

Była Kopalnia Siarki w Baszni k/Lubaczowa jest jedyną kopalnią po stronie polskiej na terenie dużego jak na warunki europejskie zagłębia siarkowego. Główna siarkonośna część terenu znajduje się poza granicą kraju i stanowi ukraińskie złożo Niemirów. Po stronie sąsiadów jest ono intensywnie eksploatowane przy wykorzystaniu tradycyjnych kopalni odkrywkowych jak też wydobywających siarkę metodą wytopu podziemnego. Zakład wydobywczy w Baszni powstał w latach siedemdziesiątych, pełniąc rolę kopalni doświadczalnej. Prowadzono w nim badania nad specjalnymi technikami i technologiami eksploatacji siarki w trudnych warunkach hydrogeologicznych. Po zakończeniu badań w roku 1990 kopalnia została sprywatyzowana. W roku 1993 w związku z niejasnościami dotyczącymi praw do własności kopalni wydobywcie zostało wbrew sztuce górniczej natychmiast zatrzymane, bez koniecznego okresu jego wygaszania.

Efektom bezpośredniego oddziaływania wydobywanej i magazynowanej siarki było stworzenie na górniczym polu wydobywczym i wokół magazynów, sięgającej ok. 25% powierzchni kopalni (6,5 ha) strefy pozbawionej całkowicie życia biologicznego. W obrębie kopalni na terenach oddalonych od urządzeń górniczych i magazynów oddziaływanie siarki odbywało się głównie pośrednio poprzez przemieszczanie się jej drobin na niewielką odległość. Od natężenia tego zjawiska zależało występowanie stref życia biologicznego. W efekcie na terenie kopalni występowały gleby mniej zniszczone, na których stwierdzono płaty roślinności pionierskiej dostosowanej do trudnych warunków życia. Główną rośliną tworzącą gęste skupiska był trzcinnik piaskowy (*Calamagrostis epigeios*).

Celem niniejszej pracy było określenie wpływu istnienia i działalności kopalni siarki na warunki środowiska glebowego zarówno na terenie samej kopalni, jak i najbliższych jej terenów użytkowanych rolniczo.

METODY

Badania terenów byłej Kopalni Siarki w Baszni k. Lubaczowa oraz przyległej okolicy przeprowadzono w roku 2001. Badania polegały na pobraniu do analiz materiału glebowego z wybranych punktów badawczych. Usytuowano je w dwóch sektorach. Pierwszym sektorem był teren kopalni – wydobywcze pole górnicze w obrębie zakładu, gdzie stwierdzono bezpośrednie oddziaływanie wydobywania siarki na środowisko glebowe. Wybór miejsca usytuowania punktów badawczych uzależniony był od stanu zniszczenia gleby. Wydzielono tereny pozbawione roślinności oraz miejsca, gdzie występowała roślinność pionierska o niewielkiej wartości gospodarczej. Drugim sektorem badań były grunty orne –

poła uprawne indywidualnych rolników. W tym przypadku wybrano intensywnie użytkowane rolniczo pole, bezpośrednio graniczące z kopalnią. Kolejne z wybranych pól cechowało się niską kulturą rolną i znajdowało się ok. 2 km od granic kopalni. Oddzielone było od bezpośredniego wpływu kopalni 40-60 letnim lasem.

W każdym punkcie badawczym pobrano próby gleby bez zachowania struktury z warstw 0–20 cm jako z poziomu wierzchniego oraz z głębokości 20–40 cm jako warstwy podornej. W warunkach laboratoryjnych wykonano podstawowe analizy gleboznawcze ogólnie przyjętymi metodami: skład granulometryczny – metodą Cassagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego; (pH w H₂O i w 1 mol dm⁻³ KCl) – potencjometrycznie; zawartość węgla organicznego ogółem – metodą Tiurina w modyfikacji Simakowa, na tej podstawie obliczono zapas substancji organicznej; kwasowość hydrolityczną Hh metodą Kappena w roztworze octanu sodu (1 mol dm⁻³ CH₃ COONa); zawartość siarki ogólnej oraz siarki siarczanej w glebie metodą nefelometryczną

