

DZIAŁANIE NASTĘPCZE SYMULOWANEJ IMISJI SIARKI ORAZ WAPNOWANIA NA BILANS SIARKI W GLEBIE

Jacek Kiepuł

Stacja Doświadczalna w Jelczu-Laskowicach
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach

Wstęp

Emisja związków siarki w Polsce wzrastała dynamicznie od końca lat sześćdziesiątych i w roku 1985 przekraczała już 6,0 mln t SO_2 [MOTOWICKA-TERELAK, DUDKA 1991]. Głównym odbiorcą emitowanej do atmosfery siarki jest gleba; na powierzchnię 1 ha w 1985 r. przypadało średnio od około 100 do blisko 200 kg SO_2 . W rzeczywistości przestrzenne zróżnicowanie opadu wahało się od około kilkudziesięciu kilogramów w rejonie północno-wschodnim do nawet 1000 kg·ha⁻¹·rok⁻¹ SO_2 w południowo-zachodniej i zachodniej części kraju [MOTOWICKA-TERELAK, DUDKA 1991]. Nadmierna emisja związków siarki wywołuje zmiany właściwości fizyko-chemicznych, chemicznych i biologicznych gleby. W efekcie tego następuje proces degradacji środowiska glebowego. Do typowych objawów tego negatywnego procesu zalicza się m.in. zwiększenie ilości przesączów glebowych, zawartości w nich siarki siarczanowej oraz wzrost wymycia siarki z gleb [SIUTA, REJMAN-CZAJKOWSKA 1980; KIEPUŁ 1991, 1998; MOTOWICKA-TERELAK 1993].

W ostatnich latach widoczny jest wyraźny spadek emisji SO_2 do atmosfery [Rocznik Statystyczny 1997]. Będzie ona systematycznie ograniczana także i w przyszłości [Założenia polityki energetycznej ... 1995; SOWIŃSKI 1996]. Jednakże coraz częściej twierdzi się, że procesy degradacji środowiska glebowego wywołane imisją związków siarki nie kończą się po zaprzestaniu dopływu polutanta do gleby [STIGLIANI 1988; MOTOWICKA-TERELAK 1993; KIEPUŁ 1994; MOTOWICKA-TERELAK, TERELAK 1994].

Celem niniejszych badań było poznanie oddziaływania następczego symulowanej imisji siarki oraz wapnowania na wymycie siarki i jej bilans w glebie.

Materiały i metodyka

Podstawę badań stanowiły wybrane obiekty z doświadczenia lizymetrycznego prowadzonego w latach 1978–1983. Lizymetry o powierzchni 0,5 m² i głąbo-

kości 1 m były napełnione glebą brunatną wytworzoną z piasku gliniastego pylastego na piasku słabogliniastym, zachowując zbliżony do naturalnego układ profilu. W latach 1978–1983 (I etap badań) na tych obiektach stosowano corocznie siarkę i wapnowano według następującego schematu: 1. S=0, Ca=0; 2. S=0, Ca – wg 0,5 Hh; 3. S=150 kg·ha⁻¹, Ca=0; 4. S=300 kg·ha⁻¹, Ca=0; 5. S=600 kg·ha⁻¹, Ca=0; 6. S=600 kg·ha⁻¹, Ca – wg 0,5 Hh; 7. S=600 kg·ha⁻¹, Ca – wg 1,0 Hh. Siarkę wprowadzano do gleby w postaci wodnego roztworu kwasu siarkowego dwukrotnie w roku (po 0,5 dawki). Pełne wyniki tych badań (I etap), łącznie ze stopniem degradacji gleby w poszczególnych obiektach, przedstawiono we wcześniejszej pracy [KIEPUŁ 1991].

