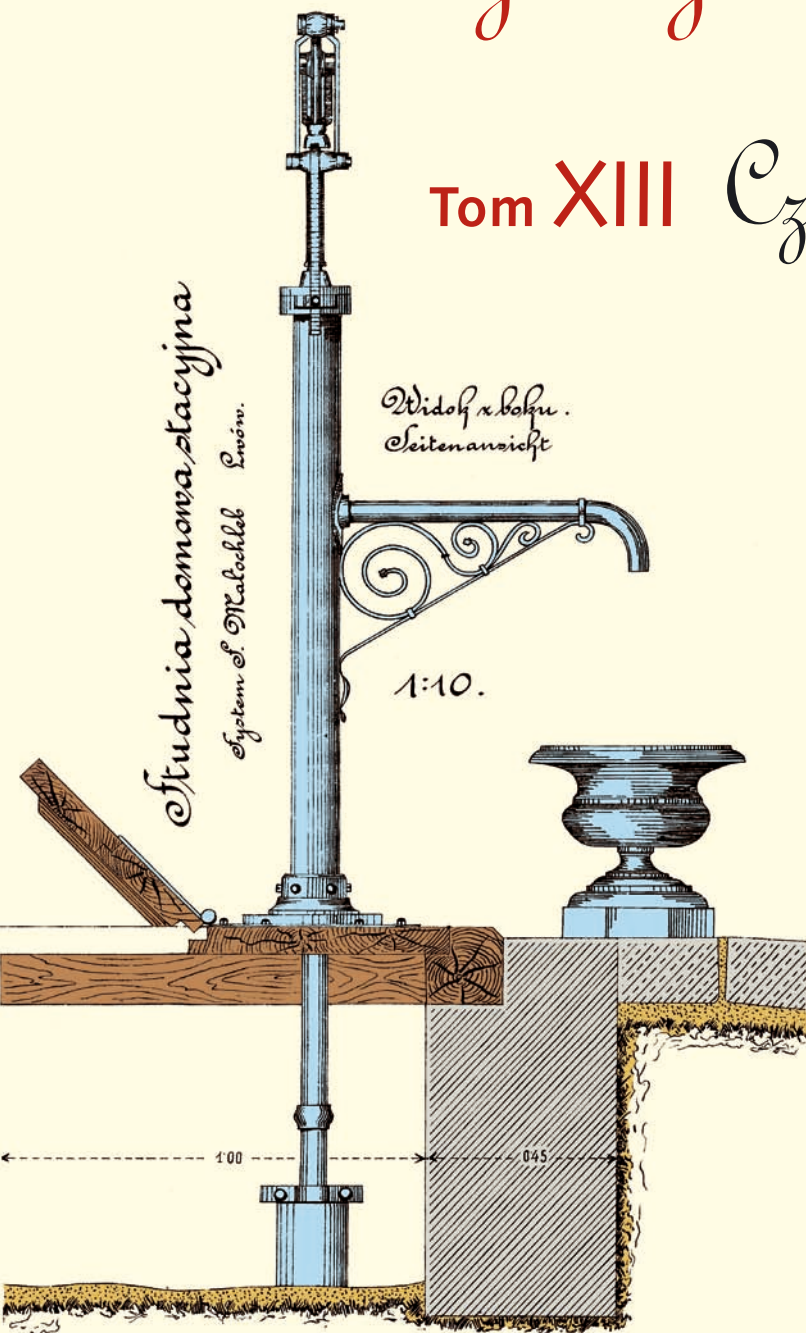


Współczesne problemy hydrogeologii

Tom XIII Część 3.



Copyright © Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH, Kraków 2007



Wydanie publikacji zostało sfinansowane przez
Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

Recenzenci:

Jadwiga Szczepańska
Wojciech Ciężkowski
Józef Górski
Andrzej Kowalczyk
Ewa Krogulec
Grzegorz Malina
Jerzy Małecki
Marek Marciniak
Jacek Motyka
Marek Nawalany
Jan Przybyłek
Andrzej Rózkowski
Andrzej Sadurski
Andrzej Szczepański
Stanisław Staško
Stanisław Witczak
Andrzej Zuber

Redakcja: Andrzej Szczepański, Ewa Kmiecik, Anna Żurek

Teksty artykułów w częściach 2. i 3. zostały wydrukowane z wersji elektronicznej dostarczonej przez Autorów, metodą bezpośredniej reprodukcji (*camera ready*)

Projekt okładki i stron tytułowych: Andrzej Tomaszewski

Na okładce: fragment projektu studni miejskiej we Lwowie z 1906 roku
— ze zbiorów prof. **Antoniego S. Kleczkowskiego** (1922–2006)

Korekta: Zespół

Skład komputerowy systemem $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$: pre $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ t, www.pretext.com.pl

