

Tadeusz Gołda*, Andrzej Haładus**, Ryszard Kulma**

Geozologiczne skutki likwidacji kopalń siarki w rejonie Tarnobrzega

1. Wstęp

Eksploatacja tarnobrzeskich złóż siarki rodzimej, których zasoby bilansowe szacowane są na około 560 mln Mg, prowadzona była od 1961 r. W początkowym okresie wydobywania stosowano głównie metodę odkrywkową, w kopalni „Piaseczno” (1961–1971) i w kopalni „Machów” (1969–1992). Dynamiczny wzrost wydobywania nastąpił jednak wraz z wdrożeniem technologii otworowej eksploatacji złoża siarki w kopalni „Jeziórko” (1967–2001) i później w kopalni „Osiek” (od 1993 r.). Załamanie koniunktury na siarkę na rynkach światowych, jakie odnotowano z końcem 1970 r., a także w drugiej połowie 1991 r., doprowadziło do zaprzestania wydobywania tego surowca i likwidacji głównych zakładów górniczych. Na potrzeby krajowego przemysłu chemicznego pozostawiono jedynie kopalnię „Osiek” o najniższych kosztach wydobywania i zdolności produkcyjnej dostosowanej do bieżącego zapotrzebowania (ok. 0,7 mln Mg w roku). Ogółem, do końca 2002 r. w rejonie Tarnobrzega wydobyto ponad 120,9 mln Mg siarki, z czego 14,6 mln Mg pochodziło z kopalń odkrywkowych, a pozostałe 106,3 mln Mg z kopalń otworowych [9, 10,].

Likwidacja wyrobisk poeksploatacyjnych w Machowie i Piasecznie oraz obiektów tworzących infrastrukturę kopalni „Jeziórko” zmieni radykalnie dotychczasowy układ zagospodarowania przestrzennego. Tereny pogórnice staną się, według założeń koncepcyjnych i projektowych, atrakcyjnymi użytkami o charakterze rekreacyjnym. O ile zakładane cele zostaną w pełni zrealizowane, nastąpi podniesienie bezpośrednich wartości samych obiektów oraz terenów położonych w ich sąsiedztwie. W tym kontekście można mówić wyłącznie o pozytywnych skutkach likwidacji wyrobisk [5, 7, 12].

* Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska

** Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska

Przy istniejących, rozległych zmianach w środowisku wodno-gruntowym, spowodowanych wieloletnią eksploatacją złoża, musi się również uwzględniać ewentualne skutki negatywne. Najgorszym rozwiązaniem dla środowiska byłoby jednak pozostawienie tych obiektów w formie niezabezpieczonych wyrobisk bez określenia dla nich przyszłych funkcji i bez zrealizowania zamierzonych kierunków zagospodarowania. Systematycznie ograniczane środki państwowe na likwidację i rekultywację terenów pogórnich wydłużają etap naprawy poza przyjęte w programach terminy, a także mogą wpłynąć na obniżenie wartości terenów przekazywanych do dalszego użytkowania [9, 12, 16].

2. Środowiskowe aspekty eksploatacji złóż siarki

Racjonalna gospodarka zasobami złoża, już na etapie projektowania nowej inwestycji, powinna precyzyjnie opisać przewidywane zmiany, określić, czy skutki te będą możliwe do usunięcia lub zminimalizowania, ocenić koszty prac naprawczych i źródła ich finansowania. Ten modelowy sposób postępowania nie był niestety obowiązujący w latach 50., tj. w okresie podejmowania decyzji o rozpoczęciu eksploatacji złóż siarki w Polsce. Obiektywne określenie skutków eksploatacji tar-nobrzeskich złóż siarki jest trudne do oceny ze względu na brak, szczególnie dla pierwszych kopalń, dokładnej inwentaryzacji warunków siedliskowych, które mogły ulec zmianie pod wpływem prowadzonej działalności eksploatacyjnej.

2.1. Odkrywkowa eksploatacja siarki w Piasecznie i w Machowie

Przekształcenia wywołane przez górnictwo odkrywkowe uważane były za wyjątkowo drastyczne ze względu na tworzenie nowych, wielkoprzestrzennych elementów środowiskowych, jakimi są wyrobisko węgłne i nadpoziomowe zwałowisko zewnętrzne. Te dwa obiekty górnicze w zdecydowany sposób zakłóciły dotychczasowy krajobraz, a ich budowa podporządkowana była wyłącznie technice górniczej, przy uwzględnieniu co najwyżej zasad bezpiecznego formowania budowli ziemnych.

W takich warunkach powstało zwałowisko zewnętrzne kopalni „Piaseczno”, którego kształt oraz właściwości utworów nasypowych były przypadkowe, uzależnione wyłącznie od technologii górniczej. Rekultywacja tego obiektu była z konieczności ukierunkowana na zagwarantowanie stateczności skarp i zmniejszenie erozji, a planową obudowę biologiczną prowadzono dla docelowego zagospodarowania wyłącznie na wierzchołkach i szerszych półkach międzyskarpowych.

Górnictwo odkrywkowe przyczyniło się do zmiany dotychczasowego układu hydrogeologicznego. W przypadku kopalni „Piaseczno” lej depresji utworzony

w utworach czwartorzędowych spowodował zanik wody w studniach gospodarskich oraz zmianę uwilgotnienia gruntów (osuszenie). Były to klasyczne przykłady szkód górniczych. Odwadnianie złoża wpłynęło również na osuszenie dużych kompleksów trwałych użytków zielonych, zmieniając ich pierwotny sposób wykorzystania. Jeśli chodzi o mieszkańców okolicznych terenów, można w tym przypadku mówić o pozytywnym oddziaływaniu leja depresji, wewnątrz którego nastąpiło przetransformowanie części łąk na grunty orne, wieloletnie plantacje czy nawet tereny budowlane. Dla innych osuszenie bagien czy użytków podmokłych było lokalną klęską ekologiczną.