Dalsze badania prowadzono w latach 1984–1986 (II etap) z wyeliminowaniem emisji siarki. W pierwszej kolejności zdegradowaną glebę poddano rekultywacji. Zgodnie z danymi literaturowymi [SIUTA, REJMAN-CZAJKOWSKA 1980; MOTO-WICKA-TERELAK, TERELAK 1995; KACZOR 1996] polegała ona przede wszystkim na doprowadzeniu odczynu testowanej gleby, za pomocą intensywnego wapnowania, do stanu wyjściowego. Natomiast w przypadku obiektów wapnowanych w poprzednich latach, profilaktycznie zastosowano uzupełniające nawożenie magnezem. Zabiegi te przeprowadzono w trakcie badań dwukrotnie; jesienią 1983 r. stosowano wapno magnezowo-węglanowe (obiekty 1, 3, 4, 5 i 6) i siarczan magnezu (obiekty 2 i 7), a pod koniec 1984 r. węglan wapnia (obiekty 1, 3, 4, 5 i 6). W efekcie odczyn gleb doprowadzono do stanu pierwotnego, zlikwidowano toksyczne zawartości glinu ruchomego oraz podniesiono wyraźnie ich zasobność w przyswajalne formy fosforu, potasu i magnezu. W doświadczeniu uprawiano: w 1984 r. kukurydzę, w 1985 r. gorczycę i w 1986 r. pszenżyto. W okresach posusznych rośliny podlewano interwencyjnie wodą. W 1984 r. zastosowano łącznie ilość wody odpowiadającą 90 mm, a w 1985 r. 20 mm opadu. Próbkę przesączów glebowych pobierano do analiz w odstępach miesięcznych lub nawet częściej, w miarę napełniania się 17-litrowych odbieralników. Zawartość siarczanów w próbkach przesączów oraz siarki ogólnej w próbkach roślin oznaczono metodą nefelometryczną, przy czym materiał roślinny mineralizowano na sucho z węglanem sodu [KIEPUŁ 1991]. Doświadczenie prowadzono w 3 powtórzeniach. Inne szczegóły metodyczne oraz część wyników uzyskanych w tym doświadczeniu (II etap) podano we wcześniejszej pracy [KIEPUŁ 1994].

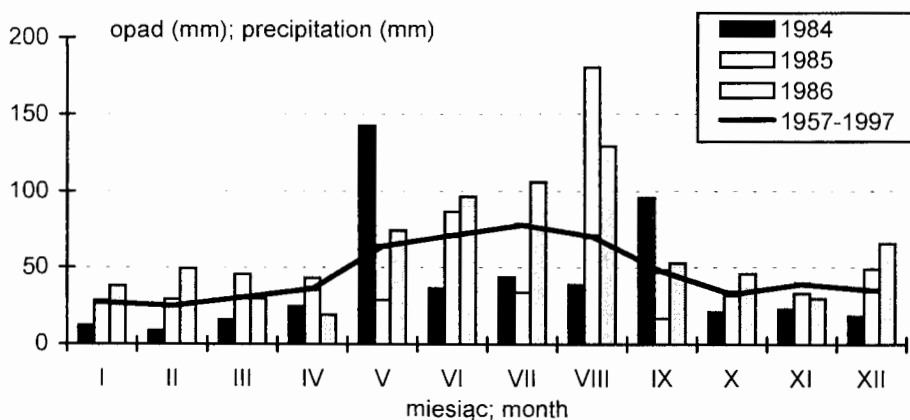
Wyniki i dyskusja

W latach prowadzenia badań opady atmosferyczne były dość zróżnicowane (rys. 1).

Wpłynęło to decydująco na ilość przesączy glebowych uzyskanych w poszczególnych latach. Najmniej przesączy zebrano bowiem w pierwszym roku badań – najsuchszym, a największe ich ilości w trzecim, gdy opady były jednocześnie najobfitsze (tab. 1). We wszystkich trzech latach odciek wód z lizymetrów był największy w okresie dużych opadów deszczu występujących tradycyjnie wiosną i latem. Natomiast jesienią i zimą przesącza odnotowywano sporadycznie i w bardzo małych ilościach.

Stężenia siarki siarczanowej w przesączach glebowych mieściły się w szerokich zakresach i zależały w znacznym stopniu od ilości przesączy uzyskanych w poszczególnych latach (tab. 1). W każdym przypadku maksymalne stężenia stwier-

dziano bowiem w pierwszym roku badań, gdy przesączy było jednocześnie najmniej, a minimalne w trzecim, gdy odciek wód z lizymetrów był największy. Biorąc pod uwagę objętość uzyskanych przesączy glebowych i stężenia w nich siarki siarczanowej, obliczono dla poszczególnych obiektów straty siarki wskutek wymycia (tab. 2). Jak widać, były one w latach prowadzenia badań bardzo zbliżone, szczególnie z lizymetrów w których stosowano w I etapie badań ten składnik.



