

Wpłynęło 01.10.2014 r.
Zrecenzowano 25.11.2014 r.
Zaakceptowano 02.12.2014 r.
A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

ZAWARTOŚĆ SIARKI W GLEBACH UŻYTKÓW ZIELONYCH W POLSCE W LATACH 2009–2011

Stefan PIETRZAK^{ABCDEF}

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Zakład Jakości Wody

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki oceny zawartości siarki ogólnej (S_{og}) i siarczanowej ($S-SO_4$) w wierzchniej 30-centymetrowej warstwie gleb użytków zielonych w Polsce w okresie wiosennym i jesiennym w latach 2009–2011. Do jej przygotowania wykorzystano wyniki monitoringu gleby i wody na terenach zajmowanych przez użytki zielone, prowadzonego przez Krajową Stację Chemiczno-Rolniczą (KSChR) i podlegające jej stacje okręgowe, we współpracy z Instytutem Technologiczno-Przyrodniczym (ITP) w Falentach.

Stwierdzono m.in., że: 1) średnia zawartość siarki ogólnej i siarczanowej w mineralnych glebach użytków zielonych w Polsce, w zależności od pory roku, kształtuje się na poziomie odpowiednio $391,4\text{--}395,0\text{ mg } S_{og}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ s.m.}$ i $13,6\text{--}18,1\text{ mg } S-SO_4\cdot\text{kg}^{-1}\text{ s.m.}$, a w glebach organiczno-mineralnych i organicznych: $1522,4\text{--}1607,7\text{ mg } S_{og}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ s.m.}$ i $43,3\text{--}45,6\text{ mg } S-SO_4\cdot\text{kg}^{-1}\text{ s.m.}$; 2) w poszczególnych województwach zawartość siarki ogólnej i siarki siarczanowej w mineralnych glebach użytków zielonych jest zróżnicowana i wynosi odpowiednio od $303,5$ do $497,9\text{ mg } S_{og}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ s.m.}$ i od $4,3$ do $30,0\text{ mg } S-SO_4\cdot\text{kg}^{-1}\text{ s.m.}$ (wartości uśrednione dla okresów wiosennych i jesiennych); 3) w przeważającej części gleb użytków zielonych zawartość siarki ogólnej i siarczanowej kształtuje się na poziomie naturalnym; 4) w przybliżeniu w około 60% mineralnych gleb użytków zielonych zawartość siarki siarczanowej jest bardzo niska i niska.

Słowa kluczowe: *gleby użytków zielonych, kategorie agronomiczne, monitoring, zawartość siarki*

WSTĘP

Siarka jest niezbędnym składnikiem odżywczym roślin, zaliczana jest do makroelementów, a pod względem znaczenia plasuje się zaraz po azocie, fosforze i potasie [JESCHKE, DIEDRICK 2010; SZULC i in. 2004a, za Syers i in. 1987]. Od kil-

kunastu lat w glebach wielu obszarów rolniczych na całym świecie składnik ten występuje w niedoborze i zjawisko to pogłębia się [BARCZAK 2010]. W glebach niektórych rejonów Polski również występuje niedostatek siarki i jej ujemny bilans w uprawach głównych gatunków roślin [PODLEŚNA 2013]. Za przyczyny ubożenia w siarkę gleb użytkowanych rolniczo uważa się przede wszystkim zmniejszenie depozycji atmosferycznej tego pierwiastka, a ponadto intensyfikację produkcji roślinnej, stosowanie skoncentrowanych nawozów mineralnych (pozbawionych siarki), ograniczenie stosowania nawozów naturalnych, zmniejszenie zużycia pestycydów zawierających siarkę oraz jej starty w wyniku wymywania z gleb. Uważa się, że deficyt siarki w produkcji roślinnej stał się jednym z ważniejszych problemów współczesnego rolnictwa [KACZOR, ZUZAŃSKA 2009].

Niedobór siarki jest coraz bardziej powszechny również w glebach użytków zielonych na świecie [BREYMEYER, VAN DYNE 2012; MUIR i in. 2008], zwłaszcza w warunkach ich nawożenia dużymi dawkami azotu [DEFRA 2010]. Niedostatek siarki w glebach użytków zielonych ogranicza wzrost traw, produkcję białka i zmniejsza efektywność wykorzystania azotu, co zwiększa ryzyko wymywania azotanów [BROWN i in. 2000; MATHOT i in. 2008 za Murphy, O'Donnell 1989]. Wynika z tego, że uzasadnione jest prowadzenie kontroli zasobności w siarkę gleb pod użytkami zielonymi, w celu prowadzenia dostosowanego do potrzeb pokarmowych traw nawożenia tym składnikiem.