Pomimo analogicznej technologii górniczej skutki eksploatacji rudy siarkowej w kopalni „Machów” były znacznie mniejsze. Zwałowisko zewnętrzne formowano już z uwzględnieniem postulatów rekultywacyjnych, przy bardzo dobrym rozpoznaniu przydatności utworów nadkładowych dla rolnego i leśnego zagospodarowania. Odmienna sytuacja hydrogeologiczna kopalni „Machów” i zastosowanie ekranizacji wód czwartorzędowych ograniczyły zasięg leja depresji w tym piętrze wodonośnym do granicy terenów wywłaszczonych przez kopalnię. Skutki osuszenia gruntów mogą być w zasadzie pominięte.

Obiekty górnictwa odkrywkowego stanowiły ogniska skażeń gleb i wód gruntowych (stawy osadowe, tereny po składowisku keku) oraz powietrza atmosferycznego (emisja siarkowodoru). Wniosły również do środowiska elementy zakłócające ład przestrzenny. Podjęty program likwidacji wyrobisk i rekultywacji terenów pogórniczych wpłynęło na znaczne ograniczenie niekorzystnych oddziaływań w środowiskowych, a już obecnie przyczynił się do powstania nowych wartościowych rozwiązań urbanistycznych, jak np. zrekultywowany osadnik odpadów poflotacyjnych „Cygany” o powierzchni 263 ha [9, 12].

2.2. Otworowa eksploatacja siarki w Jeziórku

Mimo niewątpliwej dążności do ograniczenia niekorzystnych skutków środowiskowych wydobycie siarki metodą podziemnego wytapiania spowodowało powstanie rozległych i trudnych do rekultywacji terenów pogórniczych, w obrębie których ujawniły się przekształcenia geomechaniczne, hydrogeologiczne i chemiczne opisane w szeregu publikacji [5, 11, 13, 14].

Wymienione typy przekształceń środowiska wodno-gruntowego ujawniały się z różnym natężeniem w zależności od intensywności prowadzonych robót wydobywczych. Znaczące ograniczenie negatywnych wpływów technologii górnictwa otworowego na środowisko uzyskano od 1994 roku po wprowadzeniu skutecznych rozwiązań antyrupecyjnych, zamknięciu obiegu wód technologicznych i rozpoczęciu rekultywacji terenów poeksploatacyjnych w skali wdrożeniowej.

Zakończenie działalności górniczej stwarza możliwości uporządkowania, bądź nawet likwidacji, niektórych obiektów przemysłowych związanych z dotychczasową eksploatacją. Często wiąże się to jednak ze zmianami stosunków wodnych w pobliżu budowanych zbiorników wodnych i systemów melioracyjnych.

3. Prognoza wpływu projektowanych zbiorników wodnych na środowisko gruntowo-wodne

Tereny otaczające duże zbiorniki wodne posiadają odmienne uwarunkowania geosozologiczne. Podstawowa różnica wynika praktycznie z ukształtowania powierzchni terenu. Zbiornik „Machów” (powierzchnia zwierciadła wody 460 ha), w odróżnieniu od zbiornika „Piaseczno” (powierzchnia zwierciadła wody 160 ha), otoczony będzie z trzech stron terenem o rzędnych dochodzących do około 175 m n.p.m. Przy projektowanej wysokości napełnienia zbiornika (145,5 m n.p.m.) odtworzone zwierciadło wód gruntowych nie zmieni aktualnego typu gospodarki wodnej gleb. Jedynie na północ od zbiornika, szczególnie w miejscach lokalnych obniżen terenu, może ujawnić się negatywny wpływ wynikający ze zwiększonego uwilgotnienia gleb. Ten wąski pas terenu przeznaczony będzie, zgodnie z planem zagospodarowania przestrzennego, pod zabudowę infrastrukturalną w postaci dróg dojazdowych, parkingów czy zaplecza gastronomicznego. Zmiana warunków wilgotnościowych powinna być natomiast uwzględniana przy doborze gatunków roślinności drzewiasto-krzewiastej wprowadzanej w ramach tworzenia pasa ochronnego zmniejszającego negatywny wpływ istniejącej drogi komunikacyjnej, tzw. Wisłostrazy [1].

Również odpowiedniego zagospodarowania biologicznego wymagać będzie teren wzdłuż projektowanego kanału odprowadzającego wody ze zbiornika do Wisły. Jego płaskie ukształtowanie na rzędnej 147÷148 m n.p.m. i duża podatność na wahania wód gruntowych może wpłynąć na lokalną zmianę stosunków wodno-glebowych. Istniejące w tym rejonie liczne sady są użytkami wrażliwymi na zmianę uwilgotnienia, co powinno być uwzględnione przy opracowywaniu szczegółowych rozwiązań melioracyjnych. Pozostałe tereny wokół zbiornika w Machowie nie zmieniają dotychczasowej gospodarki wodnej gleb.

Odmienne uwarunkowania geosozologiczne istnieją w otoczeniu odkrywki „Piaseczno”, wokół której radykalnej zmianie uległy pierwotne warunki wilgotnościowe gleb [2]. Przed rozpoczęciem eksploatacji gleby tego rejonu charakteryzowały się płytkim zaleganiem wód gruntowych kształtującym rozległe użytki zielone (przeważnie łąki), często o bagiennym charakterze.

