

PIOTR FREIWALD*, JAROSŁAW SZLUGAJ**

Aspekty ochrony środowiska przyrodniczego związane z likwidacją górnictwa siarki w Polsce

Słowa kluczowe

Złóża siarki rodzimej, likwidacja kopalń, rekultywacja, poziom wodonośny, skażenie

Streszczenie

W pracy przedstawiono zarys rozwoju produkcji siarki elementarnej w Polsce w latach 1970—2002 na tle ogólnej sytuacji międzynarodowej. Zaprezentowano potencjalne przyczyny upadku górnictwa siarki. Dokonano analizy oddziaływania na środowisko przemysłu wydobywczego oraz zaprezentowano aktualny stan prac nad likwidacją kopalń i rekultywacją terenów pogórnicznych.

Wprowadzenie

W Polsce występują jedne z najbogatszych w świecie złóż siarki rodzimej. W roku 1980 odnotowano największe wydobycie siarki rodzimej — 5,1 mln Mg/rok, z czego ponad 3,8 mln Mg skierowano na eksport. Infrastruktura techniczna dla eksploatacji złóż siarki i jej chemicznego przetwórstwa została rozbudowana w okresie korzystnej koniunktury dla przemysłu siarkowego.

Systematyczny spadek cen siarki na rynkach światowych, notowany od drugiej połowy lat osiemdziesiątych, spowodowany był wzrostem produkcji siarki elementarnej tzw. z odzysku, poprzez masowe odsiarczanie ropy naftowej i gazu ziemnego w rafineriach. Odnotowany na początku lat dziewięćdziesiątych drastyczny spadek cen na rynkach międzynarodowych spowodował ograniczenie wydobycia siarki w Polsce, przy bardzo dużej redukcji zatrudnienia

* Mgr inż., Państwowy Instytut Geologiczny Oddział Karpacki, Kraków.

** Mgr inż., Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków.

Recenzowali doc. dr hab. inż. Kazimierz Ślizowski i dr inż. Józef Chowaniec

i likwidacji nierentownych kopalń siarki oraz zbędnego majątku produkcyjnego. Trudną sytuację ekonomiczną komplikowała konieczność prowadzenia kosztownej rekultywacji terenów zdegradowanych działalnością wydobywczą. Negatywnymi skutkami działalności górniczej są: przekształcenia powierzchni terenu, zmiany w krajobrazie, degradacja gleb i szaty roślinnej, zaburzenie stosunków wodnych, zmiany chemizmu wód podziemnych i powierzchniowych oraz emisje szkodliwych pyłów i gazów do atmosfery.

1. Zarys gospodarki siarką w Polsce

1.1. Źródła

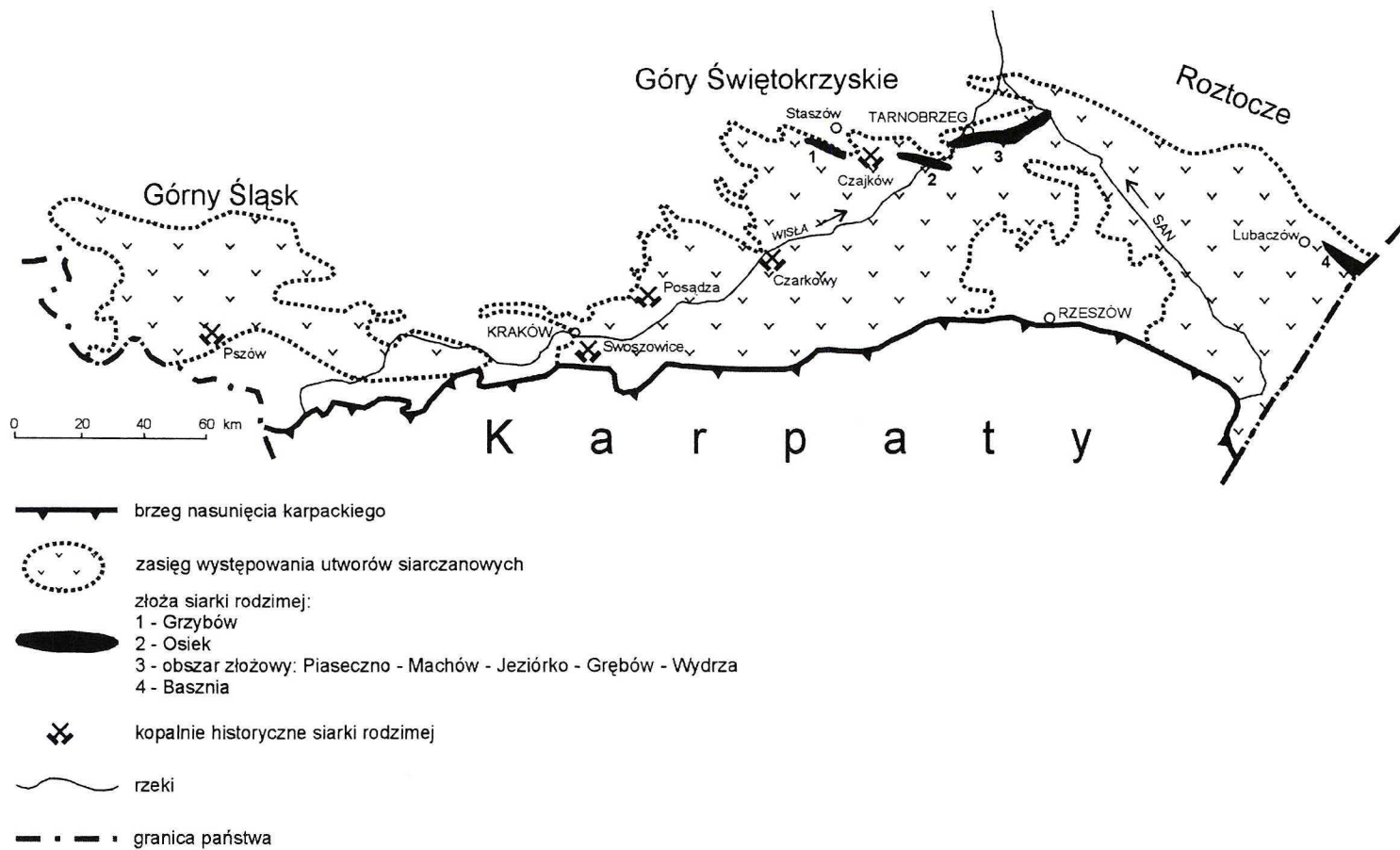
Podstawowym źródłem siarki w Polsce są złoża siarki rodzimej (rys. 1). Pozostałymi źródłami, z których pochodzi tzw. produkcja wymuszona są złoża siarczkowych rud Cu i Zn-Pb oraz złoża zasiarczonej ropy naftowej, gazu ziemnego i węgla. Do wykorzystywanych źródeł wtórnych zalicza się odpadowy kwas siarkowy oraz wody technologiczne powstające przy eksploatacji złóż siarki.

Historia górnictwa siarkowego w Polsce i poszukiwań złóż siarki ma wielowiekową tradycję, sięgającą XV w. W latach 1415—1921 siarkę wydobywano w południowej części zapadliska przedkarpackiego: w Swoszowicach w latach 1415—1884, Czarkowych — 1795—1920, Pszowie — 1879—1987, Czajkowie — 1915—1918 oraz Posądy — 1916—1921 (rys. 1). Ocenia się, że w ciągu 500 lat wydobyto łącznie ze wszystkich wymienionych kopalń około 200 tys. Mg siarki (Budowa... 1987).

W latach 1953—1974 prowadzono intensywne prace poszukiwawcze w północnej części zapadliska przedkarpackiego, których wynikiem było odkrycie i udokumentowanie szesnastu złóż siarki rodzimej w wapieniach pogipsowych miocenu, zlokalizowanych w trzech obszarach: staszowskim, tarnobrzeskim i lubaczowskim (rys. 1). Złoża te należą do największych tego typu złóż na świecie (Pawłowski i in. 1983).

Udokumentowane zasoby bilansowe według stanu na 31.12.2001 r. trzynastu rozpoznanych złóż wynosiły 501 mln Mg S. Tylko dwa z nich były eksploatowane: złożo Jeziórko-Grębów-Wydrza (eksploatacja do końca lipca 2001 r.) i złożo Osiek. Ich zasoby bilansowe wynosiły 157,8 mln Mg S, a przemysłowe 100,4 mln Mg S (Bilans... 2002).

Do 1996 r. szacunkowe zasoby siarki jako kopaliny towarzyszącej w złożach siarczkowych rud miedzi, cynku i ołowiu wynosiły 35,5 mln Mg S (Burkowicz i in. 2002). Obecnie w Polsce wykazywane są tylko zasoby szacunkowe w złożach rud Zn-Pb, które wynosiły w 2001 roku około 3,0 mln Mg S. Nowe dokumentacje geologiczne złóż rud Cu nie zawierają informacji na temat zasobów tej kopaliny. Jednakże ostatnio udokumentowano zasoby siarki w czterech złożach gazu ziemnego: Barnówko-Mostno-Buszewo (BMB) — 618 tys. Mg S, Cychry — 41 tys. Mg S, Zielin — 13 tys. Mg S i Górzycza — 7 tys. Mg S (Bilans... 2002). Brak jest oszacowania jej zasobów w złożach węgla oraz w większości zasiarczonych złóż ropy naftowej i gazu ziemnego.



