

RYSZARD KULMA*, ANDRZEJ HAŁADUS*

Prognozy hydrogeologiczne odwadniania kopalni siarki Machów w końcowej fazie jej likwidacji

Słowa kluczowe

Hydrogeologia, likwidacja kopalń, obliczenia prognostyczne

Streszczenie

Prowadzone od 1994 r. prace likwidacyjne w wyrobisku poeksploatacyjnym Kopalni Siarki Machów zmierzają do zakończenia. Przewiduje się, że do końca 2001 r. zostanie ostatecznie uformowana pozioma warstwa izolacyjna, tworząca dno przyszłego zbiornika wodnego. Odwadnianie odkrywki musi być jednak kontynuowane, przynajmniej do czasu częściowego napełnienia wodą z Wisły. Wtedy bowiem ciśnienie wód złożowych piętra trzeciorzędowego zostanie zrównoważone w obrębie zbiornika rekreacyjnego, co nie spowoduje przerwania ciągłości (rozszerzenia) utworzonej warstwy izolacyjnej.

W końcowym okresie funkcjonowania system barier odwadniających podlega ciągłym zmianom. Wynikają one z konieczności przeniesienia studni barier wewnętrznych ze spągu złoża, bądź warstw nadrudzia, poza zarys przyszłego zbiornika wodnego (bariery zewnętrzne). Ilość odbieranych wód złożowych ma zapewnić utrzymanie dopuszczalnych wysokości hydraulicznych w obrębie likwidowanej odkrywki.

Wykonana na modelu hydrogeologicznym Tarnobrzeskiego Zagłębia Siarkowego prognoza zmian stosunków wodnych pozwala na określenie wydajności systemu odwadniania złoża (tab. 2) w poszczególnych fazach procesu likwidacyjnego. Każdy jego etap jest ponadto dokumentowany mapami hydroizohips (rys. 1–4), przedstawiającymi przewidywany układ pola hydrodynamicznego. Mapy te obrazują również przyrosty wysokości zwierciadła wody (impresję) w stosunku do stanu z końca 1999 r., przyjętego jako początkowy w obliczeniach symulacyjnych.

Uzyskane rezultaty obliczeń prognostycznych stanowią podstawę dla projektowania bądź modyfikacji barier studni odwadniających. W okresie napełniania zbiornika będą również pomocne przy prowadzeniu racjonalnej gospodarki wodnej.

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

Wprowadzenie

Górnice roboty likwidacyjne w odkrywce Machów rozpoczęte zostały w marcu 1994 r. na podstawie projektu technicznego (Kopeć i in. 1993) opracowanego przez Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Przemysłu Siarkowego „Siarkopol”. Projekt ten zakłada wodny kierunek likwidacji wyrobiska (wypełnienie zbiornika wodą z Wisły) po uprzednim wyprofilowaniu skarp i uszczelnieniu dna. Prace likwidacyjne prowadzone są z wykorzystaniem podstawowego parku maszynowego kopalni, a w szczególności układów urabiająco-zwałujących (koparka—taśmociąg—zwałowarka). Za ich pomocą formowana jest 25-metrowa warstwa izolująca na dnie wyrobiska, prowadzone są czynności związane z zabezpieczeniem zbroczy w warunkach przyszłego wypełnienia zbiornika wodą, kształtowane są elementy ochrony brzegów przed procesami abrazji oraz tworzone są nowe formy krajobrazowe urozmaicające linię brzegową zbiornika. Wymienione prace wymagają urobienia i transportu wielu milionów metrów sześciennych mas ziemnych.

W stosunku do zakładanego pierwotnie tempa robót likwidacyjnych występuje obecnie około półtoraroczne opóźnienie. Przykrycie dna wyrobiska warstwą izolacyjną nie zostanie zakończone w pierwszym kwartale 2000 r. (Szczepański i in. 1993), lecz najpewniej do końca roku 2001. Powodem powstałej zwłoki czasowej jest między innymi zawodność wysłużonych urządzeń kopalnianych, realizacja dodatkowych prac ziemnych (np. składowanie keku i innych odpadów przemysłowych na dnie wyrobiska) oraz niedostatek środków finansowych pozyskiwanych z budżetu państwa.

Przyjęty sposób likwidacji wyrobiska poeksploatacyjnego spowoduje radykalne zmiany stosunków wodnych, powstałych na skutek ponad 30-letniego odwadniania złoża. Prognozę tych zmian opracowano w oparciu o wyniki badań symulacyjnych (Kulma i in. 1998) wykonanych na modelu hydrogeologicznym Tarnobrzeskiego Zagłębia Siarkowego.

Konieczność bieżącej aktualizacji wyników badań modelowych wynika z odstępstw jakie zaistniały pomiędzy założeniami przyjmowanymi na etapie sporządzania schematów obliczeniowych a późniejszą ich realizacją w warunkach kopalnianych. Perspektywa zakończenia do grudnia 2001 r. prac ziemnych w odkrywce Machów jest czynnikiem, który determinuje przebieg i sposób odwadniania tej części obszaru. Warunkiem koniecznym jest, aby działający system odwadniania złoża zapewniał zachowanie dopuszczalnych wysokości zwierciadła wody w piętze trzeciorzędowym, nie powodujących rozszczelnienia utworzonej warstwy izolacyjnej.

Praca została wykonana w Zakładzie Hydrogeologii i Ochrony Wód AGH w ramach badań statutowych nr 11.11.140.251.

1. Obecny i przewidywany stan robót likwidacyjnych w odkrywce Machów

1.1. Formowanie warstwy izolacyjnej

Obecnie (listopad 1999 r.) w pełni odsłonięty fragment dna wyrobiska powstały po wybraniu rudy siarkowej obejmuje powierzchnię około 4,2 ha. Położony jest on w centralnej części odkrywki w sąsiedztwie rzepia kopalnianego (PB-5). Dno wyrobiska przykrywa warstwa keku

usypana w postaci mogielnika, która nie spełnia warunków izolacyjnych. Powierzchnia zajęta przez ten odpad przemysłowy wynosi około 18 ha, a miąższość utworzonej warstwy sięga 12—15 metrów. Należy zakładać, że postęp robót likwidacyjnych do końca 1999 r. nie spowoduje znaczących zmian w stosunku do stanu obecnego. Możliwe jest częściowe przykrycie keku warstwą izolacyjną niepełnej miąższości oraz zmniejszenie odsłoniętej powierzchni dna wyrobiska o 20—40%.

Przewiduje się, że w pierwszym kwartale 2000 r. zostanie zasypana łąkami najniższa, odsłonięta jeszcze część odkrywki, a następnie dokończone będzie tworzenie warstwy izolacyjnej niepełnej miąższości (do rzędnej ok. 107—108 m n.p.m.) nad pozostałą częścią keku. Prace te powinny zostać zakończone do grudnia 2000 r.

W kolejnym 2001 r., ostatnim, w którym przewiduje się prowadzenie prac ziemnych na dnie wyrobiska poeksploatacyjnego, będą one skupiały się na tworzeniu uzupełniającej warstwy izolacyjnej nad częścią nadrudzia w północno-wschodniej części odkrywki. Wysokość sypanej tam warstwy ma osiągnąć rzędną 106—110 m n.p.m. Zwiększona zostanie również miąższość warstwy izolacyjnej nad kekiem do docelowej wysokości, tj. 116—117 m n.p.m.