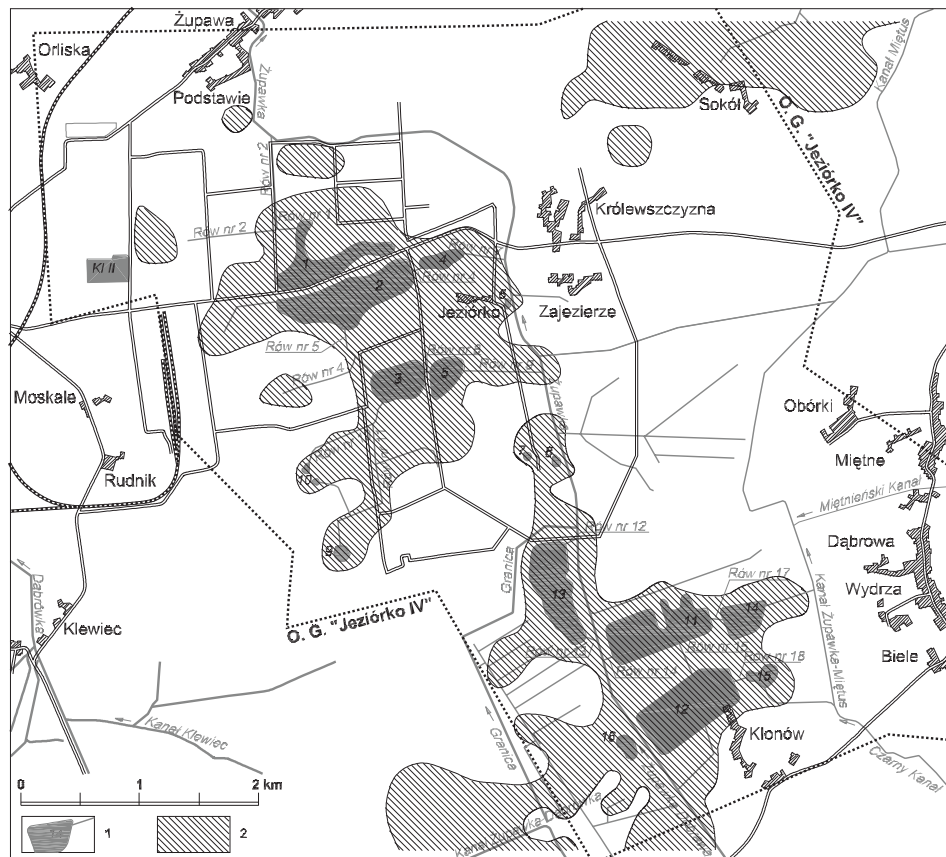
Odwodnienie odkrywki „Piaseczno” spowodowało powstanie rozległego leja depresji w utworach czwartorzędowych. Nastąpiła niespotykana w innych rejonach górniczych transformacja rolniczego wykorzystania terenów poprzez zamianę

byłych użytków zielonych na grunty orne, liczne sady i plantacje krzewów owocowych. Aktualne dokumentacje glebowe wskazują na istnienie użytków rolnych zaliczonych do 1 i 2 kompleksu przydatności, tzn. do gleb o najwyższych zdolnościach produkcyjnych (gleby pszenne bardzo dobre i dobre). Wzrost możliwości produkcyjnych gleb tego rejonu jest wynikiem działań drenażowych, które ułatwiły dostęp do pól i ich uprawę w dowolnym okresie uwilgotnienia, a także uruchomienia (uwolnienia) składników pokarmowych w wyniku procesów murszowych.

Obniżenie zwierciadła wody uwolniło dodatkowe tereny nie tylko dla innego, intensywnego sposobu użytkowania rolnego, ale także spowodowało powstanie nowych terenów budowlanych.

Podstawowe zmiany geosozologiczne związane z likwidacją wyrobiska poeksploatacyjnego kopalni „Piaseczno” i utworzeniem zbiornika wodnego dotyczyć będą warunków uwilgotnienia gleb tego rejonu. Należy oczekiwać pogorszenia występujących obecnie optymalnych stosunków wodno-gruntowych wynikających z wystarczająco wysokiej retencji gleb, gwarantującej zaspokojenie potrzeb wodnych uprawianej roślinności wyłącznie z opadów atmosferycznych (gospodarka OR). Zanik leja depresji zwiększy zapas wody w glebach o wodę gruntową, co spowoduje zamianę gospodarki wodnej na opadowo-gruntowo-wodną (OGW) lub nawet gruntowo-wodną (GW). Taki mechanizm przemian może być ponownie kwalifikowany jako typowa szkoda górnicza w kierunku zawodnienia, o stosunkowo wysokim procencie uszkodzeń. Odtworzenie się pierwotnego zwierciadła wody po zaprzestaniu odwodnienia może mieć również katastrofalne skutki dla części terenów budowlanych. Zagrożenie jest związane z podtopieniem fundamentów i piwnic oraz wystąpieniem szkód budowlanych.