Druk: ROMA-POL, www.romapol.pl

ISBN-13 978-83-88927-16-4

Andrzej Haładus, Ryszard Kulma

**Prognoza hydrogeologiczna likwidacji
wzrobiska poeksploatacyjnego siarki Piaseczno
k. Tarnobrzega**

**Hydrogeological Prognosis of the Closure of Native
Sulphur Open-Pit Piaseczno Near Tarnobrzeg**

Słowa kluczowe likwidacja kopalń odkrywkowych, obliczenia prognostyczne

Key words closure of open-pits, prognostic calculations

Abstract In the vicinity of Tarnobrzeg the closure and remediation of native sulphur open-pit mines are under way. The existence of hydraulic contact between the pits in Machów and in Piaseczno forces the joint closure process of both pits. Generally, it aims to the reconstruction of aquatic environment corresponding to the initial conditions. The delay in joint closure of both mines resulted from the problems with the Piaseczno pit which, according to the project, will be remediated as the recreational water reservoir. The completion of closure process depends also on the protection of surrounding land against soaking and inundation. The current (2006) hydrodynamic conditions and the prognosis of final aquatic environment were studied with the numeric filtration model.

1. Wstęp

Rozpoczęta likwidacja odkrywkowej Kopalni Siarki w Machowie wymusiła podjęcie decyzji dotyczących przeznaczenia i użytkowania pobliskiego wyrobiska poeksploatacyjnego w Piasecznie. Obecnie (2006 r.) przyjęty sposób likwidacji odkrywki (Pantula i in., 1996) zakłada samoistne jej napełnienie (do rzędnej 146,0 m n.p.m.) wodami dopływającymi głównie z piętra czwartorzędowego Odstąpiono od pierwotnego zamiaru wykonania warstwy izolacyjnej na dnie zbiornika, jak miało to miejsce w odkrywce „Machów”.

Naturalny proces tworzenia się zbiornika w wyrobisku poeksploatacyjnym „Piaseczno” rozpoczął się z chwilą zakończenia wydobywania rudy siarkowej (1971 r.) i piasków baranowskich (1980 r.) dla potrzeb przemysłu szklarskiego (Wilk, Kulma, 2004). Rzędna lustra wody w zbiorniku, wynosząca obecnie około 122,4 m n.p.m., utrzymywana jest przez system pomp powierzchniowych i zrzut wód nadmiarowych do Wisły.

Zmiany stosunków wodnych, jakie nastąpią po zakończeniu procesu likwidacyjnego odkrywki „Piaseczno”, wymagać będą budowy systemu drenażowego dostosowanego do istniejącego sposobu użytkowania terenów.

2. Warunki hydrogeologiczne

Na obszarze Tarnobrzeskich Złóż Siarki (TZS) występuje czwartorzędowe i neogeńskie piętro wodonośne (Turek, 1978). Pierwsze z nich, o zwierciadle swobodnym, tworzą utwory piaszczysto-żwirowe, których miąższość zwykle nie przekracza 10 m. Nieprzepuszczalne podłoże stanowią ility krakowieckie. Warstwa wodonośna zasilana jest głównie przez opady atmosferyczne. Wykazuje również wyraźną więź hydrauliczną z wodami powierzchniowymi, w tym przede wszystkim z Wisłą.

W obrębie piętra neogeńskiego występuje złoża siarki. Poza strefą wychodni charakteryzuje się ono naporowymi warunkami przepływu wód podziemnych. Utworami wodonośnymi są wapienie serii chemicznej oraz podścielające je piaski i piaskowce serii baranowskiej. Średnia miąższość obu połączonych warstw wynosi przeciętnie około 30 m. Od stropu poziomu neogeńskiego izolowany jest grubą warstwą iłów krakowieckich, a nieprzepuszczalne podłoże stanowią mioceńskie warstwy burowęglowe lub utwory kambryjskie. Zasilanie neogeńskiego poziomu wodonośnego ma miejsce na lewym brzegu Wisły, na zachód od wyrobiska „Piaseczno”, gdzie pod aluwialnymi utworami rzecznyymi znajduje się rejon wychodni wapieni złożowych i serii piaszczysto-piaskowcowej. W strefie tej dochodzi do połączenia czwartorzędowego i neogeńskiego piętra wodonośnego.

W warunkach naturalnych podstawę drenażu obszaru TZS stanowiła Wisła. Intensywne odwadnianie złóż siarki rozpoczęte przez byłą kopalnię „Piaseczno” i kontynuowane do dnia dzisiejszego także przez likwidowaną kopalnię „Machów” spowodowało głębokie przeobrażenia pierwotnych stosunków wodnych, głównie w obrębie piętra neogeńskiego. Natomiast w piętrze czwartorzędowym, zwłaszcza na lewym brzegu Wisły, powstał lokalny lej depresji. W jego centrum znajduje się wyrobisko poeksploatacyjne „Piaseczno”, w którym wielkość obniżenia poziomu wody wynosi obecnie (2006 r.) około 26 m.