Rys. 1. Sumy miesięczne opadów atmosferycznych w Jelczu-Laskowicach w latach 1984–1986. Suma roczna za 1984 r.=499,9 mm, 1985 r.=607,2 mm, 1986 r.=696,3 mm, średnia wieloletnia (1957–1997)=557,9 mm

Fig. 1. Monthly sums of rainfalls for 1984–1986 at Jelcz-Laskowice. Annual sum in 1984=499,9 mm, 1985=607,2 mm, 1986=696,3 mm, many years' mean (1957–1997)=557,9 mm

Tabela 1; Table 1

Wpływ następczy symulowanej imisji siarki i wapnowania na ilość przesączów glebowych (w l na lizymetr) i stężenie S-SO₄ (mg·dm⁻³)

The after-effect of simulated sulphur immission and liming on the amounts of soil leakages (in l per lysimeter) and S-SO₄ concentration (mg·dm⁻³)

Obiekt Treatment	Ilość przesączy; Amount of leakage				Średnie stęż. S-SO ₄ Mean conc. of S-SO ₄	Zakres wahań Range of fluctuations
	1984	1985	1986	Razem Total		
1	15	29	48	92	141	54–270
2	12	31	48	91	140	52–278
3	18	35	53	99	255	122–406
4	19	37	57	113	266	190–398
5	32	55	67	154	322	200–543
6	26	28	64	136	348	196–607
7	24	41	59	124	368	221–710

Tabela 2; Table 2

Wpływ następczy symulowanej emisji siarki i wapnowania na wymycie siarki (S) z gleby (w g na lizymetr)

The after-effect of simulated sulphur immission and liming on leaching of sulphur (S) from the soil (in g per lysimeter)

Obiekt Treatment	Wymycie; Leaching			
	1984	1985	1986	Razem; Total
1	1,25	1,45	1,63	4,33
2	1,01	1,48	1,76	4,25
3	2,07	3,10	3,25	8,42
4	2,47	3,58	3,99	10,04
5	5,01	6,60	5,24	16,85
6	4,77	5,98	5,01	15,76
7	5,20	5,47	4,54	15,21

W miarę wzrostu stosowanych w poprzednim etapie badań dawek siarki zwiększała się bardzo wyraźnie ilość uzyskiwanych przesączy, stężenie w nich siarki siarczanowej oraz wymycie składnika z gleby. Według literatury świadczyć to może o trwającym w dalszym ciągu procesie degradacji testowanej gleby [SIUTA, REJMAN-CZAJKOWSKA 1980; KIEPUŁ 1991; MOTOWICKA-TERELAK, DUDKA 1991; MOTOWICKA-TERELAK 1993]. Natomiast wapnowanie, co stwierdzono już w latach ubiegłych [KIEPUŁ 1991; 1998], także i po zaprzestaniu stosowania siarki w II etapie badań nie przeciwdziało negatywnym skutkom tego procesu. Należy jednak zaznaczyć, że również według innych badań skuteczność wapnowania gleb narażonych na emisję związków siarki jest dyskusyjna [SIUTA, REJMAN-CZAJKOWSKA 1980; KIEPUŁ 1991; MOTOWICKA-TERELAK, TERELAK 1995]. Uważa się przy tym, że o skuteczności tego zabiegu decyduje wiele czynników naturalnych i antropogenicznych, z których nie wszystkie są w pełni rozpoznane [SIUTA, REJMAN-CZAJKOWSKA 1980; MOTOWICKA-TERELAK, TERELAK 1995]. Uzyskane wyniki potwierdzają więc stwierdzenia innych autorów, że proces degradacji gleb zachodzący na skutek nadmiernej emisji związków siarki nie kończy się wraz z odcięciem dopływu polutanta do gleby [STIGLIANI 1988; MOTOWICKA-TERELAK 1993; MOTOWICKA-TERELAK, TERELAK 1994; KACZOR 1996].

Bilans siarki dla poszczególnych obiektów zestawiono w tabeli 3. Głównym źródłem przychodu siarki był jej dopływ do gleby wraz z opadami atmosferycznymi. Znacznie mniejsze ilości tego składnika dostawały się do gleby z nawożeniem mineralnym. Na ubytek składało się pobranie siarki przez rośliny oraz jej straty z gleby w procesie wymywania. Pobranie siarki z plonem było na poszczególnych obiektach bardzo wyrównane. Spadek pobrania na obiekcie 5 wynikał przede wszystkim ze słabszego plonowania roślin, co było skutkiem bardzo silnego zdegradowania gleby w I etapie badań [KIEPUŁ 1991, 1994]. Biorąc pod uwagę ilości siarki wniesione do gleby i jej ubytki, obliczono różnice bilansowe za trzyletni okres badań. Za wyjątkiem obiektów 2 i 7, bilans siarki był zdecydowanie ujemny i stawał się bardziej niekorzystny wraz ze wzrostem stosowanych dawek składnika w I etapie badań. Wynikało to głównie z intensywniejszego wyplukiwania siarki z tych obiektów. W lizymetrach do których wprowadzono siarkę wraz z nawożeniem magnezowym, bilans był dodatni (obiekt 2) lub bliski zrównoważonego (obiekt 7).