Zbiorniki wodne w rejonie Jeziórka, już utworzone lub planowane do wykonania, związane są ze zmianami ukształtowania powierzchni w wyniku poeksploatacyjnych osiadań terenu. W obrębie kopalni wykształciły się dwie oddzielone od siebie niecki osiadań. Podstawowa niecka obejmująca większość pól eksploatacyjnych rozprzestrzeniła się na obszarze około 1540 ha. Druga, niewielka niecka, położona w części północno-wschodniej terenów kopalnianych, zajmuje powierzchnię 13,6 ha. Objętość małej niecki wynosi tylko około 62 tys. m³, przy osiadaniach maksymalnych sięgających do 1,25 metra. Objętość niecki zasadniczej przekracza 25,4 mln m³, a maksymalne osiadania wynoszą ponad 6 metrów. Osiedlenia większe niż 2,5 metra wystąpiły na powierzchni około 380 ha w piętnastu kompleksach. Powierzchnie te są szczególnie narażone na silne podtopienia, a także na ujawnienie się zalewisk wodno-gruntowych w miejscach o najniższych rzędnych terenu. Projektowana sieć kanałów i rowów melioracyjnych (rys. 1) ma umożliwić przepływ i wymianę wody pomiędzy zbiornikami oraz odprowadzenie ich nadmiaru do cieków, jakim jest Żupawka [4]. Ocenia się, że łączna powierzchnia lustra wody w utworzonych zbiornikach wynosić będzie około 200 ha.



Rys. 1. Docelowy system odwadniania terenów pogórnich w rejonie Jeziórka: 1 – ciek i powierzchniowe zbiorniki wodne wraz z ich numeracją, 2 – tereny zagrożone podtopieniem (prognozowane położenie zwierciadła wody na głębokości mniejszej niż 1,0 m p.p.t.)

Po zakończeniu likwidacji kopalni „Jeziórko” zbiorniki wodne będą stanowiły znaczący element systemu odwadniania terenów pogórnich. Utrzymanie zwierciadła wód podziemnych na stabilnym poziomie zapewni dogodne warunki dla rolno-leśnego zagospodarowania terenu. Będą to równocześnie sprzyjające warunki siedliskowe dla różnych gatunków ptactwa wodnego.

4. Skutki zmian stosunków wodnych w glebach

Wykonana prognoza zmian stosunków wodnych [10], jakie zachodzą będą w obrębie istniejących terenów zdepresjonowanych po wyłączeniu systemów odwadniających, wskazuje na możliwość powstania rejonów o cechach niekorzystnych

dla produkcji rolnej. Zmiany te ujawnią się przede wszystkim w postaci zwiększonego uwilgotnienia gleb i wypłylenia warstwy aeracji. W przypadku niektórych terenów jest to powrót do warunków pierwotnych w glebach, istniejących przed rozpoczęciem odwadniania obszarów górniczych (jak np. rejon Piaseczna). Większa część terenów pogórnich wymagać będzie jednak stosowania metod naprawczych, dostosowanych zarówno do nowej morfologii terenu, jak i wyznaczonych kierunków zagospodarowania. Szczegółowe rozwiązania melioracyjne regulujące nowe stosunki wodne wymagają znacznie dokładniejszych opracowań od wykonanych badań symulacyjnych o charakterze regionalnym (powierzchnia modelu ok. 900 km²), bowiem dla potrzeb uprawowych zmiana typu gospodarki wodnej gleb może mieć negatywne skutki przy zmianach głębokości wody w przedziale 0,4÷0,6 m.

Podjęta próba oceny skutków zmian stosunków wodnych w glebach (w odniesieniu do okresu, w którym działały jeszcze systemy odwadniające, a nie stanu przed rozpoczęciem działalności górniczej) miała na celu określenie wielkości domniemanych szkód w gruntach rolnych rejonu Piaseczna, jakie może wywołać odtworzone zwierciadło wody w piętrze czwartorzędowym.

Obliczenia wielkości uszkodzeń w użytkach rolnych, spowodowanych podniesieniem się odtworzonego zwierciadła wód gruntowych, oparto na metodyce [3, 15], w której punktem wyjścia jest określenie gospodarki wodnej gleb przy uwzględnianiu stanu ich uwilgotnienia przed zawodnieniem i po zawodnieniu.

W warunkach aktualnych, ze względu na lej depresji powstały w wyniku odwadniania terenów górniczych, przyjęto w jego obrębie jednakowy typ gospodarki wodnej OR – opadowo-retencyjny (zwierciadło wody nie wykształca się lub występuje na głębokości ponad 2 m), wydzielając obszary o gospodarce OR korzystnej (przeważająca część obszaru) oraz niewielkie enklawy z gospodarką OR suchą lub wadliwą.

Docelowy stan gospodarki wodnej w glebach został określony na podstawie prognozowanego przebiegu hydroizobat, wykreślonych w oparciu o wyniki badań modelowych.

Po ukształtowaniu się nowych stosunków wodno-gruntowych przewiduje się następujące zmiany:

- gospodarka OR pozostanie niezmieniona – cecha charakterystyczna dla terenów o pierwotnie bardzo głębokim występowaniu zwierciadła wody, na których jedynym źródłem zaopatrzenia roślin w wodę jest zretencjonowany w glebach opad;
- gospodarka OR zmieni się na OGW_d (opadowo-gruntowo-wodną dolną) – ten typ gospodarki wodnej charakteryzuje okresowe pojawienie się wody w profilu glebowym na głębokości w przedziale 1,4÷2,0 m, nie wywołując na ogół objawów nadmiernego uwilgotnienia;

- gospodarka OR zmieni się na OGW_g (opadowo-gruntowo-wodną górną) – można się jej spodziewać w glebach o niezrównoważonym układzie stosunków powietrzno-wodnych, których wyrazem jest silna zmienność stanów uwilgotnienia w warstwach przy powierzchniowych; pojawienie się takich stanów jest związane z dużymi, sezonowymi wahaniami zwierciadła wody, przy przeciętnej głębokości jego występowania w przedziale $0,8 \div 1,4$ m;
- gospodarka OR zmieni się na GW_d (gruntowo-wodną dolną) – charakteryzuje ona gleby o uwilgotnieniu optymalnym dla roślinności łąkowej i pastwiskowej; zwierciadło występuje najczęściej na głębokości $0,6 \div 0,8$ m;
- gospodarka OR zmieni się na GW_{og} (gruntowo-wodną okresowo górną) – ten typ reprezentuje gleby z wysokim położeniem zwierciadła wód glebowo-gruntowych, zwykle na głębokości w granicach $0,3 \div 0,6$ m; wpływa to na zmniejszenie miąższości strefy korzeniowej, tym samym przyczynia się do zahamowania rozwoju wielu roślin.

