

**GŁÓWNE KIERUNKI EKSPLOATACJI PŁYTKICH POKŁADOWYCH
ZŁOŻ SIARKI METODĄ OTWOROWEGO WYTOPU**

UKD 622.366.11:622.377.6(438)

Za przydatne do otworowej eksploatacji uważano dotychczas złoża siarki występujące pod nadkładem nieprzepuszczalnym o grubości przekraczającej 75 m. Przy cieńszym nadkładzie stosowano eksploatację odkrywkową. Ostatnio jednak Z. Paterek (3) wysunął koncepcję eksploatawania metodą otworowego wytopu nawet złóż leżących na głębokości zaledwie 36—45 m pod powierzchnią. Głębokość krytyczną 75 m uzasadnia się zwykle warunkiem równowagi hydrostatycznej naporu wód grzewczych w okolicy otworu eksploatacyjnego i ciężaru nadkładu wyrażoną równaniem:

$$10 p_r + H_w \cdot \delta_o = H_n \cdot \gamma_o \quad [1]$$

ciśnienie wody włączanej (m słupa wody) ciśnienie słupa wody w otworze ciśnienie nadkładu

gdzie:

$p_r = 6,14$ (at) — ciśnienie manometryczne dla wody włączanej o temperaturze 165 °,

$\delta_o = 1$ t/m³ — ciężar właściwy wody złożowej (poprawnie należałoby uwzględnić 0,94 t/m, tj. ciężar wody gorącej w temperaturze ok. 160 °C),

$\gamma_o = 1,80$ t/m³ — ciężar właściwy nadkładu,

$H_w = H_n$, czyli napór wody złożowej do powierzchni terenu, stać będzie:

$$H_{min} = \frac{10 p_r}{\gamma_o - \delta_o} = 76,5 \text{ m}$$

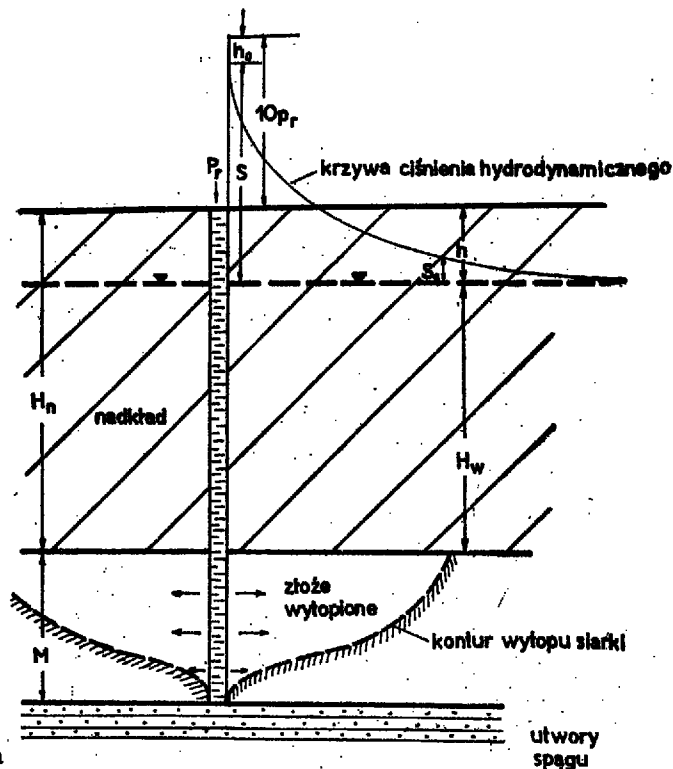
Przy innej wartości ciśnienia roboczego można otrzymać inną minimalną grubość nadkładu. Proponowano też wprowadzenie do rachunku pewien współczynnik bezpieczeństwa, np. 1,35, ze względu na występujące przebiecia wodne („erupcje”), lecz odpowiadające mu grubości nadkładu (ok. 100 m) nie okazały się wystarczające dla uniknięcia przebiecia wodnych. Według W. Z. Arensa (1) złoża siarki mające nadkład cieńszy niż 80 m wymagają specjalnej analizy, jeśli chodzi o stosowanie eksploatacji otworowej, a przy grubości nadkładu 20—50 m użycie tej metody komplikują przebiecia hydrauliczne. Jednak w naszych kopalniach także przebiecia są częstym zjawiskiem także przy eksploatacji prowadzonej na głębokości 120—180 m. Przy cieńszym więc nadkładzie będą one o wiele powszechniejsze.

