

**ZAGADNIENIA OPTIMALIZACJI EKSPLOATACJI SIARKI METODĄ OTWOROWĄ
NA PODSTAWIE DANYCH GEOLOGICZNYCH I MODELOWYCH**

UKID [622.366.11:622.277].013

Eksploatacja siarki metodą otworową jest dotychczas procesem słabo poznanym. Wprowadzenie tej metody w latach sześćdziesiątych do eksploatacji złóż siarki w zapadlisku przedkarpackim stworzyło konieczność podjęcia w kraju badań nad przebiegiem procesu wytapiania siarki w złożu i wpływem warunków geologicznych na efekty eksploatacji.

Załącznikiem tych badań był szereg instrukcji, dotyczących obserwacji i badań geologicznych dla potrzeb eksploatacji otworowej, opracowanych w ramach prac Wyższego Urzędu Górniczego przez zespół pracujący pod kierunkiem prof. dr inż. Romana Krajewskiego*. Realizacja nakreślonego programu badań została podjęta zarówno w przemyśle (głównie w PSGSchem „Hydrokop”), jak i w Akademii Górniczo-Hutniczej. Prace prowadzone w Instytucie Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej zmierzają w czterech kierunkach:

1. Określenia wpływu czynników geologicznych na efekty eksploatacji.
2. Poznania procesu wytapiania siarki w złożu w oparciu o badania modelowe.
3. Sformułowania zasad badania i dokumentowania złoża z punktu widzenia eksploatacji otworowej.
4. Określenia zasad reeksploatacji w słabo wykorzystanych partiach złoża.

W artykule przedstawiono niektóre wyniki badań związanych z optymalizacją eksploatacji.

BUDOWA GEOLOGICZNA ZŁOŻ SIARKI

Złoże siarki w zapadlisku przedkarpackim tworzą wapienie siarkonośne, występujące w obrębie tzw. serii złożowej. Prócz siarkonośnych skał węglanowych serię złożową budują wapienie pienne, zwykle silnie kawerniste, gipsy oraz ility margliste (ryc. 1). W spągu serii występują piaski baranowskie, a w stropie ility margliste i margle warstw pektenowych i krakowieckich.

Osiarkowanie obejmuje bądź całą serię złożową, bądź tylko jej część, a resztę profilu budują wapienie pienne lub gipsy. ility występują bardzo nieregularnie i — jak można sądzić na podstawie dotychczasowych danych — tworzą niewielkie gniazda i soczewy (ryc. 2).

W oparciu o sposób rozmieszczenia wapieni siarkonośnych w profilu serii złożowej można wydzielić kilka typów jej budowy (ryc. 1). Zmienne wykształcenie profilu serii złożowej powoduje dużą zmienność miąższości i zasobności złoża. Natomiast osiarkowanie, podobnie jak w innych złożach siarki, cechuje się stosunkowo mniejszą zmiennością. Obserwuje się wyraźną korelację między miąższością złoża, procentowym udziałem wapieni pionych w serii złożowej i zasobnością.

W złożu można zaobserwować dość wyraźną strefową zmienność poszczególnych parametrów (miąższości, zasobności, udziału procentowego wapieni pionych i przerostów ility). Ilustruje to przykładowo mapa procentowego udziału wkładek ility dla fragmentu złoża (ryc. 3). Na obszarze złoża daje się więc wydzielić rejon, w których występują poszczególne typy wykształcenia serii złożowej. Można ocze-

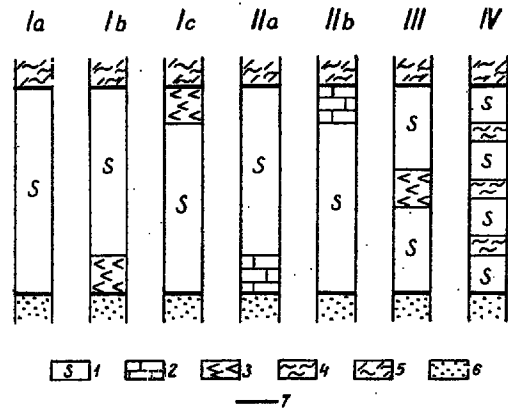
* W skład zespołu wchodził: dr J. Czarnecki, mgr inż. S. Dzwigala, dr inż. M. Nieć, mgr J. Rogaliński.

kiwać, że w rejonach tych przebieg i efekty eksploatacji będą różne w zależności od warunków geologicznych.

WPLYW CZYNNIKÓW GEOLOGICZNYCH NA EFEKTY EKSPLOATACJI

O efektywności eksploatacji decydują w głównej mierze trzy parametry: wielkość produkcji, stopień wykorzystania złoża, wskaźnik zużycia wody gorącej na tonę siarki. Wartości tych parametrów dla poszczególnych otworów zmieniają się w szerokich granicach.

Wykrycie zależności tych parametrów od również zmiennych parametrów geologicznych jest możliwe jedynie w oparciu o metody statystyczne — badanie korelacji między parametrami. Stwierdzono przy tym

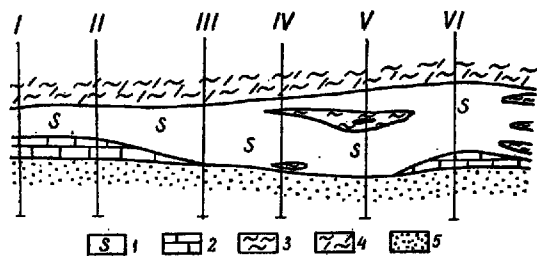


Ryc. 1. Typy budowy serii złożowej.

1 — wapienie siarkonośne, 2 — pienne wapienie kawerniste, 3 — gipsy, 4 — ility margliste, 5 — warstwy pektenowe (ility i margle), 6 — piaski baranowskie, 7 — strop i spąg serii złożowej.

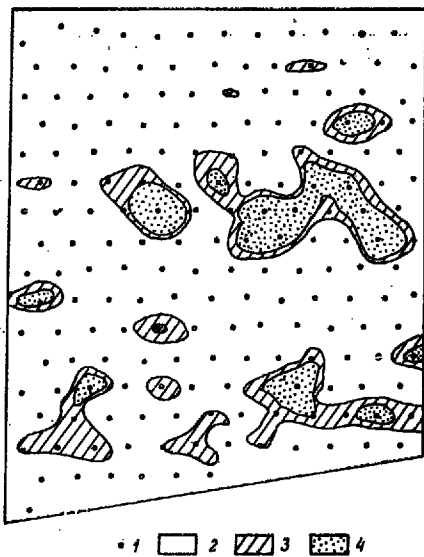
Fig. 1. Types of ore series structure.

