

RYSZARD KULMA*, ANDRZEJ HAŁADUS*, JÓZEF KIREJCZYK**,
TOMASZ BURCHARD***

Możliwości i prognozowane skutki lokowania odpadów elektrownianych w pustkach poeksploatacyjnych złoża siarki Osiek

Słowa kluczowe

Hydrogeologia, badania modelowe, lokowanie odpadów przemysłowych

Streszczenie

Popioły dymnicowe z Elektrowni im. T. Kościuszki w Połańcu mogą mieć zastosowanie do wypełniania pustek poeksploatacyjnych złoża w Kopalni Siarki Osiek. Możliwości takie wynikają głównie z analizy stanu złoża, a zwłaszcza oceny przestrzeni porowej powstałej w wyniku podziemnego wytopu siarki.

Badania symulacyjne wykonane na modelu hydrogeologicznym obszaru złoża wskazują na realność takiego przedsięwzięcia, przynajmniej w skali projektowanego stanowiska doświadczalnego. Wyniki badań dają podstawę dla określenia wielkości wzrostu ciśnienia w warstwie wodonośnej i zasięgu strefy oddziaływania otworów tamponażowych. Dowodzą również, że korzystniejsze warunki dla wypełniania popiołami pustek poeksploatacyjnych złoża siarki (podsadzanie) występują w przypadku wykorzystania otworów recyrkulacyjnych. Odbiór wody z tych otworów, w ilości potrzebnej do bieżącego przygotowania hydromieszaniny, zdecydowanie ogranicza strefę zmian dynamicznych w obrębie serii złożowej. Podaż hydromieszaniny z wymaganym natężeniem przepływu wymaga wówczas odpowiednio niższych ciśnień.

Eksperyment z zatłaczaniem mieszaniny wodno-popiołowej na stanowisku doświadczalnym pozwoli na określenie ilości odpadów elektrownianych, które mogą być zdeponowane w obrębie pustek poeksploatacyjnych złoża. Te dane posłużą do oceny opłacalności tego rodzaju działań w skali przemysłowej. W przypadku pozytywnego wyniku eksperymentu konieczna będzie modyfikacja technologii podziemnego wytopu siarki uwzględniająca element planowego tamponowania wyeksploatowanych partii złoża za pomocą odpadów przemysłowych.

* Dr inż., Zakład Hydrogeologii i Ochrony Wód, AGH, Kraków.

** Dr inż., *** Mgr inż., Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Przemysłu Siarkowego SIARKOPOL, Tarnobrzeg.

Wprowadzenie

Wytopianie siarki z rudy powoduje wzrost jej porowatości. Powstałe pory i kawerny są tylko częściowo zaciskane pod wpływem nadległych warstw nadkładu. Po wytopie siarki obserwuje się wyraźne zwiększenie wodoprzepuszczalności w obrębie wytopionych partii złoża. Utrudnia to proces sterowania rozplywem wody gorącej, której część rozplywa się poza rejon eksploatacji powodując duże straty energetyczne oraz zagrożenie dla obiektów powierzchniowych.

Próby sterowania rozwojem strefy wytopu, prowadzone przy zastosowaniu kierunkowego odprężania złoża, nie zawsze okazują się dostatecznie skuteczne. Dobre wyniki w tym zakresie uzyskano stosując tamponowanie strefowe złoża zawiesinami składającymi się z substancji mineralnych (Kirejczyk i in. 1995). Zastosowanie tej metody na skalę przemysłową warunkowane jest jednak dostępnością odpowiednich materiałów. Istotnego znaczenia nabiera przy tym aspekt ekonomiczny przedsięwzięcia.

Sprzyjającą okolicznością dla wprowadzenia technologicznej modyfikacji metody otworowej eksploatacji siarki na kopalni Osiek jest możliwość wykorzystania popiołów dymnicowych z pobliskiej (ok. 15 km) Elektrowni im. T. Kościuszki w Połaniecu. Już obecnie kopalnia i elektrownia pracują w skojarzonym układzie energetycznym, co dodatkowo sugeruje potrzebę ich dalszego powiązania. Dla Elektrowni Połaniec popioły są uciążliwym odpadem, zalegającym na składowiskach w ilości około 10 mln Mg. Obecnie, z ilości około 800 tys. Mg popiołów jakie powstają rocznie w tej elektrowni, większość jest wykorzystywana przemysłowo do produkcji cementu, lecz w dalszym ciągu istnieje potrzeba zagospodarowania nadwyżki popiołu w ilości do 100 tys. Mg/rok.

Przemysłowe wykorzystanie odpadów poelektrownianych nie może jednak powodować zagrożenia dla środowiska naturalnego. Należy przy tym mieć na uwadze wszystkie jego komponenty oraz ewentualne pośrednie i długotrwałe skutki. Koniecznością stają się zatem badania eksperymentalne, które dadzą również ostateczną odpowiedź co do technicznych możliwości lokowania popiołów w złożu i ewentualnych warunków stosowania takiego przedsięwzięcia na skalę przemysłową.

Poza niewątpliwymi korzyściami, jakie mogą wynikać z wykorzystania hydromieszanin substancji stałych do tamponowania stref wyeksploatowanego złoża siarki i budowy ekranów przeciwfiltracyjnych, proponowana technologia posiada szereg ograniczeń. Wynikają one ze specyfiki metody wydobycia surowca. Wytop siarki w złożu jest procesem termicznym, a siarka uzyskana w jego wyniku odznacza się wysoką jakością i zwykle nie wymaga dalszej przeróbki, poza nadaniem jej odpowiedniej postaci fizycznej (granulowanie, mielecie). Wprowadzenie zimnych hydromieszanin do złoża, w bliskim sąsiedztwie czynnych otworów wydobywczych, może powodować niekorzystne schładzanie, a tym samym obniżać efektywność wytopu siarki. W zależności od miejsca i sposobu zatłaczania hydromieszaniny oraz kierunków jej rozplywu może dochodzić do zanieczyszczania płynnej siarki i w efekcie obniżenia jej jakości.