Wielkość obniżenia zdolności produkcyjnej gleb w wyniku zawodnienia [3, 6, 15] uzależniona jest przede wszystkim od charakteru zmian stosunków wodnych danego rejonu (czyli zmian typu gospodarki wodnej gleb). Duży wpływ mają ponadto: budowa litologiczna wierzchnich warstw skorupy ziemskiej (gospodarka OR sucha, korzystna lub wadliwa), możliwość przeprowadzenia prac melioracyjnych, ilość opadów oraz wielkość obszaru podlegającego przekształceniom wodnym.

4.1. Utrata zdolności produkcyjnej gleb w rejonie Piaseczna

Przeprowadzona prognoza zmian stosunków wodnych, jakie powstaną w wyniku wyłączenia systemów odwodnieniowych, wskazuje na powstanie wokół zbiornika „Piaseczno” nowych stosunków wilgotnościowych gleb. Stan ten dobrze dokumentuje nowa gospodarka wodna gleb (rys. 2) na tym obszarze.

Szczególne silne zmiany ujawnią się w dwóch fragmentach północnej części obszaru, gdzie powstaną kompleksy gleb o gospodarce gruntowo-wodnej okresowo górnej (GW_{og}). Przy wzmożonych opadach atmosferycznych zwierciadło wody może w pewnych okresach pojawiać się na powierzchni terenu. Taki stan uwilgotnienia warstw przy powierzchniowych, ze względu na ograniczoną miąższość warstwy biologicznie czynnej, stwarza warunki do rozwoju roślinności łąkowej, głównie łąk słabych i bardzo słabych. Przewidywana utrata zdolności produkcyjnej gleb wyniesie od 55 do 75%.

W północno-wschodniej i północno-zachodniej części obszaru pojawią się duże kompleksy o gospodarce gruntowo-wodnej dolnej (GW_d). Zwierciadło wody wystąpi na głębokości nie przekraczającej metra, jednak nie będzie miało tendencji do pojawiania się na powierzchni terenu.



Rys. 2. Prognozowane typy gospodarki wodnej gleb po zaprzestaniu odwadniania wyrobisk pogórnicznych w Piasecznie i Machowie: 1 – gospodarka opadowo-retencyjna (OR), 2 – gospodarka opadowo-gruntowo-wodna dolna (OGW_d), 3 – gospodarka opadowo-gruntowo-wodna górna (OGW_g), 4 – gospodarka gruntowo-wodna dolna (GW_d), 5 – gospodarka gruntowo-wodna okresowo górna (GW_{og}), 6 – szacowane obniżenie zdolności produkcyjnej gleb w procentach

W tej części obszaru ukształtują się stosunki wodne sprzyjające rozwojowi trwałej roślinności łąkowo-pastwiskowej (użytki zielone dobre i bardzo dobre, rzadziej średnie), natomiast będą one niekorzystne dla upraw ornych. Zmniejszenie zdolności produkcyjnej gleb ornych wyniesie od 45 do 55%, co wymusi zmianę sposobu ich użytkowania.

Największą powierzchnię badanego obszaru, po ukształtowaniu nowych stosunków wodnych, zajmą gleby o gospodarce opadowo-gruntowo-wodnej górnej (OGW_g). Zwierciadło wody na tych fragmentach obszaru uformuje się na głębokości poniżej metra. Powstaną więc warunki korzystne zarówno dla kompleksów zbożowo-pastewnych, jak i bardziej suchych łąk. Utrata zdolności produkcyjnej gleb osiągnie wartości od 35 do 50%.

Gospodarka opadowo-gruntowo-wodna dolna (OGW_d) wystąpi w kilkunastu kompleksach glebowych o różnej wielkości, rozrzuconych po całym obszarze. Zwierciadło wody pojawi się w dolnej strefie profilu glebowego, na głębokości około 1,5 metra. Na ogół nie spowoduje to zmian w sposobie użytkowania gleb – nadal będą to grunty orne. Jednak, w związku z przejściem części tych gleb do grupy kompleksów zbożowo-pastewnych, przekształceniu może ulec wachlarz uprawianych roślin. Zmniejszenie zdolności produkcyjnej gleb wyniesie od 30 do 40%.

Omówione wyżej prognozowane wielkości strat rolniczych, spowodowanych zmianą zdolności produkcyjnej gleb, dotyczą obszarów zbudowanych z utworów o średnich, dobrych i bardzo dobrych zdolnościach retencyjnych, czyli gleb z wyjściową gospodarką opadowo-retencyjną korzystną (OR_k). W obrębie badanego obszaru występują także, aczkolwiek w niewielkich enklawach, kompleksy gleb wadliwych: piaszczystych (gospodarka opadowo-retencyjna sucha OR_s) i ciężkich (gospodarka opadowo-retencyjna wadliwa OR_w). W obrębie gleb lekkich, z gospodarką wyjściową OR_s, najczęściej położonych na niewielkich wyniesieniach terenowych, przekształcenia wywołane zmianą uwilgotnienia warstw przypowierzchniowych nie będą duże. W znacznej części tych gleb gospodarka wodna nie ulegnie zmianie (woda glebowo-gruntowa nie pojawi się w profilu glebowym). W pozostałych, położonych niżej kompleksach gleb suchych woda pojawi się w dolnej (OGW_d) lub środkowej (OGW_g) strefie profilu glebowego. Spowoduje to utratę zdolności produkcyjnej gleb w granicach od 5 do 20%. Możliwe są także przypadki polepszenia warunków wegetacji roślin na tego rodzaju glebach, w wyniku powiększenia zapasu wody dostępnej dla roślin. Obejmą one jednak zaniedbywalnie małe części obszaru.