1 — sulphur-bearing limestones, 2 — spool, cavernaceous limestones, 3 — gypsum, 4 — marly clays, 5 — Pecten beds (clays and marls), 6 — Baranów sands, 7 — top and base of the ore series.



Ryc. 2. Schematyczny przekrój przez fragment złoża. Objasnienia jak na ryc. 1.

Fig. 2. Schematic cross-section through a section of the ore. Key as in Fig. 1.

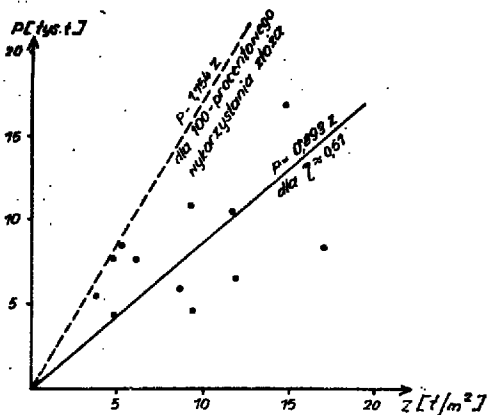


Ryc. 3. Mapa procentowego udziału wkładek ilastych w serii złóżowej.

1 — otwory eksploatacyjne, 2 — udział wkładek ilastych, poniżej 5%, 3 — od 5 do 10%, 4 — ponad 10%.

Fig. 3. Map of percentage contribution of clay intercalations in the ore series.

1 — exploitation holes, 2 — contribution of clay intercalations, below 5%, 3 — 5 to 10%, 4 — over 10%

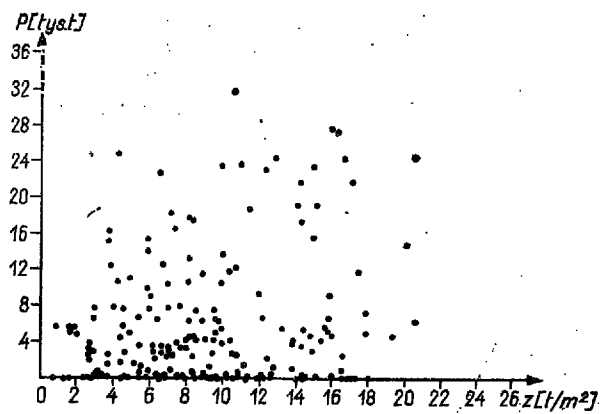


Ryc. 5. Wykres zależności średniej wielkości produkcji otworów od zasobności w poszczególnych rejonach złoża.

Fig. 5. Diagram of interdependence between mean level of production in particular boreholes and ore yield in various parts of the ore.

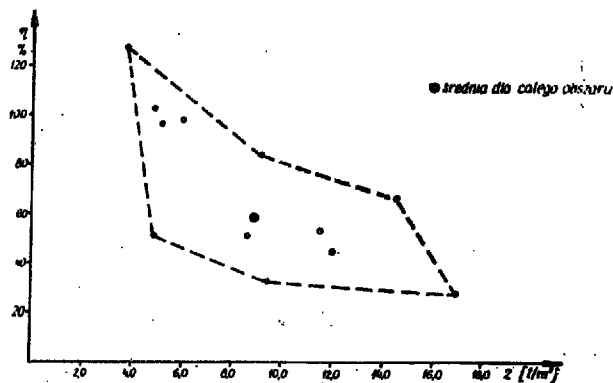
Jednak, że dla pojedynczych otworów nie da się zaobserwować współzależności między parametrami produkcyjnymi i geologicznymi. Ilustruje to przykładowo ryc. 4. O pracy otworów decydują przede wszystkim czynniki techniczne (podaż wody, czas pracy otworów, kolejność ich włączania, położenie filtra itp.) oraz powstające w trakcie eksploatacji powiązania hydrauliczne między otworami. Obserwowany brak korelacji wynika również częściowo z niedokładności pomiaru wielkości produkcji z poszczególnych otworów.

Wpływ czynników geologicznych na efekty eksploatacji można zauważyć dopiero, gdy rozpatruje się grupy otworów z rejonów o zróżnicowanych parametrach geologicznych i operuje się średnimi wartościami dla



Ryc. 4. Zależność wielkości produkcji od zasobności złoża (dla otworów, które zakończyły eksploatację).

Fig. 4. Relationship between the level of production of the ore yield (for holes, where exploitation was completed).



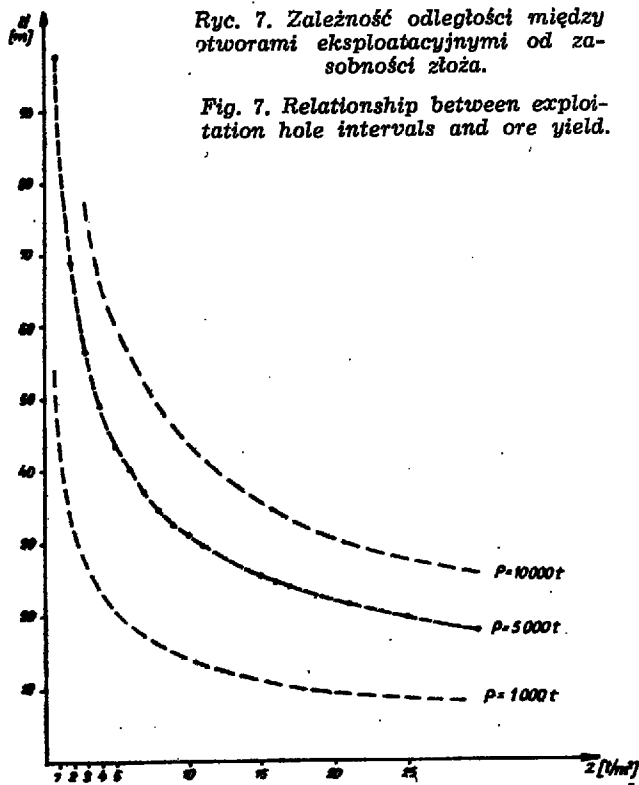
Ryc. 6. Zależność stopnia wykorzystania złoża od zasobności w poszczególnych rejonach.