Obecnie za „płytke” złoża siarki (ze względu na eksploatację otworową) uważa się te, które do tej pory uznawano za przydatne do eksploatacji górniczej, zatem leżące pod nadkładem <75 m. Wśród nich jednakże wypada odróżnić jako grupę złóż „bardzo płytkich” takie, przy których grubość nadkładu — w wypadku komunikowania się wód złożowych z powierzchnią — nie zapewnia dostatecznego ciśnienia hydrostatycznego, by wprowadzona do złoża woda

grzewcza o temperaturze ok. 160 ° nie zmieniła swej fazy ciekłej na parową. Wymaga to ciśnienia absolutnego 6,3 kg/cm², zatem ciśnienia manometrycznego 5,3 at lub słupa wody 53 m. W tym ujęciu za złoża „bardzo płytke” trzeba więc uważać te, których nadkład ma grubość mniejszą niż ok. 50 m. W nich zwłaszcza mogą występować zjawiska „erupcji” na powierzchni, a w złożu trudne do kontroli przejście wód grzewczych w fazę parową połączone z ochładzaniem wód, a zatem ich mniej skuteczną działalnością eksploatacyjną.

Problem wygrzewania złóż płytkich wodą, a nie parą wiąże się z różną skutecznością nagrzewania za pośrednictwem obu tych mediów. Para wodna, dzięki swej 20—40 razy mniejszej lepkości w porównaniu z wodą, znacznie łatwiej może przenikać złożo, lecz przy swej gęstości około 250 razy mniejszej od wody grzewczej ilość pary dającej się wprowadzić do złoża przy tym samym ciśnieniu jest wagowo 6 do 12 razy mniejsza. Zatem przy nagrzewaniu złoża parą także produkcja siarki byłaby mniej wydajna, według W. Z. Arensa (1) ok. czterokrotnie mniejsza.

Przy ogrzewaniu złoża wodą można ustalić następujący warunek równowagi hydrodynamicznej ci-



śnień (na poziomie stropu złoża) przy przepływie medium grzewczego:

$$10 p_r + H_n \delta - h_o = H_w \cdot \delta_o + S \quad [2]$$

Oznaczają tu (por. ryc.):

p_r — ciśnienie manometryczne wody grzewczej na głowicy otworu (at), tzw. ciśnienie „robocze”,
 H_n — grubość nadkładu (m),

H_w — wysokość naturalnego ciśnienia wód złożowych ponad strop złoża (m),

S — ciśnienie „represyjne” potrzebne do rozplywu wody (m słupa wody),

δ_o — ciężar właściwy wód złożowych; ze względu na ich mineralizację może być nieco większy niż 1 t/m³; w dalszych obliczeniach przyjmowano 1 t/m³,

δ — ciężar właściwy wody grzewczej przy 160°C — 0,91 t/m³, przy 120°C — 0,94 t/m³,

h_o — opory przepływu wody grzewczej przez kolumnę rur w otworze (m słupa wody).

Wielkość ciśnienia roboczego wystarczającego, by wprowadzić do złoża określoną ilość wody grzewczej, wynika z warunku równowagi ciśnień [1] i wyraża się:

$$p_r = \frac{H_w \cdot \delta_o - H_n \cdot \delta + S + h_o}{10} \quad [3]$$

Określają je: napór wód złożowych ($H_w \cdot \delta_o$), ciśnienie wytworzone przez słup wody gorącej w otworze ($H_n \cdot \delta$), opory przepływu w kolumnie rurowej otworu (h_o) i ciśnienie represyjne (S) zależne od podaży wody i od współczynnika filtracji serii złożowej.