W rejonach zbudowanych z utworów zwięzłych, słabo przepuszczalnych lub nieprzepuszczalnych zwierciadło wody na ogół nie wykształca się w profilu glebowym. Takie gleby występują przede wszystkim przy południowej skarpie odkrytki, często w lokalnych obniżeniach terenowych. W związku z powszechną zmianą warunków uwilgotnienia obszaru także stosunki wilgotnościowe tych gleb

ulegną zaburzeniu. Może to wymusić zmianę sposobu ich użytkowania idącą w kierunku przekształcania gruntów ornych w użytki zielone. Utrata zdolności produkcyjnej jest bardzo zróżnicowana, a w skrajnych przypadkach może sięgać nawet 50%.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że podane wyżej procentowe straty rolnicze obejmują nie tylko zmniejszenie plonowania roślin, lecz także koszty ponoszone przez rolników w wyniku konieczności przekwalifikowania gospodarstwa na inny rodzaj użytkowania. W pracach urzędniowo-rolnych wszelkie zmiany dotyczące ukierunkowania gospodarstwa rolnego są dopuszczalne wyłącznie na życzenie właściciela.

4.2. Utrata zdolności produkcyjnej gleb w rejonie Machowa

Prowadzone w odkrywce „Machów” odwodnienie utworów piętra czwartorzędowego nie spowodowało większych zmian stosunków wodnych w glebach tego rejonu. Ograniczony zasięg wpływów wynikał z ekranizowania wód czwartorzędowych od strony zachodniej pomiędzy odkrywką a Wisłą oraz z ukształtowania terenu otaczającego odkrywkę z pozostałych stron. Obniżenie zwierciadła wód gruntowych w wyniku odwodnienia nie spowodowało zmiany typu gospodarki wodnej. Taki korzystny układ hydrologiczny ograniczał możliwość ujawnienia się szkód przyrodniczych w okresie działalności kopalni „Machów”, co potwierdza także brak roszczeń finansowych z tytułu zmian stosunków wodnych.

Zasięg wytworzonego leja depresji wód czwartorzędowych był dla tych terenów nieznaczny i szacowany na około 200÷500 metrów od krawędzi odkrywki. Tak ukształtowane stosunki wodne nie ulegną istotnej zmianie po całkowitym zalaniu odkrywki, bowiem wysokość zwierciadła wody w projektowanym zbiorniku będzie wahać się pomiędzy 145÷146 m n.p.m., natomiast rzędna wymienionych terenów sięga 160÷175 m n.p.m.

Odmienne stosunki wodne w glebach ukształtowały się w części północnej obszaru, położonej na niskiej tarasie wiślanej. Teren ten, ograniczony od północnego zachodu wałami wiślanymi a od północnego wschodu skarpą wysokiej tarasy, charakteryzuje się wysokością 147÷149 m n.p.m. Pierwotne zwierciadło wód gruntowych, występujące na rzędnej około 146 m n.p.m., miało nachylenie w kierunku północnym i tylko w niewielkim stopniu podlegało wpływom prowadzonego odwodnienia. Nawet jego obniżenie w strefie przyskarpowej wkopu nie wpływało na bilans wodny gleb, ze względu na wystarczającą ich pojemność wodną.

Obliczone w prognozie hydrogeologicznej położenie zwierciadła wody piętra czwartorzędowego ukształtuje się w tym rejonie na głębokości około 2,0÷2,5 metra poniżej powierzchni terenu, a więc na głębokości zbliżonej do stanu pierwotnego [10]. Ocena ta nie dotyczy wąskiego pasa terenu przyległego bezpośrednio do projekto-

wanego kanału odprowadzającego wody ze zbiornika do Wisły. Wody tego kanału, szczególnie przy wyższych stanach (około 146 m n.p.m.), mogą zwiększyć uwilgotnienie gleb. Zasięg tego oddziaływania będzie jednak bardzo ograniczony i nie przekroczy 50 metrów, licząc od brzegu tego kanału.

Na obszarze niskiej tarasy, niezależnie od wpływu projektowanego kanału, należy liczyć się także ze zwiększonym uwilgotnieniem gleb zwłaszcza w okresach wiosennych roztopów oraz w przypadku długotrwałych opadów atmosferycznych. Tego rodzaju niekorzystne zjawiska występowały także w przeszłości, a ich odzwierciedleniem są enklawy czarnych ziem (tzw. gleb semihydromorficznych), często dość silnie oglejonych w dolnych partiach profilu glebowego.