Powyższe względy sprawiają, że zatłaczanie hydromieszanin do złoża przy otworowej metodzie eksploatacji siarki powinno być procesem ściśle powiązanim ze stosowaną technologią, jako jeden z jej ważnych elementów. Tamponowanie złoża, zarówno dla celów wypełnienia pustek poeksploatacyjnych, jak też sterowania rozplywem wody (ekrany przeciwfiltracyjne),

należy poprzedzić dobrym rozpoznaniem geologicznym stanu złoża, zwłaszcza w przewidywanym rejonie zatłaczania hydromieszanki.

1. Charakterystyka złoża siarki

Złoże Osiek występuje w obrębie serii osadów chemicznych. Skałami siarkonośnymi jest kompleks skał wapiennych, wapienno-marglistych oraz podrzędnie ilastych o zmiennym osiarkowaniu. Granica pomiędzy skałami siarkonośnymi i płonnymi jest umowna i wynika z kryteriów bilansowości (ok. 8% siarki).

Złoże siarki ma budowę pokładową i zalega na głębokości od 89,0 do 131,0 m p.p.t. pod kompleksem iłów krakowieckich i warstw czwartorzędowych. Powierzchnia obszaru górniczego wynosi około 13,5 km². Miąższość złoża waha się od 4 do 36,5 m, średnio około 17,0 m. Osiarkowanie serii złożowej zmienia się w przedziale od 8,8 do 38,4% osiągając średnio około 30%. Poza osiarkowaniem, podstawowymi parametrami decydującymi o możliwości otworowej eksploatacji złoża jest jego porowatość i przepuszczalność. Najlepszymi wynikami eksploatacyjnymi charakteryzują się rejon o dużym udziale wapieni porowatych, kawernistych i wielkokawernistych.

Według dokumentacji geologicznej (Kowalik i in. 1979) porowatość serii osiarkowanej wynosi około 11%. Została ona określona jako średnia ważona dla poszczególnych typów litologicznych skał budujących złożo. Współczynnik filtracji zmieniał się w szerokim zakresie 0,01—3,8 m/d ($1,2 \times 10^{-7}$ — $4,4 \times 10^{-5}$ m/s), osiągając najczęściej wielkość około 0,6 m/d ($7,0 \times 10^{-6}$ m/s).

W wyniku prowadzonej eksploatacji siarki metodą podziemnego wytapiania obraz złoża zmienia się. Szczegółowe informacje o charakterze tych zmian uzyskano głównie na podstawie badań rdzeni wiertniczych wydobywanych w trakcie wierceń otworów reeksploatacyjnych, wierceń w strefach wytopionego złoża na przedpolu eksploatacji (Frankiewicz, Gałuszka 1985; Burchard, Krańców 1987) oraz wierceń specjalnych otworów badawczych (Wranka 1978). W ogólnym zarysie zmiany złoża w wyniku eksploatacji metodą podziemnego wytapiania są następujące:

- strop serii złożowej ulega obniżeniu w wyniku zmniejszenia wytrzymałości szkieletu skalnego i zaciskania się pustek powstałych po wytopieniu siarki i występujących pierwotnie kawern;

- w profilu pionowym serii złożowej od stropu ku spągowi powstają strefy zróżnicowane pod względem zawartości siarki niewytopionej oraz porowatości i zwięzłości skał (zwykle możliwe jest wydzielenie strefy wytopionej, nadtopionej i nienaruszonej wytopem);

- zasięg poziomy strefy wytopionej i nadtopionej jest zróżnicowany (w zależności od strefowej przepuszczalności utworów siarkonośnych oraz morfologii stropu i spągu złoża przed wytopem wynosi od kilkunastu do nawet kilkuset metrów).

Po zakończeniu procesu eksploatacji, tj. wytopieniu siarki ze złoża, zmieniają się jego parametry (Rybicki 1973). Bezpośrednio przed fazą zaciśnięcia się szkieletu skalnego porowatość wzrasta do około 30%, tj. trzykrotnie w stosunku do pierwotnej wartości. Po zaciśnięciu się szkieletu skalnego średnią porowatość przestrzeni poeksploatacyjnej określa się na około 16%,

przy wykorzystaniu złoża dochodzącym do 50%. Przy wyższym stopniu wykorzystaniu złoża porowatość ta może dochodzić nawet do 23%. Zaciskanie szkieletu skalnego wynika z 10-krotnego zmniejszenia się wytrzymałości rudy siarkowej na ściskanie w procesie wytopu. Współczynnik filtracji utworów serii złożowej po wytopieniu siarki i zaciśnięciu się szkieletu skalnego wynosi średnio około 60 m/dobę ($6,9 \times 10^{-4}$ m/s) — przy 16% porowatości i około 100 m/dobę ($1,2 \times 10^{-3}$ m/s) — przy 23% porowatości. Ocenia się, że może to być wzrost blisko 100-krotny w stosunku do wartości pierwotnie obserwowanych w złożu. Ten fakt wskazuje na duże możliwości zatłaczania popiołów, zwłaszcza do wyeksploatowanych partii złoża.

2. Technologia zatłaczania hydromieszaniny

Korzystne warunki do tamponowania wyeksploatowanych partii złoża występują na polach górniczych, na których pozostały jeszcze niezlikwidowane otwory wydobywcze. Niektóre z nich, przy minimalnych nakładach, mogą być przydatne do przeprowadzenia prób tamponowania złoża. Ważne jedynie jest, aby otwory wytypowane do tego celu były w dobrym stanie technicznym. Duża odległość miejsc zatłaczania hydromieszaniny od rejonów prowadzonej eksploatacji zmniejsza lub eliminuje możliwość niekorzystnego wpływu na prowadzoną eksploatację. Podsadzanie wytopionego złoża może natomiast zmniejszyć ucieczki wody oraz ograniczyć końcowe osiadanie powierzchni terenu.