Tabela 3; Table 3

Bilans siarki (S) w glebie zanieczyszczonej tym składnikiem dla okresu od 1984 r. do 1986 r. i różnice bilansowe dla okresu od 1978 r. do 1986 r. (w g na lizymetr)

Balance of sulphur (S) in the soil contaminated with this element in the period 1984–1986 and balance differences for the period 1978–1986 (in g per lysimeter)

Składniki bilansu Balance components	Obiekty; Treatments						
	1	2	3	4	5	6	7
1. Przychód ¹⁾ ; Inflow ¹⁾	6,06	12,71	6,06	6,06	6,06	6,06	19,36
2. Ubytek, Outflow – z plonem; with crops – wymycie; leaching	4,16 4,33	4,29 4,25	4,19 8,42	4,03 10,04	3,27 16,85	4,26 15,76	4,73 15,21
Razem ubytek Total outflow	8,49	8,54	12,61	14,07	20,12	20,02	19,94
Różnica; Difference (1–2)	–2,43	+4,17	–6,55	–8,01	–14,06	–13,96	–0,58
Różnica; Difference 1978–1986	–10,55	–4,00	+17,96	+49,62	+105,20	+103,10	+113,30
Wymycie ²⁾ ; Leaching ²⁾	–	–	23	18	20	19	19

¹⁾ Przychód; Inflow: a) w nawozach – 1,50 g; in fertilizers – 1.50 g
b) w opadach atmosferycznych – 4,56 g; in precipitations – 4.56 g
c) z MgSO₄ – obiekt 2=6,65 g, obiekt 7=13,30 g; with MgSO₄ – treatment 2=6,65 g, treatment 7=13,30 g

²⁾ Wymycie S stosowanej w trakcie doświadczenia (w %)= $[\text{wymycie S (obiekty zasilane)} - \text{wymycie (kontrola)}] / \text{ilość S zastosowanej w doświadczeniu} \times 100\%$; Leaching S added (in %)= $[\text{S leaching (treatment with S supply)} - \text{S leaching (treatment without S)}] / \text{amount of S added} \times 100\%$

Zestawiając bilans siarki za okres 1984–1986 z bilansem za lata poprzednie [KIEPUL 1998], obliczono różnicę bilansową od początku trwania doświadczenia, tj. od 1978 r. Z porównania tych danych wynika, że w ostatnich trzech latach omawianego okresu pogłębił się w obiekcie 1 (kontrola bez siarki) ujemny bilans składnika. W tym samym czasie w obiektach w których stosowano siarkę zmalała nieco dodatnia różnica bilansowa. Podobnie jak w poprzedniej pracy [KIEPUL 1998] obliczono wielkość akumulacji w glebie i roślinie tej części siarki, która została wprowadzona wraz z symulowanym kwaśnym deszczem. Okazało się, że w ciągu 9 lat tylko około 20% zastosowanej siarki zostało wymyte z przesączami i to niezależnie do obiektu. Ponieważ jednocześnie nie stwierdzono pobrania jej przez rośliny należy przyjąć, że pozostała część, czyli około 80% uległa akumulacji w glebie. Dane te wskazują na ogromne możliwości akumulacji siarki pochodzącej ze źródeł antropogenicznych w środowisku glebowym. Jednocześnie potwierdzają tezę STIGLIANIEGO [1988], że kontynuacja procesu degradacji gleb po ograniczeniu nadmiernej emisji SO₂ jest efektem silnego zanieczyszczenia gleby siarką.

Wnioski

1. Negatywny wpływ nadmiernej imisji siarki na glebę nie kończy się wraz z wyeliminowaniem dalszego dopływu składnika.

2. Ujemne skutki następczego oddziaływania emisji siarki na glebę polegały na proporcjonalnym do wielkości stosowanych uprzednio dawek siarki: zwiększeniu ilości przesącza lizymetrycznych, wzroście stężenia w nich siarki siarczanowej oraz wzroście strat składnika w procesie wymywania.
3. Bilans siarki wynikał z ilości składnika wprowadzanego do gleby w trakcie I etapu badań. W obiektach, w których stosowano siarkę, był on ujemny i ulegał pogorszeniu w miarę wzrostu dawek składnika.
4. Około 80% zastosowanej w trakcie badań siarki uległo akumulacji w glebie. Widoczny jest wyraźny proces pogłębiania się akumulacji siarki wraz ze wzrostem dawek składnika.
5. Wapnowanie gleby zanieczyszczonej siarką nie przeciwdziałało negatywnym skutkom następczego oddziaływania polutanta na glebę.