4.3. Utrata zdolności produkcyjnej gleb w rejonie Jeziórka

Podstawowe i charakterystyczne dla otworowej technologii górniczej przekształcenia środowiska związane są z aktywnym zachowaniem siarki w glebie, a dokładniej – z oddziaływaniem produktów powstałych w wyniku utlenienia tego pierwiastka do kwasu siarkowego. Ten agresywny i szybki proces biochemiczny prowadzi do destrukcji tworzywa glebowego w wyniku silnego jego zakwaszenia. Następuje wówczas przesunięcie odczynu z przedziałów słabo kwaśnych lub obojętnych, jakimi cechowały się gleby tego rejonu przed eksploatacją, do przedziałów toksycznych czy nawet ekstremalnie toksycznie kwaśnych. Badania zdewastowanych gleb [13, 14] dowodzą, że nawet bezawaryjna praca otworu wydobywczego powodowała zasiarczenie warstw przypowierzchniowych (0÷20 cm) na poziomie od 0,5 do 1,0%, jako wynik wynoszenia siarki przez parę wodną w trakcie jego odprężania. Wszelkie uchybienia w trakcie pracy otworu, a także większe czy mniejsze awarie powodowały wzrost zasiarczenia do poziomu 5÷30% (zasiarczenie punktowe lub ograniczone do niewielkich powierzchni). Najbardziej drastyczne były jednak duże awarie otworu wydobywczego (uszkodzenie głowic) oraz przebiecia wód złożowych z siarką (tzw. erupcje) prowadzące do pokrycia powierzchni terenu warstwą zestalonej siarki o różnej grubości (2÷50 cm) lub powstawania stożków siarkowych nawet o wysokości ponad 2 metrów.

Zakwaszenie środowiska wodno-gruntowego to nie jedyny skutek procesu destrukcji gleb. Utrata zdolności produkcyjnej gleb następuje także pod wpływem kwasu siarkowego, który przyspiesza rozkład materii organicznej (próchnicy) na związki proste, prowadząc do gwałtownego ubytku składników pokarmowych, a przede wszystkim azotu. Silne zasiarczenie powierzchni terenu powoduje utratę, często całkowitą, zdolności produkcyjnej gleb, przesuwając je w kierunku nieużytku przemysłowego.

Inną, równie znaczącą przyczyną utraty zdolności produkcyjnej gleb były mechaniczne uszkodzenia pokrywy glebowej, a często jej całkowite zniszczenie,

w wyniku prac ziemnych związanych z technicznym uzbrojeniem obszaru objętego eksploatacją. Gęsta sieć dróg kopalnianych, liczne rurociągi magistralne i technologiczne, ponad 8 tys. otworów eksploatacyjnych, setki stacji kontrolno-pomiarowych oraz inne urządzenia przemysłowe wymagały zajęcia i zniszczenia gleb, a zmiany te zostały dodatkowo pogłębione na etapie rozbioru i likwidacji tych obiektów. We wstępnej fazie realizacji prac rekultywacyjnych także dochodzi do zniszczenia wierzchnich poziomów glebowych, co spowodowane jest koniecznością usunięcia licznych skupisk siarki wraz z silnie zasiarzoną ziemią.

Zmiany geomechaniczne środowiska prowadzą do nowego ukształtowania powierzchni terenu w wyniku ujawnienia się osiadań. Skutki tych zmian modyfikują lub całkowicie zmieniają pierwotne stosunki wodne obszaru. W strefach osiadań większych niż $2\div 2,5$ m tworzą się obszary silnego zawodnienia, aż do wystąpienia zalewisk wodno-gruntowych. Ocenia się, że powierzchnie z otwartym zwierciadłem wody w przypadku zaniechania prac regulująco-naprawczych mogłyby występować na obszarze od 600 do 900 ha, w zależności od wysokości opadów atmosferycznych i amplitudy wahań poziomu wód gruntowych.

Łączne działania procesów destruktywnych, jakie towarzyszyły eksploatacji siarki w kopalni „Jeziórko”, doprowadziły do całkowitego uszkodzenia pokrywy glebowej i powstania nieużytku glebowego. Nastąpiła więc utrata zdolności produkcyjnej gleb i w zasadzie na całym obszarze objętym eksploatacją muszą zostać wykonane prace rekultywacyjne. Na terenach poddanych tym zabiegom dokonuje się transformacja użytków związana z powstaniem nowych warunków siedliskowych. W efekcie pierwotne użytki rolne mogą stać się zbiornikami wodnymi lub użytkami leśnymi, a w innych sytuacjach tereny leśne – użytkami zielonymi. Wynikowa ocena zachodzących zmian jest bardzo trudna do przeprowadzenia, bowiem nie ma wypracowanych metod umożliwiających porównanie pierwotnych gleb, np. klasy V, z wartością utworzonego zbiornika wodnego. Również ocenianie przydatności nowych użytków rolnych czy leśnych nie jest możliwe według kryteriów stosowanych w klasyfikacji gleboznawczej. „Nowe gleby”, mimo że są produktywne, nie posiadają charakterystycznych poziomów diagnostycznych. Przede wszystkim cechują się brakiem dobrze wykształconego poziomu próchnicznego, będącego, obok właściwości skały macierzystej, podstawowym elementem bonitacyjnym. Przez dłuższy czas, oceniany najczęściej na co najmniej 10–30 lat, tereny poddane zabiegom naprawczym zaliczone zostaną w ewidencji gruntów do terenów różnych (T_r), jako tereny zreultywowane bez podania dla nich klas bonitacyjnych.

Wyniki szczegółowych rozważań, a w szczególności techniczne możliwości przeprowadzenia prac melioracyjnych oraz ich koszty, mogą dostarczyć nowych przesłanek dla podjęcia innych decyzji administracyjno-gospodarczych. W przypadku trudności z przeprowadzeniem melioracji koniecznością może okazać się

pozostawienie mokrych siedlisk o nowym przeznaczeniu, np. jako rezerwaty. Niestety rozwiązanie takie również wymaga niemałych nakładów finansowych, związanych między innymi z wykupem gruntów.

5. Podsumowanie

Opracowane programy likwidacji kopalń w Tarnobrzeskim Zagłębiu Siarkowym wskazują na możliwość przywrócenia terenom pogórnym wartości użytkowych. Warunkiem koniecznym jest jednak dotowanie prac naprawczych z budżetu państwowego na poziomie gwarantującym dotrzymanie zakładanych terminów. Ciągłe zmniejszanie przyznawanych środków może znacząco wydłużyć okres przewidziany na prace likwidacyjno-rekultywacyjne, a w niektórych przypadkach zniweczyć nawet zakładane efekty. Tylko po wykonaniu wszystkich projektowanych prac powstaną nowe warunki znacznie podnoszące wartość terenów pogórnym, z których część będzie mogła być włączona do użytkowania gospodarczego jako grunty rolne czy leśne, natomiast na znacznej powierzchni powstaną atrakcyjne zbiorniki wodne o funkcjach rekreacyjnych. Nowy układ hydrologiczny wokół zbiorników wymaga jednak opracowania szczegółowych rozwiązań melioracyjnych pozwalających na utrzymanie zwierciadła wód gruntowych na poziomie gwarantującym prowadzenie dalszego użytkowania. Źle zaprojektowane lub niedokończone rozwiązania mogą spowodować ujawnienie się zbyt silnego uwilgotnienia. Pozostawienie takich terenów jako wartościowych siedlisk wilgotnych czy nawet bagiennych wiąże się jednak z koniecznością poniesienia dodatkowych kosztów związanych z ich wykupem.

Literatura

- [1] Adamczyk A., Haładus A., Kulma R.: *Projekt monitoringu wód podziemnych w rejonie Machowa*. Kraków, AGH 1997
- [2] Adamczyk A., Haładus A., Kulma R., Burchard T., Frankiewicz A.: *Projekt monitoringu wód podziemnych w rejonie Piaseczna*. Kraków, AGH 1997
- [3] Eckes T., Żuławski Cz.: *Sozologia dla geodetów*. Skrypty Uczelniane AGH nr 988, Kraków, Wyd. AGH 1985
- [4] Gamracy M.: *Koncepcja doprowadzenia wody z rzeki Żupawki do projektowanych i wykonywanych zbiorników wodnych na terenach poeksploatacyjnych Kopalni Siarki „Jeziórko”*. Rzeszów, Zakład Usług Geodez.-Projekt. 2001
- [5] Gołda T.: *Uwarunkowania prac rekultywacyjnych w kopalni siarki „Jeziórko” w wyniku wywołanych przekształceń w środowisku glebowo-wodnym. Próba syntetycznej oceny*. Półrocznik AGH Inżynieria Środowiska, t. 8, z. 1, 2003

- [6] Gruszczyński S., Trafas M.: *Prognozowanie zawodnień gleb na terenach osiadań górniczych*. ZN AGH nr 1496, Sozologia i Sozotechnika, z. 37, 1993
- [7] Jakubek J. i in.: *Zagospodarowanie terenów wokół przyszłego zbiornika wodnego „Machów” o charakterze rekreacyjnym*. Tarnobrzeg, OBR PS „Siarkopol” 2001
- [8] Kania J.: *Wpływ likwidacji kopalń odkrywkowych siarki na zmiany stosunków wodnych w ich otoczeniu*. Biuletyn PIG, 403, Warszawa, 2002
- [9] Klich J. (kier.): *Ocena stanu zaawansowania prac likwidacyjnych i rekultywacyjnych na terenach zdegradowanych wydobywaniem i przetwórstwem rudy siarkowej w rejonach: tarnobrzesckim, staszowskim i lubaczowskim prowadzonych przez PRTG „Jeziórko”, Kopalnię Siarki „Machów”, KiZPS „Siarkopol”, Kopalnię Siarki „Grzybów” i „Sulphur” Sp. z o.o. w likwidacji*. Kraków, AGH 2004 (praca niepublikowana)
- [10] Kulma R.: *Stosunki wodne na rekultywowanych terenach pogórnich Tarnobrzesckiego Zagłębia Siarkowego – stan aktualny i prognoza długoterminowa*. Grant KBN w T 12 0531, Kraków, AGH 2004 (materiał niepublikowany)
- [11] Ostrowski J. (kier.): *Ochrona środowiska na terenach górniczych*. Kraków, Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN 2001
- [12] Rożko L., Jura W.: *Program likwidacji przedsiębiorstwa państwowego p.n. Kopalnie i Zakłady Przetwórcze Siarki „Siarkopol” w Tarnobrzegu na lata 2002–2009*. Katowice, Pracownia Projektowo-Konsultingowa Consul-Mine Services-Poland 2001
- [13] Siuta J., Lekan S.: *Rekultywacja gleb zdewastowanych w procesie otworowej eksploatacji siarki*. Mat. z XIX Ogólnopolskiego Zjazdu Naukowego PTG nt. „Ochrona środowiska glebowego”, Puławy, Kraków – Katowice, 1972
- [14] Skawina T., Trafas M., Gołda T.: *Problemy rekultywacji terenów pogórnich Kopalni Siarki „Jeziórko”*. Ochrona Terenów Górniczych, nr 20, 1972
- [15] Trafas M.: *Wpływ poeksploatacyjnych deformacji powierzchni na zmiany w glebach i w sposobie ich użytkowania*. Kraków, AGH 1969 (praca doktorska)
- [16] Wilk Z., Kulma R. (red.): *Hydrogeologia polskich złóż kopalin i problemy wodne górnictwa, tom 3*. Kraków, UWND AGH 2004