1.2. Odwadnianie wyrobiska

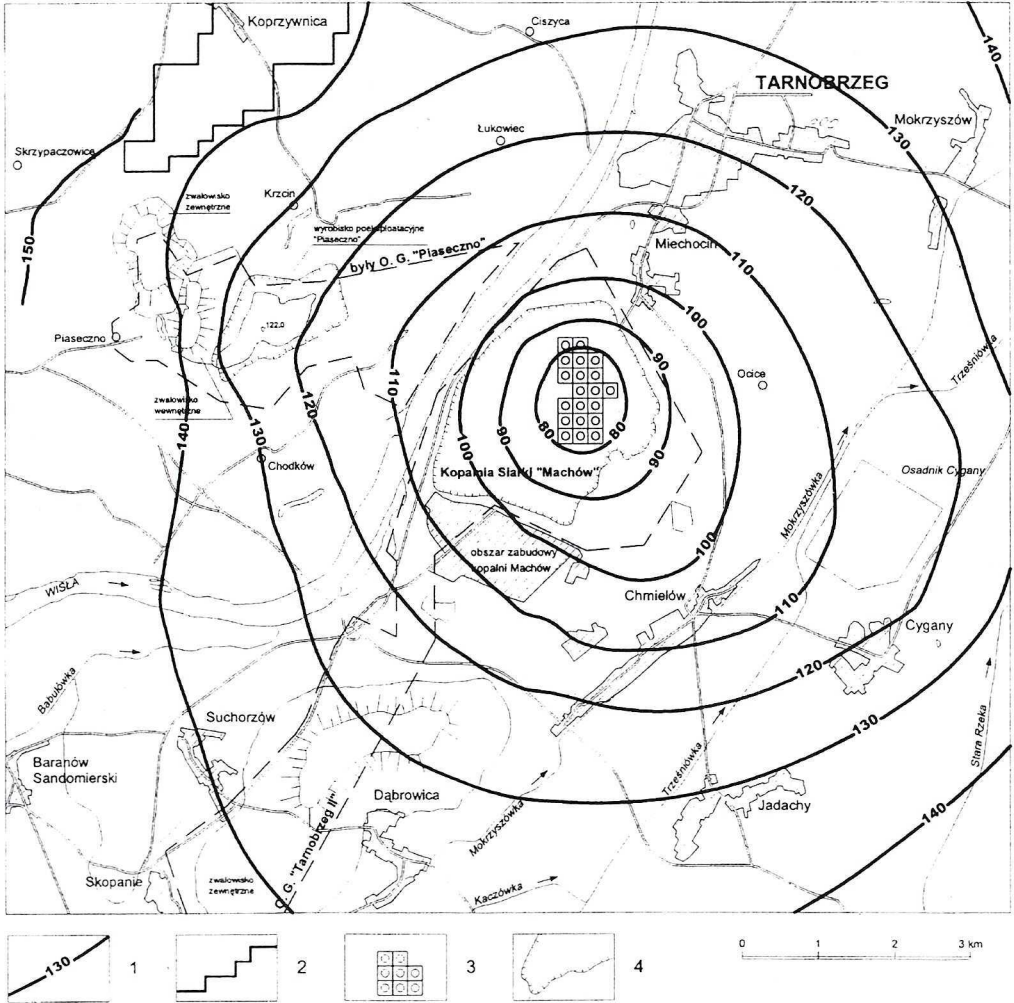
Dotychczasowy przebieg odwadniania odkrywki Machów zapewniał właściwe warunki do prowadzenia prac likwidacyjnych. Było to możliwe dzięki utrzymaniu w sprawności technicznej barier studni odwadniających. W okresie styczeń—wrzesień 1999 r. kopalnia dysponowała ponad 50 otworami studziennymi wykonanymi w latach 1991—1999. W zależności od bieżących potrzeb do bezpośredniego pompowania wody z trzeciorzędowego piętra wodonośnego wykorzystywane było od 20 do 41 studni. Pozostałe, spełniające wymogi techniczne, stanowiły wymaganą przepisami górnictwami rezerwę.

Odrębnym problemem związanym z odwadnianiem wyrobiska jest konieczność sukcesywnego wyłączania pracujących studni i przeznaczania ich do likwidacji. Najczęściej sytuacja taka wynika z postępu prac ziemnych związanych z sypaniem warstwy izolacyjnej lub technicznego uszkodzenia studni.

Odbiór wód złożowych z piętra trzeciorzędowego w okresie trzech pierwszych kwartałów 1999 r. charakteryzował się znaczną stabilnością. Średnie natężenie pompowanych wód wynosiło około 32 600 m³/d, przy czym same studnie pracujących barier odwadniających uzyskiwały wydatek około 26 870 m³/d. Dane te pozwalają szacować wydajności pojedynczej studni na około 807,1 m³/d. W rzeczywistości, na co wskazują wyniki pomiarów kopalnianych, wielkości te są bardzo zróżnicowane i zawierają się w przedziale od 100 do 1200 l/min. Obserwowana zmienność wynika zarówno z lokalnych warunków hydrogeologicznych, w których wykonana została studnia, jak i jej stanu technicznego po okresie użytkowania.

Ważną rolę w odwadnianiu wyrobiska poeksploatacyjnego w Machowie spełnia odbiór wód złożowych za pomocą pomp powierzchniowych zainstalowanych w zbiorniku PB-5. Miejsce to, z uwagi na położenie, spełnia rolę rzepia kopalnianego, z którego uzyskuje się średni dopływ około 5730 m³/d, przy wysokości zwierciadła utrzymanej na rzędnej około 71,0 m n.p.m. Udział wód opadowych, w stosunku do ogólnej ilości odbieranej wody, jest niewielki i wyraźnie wzrasta jedynie po deszczach nawalnych.

Konsekwencją zrównoważonego odbioru wód złożowych jest stabilny lej depresji (rys. 1). Poziom piezometrycznego zwierciadła wody w jego centrum osiąga około 70 m n.p.m. Kształt powierzchni depresyjnej jest nieco asymetryczny, większe nachylenia obserwowane są od strony południowo-zachodniej, a mniejsze — od strony wschodniej i północno-wschodniej. Analiza



Rys. 1. Położenie piezometrycznego zwierciadła w trzeciorzędowym piętrze wodonośnym rejonu Tarnobrzega na podstawie badań modelowych — stan z końca 1999 r.

1 — hydroizohipsy w m n.p.m., 2 — fragment schematyzowanego, zewnętrznego konturu modelu hydrogeologicznego, 3 — bloki obliczeniowe, w których realizowane były warunki brzegowe związane z odwadnianiem wyrobiska poeksploatacyjnego w Machowie, 4 — krawędź odkrywki

Fig. 1. Piezometric water table in tertiary water bearing layers of the Tarnobrzeg region on the basis of research modeling — state at the end of 1999

1 — hydroisohips in m a.s., 2 — schematized fragment of the hydrogeological model, 3 — calculation blocks in which boundary conditions related to the dewatering of the post exploitation workings in Machow, 4 — edge of workings

układu zwierciadła wody w obrębie wyrobiska poeksploatacyjnego wskazuje na zachowanie kryterium dopuszczalnej wysokości ciśnienia, zabezpieczającej sypaną warstwę izolacyjną przed rozszczelnieniem.

Warunki te ulegną jednak zasadniczej zmianie spowodowanej postępowaniem prac likwidacyjnych i koniecznością wyłączenia kolejnych barier studziennych. W roku 2000 przewiduje się przykrycie warstwą izolacyjną odsłoniętego dotąd spagu złoża, na którym zlokalizowanych było 10 studni odwadniających i rzapie kopalniane PB-5. W tej sytuacji utrzymanie odpowiednich (dopuszczalnych) wysokości ciśnień może być wynikiem pracy studni odwadniających wykonanych z warstw nadrudzia. W następnym, tj. 2001 r. zlikwidowane zostaną studnie kolejnych barier: X, XI i XII, a funkcję odwadniania odkrywki przejmą ostatnie dwie bariery wewnętrzne: XIII i E. Będą one mogły pracować do czasu częściowego wypełnienia wodą zbiornika Machów. W przypadku gdyby odwadnianie tymi barierami okazało się niewystarczające, głównie z uwagi na przekroczenie dopuszczalnych ciśnień w piętrze trzeciorzędowym, przewiduje się wykonanie i uruchomienie barier studni zewnętrznych, rozmieszczonych poza linią brzegową przyszłego zbiornika wodnego.

2. Roboty hydrotechniczne związane z likwidacją Kopalni Siarki Machów

Koncepcja robót hydrotechnicznych została opracowana przez „Hydroprojekt” w Warszawie w ramach projektu technicznego likwidacji wyrobiska górniczego, wykonanego przez OBR PS „Siarkopol” w Tarnobrzegu. Przyjęte rozwiązania nie zakłócają normalnego toku funkcjonowania obiektów użyteczności publicznej w otoczeniu zbiornika, w szczególności trasy komunikacyjnej i wałów przeciwpowodziowych, oraz nie naruszają warstwy przeciwfiltracyjnej utworzonej w jego obrębie. W późniejszym okresie eksploatacji zbiornika mają ponadto umożliwić ciągłą wymianę wody celem niedopuszczenia do jego eutrofizacji.

2.1. Doprowadzenie wody do zbiornika

Zbiornik wodny Machów, o charakterze rekreacyjnym, powstanie w wyniku zalania wyrobiska poeksploatacyjnego wodą z Wisły. Przekrój ujęcia wodnego, nawiązujący do linii regulacyjnej Wisły, położony jest w 249,9 km jej biegu, tj. około 2200 m poniżej mostu w Nagnajowie. Rzeka Wisła przepływa w odległości około 200—300 m od planowanego zbiornika, po jego zachodniej stronie. Od zbiornika oddziela ją wał przeciwpowodziowy oraz droga Tarnobrzeg-Mielec.

Jako doprowadzenie wody do zbiornika zaprojektowano (Kostecki i in. 1997) układ obejmujący: kanał doprowadzający, budowlę wlotową wraz z zamknięciami i kratami, przepust pod wałem przeciwpowodziowym i drogą dwupasmową, odcinek kanału otwartego, segment kaskady i bystrze z niecką wypadową, drugi odcinek kanału otwartego i przelew boczny.