Fig. 6. Relationship between the degree of ore utilization and the yield for various parts of the sulphur ore.

poszczególnych rejonów złoża. W oparciu o dane uzyskane z dotychczasowej eksploatacji w poszczególnych rejonach złoża udało się udokumentować zależność średniej wielkości produkcji otworów i stopnia wykorzystania złoża od zasobności i miąższości złoża oraz zależność wskaźnika zużycia wody od typu profilu serii złóżowej.

Średnia wielkość produkcji otworów w poszczególnych rejonach jest proporcjonalna do miąższości i zasobności złoża w tych rejonach (ryc. 5). Jednocześnie obserwuje się słabe wykorzystanie bardziej zasobnych partii złoża (ryc. 6). Oznacza to, że przy stosowanej 45-metrowej siatce otworów eksploatacyjnych otwory na polach o większej zasobności kończą pracę zanim zdołają wyeksploatować złożo w przypisanym im bloku. Zatem na polach o wyższej zasobności należałoby wykonywać otwory w siatce gęstszej niż 45 m. Zagadnienie odstępów między otworami eksploatacyjnymi na złożu można ująć następująco (wychodząc z zależności):

$$\eta = \frac{P}{Z} \dots \dots \dots [1]$$



Ryc. 7. Zależność odległości między otworami eksploatacyjnymi od zasobności złoża.

Fig. 7. Relationship between exploitation hole intervals and ore yield.

gdzie:

- η — wskaźnik wykorzystania zasobów złoża,
- P — produkcja otworu,
- Z — zasoby w bloku przypisanym otworowi.

Przyjmując, że otwory wykonane są w siatce trójkątnej równobocznej, można określić odległość między otworami za pomocą wzoru:

$$d = \sqrt{\frac{P}{0,866 z \eta}} \dots \dots \dots [2]$$

gdzie:

- z — zasobność złoża.

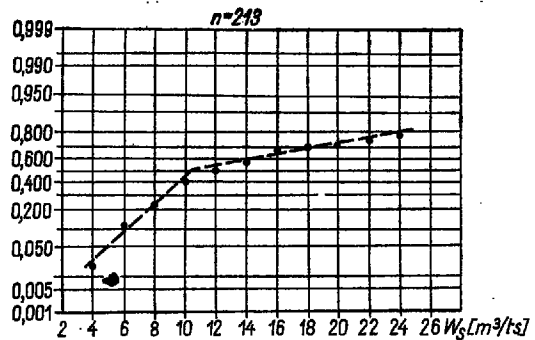
Na ryc. 7 przedstawiono tę zależność dla $\eta = 0,6$, odpowiadającego średniej wytopalności rudy. Powyższą zależność można wyrazić jeszcze w inny sposób. Ponieważ zasobność jest proporcjonalna do miąższości złoża (M) i dla badanego złoża można ją określić wzorem $z = 0,6 M$, natomiast produkcja jest proporcjonalna do ilości zużytej wody, wobec tego można wzór (2) przedstawić w postaci bardziej dogodnej dla praktyki:

$$d = k \sqrt{\frac{q\tau}{M\eta}} \dots \dots \dots [3]$$

gdzie:

- q — podaż wody w m^3/h ,
- τ — czas pracy otworu w miesiącach,
- k — współczynnik przeliczeniowy (jego wartość, wyliczona na podstawie dotychczasowych danych obserwacyjnych, wynosi 11).

Z przedstawionych wzorów wynika, że dla odpowiedniego wykorzystania złoża gęstość sieci otworów eksploatacyjnych powinna być zróżnicowana zależnie



Ryc. 8. Wykres rozkładu częstości wskaźnika zużycia wody (na siatce propabilistycznej).

Fig. 8. Diagram of frequency distribution of water consumption index (on probability paper).

od zasobności względnie miąższości złoża, przy założonych parametrach technologicznych (q , τ , lub P). Podaż wody q uzależniona jest od chłonności złoża. Dotychczas brak jednak dostatecznych danych co do tej chłonności, co sprawia, że nie można jednoznacznie określić optymalnej wielkości rozstępu otworów eksploatacyjnych.

Trzecim obok produkcji i wykorzystania złoża parametrem, charakteryzującym efektywność eksploatacji jest wskaźnik zużycia wody gorącej na tonę siarki. Waha się on w bardzo szerokich granicach od kilku do kilkuset $m^3/tonę$. W oparciu o analizę rozkładów częstości wartości tego wskaźnika (ryc. 8) można wydzielić dwie klasy zużycia wody: duże — ponad $10 m^3/t$ siarki, małe — poniżej $10 m^3/t$ siarki. Zaobserwowano, że duże zużycie wody występuje tam, gdzie w serii złożowej pojawiają się wapienie płonne, zwłaszcza jeśli występują przy jej stropie. Natomiast małe zużycie wody ma miejsce tam, gdzie cała seria złożowa jest osiarkowana.

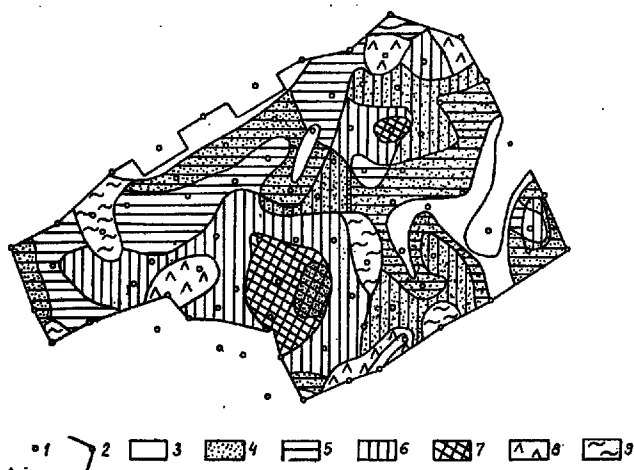
Na podstawie analizy dotychczasowego przebiegu eksploatacji można podać dwie zasady jej usprawnienia.