Literatura

KACZOR A. 1996. *Działanie następcze symulowanych kwaśnych opadów i dolomitu na plonowanie kupkówki pospolitej oraz na zawartość w glebie przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu.* Roczn. Gleb. 47(3/4): 223–229.

KIEPUŁ J. 1991. *Oddziaływanie siarki w formie kwasu siarkowego na plonowanie roślin i właściwości gleb.* IUNG Puławy, R(289): 1–112.

KIEPUŁ J. 1994. *Wpływ wapnowania na plonowanie roślin i właściwości gleby o różnicowanym poziomie degradacji siarką (badania modelowe).* Fragmenta Agronomica 1(41): 45–51.

KIEPUŁ J. 1998. *Bilans siarki w glebie pod wpływem symulowanej emisji i wapnowania (badania lizymetryczne).* Fragmenta Agronomica 2(58): 45–52.

MOTOWICKA-TERELAK T., DUDKA S. 1991. *Degradacja chemiczna gleb zanieczyszczonych siarką i jej wpływ na rośliny uprawne.* IUNG Puławy, R(284): 1–95.

MOTOWICKA-TERELAK T. 1993. *Badania modelowe nad mechanizmem i skutkami degradacji gleb zanieczyszczonych związkami siarki. II. Działanie następcze zasiarczenia gleby gliniastej.* Pam. Puł. 102: 15–28.

MOTOWICKA-TERELAK T., TERELAK H. 1994. *Residual effect of acid rain on the soil.* Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 413: 235–240.

MOTOWICKA-TERELAK T., TERELAK H. 1995. *Potrzeby i skuteczność wapnowania gleb zasiarczonych.* Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 418: 665–669.

Rocznik statystyczny 1997. GUS Warszawa.

SIUTA J., REJMAN-CZAJKOWSKA M. (red.). 1980. *Siarka w biosferze.* PWRiL Warszawa: 393 ss.

SOWIŃSKI J. 1996. *II protokół siarkowy a modernizacja proekologiczna w elektrowniach.* Mat. III Konf. „Rynek energii elektrycznej – REE 96”. Nałęczów, 18–20.IX.1996: 73–80.

STIGLIANI M. W. 1988. *Changes in valued capacities of soil and sediments as indicators of nonlinear and limelayed environmental effects.* Environmental Monitoring and Assessment 10: 245–307.

Założenia polityki energetycznej Polski do 2010 r. 1995. MPiH, Warszawa: 85 ss.

Słowa kluczowe: gleba brunatna, badania lizymetryczne, siarka, wapnowanie

Streszczenie

Trzyletnie badania lizymetryczne prowadzono w wybranych obiektach z glebą brunatną, które wcześniej przez 6 lat były poddane symulowanej imisji siarki w formie kwasu siarkowego.

Stwierdzono negatywny następczy wpływ symulowanej imisji siarki na ilość uzyskiwanych przesączy glebowych, stężenie w nich $S-SO_4$ i straty siarki z gleby w procesie wymywania. Wpływ ten zwiększał się w miarę wzrostu symulowanej imisji siarki. Obliczono, że około 80% zastosowanej w doświadczeniu siarki uległo akumulacji w glebie. Wapnowanie nie miało większego wpływu na bilans siarki i jej akumulację w glebie.

THE AFTER-EFFECT OF SIMULATED SULPHUR IMMISSION AND LIMING ON THE BALANCE OF SULPHUR IN SOIL

Jacek Kiepuł

Institute of Soil Science and Plant Cultivation, Puławy,
Experimental Station in Jelcz-Laskowice

Key words: brown soil, lysimeter studies, sulphur, liming

Summary

In a three-year lysimetric experiment selected treatments of brown soil, which previously had been contaminated with simulated sulphur falls (applied as sulphuric acid) for 6 years, were studied.

The studies revealed the negative after-effect of simulated sulphur falls on the amount of soil leakages, $S-SO_4$ concentration in leakages and sulphur leaching from contaminated soil. These residual effects of sulphur contamination on soil increased with an increasing sulphur immission. It was calculated that about 80% sulphur supplied within the period of experiment was accumulated in the soil. Liming did not clearly influence the balance of sulphur and its accumulation in soil.

Dr inż. Jacek **Kiepuł**
Stacja Doświadczalna w Jelczu-Laskowicach
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa
ul. Łąkowa 1
55-230 JELCZ-LASKOWICE