Przyjęte rozwiązanie techniczne zapewnia sprowadzenie wody z wysokości 146 m n.p.m. na poziom 117 m n.p.m. przy równoczesnym wytraceniu jej energii kinetycznej. Z zagłębienia, którego rzędna dna wynosi 117 m n.p.m., woda będzie się przelewać przez rodzaj grobli o długości

kilkuset metrów i wysokości korony około 120 m n.p.m.. Wypełni w ten sposób najniższą położoną część zbiornika, poczynając od rzędnej około 103 m n.p.m.

Objętość wody w zbiorniku, obliczona dla maksymalnej wysokości napełnienia 146,0 m n.p.m., wynosi około 112 mln m³. Podstawą tych obliczeń była mapa projektowanej czaszy zbiornika wodnego, wykonana na podstawie opracowanych projektów technicznych, według stanu z roku 1996 (Kostecki i in. 1997). Zbliżające się zakończenie prac ziemnych w odkrywcę pozwala na dokładniejsze określenie pojemności zbiornika. Skorygowana, według stanu z końca 1999 r., mapa morfologii dna zbiornika wskazuje, że przy minimalnej rzędnej piętrzenia 145,0 m n.p.m. objętość zretencjonowanej wody wyniesie około 102 mln m³ (tab. 1).

Napełnianie zbiornika wodą będzie procesem, który w zależności od zmieniającej się sytuacji hydrologicznej może mieć przebieg wydłużony w czasie. Zakładając jednak stałą wielkość zasilania z Wisły, w ilości 20 m³/s (1,728 mln m³/d), można oszacować czas potrzebny na osiągnięcie kolejnych poziomów wody w zbiorniku (tab. 1). I tak: napełnianie wodą zbiornika do wysokości 110,0 m n.p.m. będzie trwało około 1,5 doby, do wysokości 120,0 m n.p.m. — około 10 dni, do wysokości 130,0 m n.p.m. — prawie miesiąc (26 dni), a do wysokości 140,0 m n.p.m. — półtora miesiąca (47 dni). Czas potrzebny na wypełnienie zbiornika do wysokości odpowiadającej minimalnej rzędnej piętrzenia wyniesie około 2 miesiące (59 dni). W rzeczywistości podane czasy mogą ulec nawet znacznemu wydłużeniu, przy doprowa-

TABELA 1

Przewidywany przebieg napełniania zbiornika Machów

TABLE 1

Expected course of the filling up of the reservoir Machow

Wysokość napełnienia zbiornika [m n.p.m.]	Objętość warstwy wody [tys. m ³]		Czas napełniania zbiornika* [doba]	
	w przedziale wysokości napełnienia	sumaryczna (narastająco)	w przedziale wysokości napełnienia	sumaryczny, od rozpoczęcia napełnienia
105	25	25	0,014	0,014
110	2 345	2 370	1,36	1,37
115	5 245	7 615	3,04	4,41
120	9 395	17 010	5,54	9,84
125	12 905	29 915	7,47	17,31
130	15 030	44 945	8,70	26,01
135	17 110	62 055	9,90	35,91
140	18 880	80 935	10,93	46,84
145	21 055	101 990	12,18	59,02

* Przy zakładanym natężeniu dopływającej wody 20 m³/s.

dzeniu wody do zbiornika powinny bowiem być spełnione między innymi następujące kryteria (Kostecki i in. 1997):

- przepływ w Wiśle powyżej 300 m³/s (dopuszczalnie do 450 m³/s) — aby ograniczyć ładunek wprowadzonej do zbiornika zawiesiny i fosforu,

- przepływ w Wiśle powyżej 200 m³/s (dopuszczalnie od 150 m³/s) — aby nie doprowadzić do nadmiernego zasolenia zbiornika,

- najbardziej dogodny dla napełniania zbiornika jest sezon jesienno-zimowy — zalecany z uwagi na niskie temperatury wody w rzece, wysokie stężenie tlenu i inne korzystne parametry fizykochemiczne.

Ostateczny kształt powierzchni dna przyszłego zbiornika w Machowie ma znaczenie dla obliczenia dopuszczalnych wysokości zwierciadła wody w piętrze trzeciorzędowym. W trakcie napełniania zbiornika powstający słup wody będzie dodatkowym elementem równoważącym ciśnienie wód złożowych. Wzrost dopuszczalnych wysokości stwarza możliwość ograniczenia ilości wody pompowanej ze studni barier zewnętrznych, co w bezpośredni sposób wpływa na zmniejszenie nakładów ponoszonych na utrzymanie systemu odwadniającego.

2.2. Wymiana wody w zbiorniku

Po pierwszym, jednorazowym napełnieniu zbiornika Machów przewiduje się coroczną częściową wymianę wody. Przyjęte dla okresu eksploatacji wahania zwierciadła wody, pomiędzy poziomami piętrzenia: maksymalnym 146,0 m n.p.m. i minimalnym 145,0 m n.p.m., tworzą warstwę „czynną” o pojemności około 5 mln m³ (Suszczeński, Paczkowski 1997). Wymiana ta będzie realizowana przez odprowadzenie wody do Wisły, kanałem przebiegającym u podnóża skarpy miechocińskiej, i dopełnienie zbiornika. Natężenie przepływu dopełniającego, który powinien wynosić około 1,0 m³/s, będzie wielokrotnie mniejsze niż w okresie pierwszego napełniania zbiornika.

Kanał odprowadzający wody ze zbiornika będzie miał długość ponad 2 km, a jego przebieg w całości pokrywa się z istniejącym rowem odwodnieniowym. Ze względu na funkcję rekreacyjną (ruch kajaków, plaże) pierwszy jego odcinek, o długości około 1,6 km, został zróżnicowany pod względem szerokości i nachylenia skarp brzegowych. Rzędna dna kanału na tym odcinku, wynosząca 144,0 m n.p.m., zapewnia około jednometrową głębokość cieku, nawet w sytuacji zerowego przepływu przy minimalnym poziomie piętrzenia.

Drugi odcinek kanału odprowadzającego charakteryzuje się stałym spadkiem na całej długości około 0,6 km i stałą szerokością dna. Znajdują się na nim dwa przepusty: pod drogą Tarnobrzeg-Mielec i pod wałem przeciwpowodziowym. Kanał umożliwia przepływ około 1,6 m³/s, przy napełnieniu do wysokości 1,0 m, co pozwala na opróżnienie całej warstwy czynnej zbiornika w ciągu niespełna 40 dni. Próg na wlocie do przepustu drogowego, na rzędnej 144,80 m n.p.m., chroni zbiornik przed obniżeniem zwierciadła wody w zbiorniku poniżej minimalnego poziomu piętrzenia. Zakłada się, że okresowo, zwłaszcza w sezonie urlopowym, nie będzie przepływu na drugim odcinku kanału odpływowego, z wyjątkiem spływu wód opadowych.

Na kanale odprowadzającym projektowane są urządzenia, które mają pełnić rolę regulacyjną (Suszczeński, Paczkowski 1997). Zasuwa płaska umieszczona w obrębie przepustu drogowego

umożliwi sterowanie odpływem wody ze zbiornika, a kłapa zwrotna w przepięści wałowym ma zabezpieczyć kanał odpływowy przed skutkami wezbrań w Wiśle.

Ujście kanału odprowadzającego do Wisły zlokalizowano w km 254 + 600, tj. o około 4 700 m poniżej wlotu do ujęcia dla zbiornika Machów. Rzędna dna kanału u ujścia wynosi 144,2 m n.p.m., jest zatem nieco niższa (o 0,07 m) niż stan Wisły przy przepływie średnim niskim SNQ.

3. Uwagi o modelu hydrogeologicznym

Obszar filtracji objęty badaniami modelowymi wyznaczony został na podstawie przesłanek hydrogeologicznych i techniczno-eksploatacyjnych. W jego granicach znalazły się wszystkie obiekty górnicze i ujęcia wód podziemnych, których działalność może kształtować stosunki wodne w obrębie czwartorzędowego i trzeciorzędowego piętra wodonośnego. W centralnej części obszaru badań położone są wyrobiska poeksploatacyjne odkrywkowych kopalń siarki w Machowie i Piasecznie. Również kopalnie Jeziórko i Osiek, prowadzące wydobywanie siarki metodą otworową, zostały objęte bezpośrednimi badaniami modelowymi.

Model warstwy wodonośnej opracowany został (Kulma i in. 1998) w oparciu o dotychczasowy stan rozpoznania geologicznego. Bezpośrednimi badaniami modelowymi objęty został obszar około 900 km² podzielony na 5562 bloki obliczeniowe, zawierające się w 70 wierszach i 94 kolumnach. Siatkę podziału obszaru filtracji tworzą bloki prostokątne o zróżnicowanych wymiarach (od 200—800 m). Przyjęty podział obszaru filtracji okazał się w zupełności wystarczający dla schematycznego odwzorowania na modelu istotnych szczegółów budowy geologicznej, warunków hydrogeologicznych oraz elementów techniczno-eksploatacyjnych. Zapewnił ponadto poprawną symulację ujęć wód podziemnych i w miarę dokładne odwzorowanie linii brzegowej Wisły, zwłaszcza w bezpośrednim sąsiedztwie odkrywek.