Rys. 1. Złóża siarki rodzimej w obrębie facji siarczanowej zapadliska przedkarpackiego (Budowa... 1987)

Fig. 1. Native sulfur deposits within sulfate facies in Carpathian Foredeep

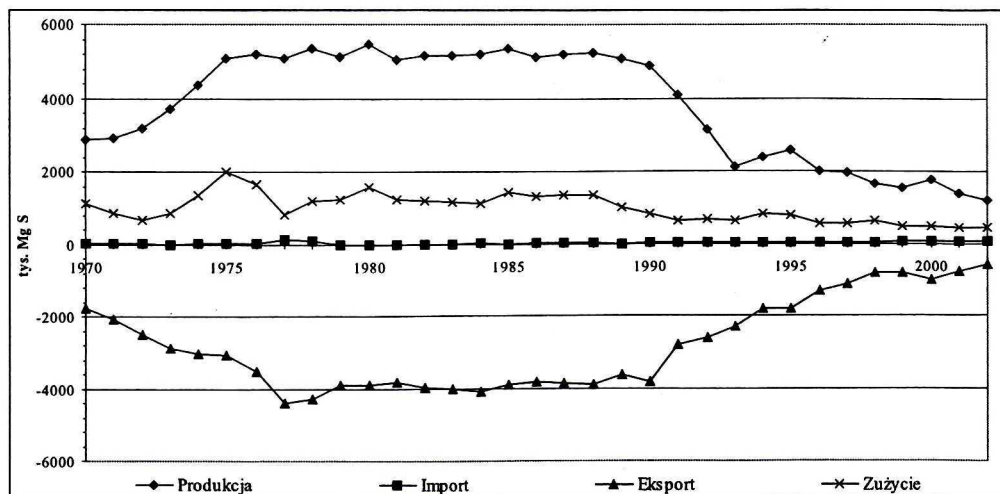
1.2. Produkcja

Odkrycie i rozpoznanie ogromnych złóż biochemicznych siarki rodzimej w zapadlisku przedkarpackim w końcu lat pięćdziesiątych i w latach sześćdziesiątych XX w., pozwoliło na uruchomienie w 1961 r. odkrywkowej kopalni siarki „Piaseczno”. Eksploatacja była prowadzona do wyczerpania zasobów odkrytych, tj. do roku 1971. Rozwój wydobywania siarki rodzimej na wielką skalę przypada na dekadę lat sześćdziesiątych. Wówczas podjęto eksploatację otworową na złożach Grzybów-Gacki (1966) i Jeziórko-Stale (1967) oraz eksploatację odkrywkową w Machowie w 1969 roku. Kolejne otworowe kopalnie siarki uruchamiano w późniejszych latach: „Basznia” (1977), „Machów II” (1985) i „Osiek” (1993). Roczne rzeczywiste zdolności wydobywcze poszczególnych kopalń wynosiły: „Jeziórko” — 3,5 mln Mg S, „Grzybów” — 1,5 mln Mg S, „Piaseczno” — 1,2 mln Mg S, „Osiek” — 0,8 mln Mg S, „Machów” — 0,6 mln Mg S. Doświadczalne kopalnie „Machów II” i „Basznia” miały znacznie mniejsze zdolności wydobywcze (Kita 2002).

W latach 1975—1989 roczna produkcja siarki rodzimej wahała się w granicach 4,4—5,1 mln Mg (Bolewski i in. 1992) (rys. 2). W latach 1990—1993 nastąpił znaczny spadek produkcji, łącznie o około 3 mln Mg (Bolewski i in. 1995). Złożyły się na to:

- drastyczny spadek wydobywania w największej kopalni — „Jeziórko”,
- postawienie w stan likwidacji i zmniejszenie wydobywania w kopalni „Grzybów”,
- postawienie w stan likwidacji i zakończenie wydobywania w kopalni „Machów”,
- zakończenie wydobywania w II kwartale 1993 r. w kopalni „Basznia”,
- zakończenie wydobywania w IV kwartale 1993 r. w kopalni „Machów II”.

W latach 1994—2002 wydobywanie siarki rodzimej ulegało mniejszym wahaniom, jednak z wyraźną tendencją spadkową, osiągając w 2002 roku zaledwie 760 tys. ton S (Burkowicz i in. 2002) (rys. 2). W 2001 r. zakończono eksploatację złoża Jeziórko-Grębów-Wyrzra



Rys. 2. Gospodarka siarką we wszystkich formach (SAF) w Polsce

Fig. 2. Sulfur in all forms (SAF) economy in Poland

i postawiono w stan likwidacji kopalnię „Jeziórko”. Od sierpnia 2001 roku całość produkcji siarki rodzimej pochodzi z kopalni „Osiek”.

Innym źródłem siarki elementarnej jest odzysk z ropy naftowej i gazu ziemnego, a także pozyskiwanie jej w innych formach (H_2SO_4 i SO_2). W latach 1975—1989 roczna produkcja siarki we wszystkich formach (SAF) wahała się w przedziale 5,0—5,4 mln Mg (Bolewski i in. 1992) (rys. 2), z czego odzysk z ropy naftowej i gazu ziemnego stanowił mniej niż 0,5% produkcji całkowitej, a siarka pozyskiwana w postaci innych form (H_2SO_4 i SO_2) stanowiła nie więcej niż 5—6%/rok. Polskie rafinerie ropy naftowej do 1997 r. pozyskiwały maksymalnie 44 tys. Mg S/rok. Rozbudowa instalacji w PKN ORLEN S.A. i Rafinerii Gdańsk S.A. pozwoliła zwiększyć pozyskiwanie siarki elementarnej w tych zakładach do 157 tys. Mg w 2002 r. (Burkowicz i in. 2002).

Siarkę pozyskuje się również w postaci kwasu siarkowego, ciekłego SO_2 i oleum (SO_3 rozpuszczone w kwasie siarkowym). Ten sposób produkcji stosowany jest przez oddziały hut miedzi cynku i ołowiu: „Głogów I”, „Głogów II” i „Legnica” — KGHM Polska Miedź S.A., HC Miasteczko Śląskie, HMN Szopienice S.A., ZGH Bolesław oraz w Zakładach Koksowniczych Zdzeszowice. Na przestrzeni lat 1970—2002 produkcja siarki w formie kwasu siarkowego w tych zakładach wahała się w granicach 180—300 tys. Mg/rok (Burkowicz i in. 2002).

Zanotowany w latach 1997—2002 wzrost ilości siarki odzyskiwanej w rafineriach ropy naftowej oraz hutach metali nieżelaznych, przy spadającym wydobyciu siarki elementarnej ze złóż, doprowadził do spadku udziału siarki ze złóż do 68% łącznej produkcji siarki SAF w końcu 2002 roku. Zanotowano wzrost udziału siarki odzyskiwanej w rafineriach ropy naftowej i instalacjach odsiarczania w kopalniach gazu ziemnego do około 12%. Wzrósł również do około 20% udział siarki odzyskiwanej w innych formach w hutach metali nieżelaznych.

Głównym surowcem handlowym jest siarka elementarna w postaci ciekłej lub stałej, np. siarka: kawałkowa — kruszona lub formowana — granulowana, płatkowana, pastylkowana itp., o minimalnej zawartości 99,55% S. Wśród surowców o charakterze rynkowym należy również wymienić: kwas siarkowy, ciekły dwutlenek siarki, oleum, dwusiarczek węgla CS_2 i inne.

1.3. Przyczyny upadku górnictwa siarkowego w Polsce

Od połowy lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku następował stopniowy spadek cen siarki na rynkach światowych, szczególnie wyraźny od 1992 r., powodując w efekcie zagrożenie podstaw ekonomicznej egzystencji przemysłu siarkowego w Polsce. Zwiększonej podaży taniej siarki elementarnej z odzysku, powstającej w procesie rafinacji ropy naftowej i gazu ziemnego, towarzyszył spadek konsumpcji nawozów sztucznych w niektórych regionach świata (np. w Europie środkowej i wschodniej). Ze względu na załamanie się popytu zarówno na rynkach wschodnioeuropejskich, jak też u innych odbiorców, na początku lat dziewięćdziesiątych nastąpił gwałtowny spadek eksportu polskiej siarki (rys. 2), a jego struktura uległa ogromnym zmianom (Kita 2002). W konsekwencji pogorszyła się sytuacja rynkowa polskiej siarki rodzimej, wymuszając ograniczenie mocy produkcyjnych. Konieczność respektowania zaostrzonych norm ochrony środowiska, wpływających w zdecydowany sposób na wielkość kosztów produkcji siarki, doprowadziła do zamykania najbardziej uciążliwych dla środowiska kopalń. Procesowi temu towarzyszyła redukcja zatrudnienia i likwidacja zbędnego majątku pro-

dukcyjnego. Obecna produkcja stanowi zaledwie 20% produkcji z lat 1975—1989 i kształtuje się na poziomie niespełna 1 mln Mg S/rok (rys. 2). Aktualnie czynna jest tylko jedna kopalnia — „Osiek”, a pozostałe są w trakcie likwidacji. Na podstawie przytoczonych faktów można stwierdzić, że polskie górnictwo siarki jest obecnie w fazie schyłkowej i przy utrzymującej się trwałej nierentowności całej branży, w perspektywie następnych 5—10 lat, może nastąpić dalsze zmniejszanie wydobycia do poziomu około 500 tys. Mg S, zaspokajając bieżące potrzeby krajowej gospodarki.