Powodzenie przedsięwzięcia, jakim jest wypełnianie popiołami pustek poeksploatacyjnych na złożu siarki Osiek uzależnione jest od pomyślnego przebiegu prób na stanowisku doświadczalnym. Zostało ono zlokalizowane w obrębie pola górniczego i odpowiednio wyposażone.

Załadunek suchego popiołu w elektrowni, transport i jego rozładunek na stanowisku doświadczalnym odbywać się będzie w sposób eliminujący pylenie. Dostarczone popioły przetrzymywane będą w zbiorniku magazynowym. Będzie on spełniać funkcję dozownika, z którego przez podajnik celkowy lub ślimakowy, umieszczony w dolnej jego części, popioły będą podawane specjalną rynną do mieszalnika. Wstępne mieszanie wody z popiołami odbywać się będzie w rynnie, a zasadnicze w mieszalniku wyposażonym w mieszadło mechaniczne. Tak przygotowana jednorodna mieszanina wodno-popiołowa tłoczona będzie za pomocą układu pomp i sieci rurociągowych do wytypowanych otworów, a nimi do wyeksploatowanych partii złoża.

Stanowisko doświadczalne wyposażone będzie dodatkowo w odpowiednią armaturę regulacyjną i pomiarową określającą ilość wtłaczanej mieszaniny do złoża, gęstość mieszaniny oraz płynną regulację ilości suchych popiołów podawanych do mieszalnika. Doprowadzona woda przemysłowa w późniejszym okresie może być zastąpiona wodą złożową odbieraną na przedpolu w odległości około 50—150 m od rejonu zatłaczania.

3. Wybór stanowiska doświadczalnego

Wykorzystanie wyrobisk poeksploatacyjnych jako miejsca zatłaczania odpadów stałych i płynnych musi odbywać się pod rygorami wynikającymi ze specyfiki środowiska podziemnego (górotworu) oraz z uwzględnieniem charakterystyki zatłaczanych odpadów. W odróżnieniu od

uwarunkowań panujących przy składowaniu odpadów na powierzchni, jedynym medium transportującym zanieczyszczenia są wody podziemne. Cechują się one określonymi parametrami fizyczno-chemicznymi, temperaturą i prędkościami zależnymi od sztucznych lub naturalnych czynników.

Przygotowanie stanowiska doświadczalnego do zatłaczania popiołów poprzedzone zostało analizą wykorzystania złoża i efektów wydobywczych osiągniętych przez poszczególne grupy otworów. Uznano, że stanowisko takie powinno być zlokalizowane na obszarze o zakończonej eksploatacji, z którego uzyskano możliwie wysoką produktywność. Oczekiwać należy, że obszar ten będzie charakteryzował się końcową fazą procesu stabilizacji warunków poeksploatacyjnych, przejawiającą się zanikiem lub przynajmniej malejącym trendem osiadania powierzchni terenu. Również oddalenie stanowiska doświadczalnego od obecnego rejonu eksploatacji powinno eliminować ryzyko związane z niekorzystnym wpływem zatłaczania popiołów na proces wydobywczy (schładzane strefy wytopu siarki, ewentualność zanieczyszczenia siarki w złożu popiołami). Dopełnieniem postawionych wymogów jest zadowalający stan techniczny wytypowanych otworów oraz zachowanie drożności kolumn rurowych umożliwiającą zatłaczanie hydromieszaniny bądź odbiór wody jako odprężanie układu hydrodynamicznego.

Sprzyjające warunki dla przeprowadzenia próby tamponażu na złożu Osiek stwierdzone zostały w północnej części złoża, w obrębie bloku eksploatacyjnego nr 2 (AKP-2), w którym eksploatacja została zakończona. Z 46 otworów odwierconych w tym bloku, 35 zostało zlikwidowanych. Spośród pozostałych, z uwagi na stan techniczny i zachowaną wodochłonność, wytypowano do zatłaczania popiołów otwory A305b i A504, a do odprężania złoża otwory A406b i A307.

Analiza rozwoju niecki osiadania wskazuje, że można oczekiwać dobrej chłonności i dużej pojemności stref przyotworowych. Przyjmując: średnie wydobycie siarki z otworu na poziomie 10 tys. Mg, wartość współczynnika eksploatacji równą 0,4 oraz 50-procentowe wypełnienie niezaciśniętych kawern po wytopie siarki, można wstępnie oszacować pojemność strefy przyotworowej złoża dla pojedynczego otworu na 1,5—2 tys. m³. Jest to jednak rachunek dalece przybliżony i nie uwzględniający zasięgu strefy tamponażu, jej kształtu, itp. Jediną możliwością zweryfikowania tych założeń jest wykonanie badań na stanowisku doświadczalnym.

4. Wyniki badań na modelu hydrogeologicznym

Składowanie odpadów poelektrownianych wpłynie na zmianę dotychczasowego pola hydrodynamicznego w rejonie kopalni Osiek. Deponowanie odpadów prowadzi do uszczelnienia części górotworu, zwiększenia oporów przepływu wód podziemnych, zmniejszenia prędkości filtracyjnych oraz wzrostu gradientów hydraulicznych.

Symulacje komputerowe, przeprowadzone na modelu hydrogeologicznym obejmującym fragment złoża Osiek-Baranów Sandomierski, miały na celu określenie spodziewanych skutków środowiskowych, jakie w trzeciorzędowym piętrze wodonośnym może spowodować lokowanie odpadów elektrownianych. Skutki te, wynikające z przyjętej technologii zatłaczania hydromieszaniny popiołowej, przejawiać się mogą lokalną zmianą warunków filtracji wód podziemnych. Wzrost ciśnienia w rejonie otworów tłocznych i inne od dotychczasowych kierunki przepływu

wody (wraz z zawiesiną popiołową) w ośrodku skalnym niosą z sobą potencjalne zagrożenia dla jakości wytopianej w złożu siarki.