3. Ogólne założenia modelu

Dla rozwiązywania złożonych problemów wodnych na terenach pogórnich były kopalń siarki w Piasecznie, Machowie i Jeziórku wykonano numeryczny model hydrogeologiczny o zasięgu regionalnym. Początkowo został on opracowany (Kulma i in., 1998) w programie komputerowym HYDRYLIB, a następnie przetransponowany do programu Processing MODFLOW. Model ten był wielokrotnie wykorzystany (Kulma i in., 2000, 2003, 2006; Haładus i in., 1997) dla regionalnej, bądź lokalnej oceny zmian stosunków wodnych na obszarze Tarnobrzckiego Zagłębia Siarkowego.

Bezpośrednimi badaniami modelowymi objęty został obszar ok. 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 do 800 m). Przyjęty podział obszaru filtracji okazał się w zupełności wystarczający dla schematycznego odwzorowania na modelu istotnych szczegółów budowy geologicznej, warunków hydrogeologicznych i hydrologicznych oraz elementów techniczno-eksploatacyjnych. Zapewnił ponadto poprawną symulację działającej w dalszym ciągu Kopalni Siarki „Osiek” oraz ujęć wód podziemnych, a także w miarę dokładne odwzorowanie linii brzegowej Wisły, zwłaszcza w bezpośrednim sąsiedztwie odkrywek.

Utworzony, trójwarstwowy model hydrogeologiczny Tarnobrzckiego Zagłębia Siarkowego uwzględnia założenia, które wynikają z dotychczasowego stanu rozpoznania środowiska wodno-gruntowego oraz zaawansowania prac likwidacyjnych w obiektach kopalnianych.

- Na całym obszarze występuje czwartorzędowa warstwa wodonośna o zwierciadle swobodnym (warstwa 1). Stanowią ją utwory piaszczysto-żwirowe o zmiennej przewodności, która najczęściej zawiera się w przedziale 100–600 m²/d. Neogeńska warstwa wodonośna utworzona jest przez wapienie serii chemicznej i piaszczysto-piaskowcowe utwory serii baronowskiej (warstwa 3) o przewodności na ogół 50–200 m²/d. Oba piętra wodonośne rozdzielają słabo przepuszczalne ility krakowieckie (warstwa 2), które zachowują ciągłość na całym obszarze filtracji, a brak ich tylko w rejonie wyrobiska poeksploatacyjnego w Piasecznie.
- Wszystkie rzeki i ich dopływy mają bezpośredni kontakt hydrauliczny z czwartorzędową warstwą wodonośną. Odcinki niektórych rzek tworzyły zewnętrzne granice modelu (Kacanka, Koprzywianka i Wisła — od północy, Łęg — od wschodu, ujściowy odcinek Wisłoki — od zachodu) lub też stanowiły wewnętrzne warunki brzegowe (Wisła z jej dopływami: Zawidzianką–Brożnią, Babulówką i Trześniówką, dopływy Trześniówki oraz kanały Chorzelowo–Dymitrowski, Młodochowski, Kliszowski i Łuczek). W aktualnych warunkach (według stanu z grudnia 2005 r.) ciekie 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 w 2005 r., obliczona na podstawie pomiarów z posterunków opadowych w Baranowie Sandomierskim i Sandomierzu, wynosiła 457 mm/rok.

- Czwartorzędowe piętro wodonośne eksploatowane jest przez nieliczne ujęcia wód podziemnych. Łączny pobór wody wynosi około 11 100 m³/d, co stanowi około 20,0% zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych. Pobór ten nie powoduje istotnych zmian w układzie pola hydrodynamicznego
- Znaczący udział w kształtowaniu stosunków wodnych mają wyrobiska poeksploatacyjne kopalń siarki. Odwadnianie utworów czwartorzędowych w rejonie odkrywki „Piaseczno” doprowadziło do powstania leja depresji obejmującego powierzchnię około 35 km². Drenujące oddziaływanie zbiornika wodnego tworzonego w obrębie likwidowanej odkrywki „Machów” jest znacznie mniejsze i praktycznie zawężone do niewielkiej strefy o szerokości 200–250 m. Istotne przeobrażenie stosunków wodnych spowodowane jest natomiast odwadnianiem serii złożowej (wapieni siarkonośnych), którego celem jest zabezpieczenie wyrobiska w Piasecznie przed nadmiernym napływem zanieczyszczonych wód neogeńskich. Powierzchnia leja depresji w piętrze neogeńskim, spowodowanego odwadnianiem prowadzonym w rejonie Machowa i Piaseczna, wynosi obecnie około 350 km². W rejonie czynnej otworowej kopalni siarki w Osieku (około 19 km na SW od Tarnobrzega) oraz likwidowanej kopalni w Jeziorku (około 11 km na E od Tarnobrzega) obserwowane są lokalne stożki impresji, będące skutkiem zatłaczania wody do piętra neogeńskiego.
- Według stanu na grudzień 2005 r. rzędna odwodnienia w odkrywce „Piaseczno” wynosiła 122,4 m n.p.m., a ilość wód odprowadzanych do Wisły sięgała 11 660 m³/d. Poziom napętnienia wodą z Wisły odkrywki „Machów” osiągnął rzędną 131,0 m n.p.m. Ilość wód pompowanych w tym rejonie z piętra neogeńskiego wynosiła 12 430 m³/d. W rejonie Jeziorka odbierano około 7700 m³/d, których część była zrzucana do Żupawki, a część zatłaczana do piętra neogeńskiego. Odwadnianie utworów czwartorzędowych w Kopalni Siarki „Osiek” wynosiło 1720 m³/d, a efektywne zatłaczanie do piętra neogeńskiego dochodziło do 5700 m³/d.
- Kierunek przepływu wód podziemnych w piętrze czwartorzędowym na obszarze TZS jest w dużej mierze zdeterminowany drenującym charakterem rzek. Układ hydroizohips wskazuje, że kierunek południowo-wschodni dominuje dla ruchu strumienia wód podziemnych na obszarze położonym na lewym brzegu Wisły, natomiast kierunek północno-zachodni przeważa w części prawobrzeżnej. W obu przypadkach podstawę drenażu stanowi dolina Wisły. Lokalne zaburzenie tego układu, spowodowane odwadnianiem wyrobiska pogórniczego w Piasecznie. W piętrze neogeńskim przepływ strumienia wód podziemnych wymuszony jest działaniem barier studziennych byłej kopalni Machów oraz drenażem wyrobiska Piaseczno.