2. Przekształcenia środowiska naturalnego wywołane eksploatacją siarki

Ujemny wpływ eksploatacji siarki na środowisko naturalne przejawia się w jego licznych przekształceniach. Przekształcenia te powstają zarówno w trakcie, jak i po zakończeniu eksploatacji siarki. Ich uciążliwość jest zróżnicowana i można je podzielić na przekształcenia specyficzne dla eksploatacji metodą odkrywkową oraz powstające podczas otworowej eksploatacji siarki.

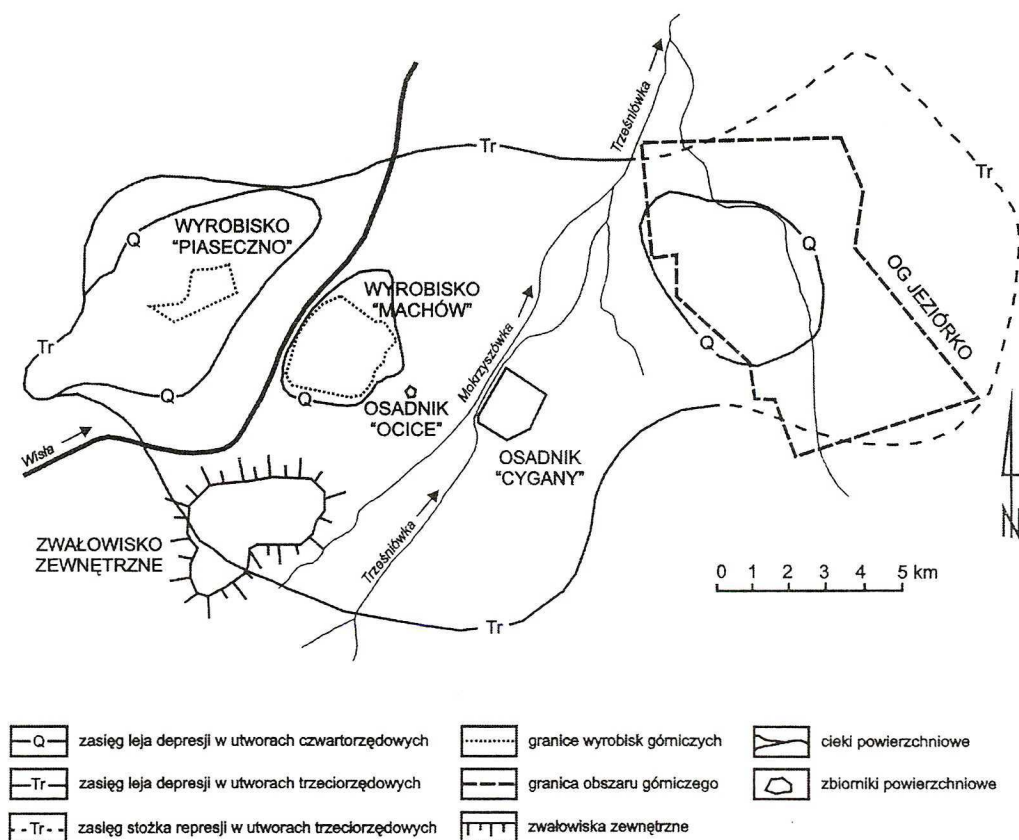
2.1. Przekształcenia środowiska powstałe podczas odkrywkowej eksploatacji siarki

Metoda odkrywkowa eksploatacji siarki stosowana była w kopalniach „Piaseczno” i „Machów”. Obecnie zakłady te są nieczynne, a pozostawione wyrobiska na różnym etapie rekultywacji (Surowce... 2000).

Uciążliwość tej metody polega głównie na występowaniu zmian w środowisku typu geomechanicznego — powstanie wyrobisk, zwałowisk, osadników. Zmiany te praktycznie są nieodwracalne i prowadzą do trwałej degradacji krajobrazu. Podczas eksploatacji siarki metodą odkrywkową powstała duża ilość odpadów, takich jak wapno poflotacyjne, kek porafinacyjny czy szlamy pochodzące z oczyszczania wód podziemnych dopływających do wyrobiska. Szlamy i odpady poflotacyjne składowano w osadnikach poflotacyjnych w Ocicach i Cyganach, kek siarkowy natomiast na hałdach zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie zakładów górniczych. Odpady te są w różnym stopniu wykorzystywane przy rekultywacji wyrobisk — np. część wapna poflotacyjnego wykorzystuje się do neutralizacji zakwaszonych gleb.

Niezależnie od etapu eksploatacji złoża siarki metodą odkrywkową musi zostać rozwiązany problem dopływu wód podziemnych do wyrobiska. Ingerencja w ten element środowiska naturalnego powoduje powstanie szeregu przekształceń hydrologicznych i hydrogeologicznych. Przekształcenia te to przede wszystkim obniżenie zwierciadła wód w sąsiedztwie wyrobisk oraz przerwanie i łączenie się poszczególnych horyzontów wodonośnych.

W związku z dużym zawodnieniem górotworu podczas prowadzenia eksploatacji, a także po jej zakończeniu, w kopalniach „Piaseczno” i „Machów” prowadzi się stałe odwadnianie za pomocą barier studni zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie odkrywki oraz w jej obrębie. Dopływ wód do tych kopalń z poziomu czwartorzędowego dochodził do 20 tys. m³/dobę, a z poziomu trzeciorzędowego do 10 tys. m³/dobę (Surowce... 2000). Odprowadzanie wód z obszaru wyrobiska doprowadziło do powstania rozległego leja depresyjnego (rys. 3).



Rys. 3. Zasięg leja depresji i stożka represji w poziomach czwartorzędowym i trzeciorzędowym w rejonie Tarnobrzega (Wilk i in. 1990)

Fig. 3. Extent of depression cone and impression cone in Quaternary and Tertiary aquifers in the Tarnobrzeg region

Obniżenie zwierciadła wód podziemnych dochodzi do kilkudziesięciu metrów, a obszar występowania leja depresyjnego obejmuje nie tylko wyrobiska górnicze, ale również znaczne tereny je otaczające. Zjawisko powyższe ma charakter odwracalny. Zaprzestanie odwadniania kopalń nastąpi po likwidacji wyrobisk i pozwoli wodom podziemnym na osiągnięcie poziomu zwierciadła zbliżonego do pierwotnego stanu.

W obrębie wyrobisk poeksploatacyjnych doszło do przerwania ciągłości poziomów wodonośnych — czwartorzędowego i trzeciorzędowego. W warunkach naturalnych — przed rozpoczęciem wydobywania — poziomy te były oddzielone warstwą nieprzepuszczalną (iłami krakowieckimi). Prowadzenie robót górniczych doprowadziło do powstania sztucznego kontaktu hydraulicznego. Sytuacja taka ma miejsce np. w nieczynnym wyrobisku Piaseczno zalanym obecnie wodą, gdzie wody poziomu czwartorzędowego bezpośrednio zasilają poziom trzeciorzędowy.

Kolejnym rodzajem zmian w środowisku naturalnym powstających podczas odkrywkowej eksploatacji siarki są przekształcenia typu chemicznego. Dotyczy to wód podziemnych i powierzchniowych, powietrza atmosferycznego i gruntów.

Zmiany w chemizmie wód podziemnych spowodowane są mieszaniami się płytko występujących wód poziomu czwartorzędowego z wysokozmineralizowanymi ($10\text{--}20\text{ g/dm}^3$), naporowymi wodami poziomu trzeciorzędowego. Potencjalne zagrożenie wystąpienia takiego zjawiska istnieje w obu nieczynnych kopalniach — „Piaseczno” i „Machów”. Zagrożenie zanieczyszczenia wód podziemnych występuje również podczas przenikania przez hałdy i zwalowiska wód opadowych zasilających bezpośrednio lub pośrednio poziomy wodonośne.

Za zmiany składu chemicznego wód powierzchniowych odpowiedzialne są odprowadzane z kopalń siarki ścieki bytowo-gospodarcze, przemysłowe i deszczowe oraz wody podziemne z odwadniania kopalń. Te ostatnie charakteryzują się wysoką zawartością siarczanów i chlorków, obecnością siarczków i żelaza oraz niskim pH. Mineralizacja wód odprowadzanych z Kopalni Siarki „Machów” dochodziła do $10\text{--}20\text{ g/dm}^3$, a zawartość siarkowodoru wahała się w zakresie $250\text{--}450\text{ mg/dm}^3$. W KS „Machów” odprowadzano do 14,7 mln m^3 /rok wód z odwadniania poziomów czwartorzędowego i trzeciorzędowego (Informacja... 1999). Przed zrzutem były one oczyszczane, a odbiornikami podczyszczonych już wód były rzeki: Mokrzyszówka, Trześniówka i Wisła.

Skutkiem oddziaływania chemicznego na środowisko naturalne przy eksploatacji siarki jest także skażenie powierzchni terenu. Proces ten, związany ze składowaniem siarki, ziemi z wykopów i odpadów poprodukcyjnych, prowadzi do degradacji gleb. Zasięg skażenia gleb przy metodzie odkrywkowej jest ograniczony do terenów zajmowanych przez zakłady eksploatacji.