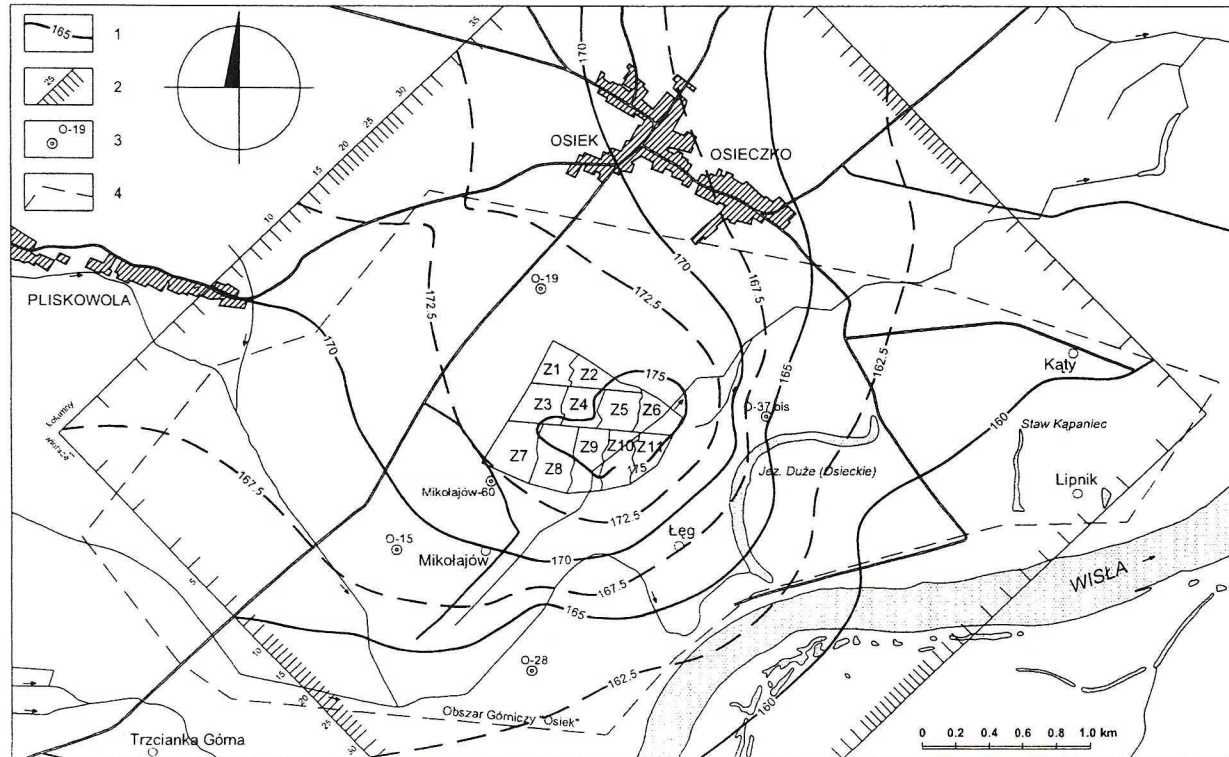
Odpowiedzi na istniejące pytania i wątpliwości powinny dostarczyć wyniki badań modelowych. Ich wiarygodność będzie można w pełni ocenić po zakończeniu eksperymentu na stanowisku doświadczalnym w rejonie AKP-2. Dotychczasowy brak obserwacji przebiegu procesu tamponowania pustek poeksploatacyjnych w złożu siarki jest przyczyną, dla której badania modelowe przeprowadzone zostały w kilku wariantach obliczeniowych. Wskazują one na rolę, jaką w kształtowaniu warunków rozptyłu hydromieszaniny będzie miała zmiana własności filtracyjnych ośrodka spowodowana wypełnieniem porów i szczelin przez słabo przepuszczalne popioły.

Model warstw wodonośnych opracowany został w oparciu o dotychczasowy stan rozpoznania geologicznego. Bezpośrednimi badaniami modelowymi objęty został obszar 23,2 km² podzielony na 1640 bloków obliczeniowych. Siatkę podziału tworzą bloki prostokątne o zróżnicowanych wymiarach od 40 m w rejonie pól górniczych do 320 m na obszarach peryferyjnych. Przyjęty podział obszaru filtracji (rys. 1) okazał się w zupełności wystarczający dla schematycznego odwzorowania na modelu warunków hydrogeologicznych oraz elementów techniczno-eksploatacyjnych, w tym głównie otworów eksploatacyjnych i odprężających kopalni Osiek oraz otworów tłocznych i recyrkulacyjnych stanowiska doświadczalnego dla zatłaczania hydromieszaniny popiołowej. Wymuszenia spowodowane działaniem tych otworów stanowiły wewnętrzne warunki brzegowe rozwiązania symulacyjnego.

Granice zewnętrzne modelu tworzą przebiegi wybranych hydroizohips położonych w pobliżu obszaru bezpośrednich badań modelowych. Przyjęte oddalenie, wynoszące od 1,0 do ponad 4,0 km, ma zapewnić zminimalizowanie wpływu tych granic modelu na wielkości przepływów filtracyjnych.

Wymuszona w badaniach symulacyjnych ilość wody technologicznej zatłaczana do złoża w rejonach eksploatacji (ok. 6154 m³/d do 29 otworów) oraz wielkość poboru wody z otworów odprężających (ok. 3683 m³/d z 16 otworów) odpowiadają warunkom wydobywania siarki w kopalni Osiek w II połowie 1998 r. Wskazanie lokalizacji i określenie wielkości podaży wody do otworów zatłaczających hydromieszaninę popiołową (ok. 720 m³/d do 2 otworów) oraz warunki odbioru wody z otworów recyrkulacyjnych (ok. 720 m³/d z 2 otworów) wynikały z założeń projektowych stanowiska doświadczalnego.