4. Przebieg badań modelowych

Na etapie weryfikacji modelu TZS odtworzono stan hydrodynamiczny z grudnia 2005 r., stwierdzony pomiarami zwierciadła wody w otworach obserwacyjnych. Następnie wykonano obliczenia prognostyczne uwzględniające docelowy stan warunków hydrodyna-

micznych w rejonie likwidowanych wyrobisk pogórnich w Piasecznie i Machowie, otworowej kopalni „Jeziórko” oraz czynnej kopalni otworowej „Osiek”.

4.1. Weryfikacja modelu

Zmiany parametrów filtracyjnych i korekta warunków brzegowych obliczeń, wprowadzone w trakcie kalibracji modelu, miały ograniczony charakter, ponieważ zasadnicze czynności dostosowawcze miały miejsce już wcześniej, podczas uprzednio wykonanych badań symulacyjnych (Kulma i in., 2000, 2003, 2006; Haładus i in., 1997). Na modelu uwzględniono postęp prac likwidacyjnych oraz aktualne wydajności uzyskane przez różne systemy odbioru i zatłaczania wody w obrębie działających obiektów kopalnianych.

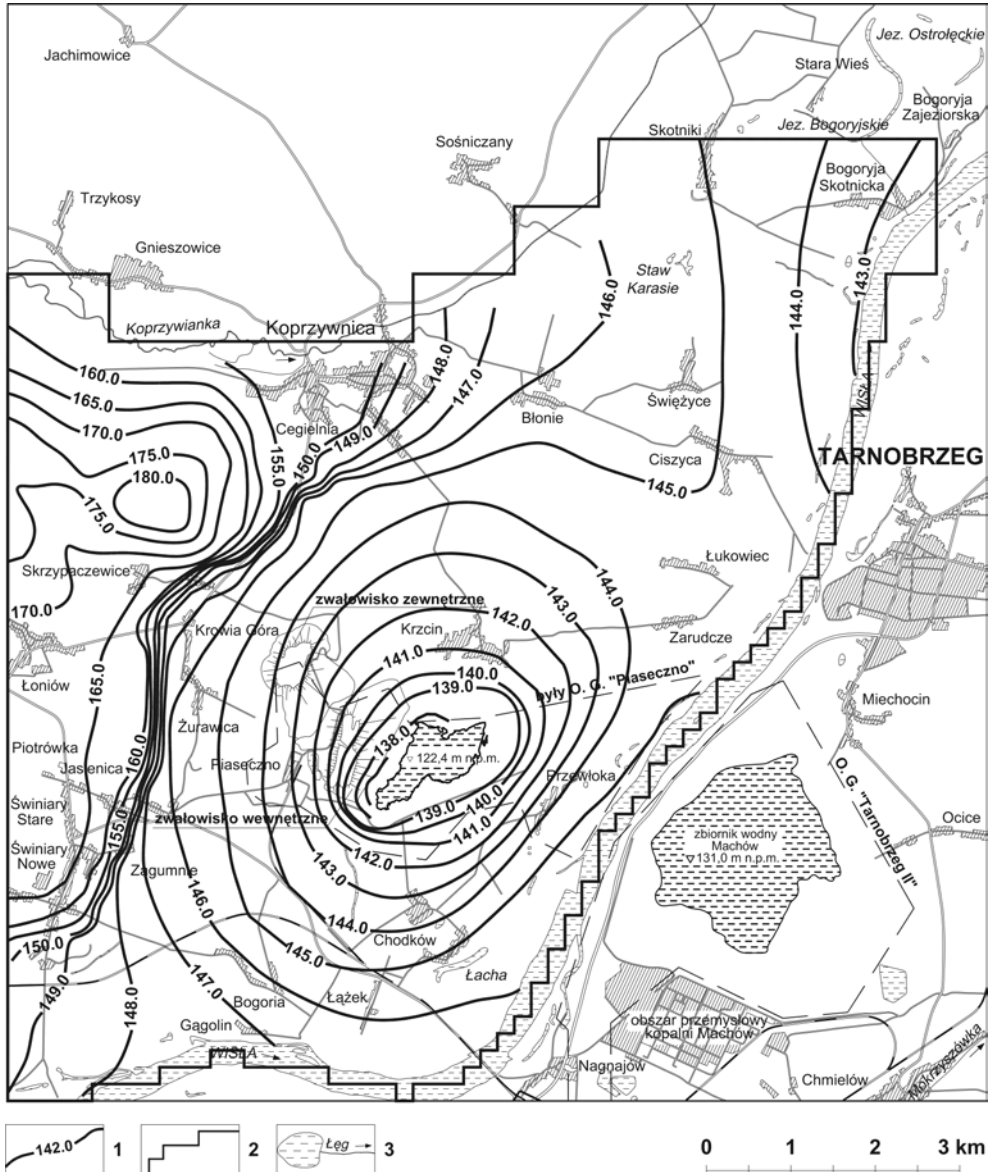
Potwierdzeniem poprawności schematyzacji hydrogeologicznej przyjętej na modelu, w zakresie wielkości parametrów filtracyjnych oraz warunków brzegowych, są mapy hydroizohips piętra czwartorzędowego (rys. 1) i neogeńskiego uzyskane jako rezultat etapu weryfikacyjnego. Wykazują one bardzo dużą zbieżność z odpowiadającym im obrazem pola filtracyjnego, stwierdzonym bezpośrednimi pomiarami w otworach obserwacyjnych. Uzyskana na modelu średnia dokładność odwzorowania powierzchni piezometrycznej wyniosła około 0,19 m w piętrze czwartorzędowym i około 0,30 m w piętrze neogeńskim, natomiast odchylenia standardowe wynoszą odpowiednio 0,25 i 0,38 m.