1. Gęstość sieci otworów eksploatacyjnych powinna być modyfikowana zależnie od miąższości złoża lub zasobności.
2. Na obszarach, gdzie występują wapienie płonne, należy poczynić odpowiednie zabiegi zmierzające do ograniczenia migracji wody gorącej w ich obrębie. W przypadku występowania wapieni płonnych w spągu serii zabieg taki polegałby np. na posadowieniu filtra siarkowego w ich stropie, a w przypadku występowania takich wapieni w stropie serii na zmniejszeniu ich drożności poprzez ilowanie, cementację itp.

REJONIZACJA ZŁOŻA Z UWAGI NA WARUNKI EKSPLOATACJI

Opierając się na stwierdzonych zależnościach efektów eksploatacji od czynników geologicznych podjęto próbę wydzielenia w obrębie złoża rejonów, które powinny się charakteryzować różnymi warunkami eksploatacji. Podstawą wydzielenia rejonów jest zasobność i typ profilu serii złożowej. Z uwagi na zasobność wydzielono trzy typy rejonów: rejon o małej zasobności — do $6 t/m^2$, o średniej zasobności — $6-15 t/m^2$ i o dużej zasobności — ponad $15 t/m^2$, w których otwory eksploatacyjne należałoby wykonać odpowiednio w odstępach dużych, średnich i małych.

Z uwagi na typ profilu serii złożowej wydzielono przede wszystkim rejon bez wapieni płonnych, w których zużycie wody powinno być małe oraz rejon w których występują wapienie płonne i gdzie w



Ryc. 9. Mapa prognoz warunków eksploatacji.

1 — otwory wiertnicze, 2 — kontur złoża, 3 — złoża poza-bilansowe, 4 — obszary, na których występują wapienie glaukowe w serii złożowej, 5 — złożo o zasobności poniżej 6 t/m², 6 — złożo o zasobności 6-15 t/m², 7 — złożo o zasobności ponad 15 t/m², 8 — obszary, w których obrębie serii złożowej występują liczne (ponad 10%) przerosty ilaste.

Fig. 9. Map prognosis of exploitation conditions.

1 — boreholes, 2 — boundaries of the ore, 3 — non-balance ore, 4 — areas of occurrence of spoil limestones in the ore series, 5 — ore resources up to 6 tons per sq. m., 6 — ore resources 6 to 15 tons per sq. m., 7 — ore resources over 15 tons per sq. m., 8 — areas where clay intercalations contribute over 10% of ore series thickness.

związku z tym można oczekiwać dużego zużycia wody, o ile nie zostaną zastosowane zabiegi umożliwiające wyłączenie tych wapieni ze strefy bezpośredniego grzania.

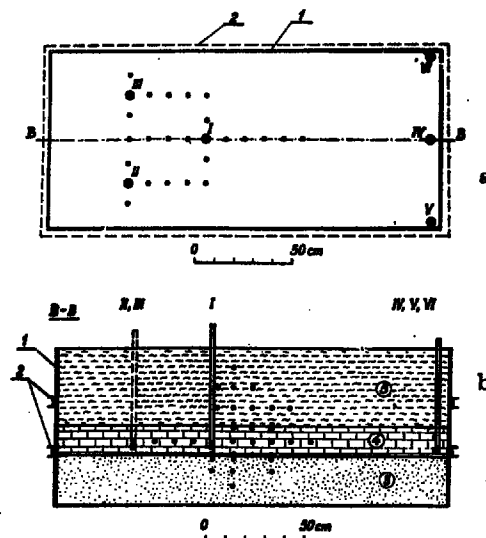
Ponadto wydzielono rejon, w których w obrębie złoża występują przewarstwienia nieprzepuszczalnych gipsów dzielące je na dwie lub więcej warstw. Na razie brak doświadczeń na temat eksploatacji w takich warunkach. Można jednak spodziewać się, że w przypadkach takich konieczna będzie eksploatacja każdej warstwy oddzielnie. Wydzielono również rejon, w których obrębie występuje duża ilość przerostów ilastych. W rejonach tych eksploatacja może być utrudniona z powodu zmiennych warunków filtracji. Opracowaną w myśl powyższych zasad mapę prognoz przedstawiono na ryc. 9.

Przebieg eksploatacji i jej efekty w poszczególnych otworach w wydzielonych rejonach mogą się zmieniać w szerokich granicach w zależności od lokalnego wykształcenia złoża i stosowanej technologii eksploatacji (np. zafiltrowania, podaży wody itp.). W oparciu o znajomość wykształcenia litologicznego złoża można jednakże podać szacunkową prognozę warunków eksploatacji (tab.). W szczególności o warunkach pracy otworu mogą decydować także czynniki, jak osiarkowanie rudy i wielkość skurpień siarki, porowatość rudy i jej wytrzymałość po wytodzie oraz typ litologiczny rudy. Szczególnie istotne jest wykształcenie rudy w strefie posadowienia filtra.

BADANIA MODELOWE

W trakcie dotychczasowych badań stwierdzono, że w chwili obecnej efekty eksploatacji w większym stopniu są uzależnione od czynników technologicznych niż geologicznych. W celu określenia wpływu niektórych czynników technologicznych na efekty eksploatacji podjęto badania modelowe.

Zamodelowano w skali 1:100 wycinek złoża o wymiarach 90 × 200 m i miąższości 15 m. Warstwę odpowiadającą serii złożowej tworzyła w modelu rozdrobiona ruda siarkowa o granulacji 1-5 mm.



Ryc. 10. Schemat modelu do badania nagrzewania złoża.

a) przekrój poziomy modelu w środku warstwy złożowej, b) przekrój pionowy, 1 — obudowa modelu, 2 — cewnik, wzmacniający, 3 — piasek baranowski, 4 — warstwa złożowa, 5 — il nadkładowy, I, III, IIII — otwory wloczne, IV, V, VI — otwory odpężające. Czarnymi punktikami oznaczono czujniki termometrów oporowych.