Potwierdzeniem poprawności przyjętej na modelu schematyzacji hydrogeologicznej w zakresie wielkości parametrów filtracyjnych oraz warunków brzegowych jest mapa hydroizohips piętra trzeciorzędowego (rys. 1) uzyskana jako rezultat etapu weryfikacyjnego. Wykazuje ona zadowalającą zbieżność z obrazem pola filtracyjnego stwierdzonym bezpośrednimi pomiarami w otworach piezometrycznych. W centralnej części obszaru modelu utrzymuje się strefa podwyższonego zwierciadła wód podziemnych (stożek impresji). Pozostała ona jako skutek otworowej eksploatacji siarki w kopalni Osiek, a swym zasięgiem obejmuje między innymi rejon projektowanego stanowiska doświadczalnego do zatłaczania hydromieszaniny popiołowej. Stwierdzone w tej części obszaru wysokości hydrauliczne wynoszą około 175 m n.p.m., wskazują zatem na utrzymujący się wzrost ciśnienia o około 0,5—1,5 at.



Rys. 1. Hydroizohipsy trzeciorzędowego piętra wodonośnego w rejonie kopalni Osiek uzyskane na podstawie badań modelowych — stan na grudzień 1998 r. przed rozpoczęciem prób na stanowisku doświadczalnym

1 — hydroizohipsy w m n.p.m., 2 — brzeg obszaru objętego badaniami modelowymi (z zaznaczonym podziałem na bloki obliczeniowe), 3 — otwory obserwacyjne, 4 — granica obszaru górniczego Osiek, Z1-Z11 — pola eksploatacyjne kopalni

Fig. 1. The Tertiary aquifer hydroisohypsies in the region of Osiek mine obtained on a ground of model researches — state on December 1998, before the beginning of tests on an experimental stand

1 — hydroisohypsies in meters above sea level, 2 — the edge of the model research extend (with marked of calculating blocks division), 3 — sight-holes, 4 — the border of Osiek mine region, Z1-Z11 — exploitation fields of mine

Układ hydrodynamiczny, odzwierciedlający stan na grudzień 1998 r., został uznany za wyjściowy dla dalszych badań prognostycznych. Zostały one wykonane przy następujących założeniach:

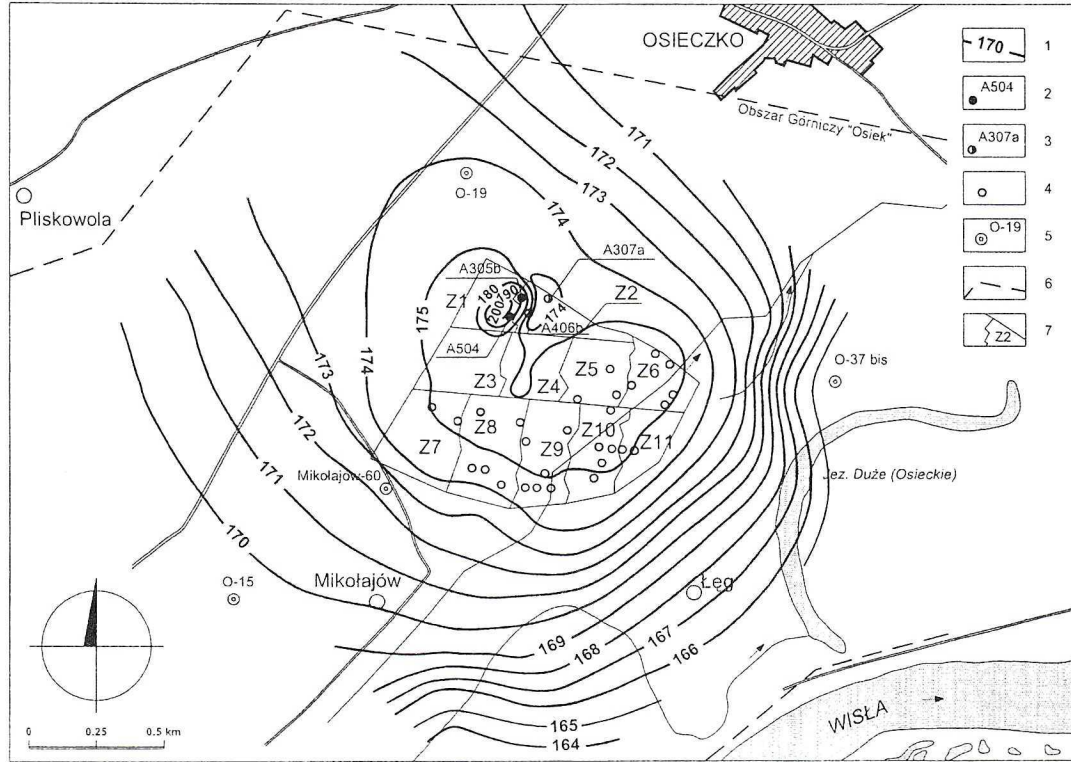
- niezmiennie w czasie są parametry filtracyjne utworów wodonośnych uzyskane na etapie weryfikacji modelu (według stanu na grudzień 1998 r.);
- położenie otworów eksploatacyjnych i odprężających oraz wydajności wód technologicznych zatłaczanych do złoża bądź z niego odbieranych nie ulegają zmianie;
- zatłaczanie hydromieszanki popiołowej odbywać się będzie równocześnie do dwóch otworów tłocznych z wydajnością średnią każdego otworu $Q = 360 \text{ m}^3/\text{d}$. Gęstość mieszaniny wynosić będzie $1,1\text{—}1,2 \text{ t/m}^3$, a dopuszczalne ciśnienie na głowicy otworu tłoczego nie przekroczy $12\text{—}12,5 \text{ at.}$ ($122,4\text{—}127,5 \text{ m}$ słupa wody);
- odbiór wód podziemnych, stanowiących w części odcieki z hydromieszanki popiołowej, nie będzie miał miejsca (w niektórych wariantach obliczeniowych) lub będzie prowadzony dwoma otworami recyrkulacyjnymi;
- tamponaż warstwy złożowej w strefie przyotworowej może charakteryzować się zmieniającym narastająco zasięgiem oraz prowadzić do stopniowego zaniku chłonności otworów tłocznych. W przeprowadzonych wariantach obliczeniowych założono 5-, 20- i 100-krotne zmniejszenie przewodności warstwy wodonośnej w stosunku do stanu aktualnego;
- otwory tłoczne i recyrkulacyjne są byłymi otworami eksploatacyjnymi kopalni Osiek, a ich stan techniczny umożliwi pełnienie określonych funkcji. W przypadku stwierdzenia zakolmatowania strefy przyotworowej dopuszcza się możliwość wykonania zabiegów udroźniających.