Przyjęty do badań modelowych schemat warunków hydrogeologicznych przedstawia się następująco:

— Na całym obszarze występuje czwartorzędowa warstwa wodonośna o zwierciadle swobodnym. Stanowią ją twory piaszczysto-żwirowe, w których przewaga frakcji gruboziarnistych i żwirowych występuje najczęściej w partiach spągowych. Miąższość utworów zawodzionych jest zmienna i w dużej mierze uzależniona od morfologii stropu iłw krakowieckich. Warstwa trzeciorzędowa utworzona jest przez wapienie serii chemicznej i piaszczysto-piaskowcowe twory serii baranowskiej.

— Wszystkie rzeki i ich dopływy mają bezpośredni kontakt hydrauliczny z czwartorzędową warstwą wodonośną. Odcinki niektórych rzek tworzyły zewnętrzne granice modelu (Kacanka, Koprzywanica i Wisła — od północy, Łęg — od wschodu, ujściowy odcinek Wisłoki — od zachodu) lub też stanowiły wewnętrzne warunki brzegowe (Wisła z jej dopływami: Zawidzianka-Broźnia, Babulówką i Trześniówką, dopływy Trześniówki oraz kanały Cholerzowsko-Dymitrowski, Młodochowski, Kliszowski i Łuczek). W obecnych warunkach (według stanu z września 1999 r.) cieki te, poza lokalnymi odcinkami, mają charakter silnie drenujący.

— Zasilanie warstwy wodonośnej następuje głównie przez bezpośrednią infiltrację opadów atmosferycznych. Sprzyja temu na ogół dobra przepuszczalność utworów zalegających powyżej

zwierciadła wód podziemnych, niewielkie deniwelacje terenu oraz brak większych kompleksów leśnych (z wyjątkiem południowo-wschodnich fragmentów obszaru badań modelowych). Średnia roczna wysokość opadów atmosferycznych wynosi 558 mm/rok.

— Czwartorzędowe piętro wodonośne eksploatowane jest przez nieliczne ujęcia wód podziemnych. Łączny pobór wody wynosi około 14 300 m³/d, co stanowi blisko 25% zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych. Pobór ten nie powoduje nadmiernych skutków w układzie pola hydrodynamicznego, a zasięgi depresyjnego oddziaływania studni są na ogół ograniczone.

— Znaczący udział w kształtowaniu stosunków wodnych mają wyrobiska poeksploatacyjne kopalń siarki. Odwadnianie utworów czwartorzędowych w rejonie odkrywki Piaseczno doprowadziło do powstania leja depresyjnego obejmującego powierzchnię około 25 km². Oddziaływanie systemu drenażowego odkrywki Machów w tym piętrze wodonośnym jest znacznie mniejsze i praktycznie zawężone do strefy o szerokości 200—300 m, głównie od północno-wschodniej i wschodniej strony wyrobiska. Istotne przeobrażenia stosunków wodnych spowodowało natomiast odwadnianie serii złożowej (wapieni siarkonośnych). Zasięg strefy zdepresyjowanej w utworach trzeciorzędowych obserwowany jest do odległości około 8 km od odkrywki Machów, a jej powierzchnia wynosi ponad 100 km².

— Kierunek przepływu wód podziemnych w piętrze czwartorzędowym jest w dużej mierze zdeterminowany drenującym charakterem rzek. Układ hydroizohips zwierciadła wód wskazuje, że kierunek południowo-wschodni dominuje dla ruchu strumienia wód podziemnych na obszarze położonym na lewym brzegu Wisły, kierunek północno-zachodni natomiast przeważa w części prawobrzeżnej. W obu przypadkach podstawę drenażu stanowi dolina Wisły. W piętrze trzeciorzędowym przepływ strumienia wód podziemnych wymuszony jest systemem barier studziennych kopalni Machów. Kształt powierzchni depresyjnej jest nieco asymetryczny, większe nachylenia obserwowane są od strony zachodniej i północno-zachodniej, mniejsze — od strony wschodniej i północno-wschodniej.

4. Prognoza odwadniania odkrywki studniami barier wewnętrznych

Obliczenia symulacyjne na modelu hydrogeologicznym, wykonane przy założonych warunkach brzegowych, stanowią podstawę dla dokonania oceny przebiegu zmian zachodzących w polu filtracyjnym w warunkach transformacji systemu odwadniania likwidowanej Kopalni Siarki Machów. Zbliżający się finał prac ziemnych w odkrywce umożliwia przyjęcie bardziej realistycznych założeń dotyczących końcowej fazy działań likwidacyjnych. W perspektywie dwóch najbliższych lat, tj. do końca 2001 r., prace związane z formowaniem warstwy izolacyjnej na dnie odkrywki powinny zostać zakończone.

4.1. Stan prognozowany na koniec 2000 r.

Charakteryzuje się likwidacją dziesięciu studni odwadniających, wykonanych ze spągu złoża, oraz zaprzestaniem pompowania wody ze zbiornika PB-5 (rzapie kopalniane). Wyłączenie tych efektywnych punktów odwadniania wyrobiska spowoduje zmniejszenie obecnej wydajności systemu o około 10 170 m³/d, tj. o 31,2%. Oznacza to, że pozostałe studnie barier wew-

nętrnych (X, XI, XII, XIII i E), usytuowane na warstwie nadrudzia, mogą zapewnić odbiór wód piętra trzeciorzędowego tylko w ilości około 24 430 m³/d. Nie mogą zatem sprostać wymogom bezpiecznego prowadzenia robót górniczych we wkopie. Sytuację może poprawić wcześniejsze uruchomienie dodatkowych studni, wykonanych na południowym krańcu bariery E i szybkie uformowanie przynajmniej kilkumetrowej warstwy izolacyjnej na całym odsłoniętym dotychczas spągu złoża. Warunki bezpiecznego prowadzenia robót ziemnych w odkrywcę zachowane zostaną w przypadku gdy wydajność studni nowego odcinka bariery E wyniesie co najmniej 4980 m³/d, a ogólna ilość wody odbieranej z piętra trzeciorzędowego osiągnie średnie natężenie 29 410 m³/d (tab. 2).

TABELA 2

Prognoza wydajności systemu odwadniania Kopalni Siarki Machów w końcowym okresie jej likwidacji

TABLE 2

Prognosis of the effectiveness of the dewatering system at the Machowr sulphur mine at the end phase of liquidation

Okres prognozy, na koniec roku	Wydajność systemu odwadniania [m ³ /d]				Wysokość napęlenia zbiornika [m n.p.m.]
	bariery wewnętrzne	bariery zewnętrzne			
		NW	NE	suma	
1999	32 600	—	—	—	—
2000	29 410	—	—	—	—
2001	18 560	—	—	—	—
Po roku 2001	—	15 080	8 120	23 200	—
	—	12 870	6 930	19 800	110
	—	8 840	4 760	13 600	120
	—	4 810	2 490	7 400	130
	—	780	420	1 200	140