Celem pracy było rozpoznanie stanu i dynamiki sezonowych zmian zawartości siarki w wierzchniej warstwie gleb pod użytkami zielonymi w Polsce.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Do oceny wykorzystano dane dotyczące zawartości siarki w glebach użytków zielonych, uzyskane w ramach monitoringu gleby i wody prowadzonego przez Krajową Stację Chemiczno-Rolniczą (KSChR) i okręgowe stacje chemiczno-rolnicze, we współpracy z Instytutem Technologiczno-Przyrodniczym [PIETRZAK 2012a,b; 2014]. Badania prowadzono w latach 2009–2011. Próbkę gleb do badań pobierano z poziomu 0–30 cm, z 317–326 (w zależności od roku) stałych punktów monitoringowych, wyznaczonych na użytkach zielonych na terenie wszystkich województw (tab. 1).

Próbki pobierano dwukrotnie w ciągu roku: wczesną wiosną, przed zastosowaniem nawozów azotowych (tj. przed lub bezpośrednio po rozpoczęciu wegetacji) i jesienią – po zbiorze roślin. W próbkach oznaczano:

- skład granulometryczny (gleb mineralnych) – metodą dyfrakcji laserowej;
- zawartość siarki ogólnej, po uprzednim spiekaniu gleby z azotanem magnezu – metodą nefelometryczną;
- zawartość siarki siarczanowej, po ekstrakcji roztworem octanu amonu z kwasem octowym – metodą nefelometryczną.

Tabela 1. Liczba punktów monitoringowych na użytkach zielonych w poszczególnych województwach**Table 1.** The number of monitoring sites in grasslands of particular provinces

Województwo Province	Liczba punktów monitoringowych The number of monitoring sites		
	2009	2010	2011
Dolnośląskie	12	12	13
Kujawsko-pomorskie	24	24	24
Lubelskie	24	36	24
Lubuskie	10	10	10
Łódzkie	22	23	24
Małopolskie	22	23	23
Mazowieckie	58	56	58
Opolskie	10	9	10
Podkarpackie	16	16	16
Podlaskie	14	13	14
Pomorskie	10	11	12
Śląskie	10	10	10
Świętokrzyskie	36	35	35
Warmińsko-mazurskie	17	17	17
Wielkopolskie	21	21	21
Zachodniopomorskie	11	10	11
Razem Total	317	326	322

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych KSChR.

Source: own elaboration based on data from the National Chemical-Agricultural Station.

Pobieranie próbek glebowych, ich badania laboratoryjne (we własnych akredytowanych laboratoriach) oraz agronomiczne skategoryzowanie przeprowadzono w okręgowych stacjach chemiczno-rolniczych. Wyniki oznaczeń zgromadzono w bazie danych prowadzonej przez KSChR.

Uzyskane z wymienionej bazy dane dotyczące zawartości siarki ogólnej i siarczanowej w glebach opracowano statystycznie, obliczając średnie arytmetyczne i współczynniki zmienności ich wartości. Analizę statystyczną wyników przeprowadzono z uwzględnieniem okresu pobrania próbek gleby oraz rodzaju gleb.

WYNIKI BADAŃ

W latach 2009–2011 średnia roczna zawartość siarki ogólnej w wierzchniej 30-centymetrowej warstwie mineralnych gleb użytków zielonych Polski traktowanych łącznie wynosiła się od ok. 336 do ok. 445 mg·kg⁻¹ s.m. (średnio w całym okresie badań – 395,0 mg·kg⁻¹ s.m.) w okresach wiosennych i od ok. 372 do ponad

419 mg·kg⁻¹ s.m. (średnio w całym okresie badań – 391,4 mg·kg⁻¹ s.m.) w okresach jesiennych. W glebach mineralno-organicznych i organicznych zawartość siarki ogólnej w wymienionych okresach była większa odpowiednio o 3,5–4,7 razy (średnio w całym okresie – 4,1 razy) i 3,8–4,1 razy (średnio w całym okresie badań – 3,9 razy) (tab. 2). Nie stwierdzono jednoznacznych tendencji kształtowania się zawartości S_{og} w zależności od kategorii agronomicznej gleb mineralnych. Nie stwierdzono również występowania takiej tendencji zmian zawartości S_{og} między okresem wiosennym i jesiennym.