Wiarygodność modelu została również potwierdzona w niektórych składnikach bilansu wodnego lewobrzeżnej części złoża siarki, wykazujących zadowalającą zbieżność pomiędzy wielkościami rejestrowanymi w terenie i uzyskanymi jako wynik obliczeń symulacyjnych na modelu hydrogeologicznym.

4.2. Wyniki obliczeń prognostycznych pola hydrodynamicznego

W wykonanej prognozie długoterminowej przewidziano zakończenie prac likwidacyjnych w odkrywce „Machów” i utworzenie wodnego zbiornika rekreacyjnego, wypełnionego do rzędnej 145,5 m n.p.m. Ze zlikwidowanego wyrobiska poeksploatacyjnego „Piaseczno” będą w dalszym ciągu odprowadzane do Wisły wody nadmiarowe, umożliwiające utrzymanie stałej (około 146,0 m n.p.m.) wysokości napełnienia zbiornika. Tereny otaczające chronione będą przez sieć rowów melioracyjnych wykonanych w obrębie pięciu wydzielonych obszarów zlewniowych (Matuszewski, Lewandowski, 1996) Na obszarze zlikwidowanej kopalni otworowej Jeziórko funkcjonować będzie system grawitacyjnego odwadniania terenów pogórnich (Gołda i in., 2005, 2006). Działalność górnictwem na dotychczasowym poziomie wydobycia prowadzić będzie Kopalnia Siarki „Osiek”.

Obliczenia prognostyczne zostały wykonane z uwzględnieniem zwiększonego o około 24,5%, w stosunku do okresu weryfikacji modelu, zasilania powierzchniowego czwartorzędowej warstwy wodonośnej. Zmieniona wielkość zasilania związana była z przyjęciem średniej wysokości opadów atmosferycznych z ostatnich piętnastu lat (1991–2005), która wyniosła 564 mm/r.



Rysunek 1. Położenie piezometrycznego zwierciadła wody w czwartorzędowym piętrze wodonośnym rejonu Piaseczna k. Tarnobrzega na podstawie badań modelowych – stan obecny z grudnia 2005 r. Objasnienia: 1 - hydroizohipsy w m n.p.m.; 2 - fragment obszaru badań modelowych objęty bilansem wód podziemnych; 3 - ciek i zbiorniki wód powierzchniowych

Figure 1. Position of piezometric groundwater table in Quaternary horizon in the area of Piaseczno near Tarnobrzeg, based upon modelling (data for December, 2005). Explanation: 1 – hydroisohypses (in meters a.s.l.); 2 – fragment of modelled area included into groundwater balance; 3 – surface flows and reservoirs

Bilans wodny piętra czwartorzędowego

Całkowita ilość wód piętra czwartorzędowego (warstwa 1) uwzględniona w bilansie wynosi około $26\,770\text{ m}^3/\text{d}$ — w warunkach obecnego (z grudnia 2005 r.) poboru wody przez działający system odwadniania wyrobiska poeksploatacyjnego i wzrasta do blisko $30\,400\text{ m}^3/\text{d}$ dla prognozy długoterminowej.