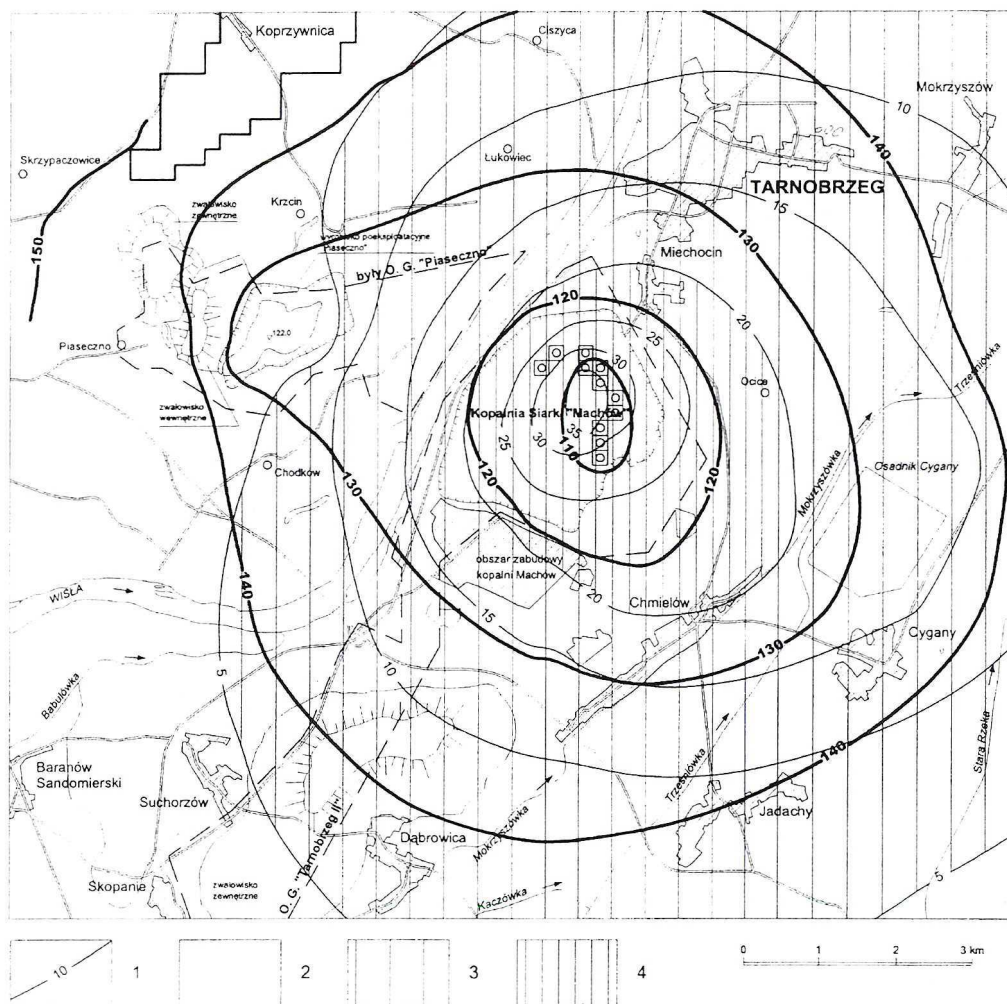
Przewidywany rozkład zwierciadła wody piętra trzeciorzędowego, po ustabilizowaniu reżimu filtracyjnego, wskazuje na nieznaczne wypłaszczenie się lejka depresyjnego, zwłaszcza w jego centralnej części. Zwiększenie wysokości hydraulicznej przekraczające 10 m wystąpi na obszarze około 0,16 km². Nigdzie jednak nie zostaną osiągnięte wysokości dopuszczalne. Taki stan hydrodynamiczny pozwala na kontynuowanie prac likwidacyjnych w obrębie wyrobiska Machów, przynajmniej do czasu, kiedy wyłączenie kolejnych studni odwadniających nie stanie się koniecznością.

4.2. Stan prognozowany na koniec 2001 r.

W tym terminie trzeba będzie wyłączyć z dotychczasowej eksploatacji studnie odwadniające barier wewnętrznych X, XI i XII, a więc położonych na nienaruszonej robotami górniczymi

warstwie nadrudzia. Projekt likwidacji zakłada utworzenie w tej części wyrobiska Machów warstwy izolacyjnej o miąższości średniej około 10,0 m, której strop, czyli dno przyszłego zbiornika wodnego, osiągnie wysokość 106—110 m n.p.m.

Wyłączanie poszczególnych studni, realizowane w zależności od postępu robót ziemnych, nie nastąpi jednocześnie. Z uwagi jednak na stosunkowo niewielką miąższość sypanej warstwy



Rys. 2. Prognozowane położenie piezometrycznego zwierciadła w trzeciorzędowym piętrze wodonośnym rejonu Tarnobrzeg na podstawie badań modelowych — stan na koniec 2001 r.

1 — izolinie impresji zwierciadła wody w m, 2, 3, 4 — przyrost wysokości zwierciadła wody, w stosunku do stanu z końca 1999 r., mniejszy niż 5 m (2), 5—20 m (3), 20—40 m (4). Pozostałe objaśnienia jak na rys. 1

Fig. 2. Prognosed piezometric water table heights in the tertiary water bearing layer of the Tarnobrzeg region on the basis of research modeling — state at the end of the year 2001

1 — impression isolines of the water table in m, 2, 3, 4 — increase in water table heights in relation to the state at the end of 1999, less than 5 m (2), 5—20 m (3), 20—40 m (4). Remaining explanations as in Fig. 1

można przyjąć relatywnie szybkie tempo tych prac, przy którym rozpatrywanie układów przejściowych, np. likwidacje kolejnych studni lub odcinków barier, nie znajduje uzasadnienia. Odwadnianie wyrobiska, mające na celu niedopuszczenie do rozszczelnienia utworzonej poziomej przegrody przeciwnieprzepuszczalnej, będzie się w tej sytuacji opierać na pracy studni bariery XIII i rozbudowanej wcześniej barierze E. Wymagać będzie jednak dodatkowego wsparcia ze strony studni nowego odcinka bariery zachodniej W. Tylko wówczas mogą być zachowane dopuszczalne wysokości hydrauliczne obliczone przy założeniu, że na zagrożonym obszarze osiągnięta jest docelowa miąższość warstwy izolacyjnej. Prognozowany układ zwierciadła wody (rys. 2) jest wynikiem zachowania dotychczasowych wydajności studni odwadniających bariery XIII i E oraz włączenia nowego odcinka bariery W. Sumaryczna ilość wody odbierana przez ten system powinna wynosić około $18\,560\text{ m}^3$ w ciągu doby (tab. 2), przy czym studnie nowego odcinka bariery N powinny osiągać wydajność około $1740\text{ m}^3/\text{d}$.

Bariera wewnętrzna wyrobiska poeksploatacyjnego kopalni Machów, składająca się z dotychczasowej bariery XIII oraz zmodyfikowanego odcinka bariery E i nowej bariery W, może być wykorzystywana jako system odwadniania tej części obszaru aż do momentu rozpoczęcia inwestycji związanych z budowlami hydrotechnicznymi dla napełniania zbiornika wodą z Wisły. Cykl inwestycyjny takiego przedsięwzięcia, obejmujący między innymi wykonanie kanału wlotowego i wylotowego oraz innych elementów umożliwiających prowadzenie racjonalnej gospodarki wodą w obrębie przyszłego zbiornika rekreacyjnego w Machowie, można szacować na około 2 lata. Okres ten będzie w zupełności wystarczający do odwiercenia i podłączenia do kolektorów zbiorczych nowych studni tworzących projektowane bariery zewnętrzne.

5. Odwadnianie wyrobiska studniami barier zewnętrznych

Harmonogram prac likwidacyjnych w wyrobisku poeksploatacyjnym Machów przewiduje sytuację, w której konieczne będzie zaprzestanie odwadniania studniami barier wewnętrznych. Nastąpi to przed ostatecznym uformowaniem czaszy przyszłego zbiornika wodnego. Aby w okresie likwidacji studni, demontażu bądź wyprowadzania urządzeń i maszyn górniczych oraz wykonywania budowli hydrotechnicznych nie doszło do przerwania ciągłości (rozszczelnienia) utworzonej warstwy izolacyjnej, należy odwadnianie obszaru odkrywki kontynuować z wykorzystaniem studni rozmieszczonych w barierach zewnętrznych.

Włączenie tych studni powinno wyprzedzać zakończenie odwadniania barierami wewnętrznymi i być prowadzone aż do momentu, w którym nastąpi wyrównanie ciśnienia wód złożowych w piętrze trzeciorzędowym z ciśnieniem wywieranym przez słup wody i warstwę izolacyjną w obrębie zbiornika wodnego. Czas użytkowania studni barier zewnętrznych jest trudny do ścisłego określenia z uwagi na liczne uwarunkowania. Wynikają one przede wszystkim z tempa prac likwidacyjnych i nieprzewidywalności sytuacji hydrologicznej, od której zależy moment rozpoczęcia napełniania zbiornika i długość okresu o korzystnych warunkach przepływu w Wiśle. W skrajnych przypadkach może być to okres od kilku miesięcy do 2—3 lat.

Sugestie odwadniania odkrywki studniami barier zewnętrznych, w końcowej fazie jej likwidacji, zawierały wcześniej wykonane opracowania (Szczepański i in. 1993; Haładus

i in. 1994; Haładus, Kulma 1996). Stały się one podstawą dla projektu realizowanego przez OBR PS „Siarkopol” (Matyka i in. 1997). Zakłada on odwiercenie i podłączenie do kolektora zbiorczego trzynastu studni tworzących barierę NW i siedmiu studni bariery NE. Projektowane otwory studzienne położone są poza linią brzegową tworzonego zbiornika wodnego. Rejony, w których mają być one wykonane charakteryzują się umiarkowanymi warunkami hydrogeologicznymi. Miąższość utworów wodonośnych, obejmujących wapień i margle serii chemicznej oraz piaski i piaskowce serii baranowskiej, wynosi około 30—40 m (Malinowski i in. 1991). Powinno to być wystarczające, aby przy dostatecznej szczeliniowości ośrodka filtracyjnego uzyskać z pojedynczej studni wydajność około 1150—1200 m³/d. W przypadku nie spełnienia tego kryterium koniecznością stanie się zwiększenie liczby studni w obu barierach NW i NE.