Tabela 2. Statystyki opisowe zawartości siarki ogólnej S_{og} w glebach użytków zielonych w Polsce w warstwie 0–30 cm w latach 2009–2011

Table 2. Descriptive statistics of sulphur concentration in 0–30 cm soil layer in Polish grassland in the years 2009–2011

Rodzaj gleby Type of soil	Wiosna Spring			Jesień Autumn		
	<i>n</i>	\bar{x} mg S·kg ⁻¹	<i>CV</i> %	<i>n</i>	\bar{x} mg S·kg ⁻¹	<i>CV</i> %
1	2	3	4	5	6	7
2009						
Gleby mineralne razem Mineral soils in total	282	335,8	90,2	240	372,1	85,3
Gleby bardzo lekkie Very light soils	79	357,8	106,3	59	418,2	89,2
Gleby lekkie Light soils	89	357,0	94,8	74	386,1	98,2
Gleby średnie Medium soils	79	288,1	49,6	72	313,4	59,4
Gleby ciężkie Heavy soils	35	340,0	81,1	35	385,7	72,3
Gleby mineralno-organiczne i organiczne Mineral-organic and organic soils	35	1 329,0	58,7	34	1 508,2	72,4
2010						
Gleby mineralne razem Mineral soils in total	288	403,2	108,3	238	381,8	82,9
Gleby bardzo lekkie Very light soils	79	421,4	105,1	61	356,4	71,8
Gleby lekkie Light soils	93	384,2	87,3	75	433,7	84,4
Gleby średnie Medium soils	82	405,6	144,0	71	343,5	95,7
Gleby ciężkie Heavy soils	34	406,9	49,9	31	393,8	65,6
Gleby mineralno-organiczne i organiczne Mineral-organic and organic soils	38	1 895,3	52,8	35	1 437,8	60,7
2011						
Gleby mineralne razem Mineral soils in total	287	444,8	178,4	246	419,4	119,3
Gleby bardzo lekkie Very light soils	78	456,4	143,5	59	433,4	168,8
Gleby lekkie Light soils	92	375,4	131,9	77	503,7	113,3
Gleby średnie Medium soils	82	532,3	229,9	75	323,1	54,4
Gleby ciężkie Heavy soils	35	396,5	66,4	35	417,0	58,9
Gleby mineralno-organiczne i organiczne Mineral-organic and organic soils	35	1 574,1	65,3	35	1 620,9	74,6

cd. tab. 2

1	2	3	4	5	6	7
2009–2011						
Gleby mineralne razem Mineral soils in total	857	395,0	140,2	724	391,4	99,4
Gleby bardzo lekkie Very light soils	236	411,7	122,7	179	402,1	122,5
Gleby lekkie Light soils	274	372,4	106,3	226	442,0	101,9
Gleby średnie Medium soils	243	410,2	193,8	218	326,5	73,0
Gleby ciężkie Heavy soils	104	380,9	65,4	101	399,1	64,9
Gleby mineralno-organiczne i organiczne Mineral-organic and organic soils	108	1 607,7	60,0	104	1 522,4	69,6

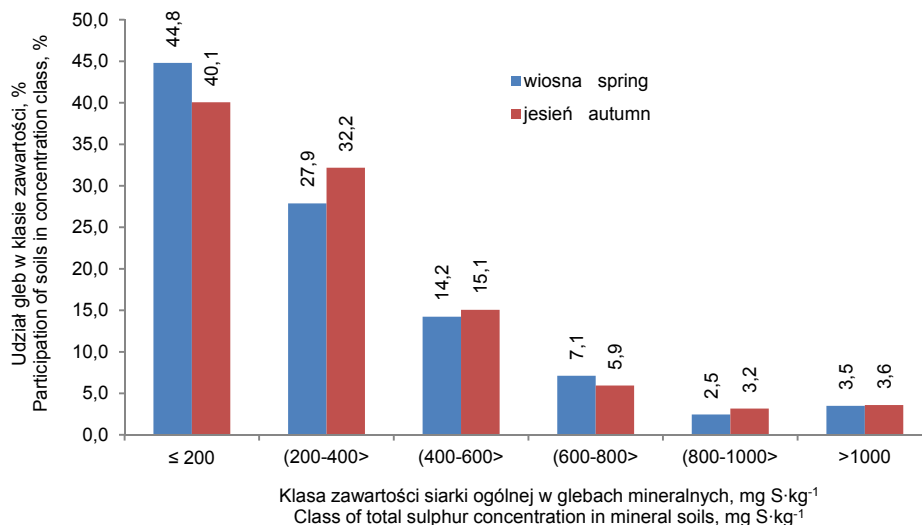
Objaśnienia: n – liczba próbek, \bar{x} – średnia arytmetyczna, CV – współczynnik zmienności.