W zasilaniu czwartorzędowego poziomu wodonośnego główną rolę odgrywa infiltracja opadów atmosferycznych. Na etapie weryfikacji modelu efektywny dopływ wody z tego źródła wynosił około $19\,730\text{ m}^3/\text{d}$, co stanowiło 73,7% sumy bilansowej. Dla stanu prognozowanego, po uwzględnieniu zwiększonych opadów atmosferycznych, wielkość zasilania zbliża się do $24\,600\text{ m}^3/\text{d}$ i osiągnęła 80,8% ogólnej ilości wody biorącej udział w obiegu.

Stabilnym i znaczącym elementem bilansowym występującym po stronie przychodów jest przesączanie z piętra neogeńskiego. Osiąga ono od około $3\,010\text{ m}^3/\text{d}$ (11,2% sumy bilansowej) — w odtworzonych warunkach aktualnych (z 2005 r.) do $4\,480\text{ m}^3/\text{d}$ (14,7%) — w prognozie długoterminowej. Na etapie weryfikacji modelu niewielkie znaczenie miały również dopływy wody przez zewnętrzne granice obszaru filtracji (Wisła, Koprzywianka z Kacanką), które wynosiły około $3\,200\text{ m}^3/\text{d}$ (11,9% sumy bilansowej). Ich wpływ na kształtowanie bilansu wodnego w okresie prognozy zdecydowanie maleje, dochodząc do wielkości minimalnej około $1080\text{ m}^3/\text{d}$ (3,5%) w warunkach prognozy.

Głównym ośrodkiem drenażu na etapie weryfikacji modelu był zbiornik wodny w Piasecznie odbierający około $10\,900\text{ m}^3/\text{d}$ (40,7% sumy bilansowej). W tych warunkach duże znaczenie ma także przesączanie wody do piętra neogeńskiego z natężeniem około $8\,110\text{ m}^3/\text{d}$ (30,3%) oraz odpływ przez zewnętrzne granice obszaru filtracji — około $6\,760\text{ m}^3/\text{d}$ (25,3%).

Podstawowym elementem drenażu w prognozie długoterminowej będzie dopływ do wewnętrznych systemów odbioru wody, w tym głównie do rowów — $11\,740\text{ m}^3/\text{d}$ (38,6%) i zbiornika wodnego w Piasecznie — $5\,100\text{ m}^3/\text{d}$ (16,8%). Natężenie odbioru wody przez zewnętrzne granice znacznie wzrośnie do około $9\,290\text{ m}^3/\text{d}$ (30,5%). Przesączanie z piętra neogeńskiego osiągnie wydajność około $2\,510\text{ m}^3/\text{d}$ (8,3%).

Bilans wodny piętra neogeńskiego

Bilans wodny w neogeńskim piętrze wodonośnym wyznaczają głównie czynniki zewnętrzne w postaci dopływu i odpływu wody przez przyjęte granice obszaru filtracji oraz pionowa wymiana wody z nadległym piętrzem wodonośnym. Całkowita ilość krążących wód wynosi obecnie (2005 r.) około $9\,620\text{ m}^3/\text{d}$ (przy znacznym odbiorze wody przez system odwadniania wyrobiska w Machowie) i zmniejszy się do $5\,990\text{ m}^3/\text{d}$ — w warunkach, jakie nastąpią po likwidacji wyrobisk pogórnich. Dopływ wód złożowych do zbiornika „Piaseczno”, wynoszący aktualnie około $2\,350\text{ m}^3/\text{d}$ (24,4% sumy bilansowej piętra neogeńskiego), ustabilizuje się na wysokości około $420\text{ m}^3/\text{d}$ (7,1%) po osiągnięciu docelowego stanu napełnienia zbiornika.

Całkowite, prognozowane dopływy wody do zbiornika „Piaseczno”, w których oprócz wód podziemnych piętra czwartorzędowego i neogeńskiego uwzględniono także bezpośrednie zasilanie zbiornika przez opady atmosferyczne, parowanie z powierzchni wodnych oraz spływ powierzchniowy z obszaru zlewni wyniosą około $5\,080\text{ m}^3/\text{d}$.

Skutki zmian położenia zwierciadła wody

W warunkach naturalnych zwierciadło wód podziemnych w piętrach czwartorzędowym i neogeńskim kształtowało się na zbliżonej wysokości od około 145,0 do 150,0 m n.p.m. (Turek, 1978). Istniejące zróżnicowanie jest skutkiem wieloletniego odwadniania wyrobisk górniczych, które będzie się zmniejszać wraz z postępem prac likwidacyjnych.