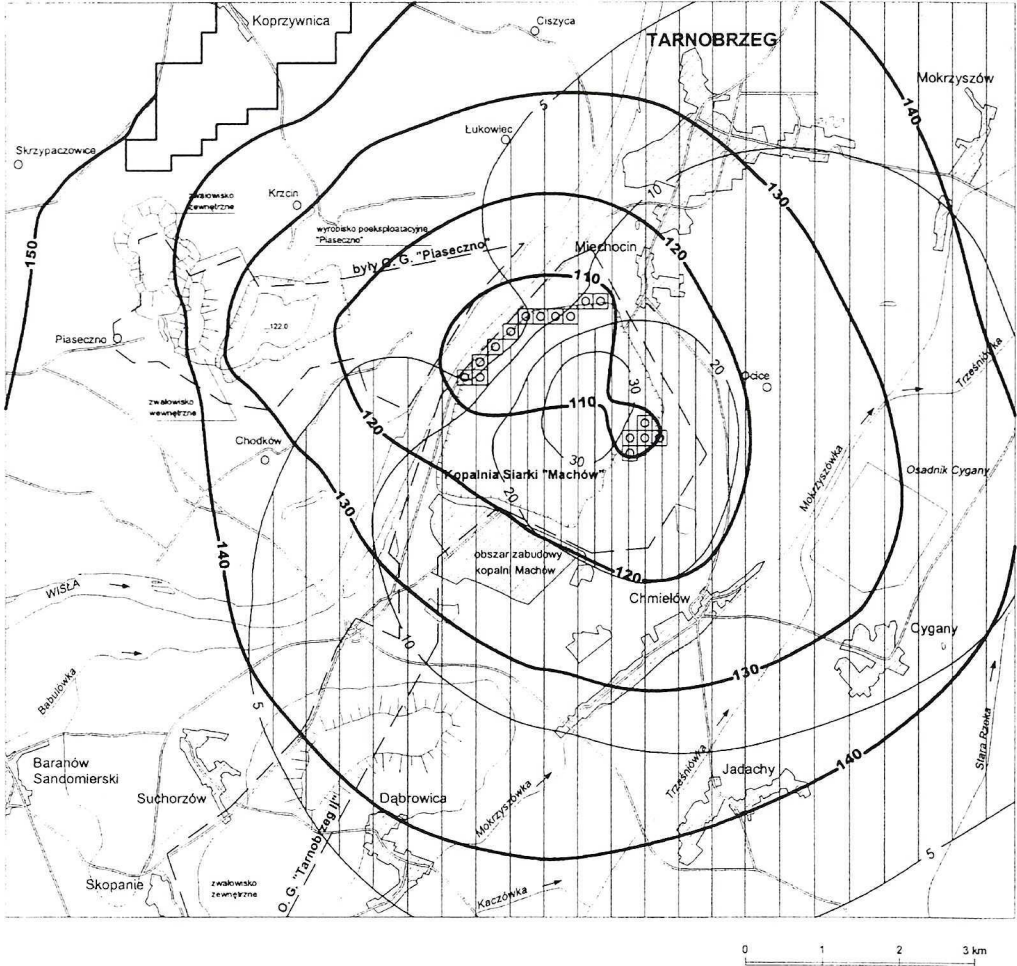
Odwadnianie obszaru projektowanego zbiornika wodnego studniami barier zewnętrznych powinno zapewnić zachowanie dopuszczalnych wysokości ciśnień w trzeciorzędowym piętrze wodonośnym. Ma to zasadnicze znaczenie, zwłaszcza w początkowej fazie napełniania zbiornika, kiedy słup wody nad warstwą izolacyjną albo jeszcze nie istnieje, albo jest zbyt mały dla zrównoważenia ciśnienia wód złożowych. W miarę napełniania zbiornika i wzrostu w nim wysokości zwierciadła wody możliwe będzie ograniczenie ilości pompowanej wody, aż do całkowitego wyłączenia studni odwadniających.

5.1. Stan prognozowany przed rozpoczęciem napełniania zbiornika Machów

Przygotowany i zweryfikowany model hydrogeologiczny został wykorzystany do obliczeń symulacyjnych dotyczących drugiego etapu prognozy. Odpowiada on sytuacji, jaka zaistnieje najprawdopodobniej po roku 2001, kiedy to zakończone prace likwidacyjne i przygotowane budowle hydrotechniczne umożliwią rozpoczęcie napełniania zbiornika wodnego. Zakończenie formowania warstwy izolacyjnej w wyrobisku poeksploatacyjnym wyznacza nowe warunki dla kształtowania się dopuszczalnych wysokości ciśnienia w trzeciorzędowym piętrze wodonośnym. Niedopuszczenie do nadmiernego wzrostu wysokości hydraulicznej w serii złożowej wymagać będzie odbioru około 23 200 m³ wody w ciągu doby, z czego otwory studzienne bariery NW powinny pracować z łączną wydajnością około 15 100 m³/d, a studnie bariery NE — z wydajnością około 8 100 m³/d (tab. 2).

Lej depresyjny utworzony w wyniku działania tych studni będzie charakteryzował się dwudzielnością (rys. 3). Większego obniżenia zwierciadła wody, do 100 m n.p.m., należy spodziewać się w bezpośrednim otoczeniu bariery NW, mniejszego o około 10 m — w pobliżu bariery NE. Najniższa hydroizohipsa, która otacza oba te rejony ma wysokość 110 m n.p.m., a jej przebieg jest zdecydowanie asymetryczny.

W okresie działania barier zewnętrznych, poprzedzającym rozpoczęcie napełniania zbiornika, wzrost wysokości zwierciadła wody w stosunku do stanu przyjętego jako wyjściowy do obliczeń symulacyjnych (na koniec 1999 r.) przekroczy 35 m (rys. 3). Większe przyrosty obserwowane będą w rejonie położonym na północny-zachód od bariery NE, gdzie do końca 1999 r. działał silny ośrodek drenażowy (stanowisko pompowe PB-5).



Rys. 3. Prognozowane położenie piezometrycznego zwierciadła w trzeciorzędowym piętrze wodonośnym rejonu Tarnobrzega na podstawie badań modelowych — stan przed rozpoczęciem napełniania zbiornika Machów (po roku 2001)

Objaśnienia jak na rys. 1 i 2

Fig. 3. Prognosed piezometric water table heights in the tertiary water bearing layer of the Tarnobrzeg region on the basis of research modeling — state before the filling of the Machow reservoir (after 2001)

Explanations as in Fig. 1 and 2

5.2. Stan prognozowany przy częściowym napełnieniu zbiornika

Rozpoczęcie napełniania zbiornika wodą z Wisły spowoduje zmianę sytuacji hydrodynamicznej w trzeciorzędowym piętrze wodonośnym. Przyczyną tych zmian będzie słup wody nad

utworzoną warstwą izolacyjną, który stanie się dodatkowym elementem równowagi ciśnień. Położenie zwierciadła wody w zbiorniku, przy nieprzerwanym jego napełnianiu, będzie miało tendencję wzrostową. Podobnej zmianie ulegać będą również dopuszczalne wysokości zwierciadła wody. W obliczeniach symulacyjnych uwzględniono tylko te stany, przy których różnice wysokości zwierciadła wody w zbiorniku są znaczące, bo wynoszą 10 m.

Stan prognozowany przy napełnieniu zbiornika do wysokości 110 m n.p.m.

Złagodzenie kryterium dopuszczalnej wysokości ciśnienia w niektórych fragmentach obszaru wypełnionych już wodą pozwala na zmniejszenia intensywności odwadniania wyrobiska poeksploatacyjnego. Przy założeniu, że zmiana warunków odbioru wody będzie równomierna, tj. będzie dotyczyć w jednakowym stopniu studni barier NW i NE, powinny one osiągać łączny wydatek 19 800 m³/d (tab. 2). Obniżenie wydajności systemu odwadniającego w stosunku do stanu poprzedniego, tj. przy braku wody w zbiorniku, wyniesie około 15%.

Zmniejszenie odbioru wody przez studnie odwadniające barier zewnętrznych wpłynie na zmianę układu hydrodynamicznego. Straci na znaczeniu bariera NE, jako że ilość odbieranej przez nią wody, wynosząca około 6900 m³/d, jest blisko dwukrotnie mniejsza niż sumaryczna wydajność studni bariery NW, dochodząca do 12 900 m³/d.