Wyniki obliczeń modelowych, w postaci bilansu wód podziemnych trzeciorzędowego piętra wodonośnego w rejonie Osieka, stanowią właściwą podstawę dla oceny zmian stosunków wodnych modelowanego obszaru. Zestawienie bilansowe umożliwia przeprowadzenie szczegółowej analizy czynników warunkujących przepływ strumienia filtracyjnego i wpływających na zasoby tego piętra wodonośnego.

Przepływy filtracyjne w obrębie modelowanego obszaru kształtowane są przede wszystkim przez wewnętrzne warunki brzegowe, związane z zatłaczaniem i odbiorem wód technologicznych i złożowych w rejonach eksploatacyjnych kopalni Osiek. Utrzymująca się przewaga podaży wody nad wielkością odprężania, wynosząca w poszczególnych warstwach obliczeniowych od 2470 do $3190 \text{ m}^3/\text{d}$, jest eliminowana głównie (jako odpływ) przez południowo-wschodnią granicę modelu. Drenaż przez tę granicę stanowi od 31 do 36% całkowitych zasobów wodnych tego rejonu.

Udział pozostałych zewnętrznych granic w kształtowaniu ujemnego elementu bilansowania jest relatywnie mały i wynosi około $8\text{—}13\%$. Równie mało znaczące jest w miarę zrównoważone zasilanie obszaru modelu od strony północno-zachodniej, północno-wschodniej i południowo-wschodniej. Stanowi ono zaledwie $3\text{—}5\%$ ogólnej ilości wód bilansowych po stronie składników dodatnich.

Zatłaczanie hydromieszanki popiołowej na stanowisku doświadczalnym, w ilości około $720 \text{ m}^3/\text{d}$ (ok. 10% wód bilansowych), nie powoduje wyraźnych zmian w proporcjach zachodzących pomiędzy wodami dopływającymi i odpływającymi z obszaru objętego badaniami modelowymi.

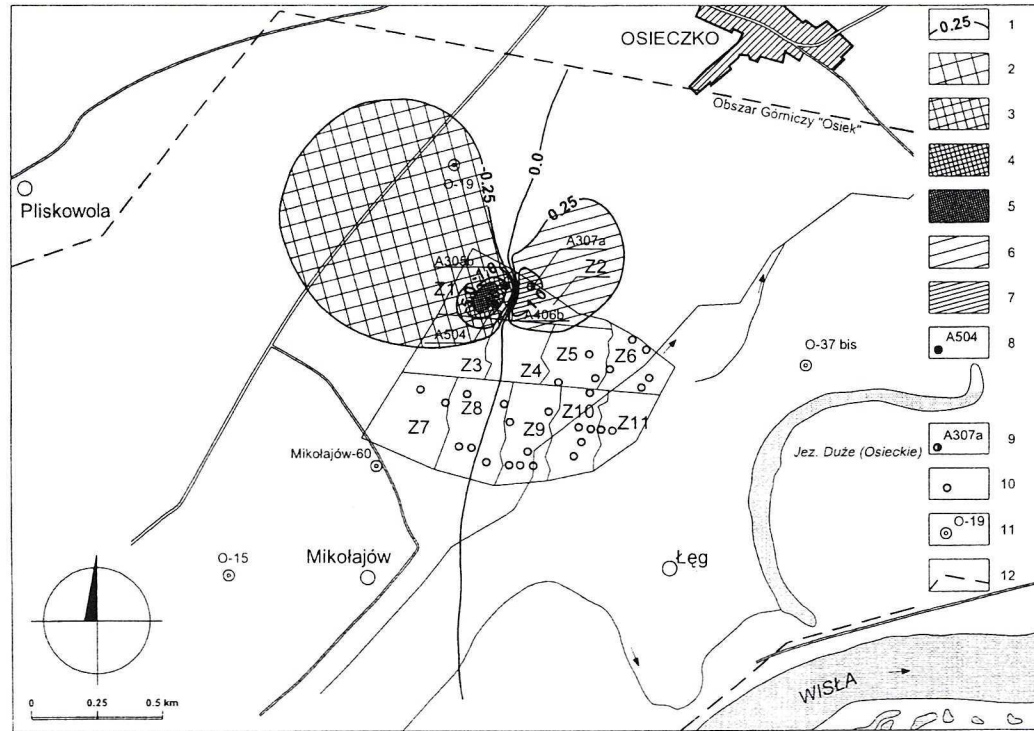


Rys. 2. Hydroizohipsy trzeciorzędowego piętra wodonośnego w rejonie kopalni Osiek uzyskane na podstawie badań modelowych — stan prognozowany dla końcowej fazy zatłaczania hydromieszaniny popiołowej na stanowisku doświadczalnym w warunkach działania studni recykulacyjnych