W piętrze czwartorzędowym likwidacja odkrywki Piaseczno będzie skutkować znaczącymi zmianami także w położeniu zwierciadła wody (rys. 2). Strefa tych zmian obejmie nie tylko najbliższe otoczenie zbiornika, ale praktycznie całą część obszaru TZS położoną na lewym brzegu Wisły. Przy docelowym napełnieniu zbiornika (146,0 m n.p.m.) prognozowany przyrost zawadnionej miąższości utworów przepuszczalnych (piasków i żwirów) przekracza miejscami 7,5 m, przy czym wielkości maksymalnych należy spodziewać się tylko w rejonie bezpośrednio przyległym do zbiornika, zwłaszcza po jego zachodniej stronie. Obszar objęty zmianą położenia zwierciadła wody większą niż 1,0 m zajmie powierzchnię około 31 km². Wykonanie rowów melioracyjnych sieci podstawowej spowoduje, że płytkie zaleganie zwierciadła wody (od 0,5 do 1,0 m p.p.t.) może zająć powierzchnię tylko około 1,6 km² (rys. 2).

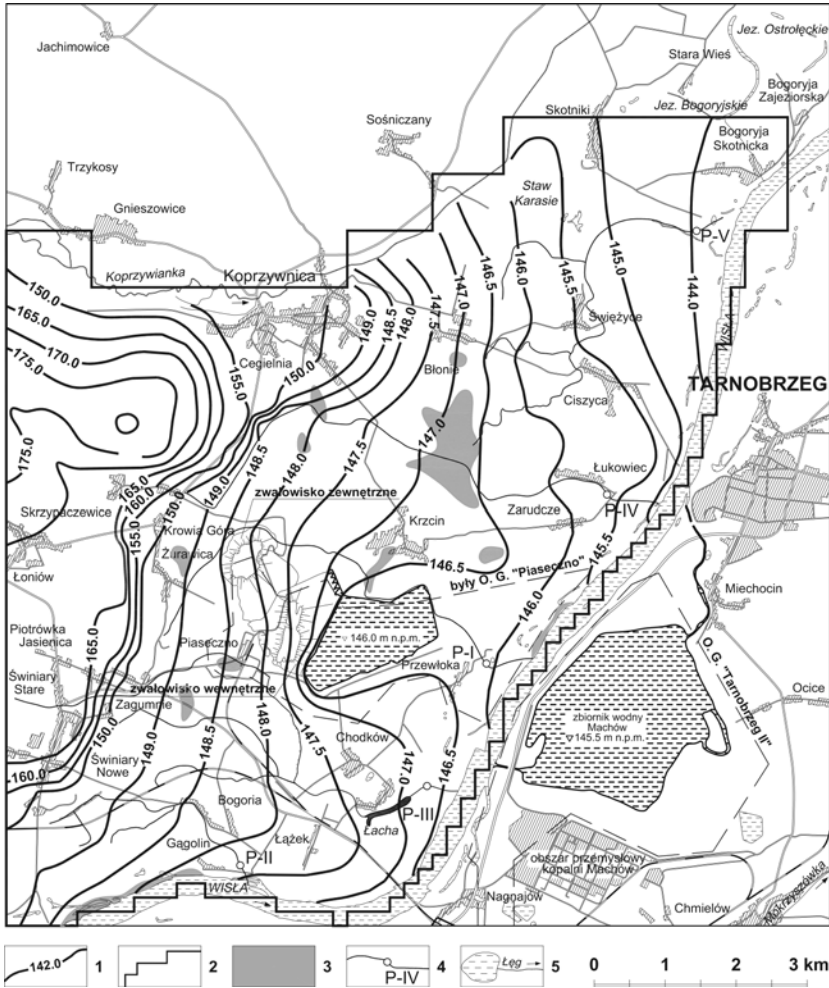
W realnych warunkach, o stałym bądź okresowym występowaniu obszarów podtopień decydować będzie rzeczywiste natężenie opadów i czas ich trwania oraz lokalne deniwelacje terenu, których uwzględnienie na modelu hydrogeologicznym było praktycznie niemożliwe.

Strefa odbudowy ciśnienia wód podziemnych w piętrze neogeńskim obejmie rozległy obszar rozciągający się od terenów położonych na zachód od byłej odkrywkowej kopalni „Piaseczno” aż do leżących na wschodzie terenów pogórnich likwidowanej kopalni w Jeziórku. W stosunku do obecnego (2005 r.) stanu hydrodynamicznego spodziewany przyrost wysokości zwierciadła wody (impresja) przekroczy 15–20 m w rejonie zbiornika „Piaseczno”.

5. Podsumowanie

Obliczenia symulacyjne, których celem była prognoza pola hydrodynamicznego w czwartorzędowym i neogeńskim piętrze wodonośnym rejonu Piaseczna, zostały wykonane na trójwarstwowym modelu o zasięgu regionalnym. W wyniku jego weryfikacji uzyskano wysoką zgodność zalegania rzeczywistego zwierciadła wód podziemnych z odtworzonym na modelu oraz potwierdzenie mierzonych w terenie wydajności.