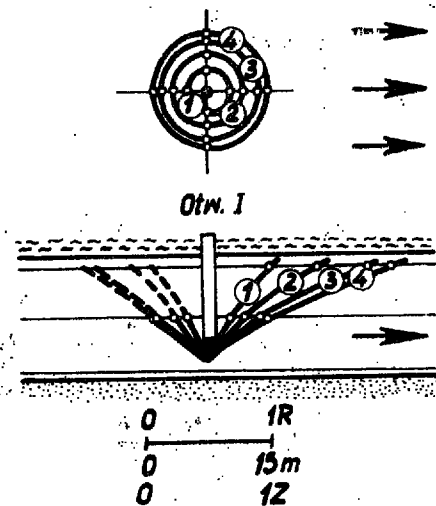
Fig. 10. Scheme of model to study on the ore heating. Resistance thermometer gauges marked with solid spots.

a — horizontal cross-section through central part of the ore series in the model, b — vertical cross-section; 1 — model framework, 2 — reinforcing coil, 3 — Baranów sands, 4 — the ore layer, 5 — cap clay; I, III, IIII — gressing holes; IV, V, VI — relaxing holes.

WARUNKI PRACY OTWORU ZE WZGLĘDU NA WŁASNOŚCI RUDY

Warunki	dobrze	przeciętne	niekorzystne
osiarkowanie % typ rudy	25-40 wapienny	10-25 wapienno-marglisty	poniżej 10 marglisto-ilasty
wielkość skurpień siarki	duże	średnie	małe
porowatość rudy %	8-16	3-8 lub 16-22	poniżej 3 ponad 22
wytrzymałość rudy na ściskanie po wytapie kg/cm ²	ponad 17	10-17	poniżej 10
wytapialność rudy %	ponad 70	50-70	ponad 50

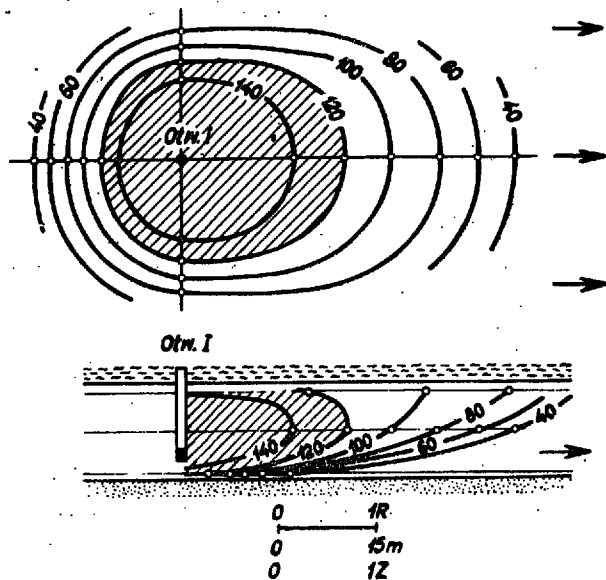
Schemat budowy modelu przedstawiono na ryc. 10. Badano proces nagrzewania złoża przy różnej podaży wody gorącej do jednego, dwu i trzech otworów usytuowanych w siatce trójkątnej. W trakcie każdego z doświadczeń podaż wody utrzymywano na stałym poziomie. Wodę odprowadzano z modelu poprzez otwory depresjonujące umieszczone przy krótszym boku modelu, co stworzyło warunki ukierunkowanego przepływu wody. Zamodelowany układ otworów odpowiadał stosowanemu systemowi eksploatacji. Wyniki badań modelowych można przenieść na warunki złożowe w oparciu o zasady podobieństwa. Przy opracowywaniu wyników szczególną uwagę zwrócono na rozprzestrzenianie się temperatury odpowiadającej punkowi topliwości siarki.



Ryc. 11. Położenie izotermy $t = 120^\circ\text{C}$ w środku warstwy złożowej i w jej przekroju pionowym dla kolejnych czasów pracy otworu z podażą wody $q = 5,9 \text{ m}^3/\text{h}$ ($\frac{q}{M} = 0,4 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$). 1 — 9,4; 2 — 56,4; 3 — 140,9; 4 — 187,8 doby. Strzałkami oznaczono kierunek odprężania.

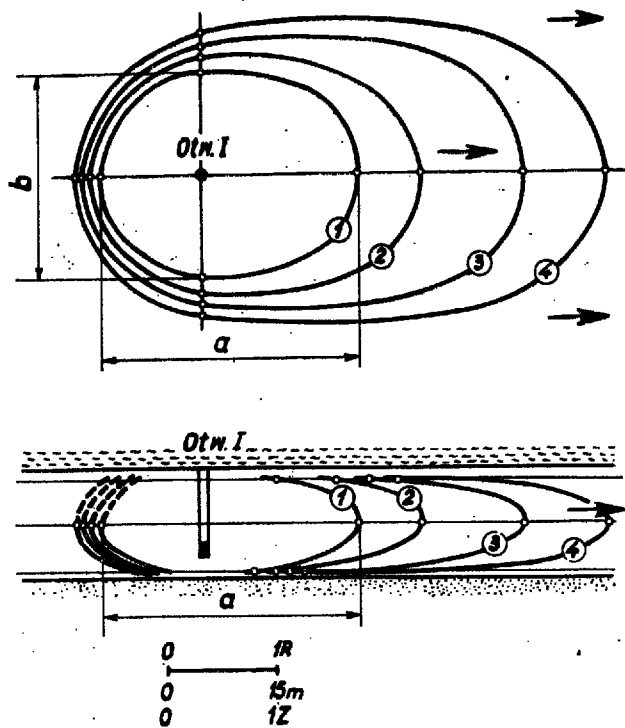
Fig. 11. Position of isotherm $t = 120^\circ\text{C}$ in the middle of the ore layer and in its vertical section of successive working periods of exploitation holes when water supply $q = 5.9 \text{ c.m./h.}$ ($\frac{q}{M} = 0.4 \text{ c.m./h}\cdot\text{m}$).

Direction of relaxation marked with arrow head.
1 — 9.4, 2 — 56.4, 3 — 140.9, 4 — 187.8 days.



Ryc. 13. Rozmieszczenie izoterm w warstwie złożowej po 56,4 dobach tłoczenia wody grzewczej do otworu w ilości $17,7 \text{ m}^3/\text{h}$ ($\frac{q}{M} = 1,2 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$). Zakreskowane obszary określają rozmiary strefy wygrzanej do temperatury topnienia siarki.

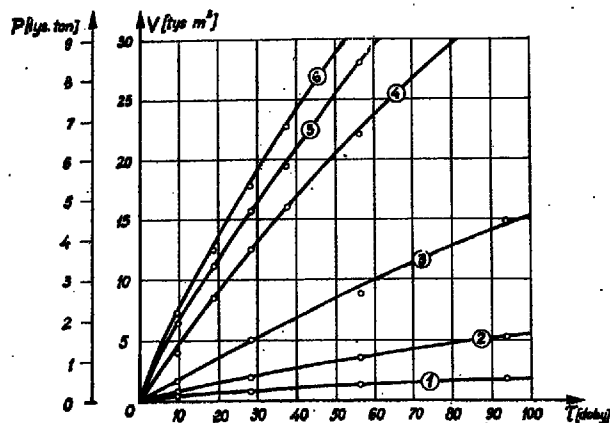
Fig. 13. Distribution of isotherms in the ore layer after 56.4 days of pressure pumping of hot water into the hole at the velocity of 17.7 c.m./h. ($\frac{q}{M} = 1.2 \text{ c.m./h}\cdot\text{m}$). Zone heated up to the melting point of sulphur marked with oblique hatches.



Ryc. 12. Położenie izotermy $t = 120^\circ\text{C}$ w kolejnych czasach pracy otworu z podażą wody $q = 23,6 \text{ m}^3/\text{h}$ ($\frac{q}{M} = 1,4 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$). 1 — 9,4; 2 — 18,8; 3 — 28,2; 4 — 37,6; 5 — 56,4 doby.

Fig. 12. Position of isotherm $t = 120^\circ\text{C}$ for successive working periods of exploitation hole when water supply $q = 23.6 \text{ c.m./h.}$ ($\frac{q}{M} = 1.4 \text{ c.m./h}\cdot\text{m}$).

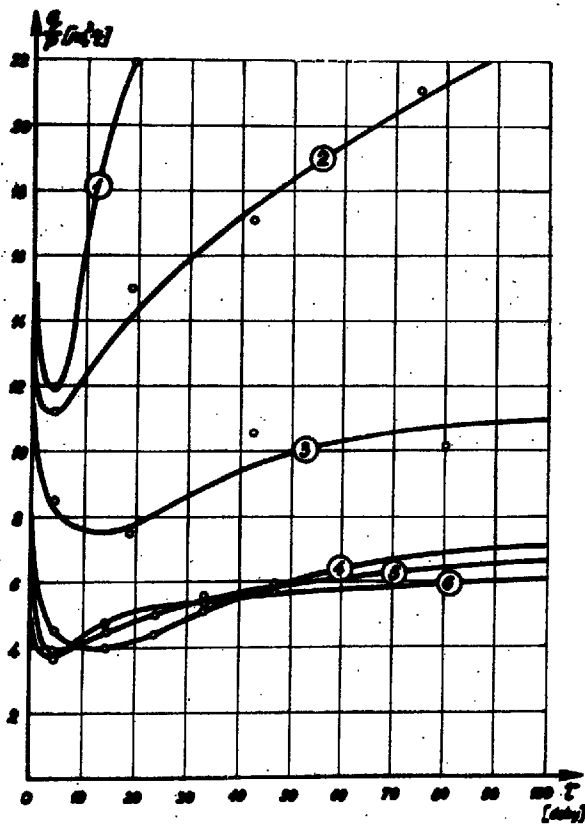
1 — 9.4, 2 — 18.8, 3 — 28.2, 4 — 37.6, 5 — 56.4 days.



Ryc. 14. Charakter zależności objętości (V) partii wygrzanej do temperatury wytopu siarki i spodziewanej produkcji (P) od podażi wody do otworu i czasu tłoczenia. 1 — 5,9; 2 — 11,8; 3 — 17,7; 4 — 23,6; 5 — 29,6; 6 — 35,5 m^3/h .

Fig. 14. Nature of dependence of volume (V) of the ore part heated up to the melting point of sulphur and the expected production level (P) on water supply to the hole and time of pressure pumping.

1 — 5.9, 2 — 11.8, 3 — 17.7, 4 — 23.6, 5 — 29.6, 6 — 35.5 c.m./h.



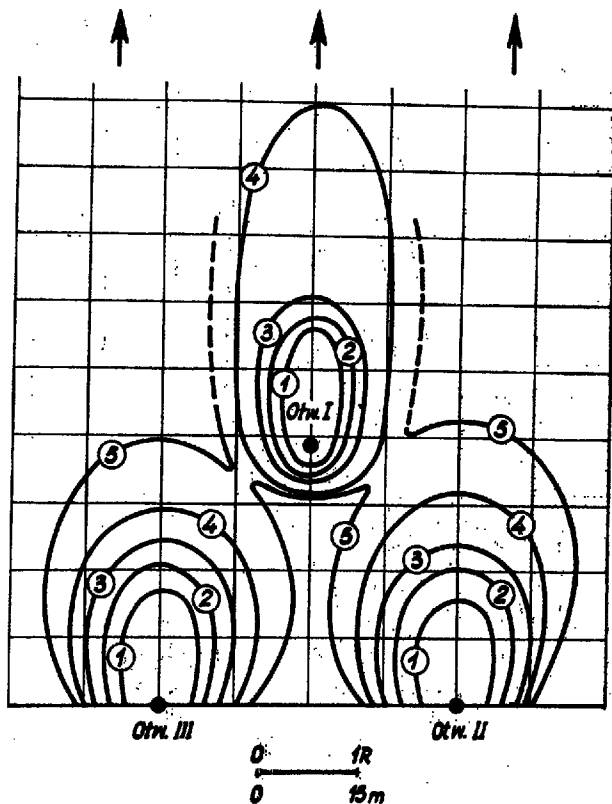
Ryc. 15. Kształtowanie się wskaźnika zużycia wody w czasie pracy otworu dla różnych jednostkowych podaży wody. 1 — 0,4; 2 — 0,8; 3 — 1,2; 4 — 1,6; 5 — 2,0; 6 — 2,4 m³/h·m profilu.

Fig. 15. Variability of water consumption index during period of hole exploitation along with changes in unit water supply.