Explanations: n – the number of samples, \bar{x} – arithmetic mean, CV – variability coefficient.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych KSChR.

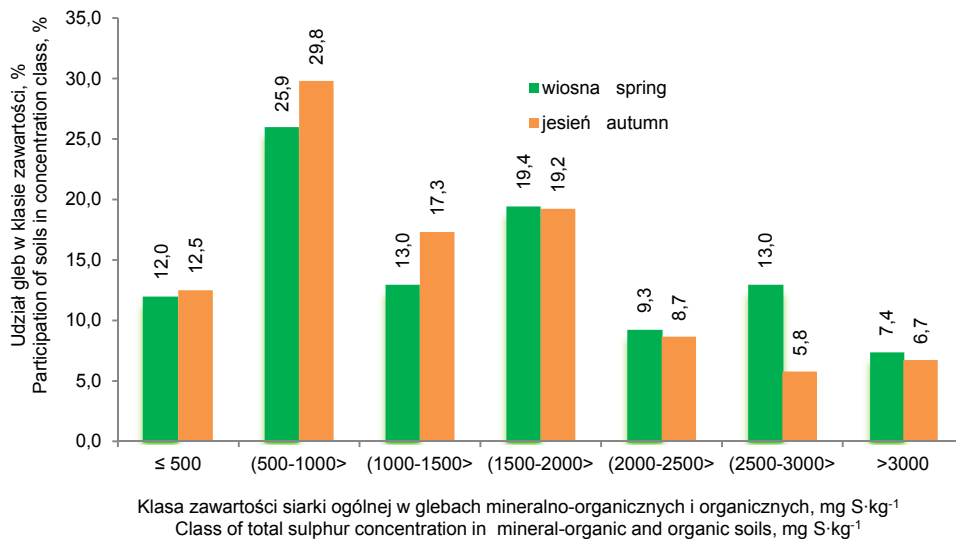
Source: own elaboration based on data from the National Chemical-Agricultural Station.

W powyżej 40% wszystkich przebadanych próbek gleb mineralnych zawartość siarki ogólnej nie przekraczała $200 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m., a w ponad 72% – $400 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. (rys. 1). W przypadku gleb mineralno-organicznych i organicznych, najliczniej reprezentowane były próbki o zawartości S_{og} 500–1000 i 1500–2000 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. (rys. 2).



Rys. 1. Rozkład zawartości siarki ogólnej w 0–30 cm warstwie mineralnych gleb użytków zielonych w Polsce w latach 2009–2011; źródło: opracowanie własne na podstawie wyników KSChR

Fig. 1. Distribution of total sulphur concentration in 0–30 cm layer of mineral grassland soils in Poland in the years 2009–2011; source: own elaboration based on data from the National Chemical-Agricultural Station