Działalność kopalń odkrywkowych siarki ma również wpływ na jakość powietrza atmosferycznego. Źródłem tego rodzaju skażenia środowiska naturalnego była emisja siarkowodoru zawartego w wodach złożowych trzeciorzędowego poziomu wodonośnego. Bardzo wysokie stężenia H_2S w tych wodach ($350\text{--}450\text{ mg/dm}^3$) powodowały jego uwalnianie się do atmosfery z rowów i studzienek, którymi były odprowadzane z wyrobisk. Podczas wydobywania siarki metodą odkrywkową miała miejsce również wysoka emisja pyłów siarki. Pyły te uwalniane były podczas procesu wydobywania, rozdrabniania, przetwórstwa, transportu i załadunku. W latach 1993—1994 w KS „Machów” notowano bardzo wysokie, ponadnormatywne stężenia pyłów w powietrzu dochodzące do $10\text{ }\mu\text{g/m}^3$ (Informacja... 1999). Wskutek podjętych działań na rzecz ograniczenia wpływu zakładu na środowisko w latach 1995—1996, emisja pyłów siarki uległa znacznej redukcji.

Szacuje się, że w wyniku niedoskonałości procesu przetwórstwa rudy siarkowej (niski uzysk siarki z rudy rzędu $70\text{--}83\%$) podczas eksploatacji złóż „Piaseczno” i „Machów”, wprowadzone zostało do środowiska około 3,5 mln ton siarki w składowiskach odpadów poflotacyjnych i keku siarkowego (Szmyd 1993).

2.2. Przekształcenia środowiska powstałe podczas otworowej eksploatacji siarki

Podobnie jak w procesie eksploatacji siarki metodą odkrywkową, podczas eksploatacji tego surowca metodą podziemnego wytopu (metoda Frascha) powstają liczne ujemne zmiany w śro-

dowisku naturalnym. Te niekorzystne przekształcenia powstające w trakcie i po zakończeniu eksploatacji można również zaliczyć do trzech podstawowych grup:

- przekształcenia geomechaniczne — związane z uszkodzeniem i osiadaniami powierzchni terenu,

- przekształcenia hydrologiczne i hydrogeologiczne — związane z wystąpieniem obszarów podmokłych oraz związane z zaburzeniami hydrodynamicznymi w poziomach wód podziemnych,

- przekształcenia chemiczne — związane ze zmianami w chemizmie wód podziemnych, wód powierzchniowych, gleb i powietrza atmosferycznego.

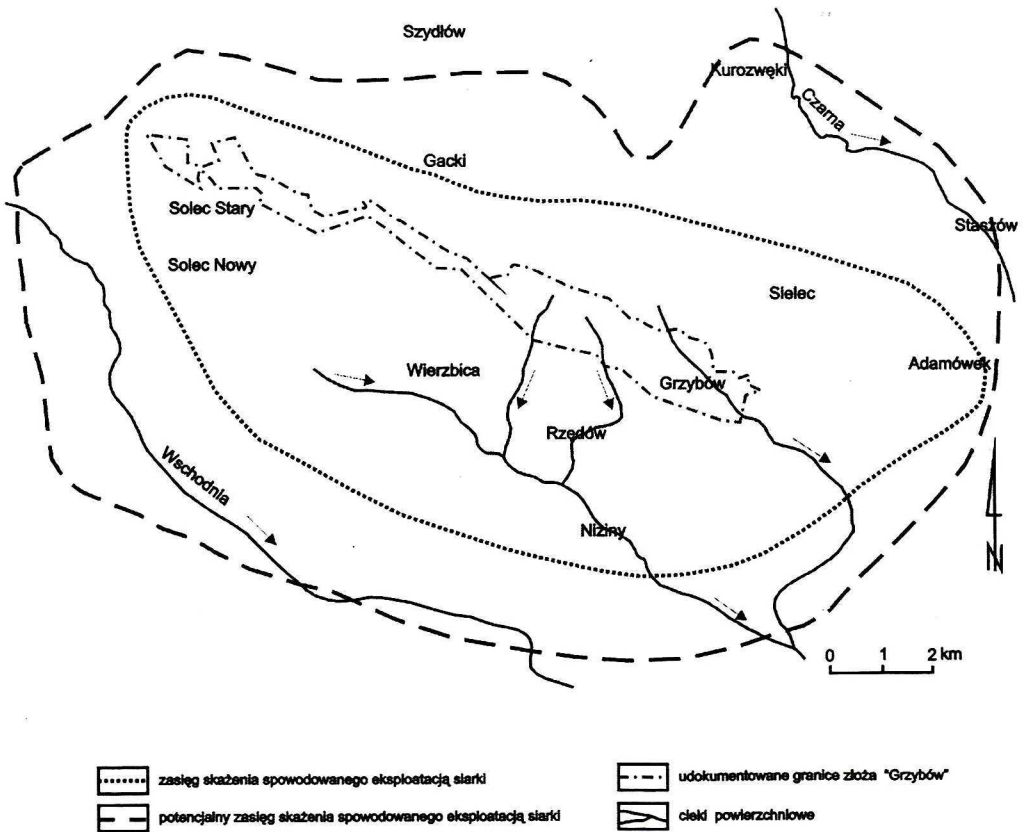
Powyższe zmiany w środowisku naturalnym występują nie tylko w obrębie pól eksploatacyjnych, ale również na terenach zajętych przez zakłady przerobcze i przetwórcze zlokalizowanych w sąsiedztwie pól eksploatacyjnych. Przekształcenia te występują samodzielnie lub wszystkie łącznie, a ostateczny stopień degradacji zależy od ich natężenia oraz lokalnej wrażliwości środowiska.

Przekształcenia geomechaniczne powstają już na początkowym etapie rozpoczęcia eksploatacji i związane są z mechanicznym uszkodzeniem gleb podczas wiercenia i uzbrajania otworów, budową rurociągów i instalacji technologicznych. Podczas eksploatacji, wskutek zaciskania się pustek w górotworze po wytopionej siarce, dochodzi często do osiadaniami terenu. Zmiany te mają charakter deformacji ciągłych, a sporadycznie występują też w postaci deformacji nieciągłych w formie zapadlisk, lejów itp. (Warzybok 2000). Przykładowo w KS „Grzybów” powstałe na wskutek osiadań obniżenia terenu zalewane są zdegradowanymi wodami opadowymi, co wymusza utrzymywanie powierzchniowego systemu odwadniania (Stachowicz, Zardzewiały 2000). Podczas tych procesów ulega zniszczeniu lub zakłóceniu profil gleb.

Zmiany hydrologiczne i hydrogeologiczne w środowisku naturalnym dotyczą przekształceń stosunków wodnych wód powierzchniowych i podziemnych. Powstałe na skutek osiadaniami deformacje w powierzchni terenu często wypełniane są wodami gruntowymi, tworząc obszary zalewisk wodnogruntowych. Zmiany te prowadzą do zmniejszenia grubości warstwy aeracyjnej gleb i ujawnienia się procesów bagiennych. Ten typ przekształceń jest charakterystyczny dla obszarów, na których zwierciadło wód w warunkach naturalnych występuje stosunkowo płytko pod powierzchnią terenu, np. na terenie KS „Jeziórko” (Warzybok 2000).

Eksploatacja siarki metodą otworową prowadzi do znacznych zaburzeń hydrodynamicznych w obrębie poziomów wód podziemnych. Najwyraźniejszym przejawem tych zmian jest występowanie stożków represji wokół pól eksploatacyjnych o zasięgach znacznie przekraczających rejon eksploatacji. Skomplikowana sytuacja hydrodynamiczna występuje w Tarnobrzeskim Zagłębiu Siarkowym, gdzie na stosunkowo niewielkim obszarze następuje gwałtowne przejście z leja depresyjnego, związanego z odwadnianiem wyrobisk „Piaseczno” i „Machów”, do stożka represji powstałego w rejonie otworowej kopalni „Jeziórko” (rys. 3). Wtłaczanie wód złożowych do górotworu prowadzić może również do zmiany kierunku przepływu wód podziemnych. W KS „Grzybów” pierwotnie obserwowany kierunek przepływu wód poziomu trzeciorzędowego odbywał się z północnego-zachodu na południowy wschód. Po uruchomieniu eksploatacji nastąpiła zmiana kierunku przepływu na północny zachód, w kierunku wychodni utworów chemicznych (Oddziaływanie... 1988).

Eksploatacja złóż siarki, prowadzona na obszarach występowania dwóch różnych poziomów wodonośnych — czwartorzędowego i trzeciorzędowego, spowodowała kontakt tych horyzontów i w następstwie skażenie wód czwartorzędowego poziomu wodonośnego naporowymi, silnie zmineralizowanymi wodami trzeciorzędowymi. Zaistniałe skażenia mają zasięg kilkudziesięciu kilometrów kwadratowych i uniemożliwiają mieszkańcom wsi sąsiadujących z kopalniami otworowymi korzystanie z wód podziemnych do celów pitnych czy gospodarczych (rys. 4). W rejonie KS „Basznia” istnieją studnie gospodarcze ujmujące czwartorzędowy poziom wodonośny, w których pH ma wyraźnie kwaśny odczyn w przedziale 5,6—4,7 (Freiwald i in. 2002). Bezpośrednią przyczyną kontaktu i zanieczyszczenia wód poziomu czwartorzędowego wodami poziomu trzeciorzędowego były nieszczelności otworów eksploatacyjnych oraz erupcje i niekontrolowane wypływy wód złożowych. Sytuacja taka miała miejsce w kopalniach „Jeziórko”, „Grzybów”, „Osiek” i „Basznia”. W KS „Jeziórko” stwierdzono ponadto skażenie wód poziomu czwartorzędowego, powstałe w wyniku spływów zasiarczonych wód deszczowych infiltrujących w głąb gruntu. Wielkość mineralizacji wód poziomu czwartorzędowego w okolicy kopalni dochodziła nawet do 3760 mg/dm^3 (Informacja... 1999).