1 — 0,4, 2 — 0,8, 3 — 1,2, 4 — 1,6, 5 — 2,0, 6 — 2,4 c.m./h multiplied by length of the profile (in meters).

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że w przypadku pracy jednego otworu jednostronnego odprężania złoża niezbyt odległego od frontu eksploatacji w przekroju poziomym izotermy wokół otworu mają kształt eliptyczny, wyciągając się w kierunku odprężania. W przekroju pionowym układ izoterm odpowiadających temperaturze topnienia siarki (określający zasięg strefy wytopu) zależy od podaży wody. Przy małej podaży wody (do ok. 0,8 m³/h na metr profilu) strefa wygrzana do temperatury wytopu ma kształt odwróconego stożka (ryc. 11). Natomiast przy dużej podaży (ponad 1,2 m³/h na metr profilu) strefa ta ma kształt elipsoidalny (ryc. 12) i osiąga swój maksymalny zasięg w pobliżu środka warstwy. Z punktu widzenia wykorzystania złoża sytuacja taka jest bardziej korzystna. Izotermy niższe od temperatury wytopu mają stałe kształt odwróconego stożka (ryc. 13). Wynika stąd, że dla równomiernego ogrzania złoża celowe jest możliwie niskie odbieranie wody w otworach depresjonujących.

W oparciu o dane modelowe można oszacować objętość strefy wytopu i ilość siarki, którą można z tej strefy odzyskać. Określona w ten sposób wielkość oczekiwanej produkcji z otworu jest funkcją podaży wody i czasu pracy otworu (ryc. 14). Przy małej podaży wody uzyskuje się stosunkowo niewielki przyrost produkcji w czasie. Wskazuje to na duże straty ciepła poza strefą wytopu. Przy dużej podaży wody przyrost produkcji w czasie kształtuje się korzystniej. Zatem przy takim samym nakładzie energii wyrażo-



Ryc. 16. Mapa położenia izotermy $t = 120^{\circ}\text{C}$ w płaszczyźnie środka warstwy złożowej w kolejnych czasach jednoczesnej pracy 3 otworów z podażą wody $Q_I = Q_{II} = Q_{III} = 17,7 \text{ m}^3/\text{h}$. 1 — 18,8; 2 — 37,6; 3 — 56,4; 4 — 93,9 doby.

Fig. 16. Map of the location of isotherm $t = 120^{\circ}\text{C}$ in the plane of the ore layer center during successive periods of simultaneous work of 3 exploitation holes, when water supply $Q_I = Q_{II} = Q_{III} = 17,7 \text{ c.m./h}$.

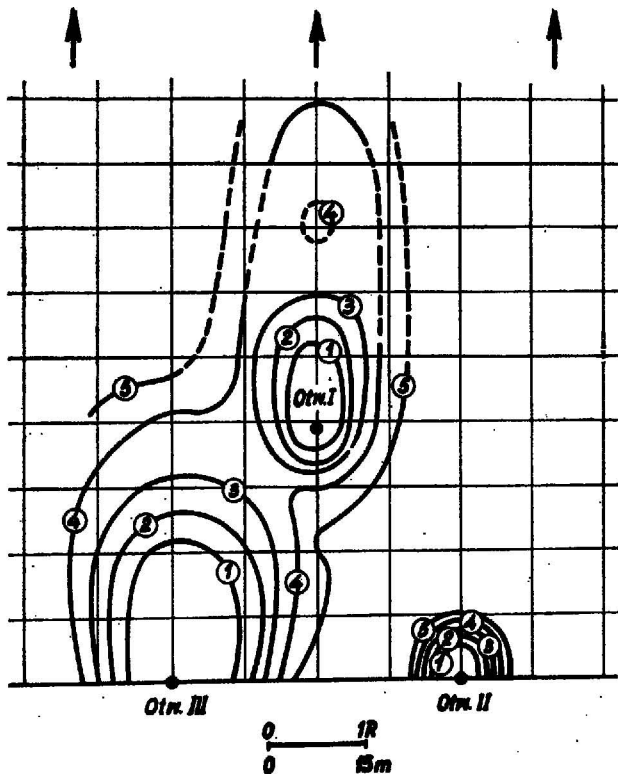
1 — 18,8, 2 — 37,6, 3 — 56,4, 4 — 93,9 days.

nej globalną ilością wtłoczonej wody grzewczej efekty produkcyjne kształtują się różnie w zależności od jej jednostkowej podaży.

Określony na podstawie danych modelowych wskaźnik zużycia wody technologicznej na tonę siarki podobnie jak i produkcja jest funkcją czasu pracy otworu i podaży wody (ryc. 15).

Dla małej podaży wody (do około 1,2 m³/h na metr profilu) wskaźnik ten osiąga po okresie wstępnego grzania minimum na poziomie kilkunastu metrów sześciennych na tonę siarki, a następnie gwałtownie rośnie. Dla większej podaży wody wzrost ten jest znacznie wolniejszy, zaś przy podaży ponad ok. 1,4 m³/h na metr profilu kształtuje się w granicach 6—4 m³/t i rośnie w czasie nieznacznie (1—2 m³/t w ciągu kilku miesięcy).

Z danych przedstawionych na ryc. 15 wynika, że z uwagi na zużycie wody grzewczej, podobnie jak z uwagi na wykorzystanie złoża znacznie korzystniejsze jest prowadzenie eksploatacji z dużą podażą wody (o ile pozwala na to naturalna chłonność złoża). Dla utrzymania stałej produkcji podaż wody powinna rosnąć z czasem pracy otworu. Przeprowadzenie eksploatacji przy małej podaży wody jest też niekorzystne z punktu widzenia pracy filtra. Zaobserwowano, że przy podaży małych ilości wody złożo poniżej filtra wodnego jest źle nagrzane wskutek szybkiego spadku temperatury w dół. Warunki termiczne przy filtrze siarkowym są mało stabilne. Stwarza to więk-



Ryc. 17. Mapka położenia izotermy $t = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ w płaszczyźnie środka warstwy złożowej w kolejnych czasach jednoczesnej pracy 3 otworów ze zróżnicowaną podażą wody: $q_I = 11,8\text{ m}^3/\text{h}$; $q_{II} = 5,9\text{ m}^3/\text{h}$; $q_{III} = 17,7\text{ m}^3/\text{h}$. 1 — 18,8; 2 — 37,6; 3 — 56,4; 4 — 93,9; 5 — 140,9 doby.