Wyraźniejszym ośrodkiem drenażu pozostaje w tej sytuacji bariera NW, wokół której przebiegają hydroizohipsy o wartościach 110 i 115 m n.p.m. Maksymalne przyrosty wysokości ciśnienia w tym rejonie wyrobiska poeksploatacyjnego sięgają 10—20 m. Niewielki lej depresyjny zaznaczy się wokół studni bariery NE i będzie ograniczony hydroizohipsą 115 m n.p.m. Wzrost wysokości zwierciadła wody w tej części obszaru filtracji przekracza 30 m, z lokalnym maksimum przyrostu około 45 m.

Stan prognozowany przy napełnieniu zbiornika do wysokości 120 m n.p.m.

Kolejna zmiana dopuszczalnych wysokości hydraulicznych w trzeciorzędowym piętrze wodonośnym skutkuje dalszym zmniejszeniem wydajności barier zewnętrznych. Wystarczający dla zachowania równowagi hydrodynamicznej jest odbiór wody w łącznej ilości 13 600 m³/d, z czego studnie bariery NW powinny odbierać wodę z natężeniem około 8 800 m³/d, a studnie bariery NE — z natężeniem około 4 800 m³/d. Zmniejszenie ilości pompowanej wody w stosunku do początkowego okresu działania tego systemu odwadniania przekracza 41%.

Ograniczenie odwadniania rejonu zbiornika Machów, przy jego częściowym napełnieniu, powoduje wzrost wysokości zwierciadła wody. Zmiany położenia zwierciadła wody w piętrze trzeciorzędowym w stosunku do stanu wyjściowego wynoszą: w rejonie bariery NW — wzrost o około 20—30 m, w rejonie bariery NE — wzrost o około 40—45 m i w centralnej części zbiornika — wzrost o około 55 m. Działanie studzien bariery NE nie zaznacza się już odrębnym lejem depresji, powoduje jedynie lokalne jego wypłaszczenie na kierunku wschodnim. Zyskującym na znaczeniu ośrodkiem drenażowym zaczyna być zbiornik wody w Piasecznie.

Stan prognozowany przy napełnieniu zbiornika do wysokości 130 m n.p.m.

Doprowadzenie wody z Wisły w ilości około 45 mln m³ (tab. 1) spowoduje, że poziom wody w zbiorniku rekreacyjnym Machów osiągnie rzędną około 130 m n.p.m. Taki stan napełnienia zbiornika sprzyja dalszemu ograniczeniu wydajności studni tworzących system odwadniający. Zachowanie dopuszczalnych wysokości zwierciadła wody w piętrze trzeciorzędowym, które nie naraża na rozszczenie utworzonej warstwy izolacyjnej, wymagać będzie pompowania wody z natężeniem 7 400 m³/d (tab. 2). Z ilości tej studnie bariery NW powinny odebrać około 4 800 m³/d, wydajność bariery NE powinna natomiast wynosić około 2500 m³/d. Osiągany w tej sytuacji pobór wody przez studnie barier zewnętrznych oznacza zmniejszenie o 68% pierwotnej wydajności tego systemu.

Skutkiem ograniczenia poboru wody przez studnie barier zewnętrznych NW i NE jest wzrost ciśnienia, który w tej sytuacji na całym obszarze zbiornika, przekracza wielkość 45 m (w stosunku do początkowego położenia zwierciadła wody z końca 1999 r.). Maksymalny przyrost wysokości hydraulicznej, wynoszący około 65 m, obejmuje centralną część byłego wyrobiska eksploatacyjnego pomiędzy barierami NW i NE.

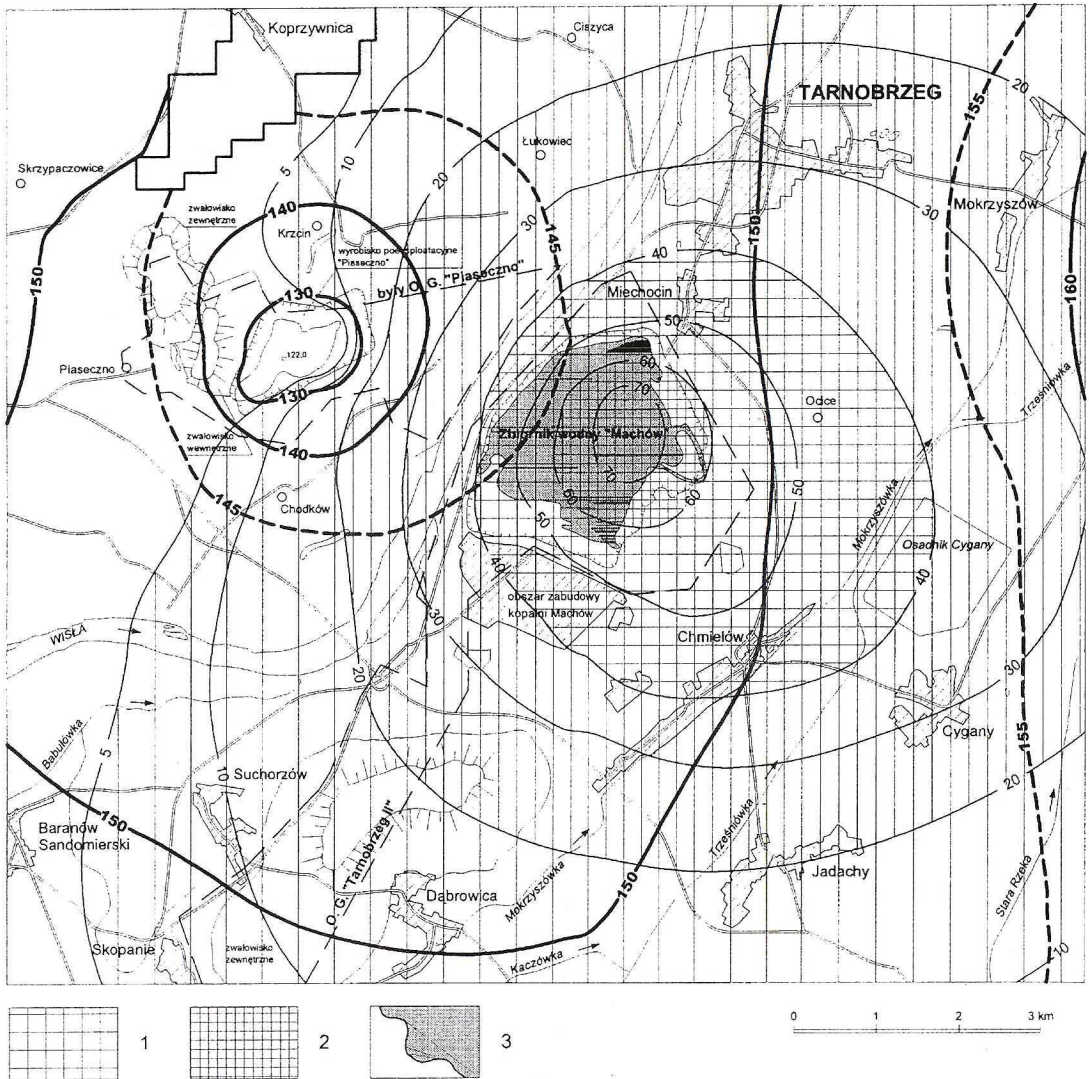
Prognozowany układ zwierciadła wody ulegnie kolejnej modyfikacji. Wyraźnym ośrodkiem drenażu staje się w tej sytuacji zbiornik wody Piaseczno. W jego obrębie zwierciadło wody leży już o około 10 m poniżej poziomu wody w zbiorniku Machów. Powstała sytuacja hydrodynamiczna spowoduje odwrócenie dotychczasowego kierunku przepływu strumienia wód podziemnych, co skutkować będzie również zwiększeniem dopływów do byłego wyrobiska Kopalni Siarki Piaseczno.

5.3. Stan prognozowany po zaprzestaniu odwadniania

Wypełnienie wodą zbiornika Machów do rzędnej 140 m n.p.m. stwarza sytuację, w której odwodnienie obszaru byłej odkrywki staje się zbędne. Co prawda zachowanie dopuszczalnych wysokości ciśnienia w piętrze trzeciorzędowym wymagałoby jeszcze odbioru wód złożowych z wydajnością 1 200 m³/d (tab. 2), to jednak skutek hydrodynamiczny zaniechania poboru wody w tej ilości jest do pominięcia. Wynikająca z obliczeń symulacyjnych wydajność systemu odwadniania mieści się praktycznie w przyjętym współczynniku bezpieczeństwa i oznacza jedynie niewielką intensyfikację procesu przesączania, tj. wnikania wód złożowych do utworzonej warstwy izolacyjnej i dalej do wód zbiornikowych.

Przewidywany w tych warunkach wzrost wysokości zwierciadła wody w stosunku do stanu z końca roku 1999 przekracza w rejonie utworzonego zbiornika wielkość 75 m. Jest to praktycznie całkowita odbudowa ciśnienia wody w piętrze trzeciorzędowym na tym obszarze w warunkach zakończenia procesu likwidacyjnego Kopalni Siarki Machów.

Prognozowany układ zwierciadła wody (rys. 4) wskazuje na kierunek przepływu strumienia filtracyjnego ze wschodu na zachód, przy czym głównym ośrodkiem drenażu (z depresją wynoszącą ok. 25 m) staje się zbiornik wodny w wyrobisku poeksploatacyjnym byłej Kopalni Siarki Piaseczno. Dla użytkownika tego obiektu oznacza to zwiększenie kosztów ponoszonych na pompowanie wody, przy założonej w badaniach modelowych stałej wysokości napełnienia wynoszącej 120,3 m n.p.m.



Rys. 4. Prognozowane położenie piezometrycznego zwierciadła w trzeciorzędowym piętrze wodonośnym rejonu Tarnobrzega na podstawie badań modelowych — stan po napełnieniu zbiornika Machów i zaprzestaniu odwadniania (po roku 2001)

1, 2 — przyrost wysokości zwierciadła wody, w stosunku do stanu z końca 1999 r., wynoszący 40—60 m (1) i większy niż 60 m (2), 3 — projektowany zbiornik wodny Machów.

Pozostałe objaśnienia jak na rys. 1 i 2

Fig. 4. Prognosed piezometric water table heights in the tertiary water bearing layer of the tarnobrzeg region on the basis of research modeling — state after the filling of Machow reservoir and the halting of dewatering operations (after 2001)

1, 2 — increase in water table heights in relation to the state at the end of 1999 being, 40—60 m (1) and greater than 60 m (2), 3 — planned water reservoir Machow.

Remaining explanations as in Fig. 1 and 2

Podsumowanie

Badania symulacyjne na modelu hydrogeologicznym Tarnobrzskiego Zagłębia Siarkowego umożliwiły wykonanie prognozy położenia zwierciadła wody oraz wielkości przepływów filtracyjnych w warunkach postępu kopalnianych robót likwidacyjnych i zmieniającej się konfiguracji studni odwadniających.

Przeniesienie odwadniania odkrywki Machów ze spągu wyrobiska na warstwy nadrudzia niesie z sobą zagrożenie wynikające z przekroczenia dopuszczalnych wysokości hydraulicznych. Stan taki, mogący pojawiać się po koniec 2000 r., spowodowany jest głównie zaprzestaniem pompowania wody z rzepia PB-5. Likwidacja tego newralgicznego punktu odwadniania wyrobiska musi być zatem poprzedzona działaniami osłonowymi w postaci dodatkowych studni na północnym krańcu bariery E. Również odwadnianie trzeciorzędowego piętra wodonośnego w warunkach likwidacji studni barier X, XI i XII, przewidywane na koniec 2001 r., wymagać będzie włączenia do eksploatacji studni z nowego odcinka bariery zachodniej W.

Owadnianie trzeciorzędowego piętra wodonośnego po zakończeniu sypania warstwy izolacyjnej na dnie projektowanego zbiornika wodnego przejmą studnie dwóch barier zewnętrznych NW i NE. Aby zapewnić utrzymanie dopuszczalnych wysokości hydraulicznych z barier tych należy odbierać łącznie 23 200 m³/d.

Rozpoczęcie napełnia zbiornika wodą z Wisły pozwala, w miarę wzrostu słupa wody nad utworzoną warstwą izolacyjną, na stopniowe łagodzenie kryterium dopuszczalnej wysokości hydraulicznej w warstwie wodonośnej. Ma to również swoje konsekwencje w ilości wody odbieranej przez system odwadniający (tab. 2). Przekroczenie kolejnych wysokości zwierciadła wody w zbiorniku pozwala na stopniowe ograniczanie wydajności studzien tworzących bariery zewnętrzne NW i NE. Przy napełnieniu zbiornika Machów do rzędnej 110 m n.p.m. Wystarczający jest odbiór wód złożowych w ilości 19 800 m³/d (obniżenie wydatku o 15%), przy rzędnej 120 m n.p.m. ilość ta zmniejsza się do 13 600 m³/d (obniżenie wydatku o 41%) i przy rzędnej 130 m n.p.m. — maleje do 7400 m³/d (obniżenie wydatku o 68%).

Wypełnienie wodą zbiornika Machów do rzędnej 140 m n.p.m. stwarza sytuację, w której można zaprzestać odwadniania obszaru byłej odkrywki. Przewidywany w tych warunkach maksymalny wzrost wysokości zwierciadła wody w stosunku do stanu z końca 1999 r. przekracza 75 m. Praktycznie jest to całkowita odbudowa wysokości ciśnienia w trzeciorzędowym piętrze wodonośnym do stanu, jaki istniał przed rozpoczęciem odwadniania odkrywkowych kopalń siarki w rejonie Tarnobrzega.

LITERATURA

- Haładus A., Jarosz Z., Kulma R., Szczepański A., 1994 — Prognoza zmian warunków hydrodynamicznych w rejonie likwidowanej kopalni siarki Machów. Gosp. Sur. Min. t. 10, z. 1, Kraków.
- Haładus A., Kulma R., 1996 — Aktualizacja wyników dotychczas wykonanych badań modelowych dla wyrobisk poeksploatacyjnych Machów i Piaseczno z uwzględnieniem harmonogramu skojarzonej ich likwidacji. AGH, Kraków.
- Kopeć J., Wojteczko T., 1993 — Projekt techniczny likwidacji wyrobiska górniczego Kopalni Siarki Machów. OBR PS Siarkopol, Tarnobrzeg.

- Kostecki M., Fiedler-Krukowicz H., Tejwan K., 1997 — Gospodarka wodna w zbiorniku Machów dla zapewnienia wymaganej jakości wody. HYDROPROJEKT Warszawa Sp. z o.o., Warszawa.
- Kulma R. (red) i in., 1998 — Prognoza skutków środowiskowych w związku z planowanym zaprzestaniem odwadniania kopalni odkrywkowej siarki w Machowie (część II). AGH, Kraków.
- Malinowski J., Perek M., Witkowska B., 1991 — Warunki hydrogeologiczne rejonu złóż siarki Baranów Sandomierski-Skopanie-Tarnobrzeg-Jeziórko-Jamnica. PiG, Warszawa.
- Matyka J. i in., 1997 — Szczegółowy projekt odwodnienia Kopalni Siarki Machów na lata 1997—2000. OBR PS Siarkopol, Tarnobrzeg.
- Suszczewski W., Paczkowski A., 1997 — Kanał odprowadzający wodę ze zbiornika do Wisły, z przepustem drogowym i wałowym. HYDROPROJEKT Warszawa Sp. z o.o., Warszawa.
- Szczepański A., Kulma R., Haładus A., Jarosz Z., 1993 — Określenie warunków i sposobu odwadniania wyrobiska Machów w poszczególnych fazach likwidacji. Etap I i II — Opracowanie i weryfikacja modelu hydrogeologicznego trzeciorzędowej warstwy wodonośnej rejonu Tarnobrzega. Etap III i IV — Badania symulacyjne na modelu trzeciorzędowej warstwy wodonośnej rejonu Tarnobrzega. AGH, Kraków.

RYSZARD KULMA, ANDRZEJ HAŁADUS

HYDROGEOLOGICAL PROGNOSIS OF THE SULPHUR MINE MACHOW AT THE END PHASE OF LIQUIDATION

Key words

Hydrogeology, mine liquidation, prognostic calculations

Abstract

Liquidation works carried out since 1994 in the post exploitation workings of the sulphur mine Machow are nearing completion. Its expected that by the end of the year 2000 the horizontal isolation layer forming the base of the future water reservoir will be completed. Dewatering of the mine however has to be continued at least until the partial filling of the reservoir by waters from the Wisła. At that time the pressure of the ore waters of the tertiary layer will be in equilibrium within the recreational reservoir which won't cause the breakup (disintegration) of the newly formed isolation layer. In the end phase of its functioning the dewatering barrier system will undergo continual changes. These will occur as a result of the necessity of moving the internal well barrier from the base of the ore or the above-ore layer to the perimeter of the future water reservoir (external barriers). The quantity of withdrawn ore waters will ensure the maintenance of the hydraulic height in the vicinity of the liquidated mine.

The change in water relations was prognosed using a hydrogeological model of the Tarnobrzeg sulphur depression, this allowed a piezometric estimation of the effectiveness of the ore dewatering system (Table 2) during consequent phases of the liquidation process. Each of these phases is also documented in the form of hydroizohip maps (fig. 1—4) presenting the expected position of the hydrodynamic fields. These maps also show the increase in water table heights (impression) as compared to the state at the end of 1999 which is accepted as the initial state in simulation calculations.

The obtained results from the prognostic calculations form the basis for the design or modification of barrier wells. During the filling up period of the reservoir they will be helpful in a rational water management scheme.