Rys. 4. Zasięg skażeń chemicznych wód poziomu czwartorzędowego w rejonie Grzybowa (Oddziaływanie... 1988)

Fig. 4. Extent of chemical pollution of Quaternary aquifer in the Grzybów region

Wskutek stosowania nieszczelnych instalacji powierzchniowych, ich awarii oraz operacji technologicznych następuje skażenie gruntów. Związki siarki powodują silne, miejscami drastycznie duże, toksyczne zakwaszenie gleb (utlenianie siarki elementarnej do kwasu siarkowego). Przekształceniu temu uległa warstwa powierzchniowa gleb zarówno w obrębie pól eksploatacyjnych, jak i wokół składowisk wydobywanej siarki oraz tras jej transportu. Badania przeprowadzone na terenie KS „Basznia” wykazały, że odczyn zdegradowanej warstwy gleb w sąsiedztwie składowiska siarki wynosi nawet $\text{pH} = 1,81$ (Ekspertyza... 1998). Takie zakwaszenie gleby powoduje wymywanie z niej podstawowych składników pokarmowych roślin, tj. potasu, fosforu i magnezu, co w konsekwencji doprowadza do zaniku szaty roślinnej na terenach skażonych. Skażenie gleb jest również główną przyczyną zmian w chemizmie wód powierzchniowych, a także pośrednio wód podziemnych.

Nieszczelność instalacji powierzchniowych może doprowadzić również do skażenia powietrza atmosferycznego siarkowodorem. Zagrożenie tego typu występuje zwłaszcza w porzuconej kopalni „Basznia”, gdzie korozja głowic i armatury otworów eksploatacyjnych jest bardzo zaawansowana. Taka sytuacja może być przyczyną niekontrolowanych wypływów wód złożowych z dużą zawartością siarkowodoru, co w konsekwencji może doprowadzić do katastrofy ekologicznej.

3. Rekultywacja wyrobisk i terenów poeksploatacyjnych w górnictwie siarki

W celu określenia wszelkiej działalności, w wyniku której następuje poprawienie właściwości podłoża bez względu na przyczynę czynnika destruktywnego, używa się pojęcia — rekultywacja. Rekultywację gruntów definiuje się jako nadanie lub przywrócenie im wartości użytkowych poprzez właściwe ukształtowanie rzeźby terenu, poprawienie właściwości fizycznych i chemicznych, uregulowanie stosunków wodnych, odtworzenie gleb, umocnienie skarp wyrobisk, wprowadzenie roślinności oraz odbudowanie i zbudowanie niezbędnych dróg dojazdowych (Gołda 1995).

Jak podaje Gołda (1995), za zagospodarowanie zrekultywowanych terenów uważa się działalność polegającą na wykonaniu odpowiednich zabiegów — czynności agrotechnicznych, umożliwiających wykorzystanie terenu dla celów gospodarki rolnej, leśnej, wodnej, komunalnej, rekreacyjnej lub innej. Czynności te, składające się z dodatkowych prac wodno-melioracyjnych, uzupełnienia sieci dróg i budowy obiektów i urządzeń gospodarczych, zmierzają do właściwego uformowania gleb i ich biologicznego uaktywnienia. Zagospodarowanie gruntów zrekultywowanych jest obowiązkiem osoby prawnej lub fizycznej, powołanej do prowadzenia działalności zgodnej z przeznaczeniem terenu.

Wraz z zakończeniem eksploatacji w poszczególnych kopalniach siarki, przystępowano do ich likwidacji i rekultywacji terenów pogórnicznych. Na przestrzeni lat 1961—2002 prowadzono eksploatację dwoma metodami: odkrywkową — kopalnie „Piaseczno” i „Machów”, oraz otworową — kopalnie „Jeziórko”, „Grzybów”, „Osiek”, „Machów II” i „Basznia”. Dla każdej z nich (z wyjątkiem czynnej kopalni „Osiek”) przygotowano i zatwierdzono odpowiednie programy likwidacji i rekultywacji terenów poeksploatacyjnych, na których realizację przeznaczono środki finansowe pochodzące ze środków budżetu państwa (Kita 2002).

3.1. Rekultywacja Kopalni Siarki „Piaseczno”

Ważny, a do tej pory ostatecznie nierozwiązany, jest problem likwidacji wyrobiska pogórniczego w Piasecznie. KS „Piaseczno” eksploatowała rudę siarki rodzimej w latach 1961—1971. Do końca roku 1980 na potrzeby Huty Szkła w Sandomierzu eksploatowano kilkunastometrową warstwę piasków z warstw baranowskich zalegających w spągu złoża siarki. Po roku 1980 zakończono w kopalni „Piaseczno” działalność górnictw. Po zakończeniu eksploatacji pozostały (Frankiewicz i in. 1993):

- wyrobisko o powierzchni około 160 ha i głębokości 40 m, w dniu którego utworzył się zbiornik wodny o powierzchni 80 ha i objętości 3,7 mln m³, przy położeniu zwierciadła wody na rzędnej +114 m n.p.m.,
- zwałowisko wewnętrzne o powierzchni 120 ha i wysokości 25 m,
- zwałowisko zewnętrzne o powierzchni 110 ha,
- zwałowisko około 5,6 mln Mg piasków szklarskich o powierzchni około 22 ha zlokalizowane na zwałowisku wewnętrznym.

Dla KS „Piaseczno” przewidziany był leśny kierunek rekultywacji. W 1986 r. zawarto umowę pomiędzy KiZPS Siarkopol a Elektrownią Połaniec o przekazaniu części wyrobiska na składowisko odpadów paleniskowych. Jednak z powodu protestów społecznych i władz gminy Koprzywnica Elektrownia zrezygnowała z realizacji tego projektu. Elektrownia ponosi koszty ciągłego odwadniania wyrobiska oraz prowadzenia niezbędnych obserwacji i pomiarów. Ponadto na koszt Elektrowni wykonano rekultywację terenów wokół wyrobiska (zadrzewienie). Zwałowisko zewnętrzne jest w całości zrehabilitowane, a efektem tego zabiegu jest teren w pełni biologicznie czynny — las przekazany Lasom Państwowym (Frankiewicz i in. 1993).

Huta Szkła Okiennego Sandomierz przed rozpoczęciem procesu prywatyzacji uzyskała prawo wieczystego użytkowania gruntów, będących do tego momentu pod jej zarządem. Grunty te obejmują zwałowisko piasków szklarskich, zbiornik wodny stanowiący źródło wody technologicznej w procesie płukania piasków oraz teren pod budowę instalacji płukania piasku.

Wyrobisko kopalni „Piaseczno” usytuowane jest w odległości zaledwie kilku kilometrów od wyrobiska kopalni „Machów” (rys. 3). Obydwie odkrywki zlokalizowane są w obrębie tych samych horyzontów wodonośnych. W wyniku prowadzonego odwadniania odkrywki „Machów” utworzony został lej depresyjny obejmujący również wyrobisko „Piaseczno”, a dodatkowo ciągłe odwadnianie odkrywki w Piasecznie spowodowało lokalne obniżenie wód poziomów czwartorzędowego i trzeciorzędowego w wyrobisku. Stąd ciągły dopływ do wyrobiska stanowią wody poziomów czwartorzędowego i trzeciorzędowego (Gawlik, Turaj 2000).

W 1996 r. opracowano koncepcję równoczesnej likwidacji wyrobisk „Machów” i „Piaseczno” polegającą na czasowym i technologicznym skojarzeniu likwidacji obu tych wyrobisk. Dla obydwu odkrywek przyjęto wodny kierunek rekultywacji. Niedobór środków finansowych desygnowanych z budżetu państwa nie pozwolił jak dotąd na podjęcie zaplanowanych prac likwidacyjnych wyrobiska w Piasecznie i spowodował trzyletnie opóźnienie prac w KS „Machów”. Ponadto w stosunku do sytuacji z roku 1996 nastąpiły istotne zmiany hydrogeologicznych warunków regionalnych, związane głównie z ograniczeniem eksploatacji w kopalni „Jeziórko” oraz wprowadzeniem w niej zamkniętego systemu wód grzewczych.

W tej sytuacji opracowano koncepcję nowego sposobu likwidacji wyrobiska „Piaseczno” uwzględniającą możliwość jej skojarzenia z zaawansowaną likwidacją KS „Machów”. Niezmieniony został wodny (rekreacyjny) kierunek zagospodarowania wyrobiska i terenów przyległych (Gawlik, Turaj 2000). Najważniejszym zadaniem pozostaje wykonanie warstwy izolującej czwartorzędowy poziom wodonośny od trzeciorzędowego. Projekt zakłada wypełnienie dna wyrobiska uszczelniającym tworzywem iłowo-alkalicznym (emulgat iłowy z iłów krakowieckich i alkalicznych popiołów). Warstwa ta powinna wypełniać wyrobisko co najmniej do poziomu spągu iłów krakowieckich, czyli do około 115—120 m n.p.m. (rys. 5). Korzystne cechy takiego tworzywa są związane z właściwościami chemicznymi powodującymi wiązanie siarkowodoru oraz słabymi właściwościami filtracyjnymi utrudniającymi pionowy przepływ wód.