- 1 — hydroizohipsy w m n.p.m., 2 — otwory do zatłaczania hydromieszaniny popiołowej, 3 — otwory odprężające (recykulacyjne), 4 — otwory eksploatacyjne siarki, 5 — otwory obserwacyjne, 6 — granica obszaru górniczego Osiek, 7 — pola eksploatacyjne kopalni

Fig. 2. The Tertiary aquifer hydroisohypses in the region of Osiek mine obtained on a ground of model researches — forecasting state for the final phase of injecting ashed hydromixture on an experimental stand in conditions of recirculation wells activity

- 1 — hydroisohypses in meters above sea level, 2 — holes using for injection ashed hydromixture, 3 — decompression (recirculation) holes, 4 — sulphur exploitation holes, 5 — sight-holes, 6 — the border of Osiek mine region, 7 — exploitation fields of mine



Rys. 3. Prognozowane zmiany położenia zwierciadła wody w piętrze trzeciorzędowym spowodowane zatłaczaniem hydromieszanki popiołowej na stanowisku doświadczalnym kopalni Osiek

1 — izoliny depresji (+) lub impresji (-) zwierciadła wody, 2, 3, 4, 5 — wzrost wysokości zwierciadła wody (impresja) w przedziałach: $-0,25$ — $-1,0$ m (2), $-1,0$ — $-5,0$ m (3), $-5,0$ — $-10,0$ m (4), przekraczający $-10,0$ m (5); 6, 7 — obniżenie wysokości zwierciadła wody (depresja) wynoszące: $0,25$ — $1,0$ m (6), większe od $1,0$ m (7); 8 — otwory do zatłaczania hydromieszanki popiołowej, 9 — otwory odprężające (recyrkulacyjne), 10 — otwory eksploatacyjne siarki, 11 — otwory obserwacyjne, 12 — granice obszaru górniczego Osiek

Fig. 3. Expectation of water table changes in the Tertiary aquifer caused by ashed hydromixture pumping on the Osiek mine experimental stand

1 — isolines of depression (+) or impression (-) of water table, 2, 3, 4, 5 — increase of water table depth (impression) in interval: $-0,25$ — $-1,0$ m (2), $-1,0$ — $-5,0$ m (3), $-5,0$ — $-10,0$ m (4), over $10,0$ m (5); 6, 7 — decrease of water table depth (depression) equal: $0,25$ — $1,0$ m (6), greater than $1,0$ m (7); 8 — holes using for injection ashed hydromixture, 9 — decompression (recirculation) holes, 10 — sulphur exploitation holes, 11 — sight-holes, 12 — the border of Osiek mine region

Warianty obliczeniowe, w których kolejno poprzez 5- i 20-krotne zmniejszenie przewodności warstw wodonośnych w rejonie stanowiska doświadczalnego uwzględniono rozwój strefy tamponażowej, wskazują na możliwość zatłaczania hydromieszanki popiołowej z zakładaną wydajnością około 400 m³/d do każdego otworu tłoczego. Utrzymywanie takiej wydajności wymagać będzie wywarcia odpowiednio większego ciśnienia. Może ono wzrosnąć od 1,3 do 3,7 at w stosunku do stanu poprzedzającego rozpoczęcie eksperymentu.

Znacznie korzystniejsze warunki lokowania popiołów w pustkach poeksploatacyjnych złoża siarki występują w przypadku wykorzystywania otworów recyrkulacyjnych. Odbiór wody z tych otworów, w ilości potrzebnej do bieżącego przygotowania hydromieszanki, zdecydowanie zawęży strefę oddziaływania otworów zatłaczających, a sama podaż hydromieszanki z wymaganym natężeniem przepływu wymaga odpowiednio niższych ciśnień, wynoszących od 0,8 do 3,1 at w stosunku do stanu stwierdzonego pomiarami zwierciadła wody z grudnia 1998 r.

Stosowanie otworów recyrkulacyjnych znacznie ogranicza niekontrolowany rozptył odcięków z zawiesiną popiołową, choć odbierane wody tylko w części napływają od strony otworów tłocznych stanowiska doświadczalnego. Znaczny w nich udział mają bowiem wody technologiczne i złożowe dopływające z innych kierunków.

Wyraźny spadek chłonności otworów tłocznych na stanowisku doświadczalnym będzie widoczny wówczas, gdy w najbliższym ich otoczeniu nastąpi kolmatacja pustek poeksploatacyjnych wyrażająca się około 100-krotnym zmniejszeniem przewodności warstwy wodonośnej (do wielkości około 2 m²/d). W takiej sytuacji, nawet stosowanie maksymalnego ciśnienia na głowicy otworów zatłaczających (ok. 12,5 at) nie daje gwarancji zapewnienia pełnej podaży projektowanej ilości hydromieszanki do warstwy złożowej. Przy tych ekstremalnych wysokościach hydraulicznych należy spodziewać się ograniczenia wydajności otworów tłocznych o około 25%.

We wszystkich przeprowadzonych wariantach obliczeniowych nie ulega zasadniczej zmianie układ zwierciadła wody (rys. 2), a zatem i główne kierunki rozptyłu strumienia filtracyjnego. Zatłaczanie i odbiór wody w rejonie eksploatacji i w rejonie stanowiska doświadczalnego jedynie modyfikuje ten układ. Wyraźny wzrost wysokości hydraulicznej ma miejsce w rejonie otworów wykorzystywanych do zatłaczania hydromieszanki (rys. 3), zwłaszcza w miarę rozwoju strefy tamponażowej. Wzrost ten może być jednak skutecznie ograniczany działaniem otworów recyrkulacyjnych, nawet w niesprzyjających warunkach filtracyjnych.