Fig. 17. Map of location of isotherm $t = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ in the plane of the ore layer center during successive periods of simultaneous work of 3 holes, when water supply is differentiated and equals: $q_I = 11,8\text{ c.m./h.}$, $q_{II} = 5,9\text{ c.m./h.}$, and $q_{III} = 17,7\text{ c.m./h.}$, respectively.

1 — 18,8, 2 — 37,6, 3 — 56,4, 4 — 93,9, 5 — 140,9 days.

szę prawdopodobieństwo „zamrożenia” otworu niż przy większej podażu wody, kiedy to warunki cieplne w otoczeniu filtra siarkowego są znacznie lepsze.

W przypadku pracy dwóch i trzech otworów stwierdzono, że najsłabiej wygrzane partie złoża znajdują się między otworami (ryc. 16). Dla polepszenia wygrzania partii międzyotworowej otwory w rzędach powinny być wiercone szachownicowo, tak by partie między otworami były wcześniej nagrzewane przez otwory znajdujące się na ich zapleczu. Ponadto nie powinno się włączać równocześnie dwu lub więcej rzędów otworów. Włączenie kolejnego rzędu powinno nastąpić dopiero po czasie nieco krótszym, niż czas dojścia temperatury wytopu do tego rzędu — w ten sposób bowiem zmniejsza się znacznie wpływ chłodnych wód wypieranych z ich zaplecza. Czas ten można w przybliżeniu określić przekształcając wzór [4]. W związku z wydłużonym kształtem strefy wytopu w kierunku depresjonowania, celowe jest wykonywanie rzędów otworów w odległościach (r) większych niż odległość między otworami w rzędzie (d).

Odległość między rzędami (r) w złożu izotropowym w oparciu o badania modelowe można określić za pomocą wzoru:

$$r = 320 \frac{q}{dM} \sqrt{\tau} \dots [4]$$

gdzie:

q — podaż wody do otworów w linii eksploatacyjnej (m^3/h),

τ — czas pracy otworów w dobach.

W przypadku różnej podażu wody do otworów łącznych obraz stref wygrzanych do temperatury wytopu jest bardzo urozmaicony (ryc. 17). Dochodzi z czasem do połączenia stref „wytopu” niektórych otworów, podczas gdy zasięg strefy „wytopu” przy innych otworach jest niewielki. Powiązania hydrauliczne między otworami mogą więc powstać w złożu izotropowym z przyczyn czysto technologicznych. Kierowanie eksploatacją w takich sytuacjach jest utrudnione. Zarazem sytuacja przedstawiona na ryc. 17 ilustruje dobrze, jak czynniki czysto technologiczne powodują, że wpływ czynników geologicznych na efekty eksploatacji jest trudny do zaobserwowania.

SUMMARY

Sulphur deposits exploited by hot-water mining are formed by sulphur-bearing limestones occurring within the so-called ore series. Figure 1 illustrates several modes of development of this series which have distinguished. It was noted that the average output from holes (P) in various parts of the ore is proportional to the yield of the ore (z), whereas the degree of yield utilization is inversely proportional to the yield (Figs. 5 and 6). For complete exploitation of the ore, distances between exploitative holes should be differentiated in relation to the ore yield. This distance can be calculated using the formulas 2 and 3 (in the formulae, q means water supply in c. m. per hour, τ time of exploitation of a hole in months, W — thickness of the ore, k — coefficient). Consumption of water (per tons of sulphur) depends on development of ore series and is high where the contribution of spoil limestones in the ore is high, and low where the limestones do not occur.

The ore was subdivided into regions differing in geological yield and in the type of ore series profile; according to the above mentioned interrelationship between production effects and geological conditions, adequate methods of exploitation should be selected for particular regions (Fig. 9).

The model studies (Fig. 10) have shown that in the course of exploitation water supply to the holes should be kept as high and as uniform as possible. This should result in better utilization of the ore, lower water consumption per ton of sulphur and more stable working conditions for filters. For adequate ore utilization it is also necessary to carry out exploitation by rows of holes. Distances between rows should be greater than those between the holes in a given row; they are determined by the formula (4). Inclusion of a successive row to exploitation should take place when its background is heated by the holes of the previous row to the temperature close to that of sulphur melting.

РЕЗЮМЕ

Залежи серы, разрабатываемые методом подземной выплавки, приурочены к сероносным известнякам, входящим в состав рудомещающей свиты. По своему развитию эта свита подразделяется на несколько типов, представленных на фиг. 1. Констатируется, что средняя производительность эксплуатационных скважин (P) на разных участках месторождения прямо пропорциональна содержанию полезного компонента в залежи (z), а степень извлечения серы обратно пропорциональна содержанию (фиг. 5, 6). Стремясь к максимальному извлечению серы необходимо рассчитывать интерва-

лы между скважинами с учетом содержания в залежи. Интервалы можно определять по формулам 2 и 3 (где: q — расход воды в $\text{м}^3/\text{ч}$, τ — время действия скважины в месяцах, M — мощность залежи, k — коэффициент). Расход воды на тонну серы зависит от характера вмещающих пород. Большой расход наблюдается в таких местах, где среди вмещающих пород представлены пустые известняки.

Вся залежь была разбита на участки, характеризующиеся разным содержанием и разрезом рудосодержащей свиты. В соответствии с установленной зависимостью производительности от геологических условий эти участки должны характеризоваться разными условиями эксплуатации (фиг. 9).

Исследования путем моделирования (фиг. 10) показали, что выплавку следует вести при возможно обильной и равномерной подаче воды в скважины. Этим достигается большая эффективность извлечения серы, меньший расход воды на тонну серы и более стабильные условия работы фильтра. Для большей эффективности рекомендуется, кроме того, вести выплавку методом линейного расположения скважин. Расстояния между линиями должны быть больше интервалов между скважинами в линии. Они определяются по формуле [4]. Новую линию скважин следует включать в строй после того, как смежная зона будет прогрета скважинами предыдущего ряда до температуры, близкой температуре выплавки серы.