WYNIKI

Wyniki badań pozwalają stwierdzić, iż dwudziestoletnie górnictwo wykorzystanie terenów przez kopalnię przy bezpośrednim oddziaływaniu siarki na glebę spowodowało zmiany nawet w trwałej właściwości gleby, za jaką uznaje się skład granulometryczny (tab. 1). Kopalnia usytuowana była na terenie Roztocza, w części gdzie dominują gleby pyłowe. Typowy dla tych gleb skład granulometryczny potwierdzają wyniki uzyskane dla gleb niepoddanych bezpośrednio oddziaływaniu siarki. Natomiast w glebie z pola wydobywczego poddanej bezpośrednio oddziaływaniu siarki i silnie zmineralizowanych wód dołowych stwierdzono silne „spiaszczenie” utworów glebowych. Występowało ono nie tylko w warstwie powierzchniowej, ale również podornej. Należy przypuszczać, że zaobserwowane zjawisko spowodowane zostało różną budową chemiczną analizowanych frakcji granulometrycznych i znacznie mniejszą odpornością pyłu na destrukcyjne działanie czynnika chemicznego.

Zróżnicowana była w glebach masa substancji organicznej jak też obliczony na jej podstawie zapas materii organicznej. O ile zasobność w próchnicę gleb wytworzonych z pyłów wykorzystywanych jako pola uprawne można uznać za typową, to ilość materii organicznej w glebie z pola wydobywczego była niewielka. Ograniczenie ilości substancji organicznej dotyczyło nie tylko poziomów wierzchnich, ale także podornych. W glebie z pola wydobywczego zniszczone zostało 50–75% masy organicznej w stosunku do ilości występującej w glebach użytkowanych rolniczo. W poziomie podornym zapas substancji or-

Tabela 1. Skład granulometryczny, zawartość C org. oraz zapas substancji organicznej
 Table 1. Granulometric composition, contents of C organic in general and organic substance reserves

Miejsce badań Place of study		Głębokość poziomu Depth cm	Skład granulometryczny Granulometric composition				C %	Zapas substancji organicznej Organic substance reserves Mg/ha
			% udział frakcji o średnicy, mm % of fraction diameter, mm					
			1-0,1	0,1-0,02	<0,02	<0,002		
Teren Kopalni Mine area	pole wydobywcze bez roślin mining field without plants	0-20	62	26	12	1	0,56	16,8
		20-40	61	16	23	4	0,36	10,8
	pole wydobywcze z roślinnością mining field with plants	0-20	52	42	6	3	0,70	21,0
		20-40	63	23	14	1	0,41	12,3
Teren poza kopalnią Surrounding areas	pole orne w sąsiedztwie kopalni arable field surrounding the mine	0-20	27	50	23	3	1,37	38,1
		20-40	34	45	21	5	0,58	17,4
	pole orne 2 km od kopalni za lasem arable field 2 km from the mine, behind a forest	0-20	25	51	24	3	1,12	33,6
		20-40	26	52	22	4	0,50	15,0

ganicznej był również o 50% niższy niż w analogicznych poziomach gleb uprawnych. Zmniejszenie ilości substancji organicznej związane było z działaniem w środowisku glebowym siarki elementarnej oraz wód dołowych. Potwierdzeniem tego poglądu były wyniki analiz gleby pochodzącej z kopalni, wystawionej tylko na pośrednie działanie destrukcyjnych czynników pochodzenia górniczego. Zarówno skład granulometryczny, jak też zawartość i zapas substancji organicznej zbliżone były do stwierdzonych w glebach uprawnych.

Z literatury [Motowicka-Terelak, Dudka 1991; Motowicka-Terelak, Terelak 1998] wynika, że siarka rodzima, podobnie jak dwutlenek siarki jest w środowisku glebowym źródłem powstawania agresywnego kwasu siarkowego. Badane gleby poddano zatem analizie na zawartość w nich siarki ogólnej (S) oraz siarczanowej (S-SO₄). Siarka siarczanowa stanowi podstawowe źródło z jednej strony kwasu siarkowego w glebie, z drugiej zaś siarki niezbędnej dla roślin i drobnoustrojów. Należy przy tym uwzględnić, że niewielki udział siarczanów w glebie z nadmiarem zaspokaja potrzeby organizmów roślinnych i zwierzęcych. Wyniki badań ilości i form siarki w badanych glebach zebrano w tabeli 2.