Podsumowanie

Przedstawiona ocena geologiczno-technologicznych warunków otworowej eksploatacji siarki w kopalni Osiek wykazała celowość i możliwość wykorzystania popiołów z Elektrowni Połaniec do wypełniania pustek poeksploatacyjnych w złożu. Popioły te, z korzyścią dla eksploatacji, mogą być wykorzystane gospodarczo do:

— zmniejszenia wpływów powierzchniowych otworowej eksploatacji siarki przez wypełnianie pustek poeksploatacyjnych powstałych w złożu po wytopieniu siarki,

— zmniejszenia zasięgu wpływów hydrogeologicznych i hydrotermicznych na określonych kierunkach (ekrany przeciwfiltracyjne),

— sterowania rozplywem wody w złożu i rozwojem strefy wytopu siarki.

Gospodarcze wykorzystanie popiołów w warunkach kopalnianych nie wymaga procedury uzyskania koncesji, gdyż odpady te nie są zaliczane do kategorii odpadów niebezpiecznych (Kirejczyk i in. 1995). Ich zdeponowanie w złożu siarki nie spowoduje negatywnego skutku dla środowiska, a prognozowany na podstawie badań modelowych zasięg zmian jest niewielki i nie przekracza strefy oddziaływania hydrodynamicznego.

W celu określenia możliwości, warunków technicznych i zakresu docelowego wykorzystania popiołów w technologii otworowej eksploatacji siarki niezbędne jest wykonanie prób przemysłowych. W pierwszej kolejności próby te winny być przeprowadzone na stanowisku doświadczalnym zlokalizowanym w Kopalni Siarki Osiek, w rejonie gdzie zakończona została eksploatacja.

Eksperyment z zatłaczaniem hydromieszaniny popiołowej na stanowisku doświadczalnym, przy właściwie zorganizowanych pomiarach w sieci otworów obserwacyjnych, może przyczynić się do dalszego postępu w matematycznym modelowaniu procesów zachodzących w ośrodku skalnym, w którym pustki poeksploatacyjne mogą być wykorzystane do lokowania odpadów poeksploatacyjnych. Rozwiązanie tego problemu stwarza warunki dla poprawy stanu środowiska naturalnego przez wyeliminowanie lub ograniczenie powierzchniowych składowisk popiołów, co również przekłada się na wymierne korzyści ekonomiczne.

LITERATURA

- Burchard T., Krańców M., 1987 — Badania wskaźnika wytapialności w warunkach naturalnego wytopu w złożu na podstawie analiz rdzeni z odwiertów reeksploatacyjnych kopalni siarki w Grzybowie. OBRPS „Siarkopol”, Tarnobrzeg.
- Frankiewicz A., Gałuszka T., 1985 — Ustalenie wskaźnika wytapialności siarki ze złoża i strat fizyko-chemicznych w procesie wytopu oraz badania granicznego kąta spływu siarki w oparciu o otwory eksploatacyjne. OBRPS „Siarkopol”, Tarnobrzeg.
- Kirejczyk J., Burchard T., Frankiewicz A., Pantula Z., Tabor M., Cieśla A., 1995 — Wykorzystanie pustek poeksploatacyjnych w kopalniach otworowych siarki „Osiek” i „Grzybów” odpadami poelektrownianymi. PU-P SIGMA, Sp. z o.o., Tarnobrzeg.
- Kowalik J., Piskorz S., Śmiech S., Piskorz A., 1979 — Dokumentacja geologiczna w kategorii C1 złoża siarki rodzimej Osiek. PG, Kielce.
- Kulma R., Haładus A., Szczepańska J., Kania J., 1999 — Prognoza zmian stosunków wodnych na skutek lokowania popiołów w pustkach poeksploatacyjnych złoża siarki w rejonie kopalni Osiek na podstawie badań modelowych. ZHiOW AGH, Kraków.
- Rybicki S., 1973 — Geologiczno-inżynierskie problemy otworowej eksploatacji siarki. Zeszyty naukowe AGH, Geologia z. 20, Kraków.
- Wranka J., 1978 — Badania strefy wytopu siarki różnymi metodami w aspekcie wykorzystania złoża. Praca doktorska, AGH, Kraków.

RYSZARD KULMA, ANDRZEJ HALADUS, JÓZEF KIREJCZYK, TOMASZ BURCHARD

THE POSSIBILITIES AND PROGNOSSED EFFECTS OF FILLING POST-EXPLOITATION CAVITIES OF THE "OSIEK" SULPHUR DEPOSIT WITH ELECTRIC POWER PLANT ASH WASTE

Key words

Hydrogeology, modelling, disposal of industrial waste

Abstract

Smoke ashes from the Tadeusz Kosciuszko electric power plant in Polanica might have an application in the filling of post-exploitation cavities in the sulphur mine "Osiek". Such a possibility is primarily the result of an investigation of the sub-surface space created by the underground melting of sulphur, as well as from an analysis of the state of the ore.

Simulations performed on a hydrogeological model of a section of the ore itself, from the standpoint of experimental trials, indicates the feasibility of such an undertaking. The results of the study provide a basis for defining the increase in aquifer pressure and also allow the area of influence of the tamponage holes to be determined. The results also indicate that favourable conditions for the backfilling of post-exploitation cavities of the sulphur deposit with ash occur, if use is made of recirculation holes. The removal of water from these holes in amounts necessary to facilitate the continuous preparation of hydromixture, decidedly limits the zone of dynamic change within the ore series. The supply of hydromixture with the required flow intensity requires that there be suitably lower pressures.

Experimental trials of the injection of water-ash mixtures will allow for an accurate estimation of the quantity of ash waste that can be located within the post-exploitation cavities of the deposit. These results can be used to evaluate the feasibility of work of such kind on an industrially viable scale. In the case of positive experimental results, it will be necessary to modify the technological methods for the underground melting of sulphur, by considering the planned element of using industrial ash waste to tamponage the exploited part of the deposit.