Zasadniczy element przeciwdziałający wymianie wód między poziomami wodonośnymi stanowić będzie warstwa izolacyjna wykonana z emulgatu iłowego. Końcowym etapem prac rekultywacyjnych będzie samoczynne napełnianie przygotowanego zbiornika wodami z poziomu czwartorzędowego do wysokości około 146 m n.p.m. (rys. 5) (Kania 2002).

3.2. Rekultywacja Kopalni Siarki „Machów”

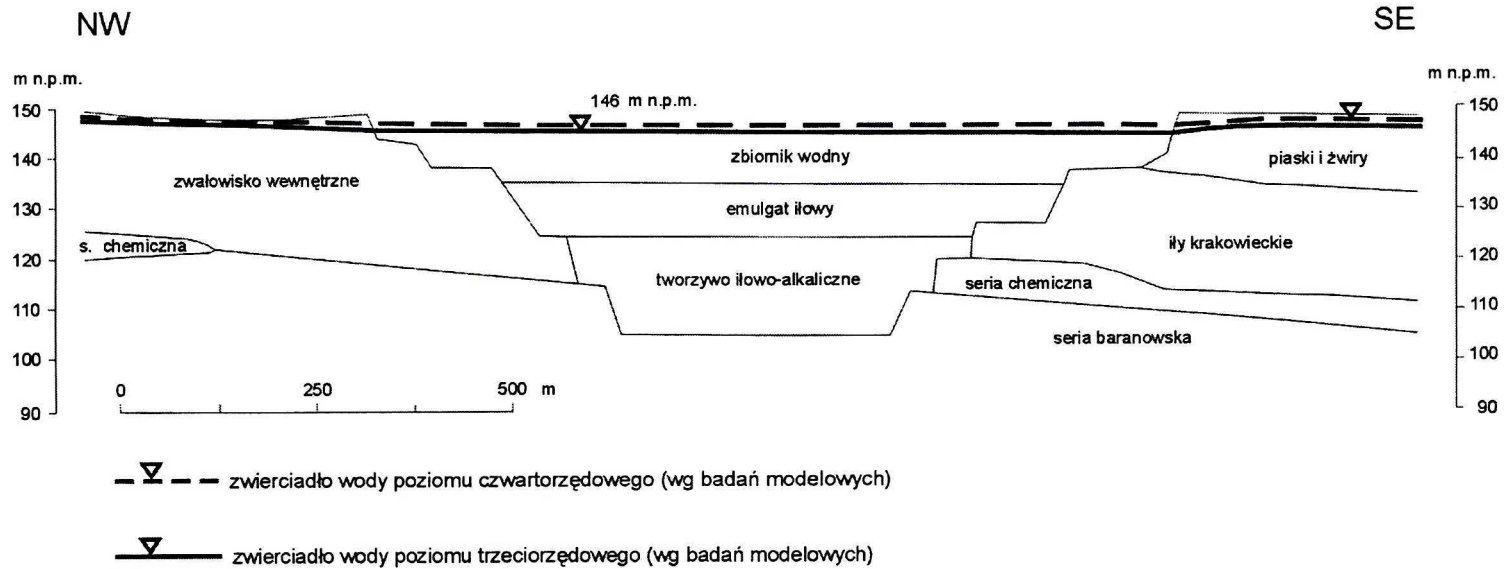
Prowadzona w latach 1969—1992 przez KS „Machów” eksploatacja złoża siarki metodą odkrywkową spowodowała utworzenie (Ferenc i in. 2000):

- zwałowiska wewnętrznego wraz z wyrobiskiem końcowym i obrzeżami o powierzchni 720 ha,
- zwałowiska zewnętrznego o powierzchni 880 ha i wysokości 60 m,
- osadników odpadów poflotacyjnych „Ocice” i „Cygany”,
- składowiska odpadów porafinacyjnych siarki tzw. „keku”,
- klarowników wód złożowych nr 1 i nr 2.

3.2.1. Wyrobisko końcowe i zwałowisko wewnętrzne

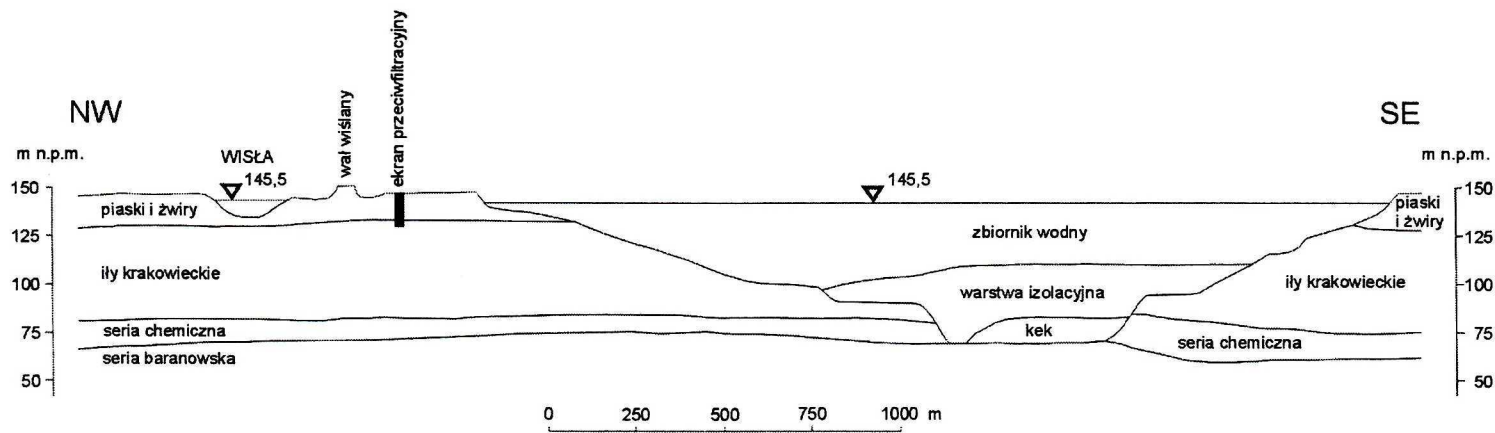
Dla wyrobiska końcowego ustalony został wodny kierunek rekultywacji o charakterze rekreacyjnym, a dla zwałowiska wewnętrznego i obrzeży wyrobiska (pas terenu około 20—30 m szerokości) ustalono leśny kierunek rekultywacji (Gawlik, Turaj 2000).

Pomimo zakończenia eksploatacji złoża, nie przzerwano odwadniania kopalni, zapewniając utrzymywanie zwierciadła wód poziomu trzeciorzędowego poniżej spągu wyrobiska, tj. na rzędnej około 75 m n.p.m. Zasadniczym celem prac likwidacyjnych, prowadzonych od marca 1994 r., jest wykonanie poziomej izolacji pomiędzy wodonośnym poziomem czwartorzędowym i trzeciorzędowym. Utworzenie nieprzepuszczalnej warstwy wynika z potrzeby eliminacji bezpośredniego kontaktu wód złożowych o dużej zawartości H_2S (ok. 300 mg/dm^3) z wodami powierzchniowymi przyszłego zbiornika rekreacyjnego. Skuteczną izolację ma zapewnić 25-metrowa warstwa iłów krakowieckich, pozyskiwanych głównie ze zwałowiska zewnętrznego (rys. 6). Równolegle do tych prac prowadzone jest profilowanie docelowe skarp wraz z obrzeżami. Ostatnim etapem prac rekultywacyjnych będzie napełnienie zbiornika wodą z Wisły do wysokości 145,5 m n.p.m. Końcowa, projektowana powierzchnia zbiornika wyniesie 450 ha (Kania 2002).



Rys. 5. Przewidywany stan wyrobiska poeksploatacyjnego w Piaseczno po zakończeniu prac likwidacyjnych (Kania 2002)

Fig. 5. Expected state of the post-exploitation excavation in Piaseczno after completion of liquidation works



Rys. 6. Przewidywany stan wyrobiska poeksploatacyjnego w Machowie po zakończeniu prac likwidacyjnych (Kania 2002)

Fig. 6. Expected state of the post-exploitation excavation in Machów after completion of liquidation works

3.2.2. Zwałowisko zewnętrzne

Utworki budujące zwałowisko to trzeciorzędowe iły krakowieckie oraz czwartorzędowe mady, piaski i żwiry. Stosunek ilów do utworów czwartorzędowych wynosi 9:1. W roku 1976 po zakończeniu eksploatacji i prac naukowo-badawczych zaproponowano rolno-leśny kierunek rekultywacji. Prace rekultywacyjne na skalę techniczną prowadzono w latach 1976—1988. W kierunku leśnym zagospodarowano 364 ha gruntów, a w kierunku rolnym 496 ha. Ponadto, wykonano drogi dojazdowe o długości 26,6 km, które połączone są z siecią dróg publicznych przebiegających w rejonie zwałowiska.

Na terenie zwałowiska zostały pozostawione lokalne obniżenia wypełnione wodą opadową. Powstało siedem malowniczo położonych jeziorzek o powierzchni od 0,1 ha do 3,5 ha o zróżnicowanej głębokości wynoszącej 1,5—14,0 m. Efekt ekologiczny został osiągnięty w postaci uzyskania z terenów całkowicie zdegradowanych ekologicznie 364 ha użytków leśnych oraz 496 ha użytków rolnych o uporządkowanej rzeźbie terenu, ze starannie uregulowanymi stosunkami wodnymi i siecią dróg dojazdowych do każdego fragmentu zwałowiska. Po kilku latach teren ten stał się ostoją zwierzyny łownej (sarny, zające, bażanty i kuropatwy). Można spodziewać się, że w przyszłości będzie to obiekt o charakterze rekreacyjno-użytkowym, tworzącym z przyszłym zbiornikiem wodnym powstałym po wyrobisku końcowym Kopalni Siarki „Machów” jedną całość (Ferenc i in. 2000).

3.2.3. Osadnik odpadów poflotacyjnych „Cygany”

W latach 1969—1993 zdeponowano na osadniku „Cygany” odpady poflotacyjne w ilości 33,25 mln Mg (masy suchej) powstałe w procesie produkcji siarki metodą flotacyjno-rafinacyjną. Osadnik jest budowlą nadpoziomową zajmującą łącznie powierzchnię 263,4 ha o wysokości 18,5 m n.p.t. W centralnej części osadnika znajduje się zbiornik wody o powierzchni 65 ha, a wokół osadnika ustanowiona jest strefa ochrony sanitarnej o szerokości 200—300 m.

Dla osadnika „Cygany” ustalony został wodno-zadrzewieniowo-rolny kierunek rekultywacji. Prace rozpoczęto w IV kwartale 1996 r., a głównym ich celem było ograniczenie pylenia z plaż otaczających zbiornik wodny. Po wykonaniu zabiegów agrotechnicznych posiano odpowiednio dobrane mieszanki traw oraz posadzono drzewa i krzewy. Końcowym efektem ekologicznym będzie przekształcenie terenu całkowicie zdegradowanego w duży kompleks terenów zielonych o powierzchni 264 ha ze zbiornikiem wodnym (Gawlik, Turaj 2000).

3.2.4. Teren po składowisku odpadów porafinacyjnych siarki, tzw. keku

Odpad porafinacyjny, tzw. kek, składowano na terenie osadnika „Ocice”. Całość zgromadzonych odpadów przetransportowano na dno odkrywki „Machów”. Pozostał teren o powierzchni 42,5 ha, zdegradowany chemicznie (silne zakwaszenie), o nieuporządkowanej rzeźbie terenu i nieuregulowanych stosunkach wodnych. Rekultywację rozpoczęto w 1999 r. Polegała ona na nawiezieniu humusu, wykonaniu zabiegów agrotechnicznych i obsianiu całego terenu odpowiednio dobranymi mieszankami traw. Końcowym efektem ekologicznym będzie uzyskanie 42,05 ha powierzchni biologicznie czynnej — łąk i terenów zadrzewionych (Ferenc i in. 2000).

3.2.5. Klarownik wód złożowych nr 1

Omawiany klarownik zajmuje powierzchnię 13 ha. Zgromadzono w nim około 450 tys. m³ osadu o właściwościach tiksotropowych. Osad zawiera około 60% SiO₂, 15—35% S, 3—12% CaO i 3—9% Fe₂O₃. W składzie ziarnowym udział frakcji poniżej 0,06 mm wynosi 33—98%. Cały teren jest silnie zakwaszony, zasolony i zawodniony bez pokrywy roślinnej, powodujący zasolenie i zakwaszenie wód gruntowych. Dla obszaru klarownika ustalono parkowo-łąkowy kierunek rekultywacji zadrzewieniami i zielenią niską o charakterze krajobrazowo-ochronnym. Końcowym efektem ekologicznym będzie uzyskanie 13 ha (łąka i zadrzewienia) terenu biologicznie czynnego (Gawlik, Turaj 2000).

3.3. Rekultywacja Kopalni Siarki „Jeziórko”

W połowie lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku na terenie złoża „Jeziórko” przyjęto rolny kierunek rekultywacji. Proces ten polegał na neutralizacji kwaśnego odczynu gleby na terenach poeksploatacyjnych z wykorzystaniem odpadów poflotacyjnych z KS „Machów”. Zagłębienia terenu powstałe w wyniku osiadań wypełniane były nawet kilkumetrowej miąższości warstwą wapna poflotacyjnego. Taki przebieg rekultywacji zapobiegał równocześnie konieczności budowy nowego zbiornika odpadów poflotacyjnych, po wypełnieniu istniejącego osadnika „Cygany”. W związku z zaniechaniem wydobycia w KS „Machów” i zaprzestaniem wytwarzania wapna poflotacyjnego, a także małym zainteresowaniem rolników do wykorzystywania odtworzonych użytków rolnych, opracowano projekt mieszanego kierunku rekultywacji (tab. 1).

TABELA 1

Kierunki rekultywacji w KS „Jeziórko” (Informacja... 1999)

TABLE 1

Methods of land reclamation in „Jeziórko” Mine

Kierunek zagospodarowania	Ilość ha	% powierzchni
Leśny	935,5	68
Wodny	169,0	12
Łąkowy	141,0	10
Rolny	134,5	10
Razem	1 380,0	100

W zależności od stopnia degradacji stosuje się odpowiednie metody rekultywacji technicznej:

- neutralizacja skażeń — prowadzona jest na terenach, na których nie zostały naruszone stosunki wodne, a teren nadaje się do przyrodniczego użytkowania,
- blokada skażeń — obejmuje tereny, gdzie wyklucza się skuteczność neutralizacji lub gdzie produkty skażeń mogą pogarszać właściwości chemiczne warstw sąsiednich,

— izolacja — obejmuje tereny o całkowicie zniszczonych glebach oraz obszary, na których występują zalewiska i silnie zawodnione gleby,

— regulacja stosunków wodnych — wynikiem tego procesu jest ukształtowanie dna zalewisk, ich linii brzegowej wraz z budową odpowiednich zabezpieczeń, budową rowów odprowadzających wodę do utworzonych zbiorników,

— porządkowanie rzeźby — obejmuje tereny, na których wystąpiły przekształcenia o charakterze geomechanicznym w celu przywrócenia rzeźby terenu umożliwiającej dalsze procesy rekultywacji.

Przeprowadzenie tego typu rekultywacji umożliwi prowadzenie dalszych prac o charakterze przyrodniczym:

— nawożenie mineralne i organiczne dostosowane zarówno do właściwości utworów, jak i wymagań wprowadzanej roślinności,

— wprowadzanie roślinności dostosowanej do właściwości podłoża i funkcji jaką będzie spełniać.

W 1992 roku powołano Przedsiębiorstwo Rekultywacji Terenów Górniczych „Jeziórko”, a rekultywację terenów zdegradowanych otworową eksploatacją siarki na terenie złoża na skalę przemysłową rozpoczęto realizować w 1993 r.

3.4. Rekultywacja Kopalni Siarki „Grzybów”

Powierzchnia terenów poprzemysłowych o zróżnicowanym stopniu degradacji w wyłączonoj z eksploatacji kopalni otworowej „Grzybów” wynosi około 800 ha. Część tych terenów w latach dziewięćdziesiątych poddawana była zabiegom wapnowania. Obecnie obszary te wykorzystywane są rolniczo i nie wymagają żadnych prac rekultywacyjnych. Na pozostałych terenach, o wyższym stopniu degradacji (pola eksploatacyjne i przyległe strefy, tereny po likwidacji zabudowy przemysłowej), przyjęto leśny kierunek rekultywacji. Zabiegi te wykonywane są na powierzchni około 550 ha.

Technologię rekultywacji zdegradowanych terenów w nieczynnej KS „Grzybów” oparto na trzech fazach:

— faza techniczna — obejmuje likwidację otworów eksploatacyjnych i instalacji z nimi związanych, likwidację obiektów budowlanych, usunięcie z powierzchni terenu odpadów (siarka, ziemia zanieczyszczona siarką), demontaż dróg, roboty ziemne, wykonanie rowów melioracyjnych, wapnowanie zakwaszonych gleb,

— faza biologiczna — obejmuje ponowne wapnowanie gleb, roboty agrotechniczne, nawożenie gleby, wysiew roślin,

— faza zagospodarowania terenu — obejmuje nasadzenie drzew i ich pielęgnację.

Niektóre pola eksploatacyjne wykazują tak dużą dewastację i degradację chemiczną, że wyklucza to docelowe rolnicze zagospodarowanie tych terenów. Szacuje się, że na terenie KS „Grzybów” znajdowało się do 100 tys. m³ zanieczyszczeń (głównie brudnej siarki i wysoko zasiarzonej ziemi) przeznaczonych do rekultywacji (Stachowicz, Zardzewiały 2000).

3.5. Rekultywacja Kopalni Siarki „Basznia”

W Kopalni Siarki „Basznia”, trudny z technologicznego punktu widzenia proces rekultywacji dodatkowo komplikuje sytuacja formalnoprawna kopalni. Eksploatację złoża siarki w KS „Basznia” metodą podziemnego wytopu rozpoczęto w 1977 r. Jako przedsiębiorstwo państwowe kopalnia funkcjonowała do 1990 roku. W latach 1990—1993 eksploatację złoża prowadziła Spółka z o. o. „Sulphurquest of Poland”.

Użytkownik kopalni po zakończeniu wydobycia siarki w 1993 roku, porzucił obiekty zaplecza technicznego i urządzenia usytuowane na polu eksploatacyjnym, nie przeprowadzając fizycznej likwidacji zarówno otworów technologicznych w liczbie 110 sztuk, jak i usunięcia pozostałości siarki z terenu składowiska zlokalizowanego przy obiektach kopalni. Nie wykonał także rekultywacji pola górniczego, nie dopełnił obowiązku likwidacji i zabezpieczeń ujęcia wód powierzchniowych na rzece Smolince oraz ujęcia wód podziemnych i pozostawił bez konserwacji urządzenia odwadniające pole eksploatacyjne.

W związku z powyższymi faktami Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Rzeszowie rozpoczął wzmożony nadzór nad oddziaływaniem na środowisko porzuconej KS „Basznia”. Wykonane zostały ekspertyzy oceniające istniejący stan kopalni oraz identyfikujące stan zagrożenia dla środowiska naturalnego (Ekspertyza... 1998). Wykazały one m.in., że istnieje prawdopodobieństwo samoistnego wypływu wód złożowych zawierających siarkowodór z nieszczelnych instalacji eksploatacyjnych. Od roku 2001 na bieżąco likwidowane są wszelkie wycieki i sączenia z otworów oraz prowadzi się wymianę skorodowanych i uszkodzonych instalacji przy otworach eksploatacyjnych. Na przestrzeni lat 2001—2002 usuwano wielokrotnie takie usterki i awarie. Opracowano również program rekultywacji KS „Basznia”, według którego jest ona obecnie prowadzona. Jej zakończenie (pod warunkiem zabezpieczenia środków finansowych) planowane jest na koniec 2006 roku. W roku 2002 usunięto z terenu składowiska zwałowiska zanieczyszczonej siarki. Siarkę wywieziono do wyrobiska w KS „Machów”. W ramach wykorzystania powrotnych kursów samochodowych do Baszni przywożono wapno poflotacyjne, które zdeponowano na terenie kopalni. Wapno to zostanie zastosowane przy rekultywacji gruntów pogórnich zanieczyszczonych siarką.

Wnioski

Eksploatacja siarki wywołuje szereg przekształceń środowiska przyrodniczego o trudnym do ustalenia zasięgu. Przekształcenia te mogą ujawniać się z bardzo zróżnicowanym natężeniem. Ostateczne skutki eksploatacji są uzależnione od lokalnych właściwości środowiska oraz jego wrażliwości na dany czynnik degradujący i mogą ujawniać się nawet po długim czasie od zakończenia działalności górniczej. Rekultywacja terenów poeksploatacyjnych w górnictwie otworowym siarki jest zatem zadaniem trudnym i złożonym.

W latach 1992—2003 zlikwidowano otworową kopalnię siarki „Machów II”, w końcowej fazie likwidacji jest otworowa kopalnia „Grzybów”, zaawansowane są prace likwidacyjne w odkrywkowej kopalni „Machów” oraz zachodniej części kopalni „Jeziórko”. Prowadzone są prace rekultywacyjne terenów pogórnich tych kopalń. Nie podjęto dotąd prac rekulty-

wacyjnych wyrobiska pogórniczego kopalni odkrywkowej „Piaseczno”, natomiast w kopalni otworowej „Basznia” prace te są w początkowej fazie.

Nie zlikwidowana Kopalnia Siarki „Basznia” stanowi zagrożenie dla środowiska. Obecny stan składowisk siarki i pola eksploatacyjnego powoduje długotrwałe pogorszenie stanu środowiska w postaci skażenia powietrza (niezorganizowana emisja pyłów i siarkowodoru), gleb i wód związkami siarki. Potencjalnym źródłem nadzwyczajnego zagrożenia środowiska są nieodpowiednio zabezpieczone otwory eksploatacyjne mogące powodować niekontrolowany wpływ wód złożowych zawierających siarkowodór.

Likwidacja kopalń odbywa się w trudnej sytuacji ekonomicznej przedsiębiorstw wydobywczych, wywołując konflikty społeczne. Jest skomplikowanym przedsięwzięciem ze względu na kumulację i duży zakres prac oraz zagrożenia ekologiczne, jakie wystąpiłyby w przypadku niezabezpieczenia wyrobisk i terenów poeksploatacyjnych.

LITERATURA

- Bilans zasobów kopalni i wód podziemnych w Polsce według stanu na 31.XII.2001. Red. S. Przeniosło. Warszawa, Wyd. PIG, 2002.
- Bolewski A., Budka J., Galos K., Kamyk J., Lewicka E., Porębska A., Prorok E., Smakowski T., 1995 — Bilans gospodarki surowcami mineralnymi w Polsce na tle gospodarki światowej 1993. Kraków, Zakład Polityki Surowcowej i Energetycznej CPPGSMiE PAN.
- Bolewski A., Budka J., Galos K., Kamyk J., Lisowska E., Prorok E., Smakowski T., 1992 — Bilans gospodarki surowcami mineralnymi w Polsce na tle gospodarki światowej. Kraków, Zakład Polityki Surowcowej i Energetycznej CPPGSMiE PAN.
- Budowa geologiczna Polski. T. VI — Złoża surowców mineralnych. Red. R. Osika. Warszawa, Wyd. Geologiczne, 1987.
- Burkowicz A., Galos K., Kamyk J., Lewicka E., Smakowski T., Szluga J., 2002 — Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata 1996—2001. Kraków, Pracownia Polityki Surowcowej IGSMiE PAN.
- Ekspertyza dla Kopalni Siarki „Basznia”. Red. J. Kirejczyk. Tarnobrzeg, OBR PS „Siarkopol”, 1998.
- Ferenc K., Drwiła M., Turaj A., 2000 — Rekultywacja terenów w likwidowanej kopalni siarki Machów. Mat. konf. SITG nt. „Doświadczenia z likwidacji zakładów górniczych”, Baranów Sandomierski.
- Frankiewicz A., Kopeć J., Puka K., 1993 — Wstępna ocena możliwości zagospodarowania wyrobiska kopalni Piaseczno w świetle decyzji o likwidacji kopalni Machów. Mat. konf. OBR PS „Siarkopol” nt. „Górnictwo siarki a ekologia”, Tarnobrzeg.
- Freiwald P., Patorski R., Kukla P., 2002 — Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Sieniawka (987). Warszawa, CAG.
- Gawlik B., Turaj A., 2000 — Aktualny stan prac likwidacyjnych, problemy przy likwidacji wyrobisk „Machów” i „Piaseczno”, rekultywacja i zagospodarowanie terenów pogórnicznych. Mat. konf. OBR PS „Siarkopol”, nt. „Rekultywacja i zagospodarowanie terenów zdegradowanych działalnością górniczą i przemysłową”, Tarnobrzeg.
- Gołda T., 1995 — Rekultywacja. [W:] Paulo A. (red.), Ochrona środowiska przyrodniczego i zasobów mineralnych. Kraków, CPPGSMiE PAN.
- Informacja o wynikach kontroli ochrony środowiska w przemyśle siarkowym z uwzględnieniem rekultywacji i zagospodarowania terenów pogórnicznych. Najwyższa Izba Kontroli, Departament Ochrony Środowiska i Budownictwa, Warszawa 1999.
- Kania J., 2002 — Wpływ likwidacji kopalń odkrywkowych siarki na zmiany stosunków wodnych w ich otoczeniu. Biuletyn PIG t. 403, Hydrogeologia z. III, s. 5—59.
- Kita B., 2002 — Problemy restrukturyzacji przemysłów wydobywczych na przykładzie górnictwa siarki. Mat. XII konf. z cyklu „Aktualia i perspektywy gospodarki surowcami mineralnymi”, Kraków, IGSMiE PAN.

- Oddziaływanie Przemysłu Siarkowego na środowisko przyrodnicze województwa tarnobrzeskiego. Red. J. Dziewański. Kraków, CPGSMiE PAN, 1988.
- Pawłowski S., Pawłowska K., Kubica B., 1983 — Miocenijskie złoża siarki. Rola nauki w odkryciu i udokumentowaniu złóż siarki oraz wkład kadry badawczo-inżyniersko-technicznej w ich zagospodarowanie na przestrzeni lat 1953—1983. Tarnobrzeg.
- Stachowicz R., Zardzewiały M., 2000 — Zagrożenia ekologiczne a rekultywacja terenów w kopalni otworowej siarki „Grzybów”. Mat. konf. SITG nt. „Doświadczenia z likwidacji zakładów górniczych”, Baranów Sandomierski.
- Surowce mineralne Polski. Surowce chemiczne — siarka. Red. R. Ney. Kraków, IGSMiE PAN, 2000.
- Szmyd S., 1993 — Środowisko naturalne po eksploatacji siarki metodą otworową. Mat. konf. OBR PS „Siarkopol” nt. „Górnictwo siarki a ekologia”, Tarnobrzeg.
- Warzybok W., 2000 — Rekultywacja na terenach poeksploatacyjnych Kopalni Siarki „Jeziórko”. Mat. konf. OBR PS „Siarkopol” nt. „Rekultywacja i zagospodarowanie terenów zdegradowanych działalnością górniczą i przemysłową”, Tarnobrzeg.
- Wilk Z., Adamczyk A., Nałęczki T., 1990 — Wpływ działalności górnictwa na środowisko wodne w Polsce. Centralny Program Badań Podstawowych 04.10. Warszawa, Wydawnictwo SGGW-AR.

PIOTR FREIWALD, JAROSŁAW SZLUGAJ

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF SULFUR MINING LIQUIDATION IN POLAND

Key words

Native sulfur deposits, mines liquidation, land reclamation, water-bearing horizons, pollution

Abstract

The paper presents outline of development of elemental sulfur production in Poland in the period of 1970—2002 regarding the international markets condition. The description of potential reasons of sulfur mining decline has been given. Environmental impact assessment of sulfur mining has been given as well as present state of mines liquidation and land reclamation of post-mining areas.