Ciśnienie robocze powinno jednak być $p_r \geq 5,3$ at, aby nie doszło w górnej części otworu do zamiany wody gorącej (temperatura ok. 160°C) w parę. Także ciśnienie panujące w złożu w bezpośrednim otoczeniu otworu eksploatacyjnego powinno być podobne (przynajmniej 5 at), aby wprowadzona tu woda gorąca przy najwłaściwszej dla niej temperaturze 158°C (górną granicę lekko płynności siarki stopionej) nie przechodziła w parę. Wyraża to warunek $H_w \cdot \delta_o + S \geq 50$ do 53 m. Odpowiada to minimalnej grubości stropu $H_n \geq \frac{53}{1,8} = 29,6$ m, która stanowiłaby

teoretyczną granicę płytko leżących złóż siarki, dopuszczającą możliwość eksploatacji za pomocą wytopu. W dalszym otoczeniu otworu temperatura ta w przestrzeni złoża objętej wytopem spada do ok. 120°C, zatem i ciśnienie manometryczne może być znacznie niższe (nieco ponad 1 at). Ten ostatni warunek bywa z reguły zachowany, gdyż spadek ciśnienia represyjnego w zasięgu przestrzeni wytopu otworu eksploatacyjnego nie jest zbyt znaczny (kilkadziesiąt metrów), a ponadto napór wód złożowych z zasady jest większy od 10 m.

Warunek $H_w \delta_o + S \geq 53$ m w wypadku niegrubego nadkładu i zazwyczaj idącej przy tym w parze małej wysokości H_w może w znacznym stopniu zależeć od ciśnienia represyjnego (S). Wyznaczenie tego ostatniego w sposób teoretyczny budzi jednak wiele zastrzeżeń. Najbardziej istotne polegają na niejednakowej współpracy otworów eksploatacyjnych wchodzących w skład frontu grzewczo-eksploatacyjnego. Jest to następstwem zmiennego układu przestrzennego otworów, ich różnej chłonności, różnic w filtracyjnej zdolności złoża, jak i nawet w charakterze ruchu wód (laminarnego, turbulentnego) w poszczególnych partiach złoża.

Przyjmując wzory dotyczące ruchu laminarnego i zakładając dwa rzędy otworów pracujących w froncie eksploatacyjnym oraz strefę depresjonowania wód wtłoczonych na stałej odległości od frontu eksploatacji, można do wykazania wielkości represji zalecać użycie wzoru Romanowa (por.: „Sprawoczne rukowództwo gidrogeologa”, 1967, s. 370). Mimo swej skomplikowanej postaci wzór ten jest prosty w liczeniu, jeśli korzysta się z odpowiednich wykresów podanych w przytoczonej publikacji.

Według niego:

$$S = \frac{q}{2,73 \cdot M \cdot k} \left[\lg \frac{a}{2\pi r} + 2,73 \frac{B}{a} - \lg \left(1 - e^{-\frac{2\pi b}{a}} \right) \right] \quad [4]$$

gdzie:

q — podaż wody do otworu (m³/dobę),

M — miąższość warstwy wodonośnej (m),

k — współczynnik filtracji (m/d),

a — rozstaw otworów w rzędzie (m),

r — promień otworu (m),

B — odległość frontu eksploatacji od strefy depresyjnej (m),

b — odległość rzędów od siebie (m),

wartość $\lg \left(1 - e^{-\frac{2\pi b}{a}} \right)$ bierze się z wykresu; dla układu otworów stosowanego przy eksploatacji siarki zdąza ona do zera i może być pominięta.

Wstawiając dla orientacyjnych przeliczeń $\frac{q}{M} = 24$ m³/d, $a = 40$ m, $r = 0,1$ m, $B = 100$ m, $b = 35$ m, otrzymuje się wzór

$$S = 75 \cdot k^{-1} \quad (\text{m}) \quad [4a]$$

Można też, jak to czyni J. Czarnik (2), korzystać z ogólnie znanego wzoru Dupuita z wprowadzeniem współczynnika współpracy otworów ze sobą. Według J. Czarnika dla warunków eksploatacji krajowych złóż siarki współczynnik ten wynosi 0,62.

Przy tych warunkach wzór na wielkość ciśnienia represyjnego przedstawiałby się:

$$S = \frac{0,69 \cdot q \cdot \lg 10 R}{M \cdot k} \quad [5]$$

Przyjmując dla orientacyjnych przeliczeń:

$\frac{q}{M} = 24$ m³/dm — podaż wody m³/d mb. otworu często stosowana przy eksploatacji złóż krajowych,

$R = 100$ m — odległość do strefy depresji wytwarzanej wskutek samowypływu z otworów przed frontem roboczym,

k = współczynnik filtracji (m/d);

będzie

$$S = 42,5 \cdot k^{-1} \quad (\text{m}) \quad [5a]$$

Dla odpowiednich współczynników filtracji wielkość ciśnienia represyjnego wyliczoną za pomocą wymienionych formuł zestawiono poniżej.

k m/d	0,5	1	1,5	2	4	m/d
S wzorem Romanowa	150	75	50	37,5	18,25	m
S wzorem Dupuita	85	42,5	28,4	21,25	10,12	m

Podane powyżej wartości informują, że np. uwzględniając wzór Dupuita przy $k < 0,75$ m/d należy liczyć się z dość dużymi oporami rozplywu wody w złożu. Dla ich pokonania ciśnienie represyjne przy podażu 24 m³/d i mb. profilu złoża przekraczałoby ciśnienie potrzebne dla utrzymania wody grzewczej o temperaturze 158°C. Przy wyższych wartościach współczynnika filtracji ciśnienie to jednak szybko się obniża i jeżeli nie byłoby własnego naporu wód złożowych, woda grzewcza musiałaby przejść w parę z pochłonięciem znacznej ilości ciepła na zmianę fazy skupienia.

W wypadku złoża wypełnionego wodami beznaporowymi, zakładając dla uproszczenia przepływ la-

minarny i podaż wody w ilości 24 m³/dobę i 1 m miąższości złoża, można obliczyć teoretyczną minimalną grubość nadkładu (H_{\min}) z warunku:

$$H_n \delta_o > S$$

przy czym $S = 42 \cdot k^{-1} \leq 53$ m. Zatem $H_{\min} = \frac{53}{1,8} = 29,4$ m,

a repesję $S = 53$ m, osiągnąć można przy $k = \frac{42}{53} = 0,8$ m/d.

Przy mniejszej zdolności filtracyjnej złoża i włączaniu tej samej ilości wody repesja musiałaby być większa, zatem i grubość nadkładu powinna być większa. Przy k większym należałoby przy tej samej repesji włączać więcej wody, by nie dopuścić do jej obniżenia i związanego z tym przejścia wody w parę. Ponadto konieczne byłoby przydławienie wody wprowadzanej do otworu, gdyż zgodnie z lewą stroną równania równowagi [2] powinien być wytworzony następujący stan ciśnienia:

$$10 p_r + H_n \delta - h_o = S$$

Ponieważ $S = 53 = 10 p_r$, zatem opór przepływu $h_o = 33 \cdot 0,91 = 30$ m słupa wody. Bez wytworzenia takiego zadławienia powstałaby w otworze zamiast wody grzewczej mieszanina wodno-parowa, utrudniająca regularny przepływ wody grzewczej.

Z kolei, jeżeli w złożu występowałyby wody naporowe z ciśnieniem do powierzchni terenu ($H_w = H_n$), wtedy $H_n + S = H_n \cdot \gamma_o$ i równocześnie $H_n + S = 53$ m, zatem $H_{\min} = \frac{53}{1,8} = 29,4$ m, a repesja $S = 53 - 29,4 = 23,6$ m zabezpieczałaby podaż wody w ilości 24 m³/d · m przy $k = \frac{42,5}{23,6} = 1,8$ m/d.

Warunek równowagi ciśnień wyraziłby się w tym wypadku wielkością oporu $h_o = H_n (\delta_o - \delta) \approx 29,4 \times 0,091 = 2,7$ m. Przepływ wody grzewczej w otworze mógłby tu zachodzić bez zaburzeń wskutek przechodzenia jej w parę, ponieważ przydławienie tej wielkości można by dość łatwo uzyskać zmniejszając średnicę rur wodnych np. ze zwykle używanych 6" na 5 1/2" lub 5" (2).

Podane przykłady uwypuklają duże znaczenie ciśnienia naporowego wód złożowych ze względu na zachowanie się medium grzewczego przy eksploatacji złóż bardzo płytkich, tj. gdy nadkład ma grubość

SUMMARY

The concept of „shallow-seated” sulphur deposits exploited by hot water melting method is introduced for deposits with an impermeable blanket 30 to 75 m thick. The equation for hydrodynamic equilibrium of pressures of pumped-in and deposit waters and the problem of repressional pressure are discussed. Attention is drawn to difficulties which may occur during the exploitation of very shallow deposits with the blanket 30 to 50 m thick.

poniżej 50 m. Ponadto wykazują one uczulenie na rodzaj ruchu wód w złożu i zmiennych wartości współczynnika filtracji, a także na wpływ formuł użytych do przeliczeń.

Oczywiście w takich warunkach zalecenia dotyczące prowadzenia eksploatacji siarki metodą otworowego wytopu ze złóż płytkich wymagają nawiązania do konkretnego rozpoznania lokalnych parametrów złożowych i hydrogeologicznych. Trzeba przy tym mieć na względzie wzrost niebezpieczeństwa przebijania się wód gorących do powierzchni, gdyż wiąże się to z mniejszą grubością nadkładu, zatem krótszym odcinkiem cementacji otworów i ostrzej zarysowanymi przejawami osiadania nadkładu.

Podjęcie próbnej eksploatacji otworowej złóż płytkich powinno być poprzedzone eksploatacją złóż mających nadkład o grubości przejściowej, np. od 70 do 80 m. Koniecznym też warunkiem przy używaniu wody jako medium grzewczego byłoby istnienie wód naporowych w złożu. Przy ich braku właściwsze wydaje się stosowanie pary przegrzanej do temperatury ok. 160° zamiast wody. Umożliwiłoby to bowiem stosowanie niższych ciśnień roboczych. Niezależnie od użytego medium, za bardzo istotne cechy złóż płytkich sprzyjające eksploatacji należy uważać równomierne drobnokawerniste wykształcenie złoża i nieprzepuszczalność spagu. Sprzyjające też byłoby raczej złożo o niewielkiej miąższości (ok. 10 m) ze względu na ograniczenie następstw osiadania terenu.

LITERATURA

1. Arens W. Z. — Podziemna wyplawka siery. Moskwa, 1973.
2. Czarnik J. — Rozprężanie się gorących wód technologicznych w otworach eksploatujących siarkę płynną. Odwadnianie kopalń i geotechnika. Warszawa, 1972, z. 4.
3. Paterek Z. — Studium określania minimalnej głębokości zalegania złóż siarki przy otworowej eksploatacji. Bipropok, arch. KIZPS „Siarkopol”, 1974.
4. Śliwowa M., Ziabka Z. — Ogólna charakterystyka złoża siarki w Grzybowie. Odwadnianie kopalń i geotechnika. Warszawa, 1970, z. 3.
5. Turek S. — Mioceniński poziom wodonośny na obszarze złoża siarki w rejonie Tarnobrzega. Pr. doktorska w IG, Warszawa, 1975.

РЕЗЮМЕ

Дается определение понятия „неглубоких” залежей серы с точки зрения добычи методом подземной выплавки, при мощности водонепроницаемой вскрыши от 30 до 75 м. Рассматривается уравнение гидродинамического равновесия напорной накачиваемой и рудничной воды, в частности проблема подавляющего давления. Описываются трудности, возникающие при разработке неглубоких залежей, когда мощность вскрыши составляет 30—50 м.