Tabela 2. Zawartość i zapas siarki ogólnej (S) oraz siarki siarczanowej (S-SO₄) w badanych glebach
 Table 2. Content and reserve of sulphur total (S) and sulphate (S-SO₄) in the soils

Miejsce badań Place of study		Głębokość poziomu Depth cm	S ogólna S total		S-SO ₄	
			g kg	Mg ha	g kg	Mg ha
Teren kopalni Mine area	pole wydobywcze bez roślin mining field without plants	0-20	15,62	46,8	1,93	5,7
		20-40	12,80	-	1,05	-
	pole wydobywcze z roślinnością mining field with plants	0-20	5,80	17,4	0,68	2,0
		20-40	2,42	-	0,18	-7
Teren poza kopalnią Surround- ing areas	pole orne w sąsiedztwie kopalni arable field surrounding the mine	0-20	4,60	13,8	0,36	1,0
		20-40	1,60	-	0,18	-
	pole orne 2 km od kopalni za lasem arable field 2 km from the mine, behind a forest	0-20	4,80	14,4	0,40	1,2
		20-40	1,80	-	0,15	-

Zestawione wyniki badań (tab. 2) w odniesieniu do siarki ogólnej i siarki siarczanowej potwierdzają ich znaczną ilość w analizowanych glebach. Co do skali granicznych zawartości siarki w powierzchniowych warstwach gleby zarówno w formie (S), jak też (S-SO₄) we wszystkich badanych przypadkach zaznacza się jej nadmierna zawartość na skutek antropopresji.

Glebę z pola wydobywczego, gdzie w 20 cm warstwie powierzchniowej stwierdzono blisko 47 Mg/ha siarki, należy uważać za teren zdewastowany i skażony jej nadmiarem. Przywrócenie biologicznej sprawności gleby wymaga odpowiednich zabiegów rekultywacyjnych. Sprawdzone przez specjalistyczne Przedsiębiorstwo Rekultywacji Terenów Górniczych „Jeziorko” sposobem rekultywacji tak zniszczonych gleb jest mechaniczne zebranie i usunięcie wierzchniej warstwy [Warzybok 2000; Jońca 2000].

W warstwie podornej gleby z pola wydobywczego występowała również znaczna ilość siarki. Jest to efekt długotrwałego jej oddziaływania oraz łatwej penetracji w głąb profilu. W poziomie podornym gleby z pola górniczego stwierdzono zapas siarki rzędu 38 Mg/ha. Pozwala to wnioskować, że 20-letnia eksploatacja górnicza spowodowała zniszczenie środowiska glebowego również w głębszych warstwach profilu. W tym przypadku zalecane byłoby zastosowanie blokady skażenia poprzez przykrycie odsłoniętej warstwy gleby 10–20 cm warstwą wapna poflotacyjnego i intensywne wymieszanie z naturalnym materiałem glebowym.

W pozostałych powierzchniowych warstwach gleb nie stwierdzono obecności siarki w ilości nieprzekraczającej 1% jej masy (30 Mg/ha). W związku z tym zgodnie z technologią stosowaną przez PRTG „Jeziorko” powinno się na tych terenach prowadzić jedynie neutralizację skażeń. Prowadzić ją można metodą i środkami przyjętymi w rolniczym wapnowaniu gleb, opierając się na obliczo-

nych dawkach uzależnionych od aktualnego odczynu gleby i proponowanej formy nawozu wapniowego [Martyn i in. 2001]. Należy przy tym podkreślić, że obok siarki ogólnej (S) badane gleby wykazywały znaczny udział siarki siarczanowej (S-SO₄). Jej obecność znacznie przekraczała potrzeby roślin, obliczone według norm nawożenia na 30–40 kg/rok.

Jednym z podstawowych działań zmierzających do rekultywacji terenów zniszczonych przez górnictwo siarkowe jest uzyskanie poprawy stanu środowiska glebowego przez trwałą likwidację bardzo kwaśnego odczynu. Bezpośrednia poprawa wynika z wapnowania gleb, a trwały jej efekt uzyskuje się dopiero poprzez zwiększenie w glebie substancji organicznej. Odczyn gleb jak też wielkości ewentualnych dawek potrzebnych do uzyskania jego optymalnych wartości dla uprawy roślin rolniczych zestawiono w tabeli 3.

W praktyce występują poważne trudności z rozdzieleniem naturalnych i antropogenicznych efektów zakwaszania gleb. Za Urlichem [1980] można przyjąć, że naturalne zakwaszanie wywołują w glebach słabe kwasy – głównie węglowy

Tabela 3. Odczyn badanych gleb oraz kwasowość hydrolityczna i dawki wapna
Table 3. Soil reaction, hydrolytic acidity, and calcium dosage

Miejsce badań Place of study		Głębokość Depth cm	pH		Hh	Dawki Dosage	
			H ₂ O	KCl	cmol(+) kg	CaO Mg ha	CaCO ₃ Mg ha
Teren kopalni Mine area	pole wydobywcze bez roślin mining field without plants	0–20	2,8	2,3	18	15,3*	27,0*
		20–40	3,4	3,6			
	pole wydobywcze z roślinnością mining field with plants	0–20	4,6	3,9	5	4,2	7,5
		20–40	5,5	4,3			
Teren poza kopalnią Surrounding areas	pole orne w sąsiedztwie kopalni arable field surrounding the mine	0–20	6,1	5,0	2	1,7	3,0
		20–40	5,7	4,8			
	pole orne 2 km od kopalni za lasem arable field 2 km from the mine, behind a forest	0–20	5,3	4,6	4	3,4	6,0
		20–40	5,7	4,6			

*Zgodnie z technologią rekultywacji gleb zasiarzonych według PRTG w Jeziorku istnieje konieczność mechanicznego zebrania i usunięcia 20 cm warstwy gleby

*According to soil reclamation technology there is a need to remove a 20 cm layer of soil mechanically

oraz różne kwasy organiczne. Przyjmuje się że mogą one powodować obniżenie odczynu gleby do wartości $\text{pH}_{\text{KCl}} > 5,0$. Natomiast występowanie w glebie z przyczyn antropogenicznych silnych kwasów, np. H_2SO_4 , powoduje obniżenie odczynu poniżej $\text{pH}_{\text{KCl}} 5,0$.

Jak już wcześniej stwierdzono, warstwa powierzchniowa jak też podorna w glebie z pola wydobywczego wykazywały zdecydowanie niskie, nienaturalne wartości pH. Wskazywały one na zniszczenie środowiska biologicznego. Potwierdziło się to w praktyce brakiem na tym terenie jakiegokolwiek roślinności. Z technicznego punktu widzenia obniżenie w środowisku glebowym $\text{pH}_{\text{KCl}} 2,8$ oznacza konieczność przeprowadzenia zabiegu odtworzenia gleby. Na fakt ten zwrócono uwagę wcześniej przy ocenie nadmiaru siarki i przedstawiono praktyczne możliwości rekultywacji środowiska. Stąd też obliczone dawki wapna zarówno w formie CaO, jak też CaCO_3 dla zneutralizowania istniejącego odczynu w warstwie powierzchniowej należy uznać za teoretyczne.

Pogorszenie jakości życia biologicznego stwierdzono jedynie w glebie pochodzącej z terenu kopalni gdzie występowało na nią pośrednie oddziaływanie siarki i wód dołowych. W warstwie powierzchniowej nastąpiło obniżenie odczynu gleby (do $\text{pH}_{\text{KCl}} 3,9$). Istnieje techniczna możliwość wprowadzenia do tej gleby dawek nawozu wapniowego (wapna poflotacyjnego) rzędu 7,5 Mg/ha CaCO_3 i stworzenia optymalnych warunków dla życia roślin. Można to uczynić na drodze blokady skażenia.

Pośrednie oddziaływanie siarki na glebę było na tyle silne i długotrwałe, że spowodowało obniżenie odczynu również w warstwie podornej do $\text{pH}_{\text{KCl}} 3,6$. Jest to wartość znacznie poniżej odczynu w analogicznych poziomach gleb uprawianych rolniczo.

Odczyn w poziomach powierzchniowych gleb uprawnych rzędu $\text{pH}_{\text{KCl}} 4,6-5,0$ wskazuje na to, że zaznaczył się w nich negatywny wpływ wydobywania i magazynowania siarki. Stwierdzony niski odczyn gleb użytkowanych rolniczo wiąże się z pośrednim oddziaływaniem kopalni na otaczające środowisko. Główną jego przyczyną było roznoszenie po okolicy pyłu siarkowego przez wiatr i opady.

Stosunkowo wysoki odczyn w glebie uprawnej znajdującej się w najbliższym sąsiedztwie kopalni był wynikiem stosowania właściwej agrotechniki i utrzymania pola w wysokiej kulturze. Grunty orne pozostające w niskiej kulturze rolniczej, przy niewielkim nawożeniu organicznym i braku wapnowania wykazywały, niski odczyn, zbliżony do niepublikowanych w niniejszej pracy wyników z analizy środowiska glebowego ugorów i nieużytków występujących w gminie. Należy przy tym podkreślić, iż wyniki badań warstw podornych potwierdzają wnioski z literatury, że zwiększone oddziaływanie siarki, obserwowane w poziomach wierzchnich gleb i obniżanie w nich odczynu ma podobne konsekwencje w odniesieniu do głębszych warstw w profilu glebowym.

WNIOSKI

1. Jak wskazują wyniki przedstawione w niniejszej pracy, wydobywanie siarki nawet proekologicznymi metodami, tj. wytopem w górotworze, ma negatywny wpływ na stan środowiska naturalnego terenów w kopalni oraz w jej otoczeniu.

2. Najbardziej wyraźne pogorszenie właściwości środowiska glebowego zaobserwowano w przypadku bezpośredniego oddziaływania na niego siarki i wód podziemnych. Czynniki te trafiają do gleby w wyniku erupcji z górniczej infrastruktury wydobywczej i transportowej. Brak jakiegokolwiek roślinności na tym terenie świadczy o zupełnym zniszczeniu życia biologicznego w glebie.

3. Obok oddziaływania bezpośredniego kopalnia, a głównie magazynowany urobek w postaci pyłu siarkowego oddziaływał na bliższą i dalszą okolicę poprzez roznoszenie przez wiatr i opady. Oddziaływanie pośrednie pyłu siarkowego potwierdzone zostało obniżeniem odczynu gleb użytkowanych rolniczo.

4. Negatywne oddziaływanie siarki w glebie uprawnej, wyrażające się obniżeniem pH, może być przynajmniej częściowo rekompensowane prawidłową agrotechniką. Sprowadza się ona do racjonalnego nawożenia gleb nawozami organicznymi oraz wapnowania odpowiednią formą oraz dawkami nawozów wapniowych. Przy braku właściwej agrotechniki gleby uprawne cechuje się, podobnie jak i ugory występujące w tej gminie, nadmiarem siarki oraz niskim pH.

5. Działanie kopalni siarki oraz brak zabezpieczenia przez osiem lat pyłu siarkowego zmagazynowanego w hałdach spowodowały zwiększoną w okolicznych glebach ilość siarki w formie ogólnej i siarczanowej. Nie sprzyja to użytkowaniu z takich terenów wysokich, a jednocześnie jakościowo dobrych plonów roślin uprawnych. Zwiększony udział siarki w środowisku naturalnym może również negatywnie oddziaływać na warunki balneologiczne w sanatorium w Horyńcu-Zdroju.

PIŚMIENNICTWO

- Jońca M. 2000. Zastosowanie osadów ściekowych w rekultywacji gruntów Kopalni Siarki „Jeziórko”. *Inż. Ekol.* 1, 27–30.
- Martyn W., Baran S., Onuch-Amborska J. 2001. Projekt techniczny rekultywacji terenów byłej Kopalni Siarki „Basznia”. Zamość. INR Maszynopis.
- Motowicka-Terelak T., Dudka S. 1991. Degradacja chemiczna gleb zanieczyszczonych siarką i jej wpływ na rośliny uprawne. *Wyd. IUNG Puławy R (284)*, 1–95.
- Motowicka-Terelak T., Terelak H. 1998. Siarka w glebach Polski-stan i zagrożenie. *Bibl. Monit. Środ.*, Warszawa, 1–105.
- Ulrich B., Mayer R., Khanna P.K. 1980. Chemical changes due to acid precipitation in a loess derived soil in central Europe. *Europ. Soil Sci.* 130, 193–199.
- Warzybok W. 2000. Rekultywacja terenów górniczych Kopalni Siarki „Jeziórko”. *Inż. Ekol.* 1, 23–26.