Z badań modelowych wynika, że utworzenie zbiornika wodnego w wyrobisku poeksploatacyjnym „Piaseczno”, o wysokości napełnienia sięgającej rzędnej 146,0 m n.p.m., może doprowadzić do podtopienia terenów położonych głównie po zachodniej i północnej stronie odkrywki. Ważnym przedsięwzięciem inwestycyjnym, wymaganym ze względu na ochronę terenów zagrożonych podtopieniem, będzie budowa systemu melioracyjnego. Składać się on powinien z rowów drenażowych sieci podstawowej i szczegółowej. Utrzymanie stałej wysokości zwierciadła w zbiorniku wymagać będzie odprowadzania do Wisły wód nadmiarowych z wydajnością około 5080 m³/d.



Rysunek 2. Położenie piezometrycznego zwierciadła wody w czwartorzędowym piętrze wodonośnym rejonu Piaseczna k. Tarnobrzega na podstawie badań modelowych – stan prognozowany po likwidacji wyrobiska poeksploatacyjnego z działającym systemem melioracyjnym na terenach otaczających. Objasnienia: 1 - hydroizohipsy w m n.p.m.; 2 - fragment obszaru badań modelowych objęty bilansem wód podziemnych; 3 - tereny zagrożone podtopieniem o głębokości do zwierciadła wody mniejszej niż 1,0 m p.p.t.; 4 - rowy melioracyjne sieci podstawowej wraz z przepompowniami; 5 - ciekii i zbiorniki wód powierzchniowych

Figure 2. Position of piezometric groundwater table in Quaternary horizon in the area of Piaseczno near Tarnobrzeg, based upon modelling – prognosis for remediated open-pit with drainage system operating in the surrounding land. Explanation: 1 – hydroisohypses (in meters a.s.l.); 2 – fragment of modelled area included into groundwater balance; 3 – land endangered by soaking, depth to groundwater table less than 1.0 m below surface; 4 – basic system of draining ditches with pumping stations; 5 – surface flows and reservoirs

Literatura

- Gołda T., Haładus A., Kulma R., 2005: *Geosozologiczne skutki likwidacji kopalń siarki w rejonie Tarnobrzega*. Inżynieria Środowiska., t.10, z.1, ss. 59-73. Wyd. AGH Kraków.
- Gołda T., Haładus A., Kulma R., 2006: *Racjonalna gospodarka wodna na terenach pogórnicznych Tarnobrzckiego Zagłębia Siarkowego*. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, t.22, z.2, ss. 27-37, Kraków.
- Haładus A., Kulma R., Kania J., 1997: *Wariantowe prognozy kształtowania się poziomu wód podziemnych w rejonie wyrobiska Piaseczno z określeniem rejonów wymagających odwadniania*. Przedsiębiorstwo Usługowo-Consultingowe GEA sp. z o.o., Kraków.
- Kulma R. i in., 1998: Dokumentacja hydrogeologiczna pt. *Prognoza skutków środowiskowych w związku z planowanym zaprzestaniem odwadniania kopalni odkrywkowej siarki w Machowie*. AGH, Kraków.
- Kulma R., Haładus A., Kania J., 2000: *Aktualizacja prognozy hydrogeologicznych skutków niezależnej likwidacji wyrobiska Piaseczno w warunkach braku dennej warstwy izolacyjnej na podstawie badań modelowych*. AGH, Kraków.
- Kulma R i in., 2003: *Dokumentacja określająca warunki hydrogeologiczne likwidowanego zakładu górniczego odkrywkowej Kopalni Siarki „Machów”*. PUP SIGMA BP Sp. z o.o. w Tarnobrzegu.
- Kulma R i in., 2006: *Dokumentacja określająca warunki hydrogeologiczne w rejonie likwidowanego wyrobiska byłej Kopalni Siarki „Piaseczno”*. PUP SIGMA BP Sp. z o.o. w Tarnobrzegu.
- Matuszewski J., Lewandowski R., 1996: *Studium programowo-przestrzenne likwidacji wyrobiska Piaseczno*. HYDROPROJEKT – Warszawa Sp. z o.o., Warszawa.
- Pantula Z., Burchard T., Kirejczyk J., Kicinski C., 2006: *Projekt techniczny prac zabezpieczających i rekultywacji wyrobiska byłej Kopalni Siarki „Piaseczno”*. PUP SIGMA BP Sp. z o.o. w Tarnobrzegu.
- Turek S., 1978: *Ciśnienie oraz własności fizyczne i chemiczne wód miocenijskich poziomu wodonośnego w rejonie Tarnobrzega przed eksploatacją złoża siarki*. Biuletyn IG, nr 309, Warszawa.
- Wilk Z., Kulma R. (red.), 2004: *Hydrogeologia polskich złóż kopalin i problemy wodne górnictwa*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków.