połowymi w momencie t_0 odpowiadającym włączeniu do eksploatacji kop. C.

Warunki brzegowe w rozwiązaniu analogowym przyjęto oddzielnie dla obszaru alimentacji poziomu wodonośnego i oddzielnie dla wewnętrznych stref pola filtracji. Dla obszarów alimentacji stanowiły jej wartości pierwotnego ciśnienia wody podziemnej na konturach zasilania poziomu wodonośnego. Przez cały czas obliczeń utrzymywano stałą ich wartość ($H = f(t) = \text{constans}$).

Oddalenie do wychodni warstwy wodonośnej przedstawiono także na ryc. 1. Przyjęcie odpowiednich wewnętrznych warunków brzegowych, znajdujących się wewnątrz pola rozpatrywanych procesów filtracji, związane było ściśle z systemem eksploatacji złoża



Ryc. 6. Wewnętrzne warunki brzegowe rozwiązania (a — w obszarze odwadniania A, b — w obszarze odwadniania B, c — w obszarze tłoczenia C, d — w obszarze odprężania D) i zasięgu obszaru represji (e).

- 1 — charakterystyka wydajności i ciśnienia (wariant I), 2 — charakterystyka wydajności i ciśnienia (wariant II), 3 — obszary odwadniania (A, B) i odprężania (D), 4 — obszar tłoczenia (C), 5 — obszar wpływu represji po 0,5 roku tłoczenia wody w strefie C (war. I), 6 — obszar wpływu represji po 2 latach (war. I), 7 — obszar wpływu represji po 4,5 latach (war. I), 8 — obszar wpływu represji po 4,5 latach tłoczenia wody w strefie C i 1,5 rocznym odprężaniu ciśnienia w strefie D (war. II).

Fig. 6. Internal border conditions for solution (a — for drainage area A, b — for drainage area B, c — for water pumping area C, d — for relaxation area D) and extent of repression area (e).

- 1 — characteristics of efficiency and pressure (variant I), 2 — characteristics of efficiency and pressure (variant II), 3 — drainage areas (A, B) and relaxation area (D), 4 — area of water pumping (C), 5 — area of repression effect after 0.5 a year of water pumping over the area C (variant I), 6 — area of repression effect after 2 years (variant I), 7 — area of repression effect after 4.5 years (variant I), 8 — area of repression effect after 4.5 years of water pumping in the area C and after 1.5 years of pressure relaxation in the area D (variant II).

w poszczególnych kopalniach. Kopalnie A i B eksploatują złoża systemem odkrywkowym, który musi być poprzedzony wstępnym obniżeniem zwierciadła wody podziemnej poniżej spągu złoża. Obniżenie takie uzyskano systemem studni w barierze okalającej wkop kopalni.

W rozwiązaniu analogowym na obszarze kop. A przyjęto utrzymywanie depresji równej 41 m (w stosunku do statycznego ustalonego zwierciadła wody przed rozpoczęciem jakichkolwiek prac eksploatacyjnych), przy czym do końca wielkość ta nie ulega zmianie, ($S = f(t) = \text{constans}$). W kop. B depresja na całym obszarze wkopu będzie zmienna w granicach od 69 m (w momencie t_0) do 74 m uzyskanego pod koniec okresu prognozy (warunek brzegowy pierwszego rodzaju $S = f(t)$).

W rejonie kop. C złożo eksploatowane jest systemem otworowym, którego technologia wymaga wprowadzenia odpowiedniej ilości wody i utrzymywania określonego ciśnienia w złożu. Początek eksploatacji otworowej przypada w momencie rozpoczęcia obliczeń analogowych, który przyjęto za początkowy (t_0). Prognozę kształtowania się zmian w poziomie wodonośnym opracowano dla 4,5 lat. W związku z tym w bloku modelującym kop. C zadawano odpowiednie ilości włączanej wody, niezbędnej dla zapewnienia efektyw-

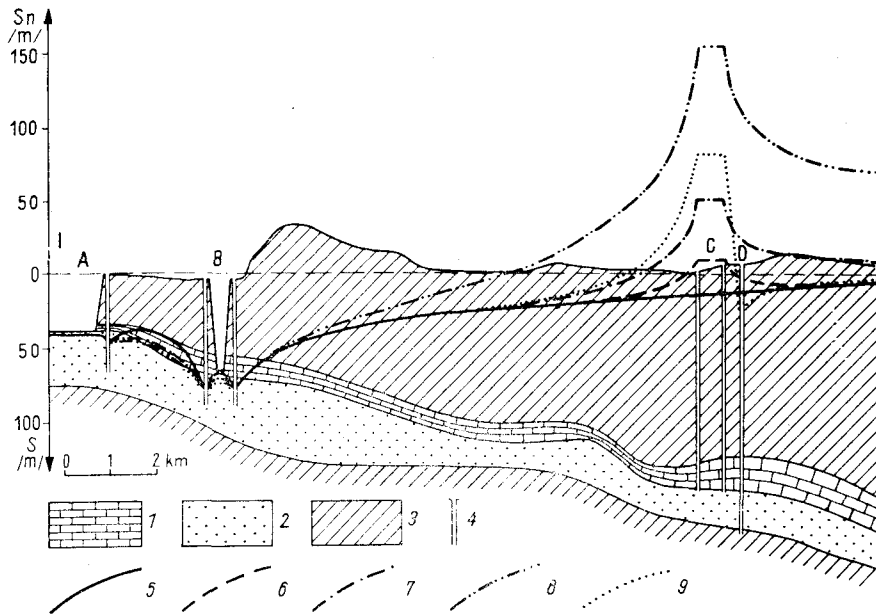


Fig. 7. Sketch hydrogeological cross-section, I—I', with forecasted changes in groundwater pressure.

1 — limestones, 2 — sands, 3 — impervious deposits (clays, slates), 4 — well deposits, 5 — piezometrical water-table prior to initiation of water pumping under pressure (start-

Ryc. 7. Schematyczny przekrój hydrogeologiczny I—I' z prognozowanymi zmianami ciśnienia wód podziemnych.

1 — wapienie, 2 — piaski, 3 — utwory nieprzepuszczalne (iły, łupki), 4 — otwory studzienne, 5 — piezometryczne zwierciadło wody przed rozpoczęciem tłoczenia (warunek początkowy rozwiązania), 6 — piezometryczne linie ciśnienia po 0,5-rocznym okresie tłoczenia wody (war. I), 7 — piezometryczne linie ciśnienia po 2 latach tłoczenia wody (war. I), 8 — piezometryczne linie ciśnienia po 4,5 latach tłoczenia wody (war. I), 9 — piezometryczne linie ciśnienia po 4,5 latach tłoczenia wody i 1,5-rocznym okresie odprężania ciśnienia (war. II).

ing point of the solution), 6 — piezometrical pressure lines after 0.5 a year of water pumping (variant I), 7 — piezometrical pressure lines after 2 years of water pumping (variant I), 8 — piezometrical pressure lines after 4.5 years of water pumping (variant I), 9 — piezometrical pressure lines after 4.5 years of water pumping and 1.5 years of pressure relaxation (variant II).

ności eksploatacji surowca, zmiennej z upływem czasu jako warunek brzegowy II rodzaju ($Q = f(t)$).

W miarę wzrostu ilości wprowadzanej do górotworu wody będzie wzrastało ciśnienie w poziomie wodonośnym, tworząc określony stożek represji. Ponieważ technologia eksploatacji otworowej wymaga równocześnie utrzymywania odpowiedniego ciśnienia wody w złożu, dlatego też dla zapewnienia optymalnych warunków eksploatacji wprowadzono do obliczeń dodatkowy element w postaci systemu studni odprężających (D) byłaby zlokalizowana, jak to podano na ryc. 4 i rozpoczęły pracę z określoną depresją po upływie 3 lat od momentu t_0 . Zmiany warunków brzegowych wewnętrznych $S = f(t)$ przedstawiono na ryc. 6. Wewnętrzny warunek brzegowy rozwiązania dla kop. A ($S = f(t)$) podano na ryc. 6a, dla kop. B ($S = f(t)$) na ryc. 6b, dla kop. C ($Q = f(t)$) na ryc. 6c oraz dla bariery studni odprężających D ($S = f(t)$) na ryc. 6d.

Dla określonych w ten sposób warunków granicznych rozwiązania wykonano obliczenia analogowe. Obliczenia te dały podstawę do analizy efektów odwadniania i tłoczenia wody w obszarze badanego poziomu wodonośnego. Rozwiązania analogowe wykonano w dwu wariantach, pierwszy bez barier otworów odprężających D i drugi przy uwzględnieniu działania tej bariery. Wariant pierwszy uwzględniał trzy okresy prognozy. Pierwszy okres prognozy po półrocznym okresie tłoczenia wody przez kop. C (liczony od momentu t_0) przedstawiono na ryc. 2. Zasięg represji (zerowa izolacja) wywołanej tłoczeniem wody do poziomu wodonośnego jest w tym okresie niewielki a przyrost ciśnienia, ponad stan pierwotny, w bezpośrednim sąsiedztwie kopalni przekracza nieznacznie 20 m słupa wody. Ta początkowa faza prognozy warunków ciśnienia wody na obszarze złoża pozwala stwierdzić, że istnieje duża łatwość rozprzestrzeniania się leja represyjnego w kierunku na wschód od kop. C — większa niż w kierunku nachylenia leja represyjnego kop. B.

Drugi etap prognozy, dla okresu 2 lat od momentu t_0 , wskazał jak to ilustruje ryc. 3, na dalszy rozwój

leja represyjnego w kierunku kop. B. W tym czasie zasięg represji (zerowa izolacja) osiągnął połowę odległości między kopalnią B i C, przy czym znacznie zwiększył się przyrost ciśnienia w bezpośrednim sąsiedztwie kop. C, tłoczącej wodę technologiczną. Przyrost ten w stosunku do pierwotnego poziomu ciśnienia horyzontu wodonośnego osiągnął w najbliższym rejonie kop. C wartość przekraczającą 60 m słupa wody.

Trzeci, końcowy dla wariantu pierwszego, etap prognozy (ryc. 4) wykonany został dla 4,5 letniego okresu tłoczenia wody technologicznej przez kop. C. Przyrost ciśnienia wody w stosunku do momentu t_0 objął znaczną część obszaru złoża. Zasięg leja represyjnego wywołanego tłoczeniem wody technologicznej przez kop. C osiągnął bliskie sąsiedztwo kopalni odkrywkowej B. Taki zasięg przyrostu ciśnienia wywołanego przez kop. C spowodował zahamowanie dalszego rozwoju leja represyjnego wywołanego przez kop. B. W wyniku tego procesu zwiększyły się dopływy wody do kop. B oraz znacznie wzrosły wartości przyrostu ciśnienia w rejonie kop. C. W najbliższym rejonie kop. C przyrost ciśnienia osiągnął wartość przekraczającą 100 m słupa wody. Dalszy wzrost ciśnienia w rejonie kopalni C mógłby prowadzić do zakłócenia dalszej eksploatacji przez zmniejszenie chłonności złoża i erupcje wód technologicznych na starzejących się otworach eksploatacyjnych. Wymienione powyżej czynniki niekorzystne dla rozwoju eksploatacji złoża otworami wiertniczymi spowodowały konieczność prognozy zmian warunków hydrodynamicznych dla innego wariantu gospodarki wodnej kopalni.

Drugi wariant prognozy warunków ciśnienia na obszarze rozważanego mioceńskiego poziomu wodonośnego został przebadany przy uwzględnieniu działania specjalnej bariery D studni odprężających ciśnienie wody, a zlokalizowanej w bezpośrednim sąsiedztwie kop. C (ryc. 5). Wyniki dla tego wariantu podano dla 4,5 letniej eksploatacji kop. C oraz 1,5 rocznego działania bariery D. Badania analogowe pozwoliły ustalić, że odpowiednia lokalizacja bariery studni odprężających w stosunku do obszaru otworowej eksploatacji C oraz określona depresja w studniach tej bariery (wykres na ryc. 6d) znacznie poprawiają warunki hydrodynamiczne złoża.

Polepszenie warunków hydrodynamicznych wyraża się zmniejszeniem zasięgu represji w kierunku kop. B (ryc. 5) oraz obniżeniem przyrostów ciśnień i zmniejszeniem się obszaru ich występowania w rejonie kop. C. Ponadto bariera studni odprężających stwarza korzystne warunki dla ukierunkowania przepływu tłoczonych wody technologicznej zgodnie z przesuwaniami się frontu eksploatacji otworowej złoża, tzn. od obszaru C do bariery odprężającej D. Ten korzystny kierunek przepływu dużej części wody technologicznej tłoczonych w obszarze C spowodowany jest znaczną wartością gradientu hydraulicznego między obszarami C i D, co widoczne jest na przekroju przez obszar złoża (ryc. 7). Na ryc. 6e i 7 przedstawiono syntezę wyników badań analogowych w odniesieniu do obu wariantów prognozy. Jak wynika z materiałów tu przedstawionych, a także z wykresu podanego na ryc. 6d prowadzenie jednoczesnego odwadniania i tłoczenia wody na rozważanym obszarze wymaga stosowania bariery studni odprężających ciśnienie. Przedłużenie eksploatacji zawodnionego złoża poza okres objęty prognozą będzie wymagało stałej kontroli warunków hydrodynamicznych wywołanych odwadnia-

SUMMARY

The paper deals with changes in hydrological conditions in ore exploited both by opencast method and by using boreholes of special construction.

Opencast exploitation demands ore drainage, whereas hotwater mining method requires water pumping into ore series. The ore exploited by the above mentioned methods occurs in rocks forming extensive pressure water-bearing horizon.

Studies on changes in hydrological conditions prevailing in that water-bearing horizon were performed using analogon calculations on hydraulic integrator. The results obtained formed a basis for prognosis of time changes in hydrogeological conditions caused by sulphur exploitation. •

niem i tłoczeniem wód. Badania czasowych zmian ciśnienia wody na rozpatrywanym obszarze należy ściśle wiązać z wydajnością i depresją studni bariery odprężającej.

Jak wynika z badań, przeprowadzonych dla 4,5-letniego okresu prognozy, depresja i wydajność bariery studni odprężających D będzie się zwiększać w miarę narastania ilości tłoczonych wód technologicznych. Bariera studni odprężających ciśnienie wód złożowych będzie, co zrozumiałe, przemieszczała się stosownie do postępu eksploatacji otworowej.

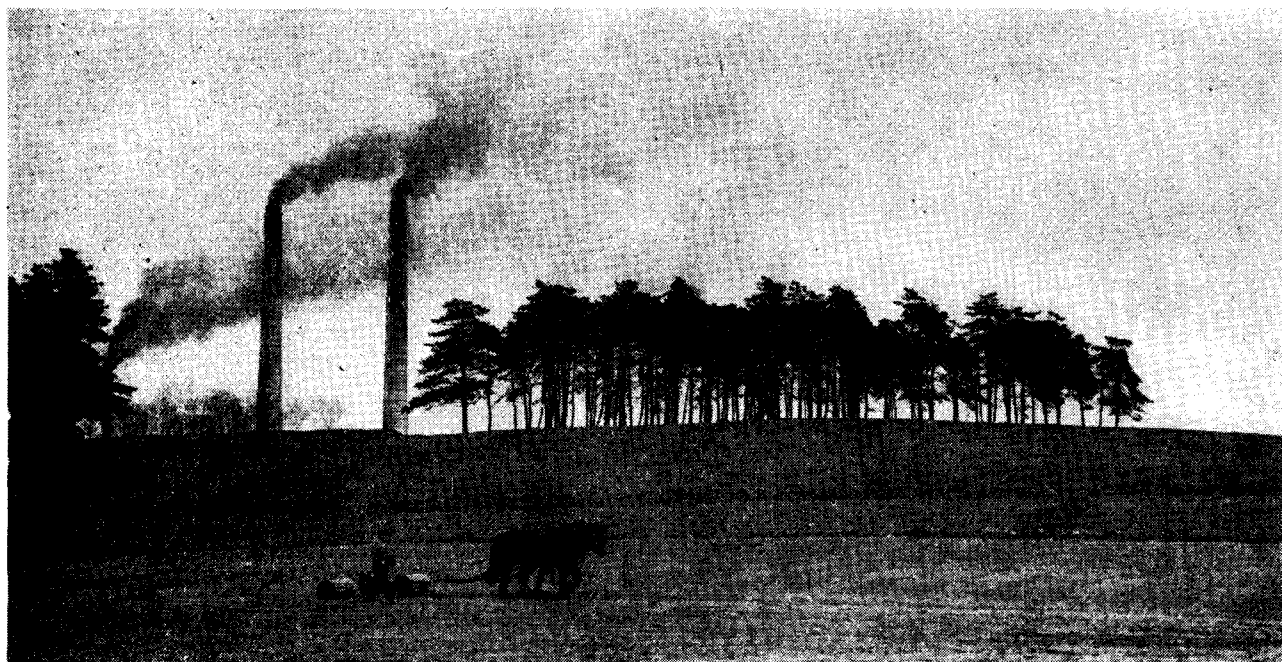
Na podstawie uzyskanych wyników obliczeń analogowych i obserwacji terenowych wynika konieczność dalszych badań, zmierzających do właściwego rozmieszczenia poszczególnych studni bariery D oraz do określenia optymalnej długości i odległości bariery odprężającej w stosunku do frontu prowadzonej eksploatacji.

РЕЗЮМЕ

В работе рассматриваются изменения гидрогеологических условий на месторождениях, вызванные разработкой как карьерным способом, так и методом буровых скважин специальной конструкции.

Карьерный способ разработки требует осушения месторождения, а эксплуатация с помощью скважин предусматривает необходимость нагнетания воды в залежь. Разрабатываемая этими методами залежь приурочена к породам, слагающим напорный водоносный горизонт, выдержанный на большой площади.

Изменения гидрогеологических условий этого водоносного горизонта исследовались по данным аналоговых вычислений, произведенных с помощью гидравлического интегратора. Полученные результаты явились основой для прогнозирования временных изменений гидрогеологических условий, вызванных разработкой месторождения.



Negatywne skutki oddziaływania przemysłu na środowisko przyrodnicze — jako częste zjawisko okęgów przemysłowo rolniczych.

Fot. CAF, Jakubowski