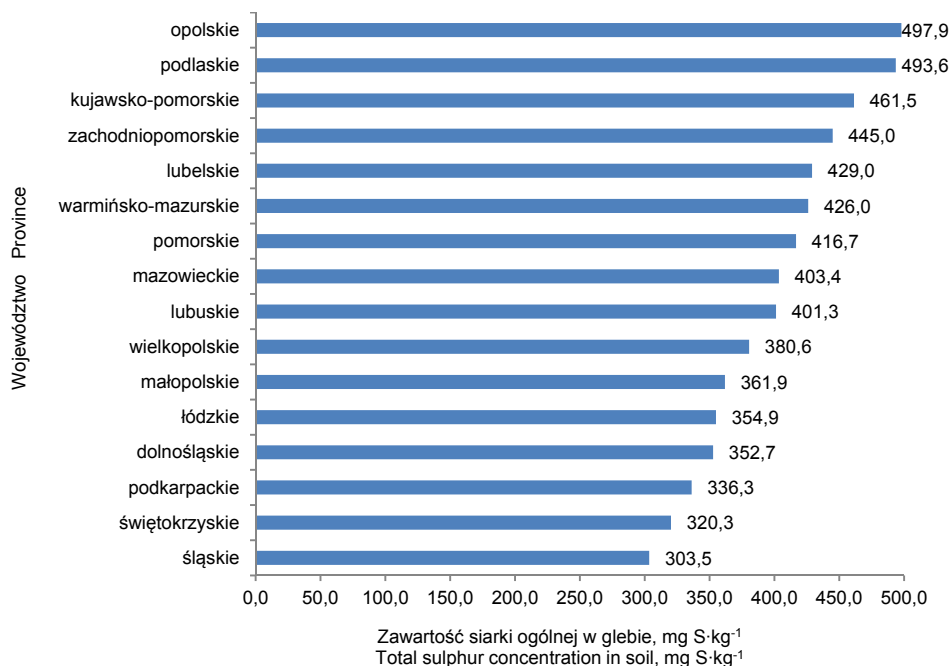


Rys. 2. Rozkład zawartości siarki ogólnej w 0–30 cm warstwie mineralno-organicznych i organicznych gleb użytków zielonych w Polsce w latach 2009–2011; źródło: opracowanie własne na podstawie wyników KSChR

Fig. 2. Distribution of total sulphur concentration in 0–30 cm layer of mineral-organic and organic grassland soils in Poland in the years 2009–2011; source: own elaboration based on data from the National Chemical-Agricultural Station

Na podstawie uśrednionych wartości z okresów wiosennych i jesiennych w latach 2009–2011, największą zawartość siarki ogólnej w mineralnych glebach użytków zielonych stwierdzono w województwach opolskim i podlaskim, najmniejszą zaś – w województwach śląskim i świętokrzyskim (rys. 3). Analogicznego zestawienia zawartości siarki ogólnej w glebach mineralno-organicznych i organicznych nie wykonano ze względu na brak danych lub ich małą liczebność dla niektórych województw.

Średnia zawartość siarki siarczanowej w całym kompleksie mineralnych gleb użytków zielonych w latach badań wynosiła od ok. 12 do ok. 15 mg S-SO₄·kg⁻¹ s.m. w sezonie wiosennym i od ok. 17 do ok. 20 mg S-SO₄·kg⁻¹ s.m. w sezonie jesiennym (tab. 3). W poszczególnych latach badań przeciętna zawartość S-SO₄ w glebach bardzo lekkich i lekkich była na ogół większa niż w średnich i ciężkich, natomiast – podobnie jak w przypadku S_{og} – nie zaobserwowano jednoznacznych tendencji zmian zawartości S-SO₄ w glebach między jesienią a wiosną. Zawartość S-SO₄ w glebach mineralno-organicznych i organicznych osiągała wartości od 34,5 do 52,9 mg S-SO₄·kg⁻¹ s.m. w zależności od roku i sezonu i była co najmniej 2,3 razy większa niż w glebach mineralnych. Rozkład zawartości siarki siarczanowej w badanych glebach mineralnych i organicznych był zróżnicowany. W większości próbek gleb mineralno-organicznych i organicznych zawartość S-SO₄ była większa



Rys. 3. Uśredniona, z okresów wiosennych i jesiennych, zawartość siarki ogólnej w 0–30 cm warstwie mineralnych gleb użytków zielonych w poszczególnych województwach w latach 2009–2011; źródło: opracowanie własne na podstawie wyników KSChR

Fig. 3. Total sulphur concentration in 0–30 cm layer of mineral grassland soils in particular provinces averaged for spring and autumn of the years 2009–2011; source: own elaboration based on data from the National Chemical-Agricultural Station

Tabela 3. Statystyki opisowe zawartości siarki siarczanowej (S-SO₄) w glebach użytków zielonych w Polsce w warstwie 0–30 cm w latach 2009–2011

Table 3. Descriptive statistics of the sulphate-sulphur concentration in 0–30 cm layer of grassland soils in Poland in the years 2009–2011

Rodzaj gleby Type of soil	Wiosna Spring			Jesień Autumn		
	<i>n</i>	\bar{x} mg S·kg ⁻¹	<i>CV</i> %	<i>n</i>	\bar{x} mg S·kg ⁻¹	<i>CV</i> %
1	2	3	4	5	6	7
2009						
Gleby mineralne razem Mineral soils in total	283	11,8	124,8	239	19,5	173,6
Gleby bardzo lekkie Very light soils	79	12,2	113,6	59	19,6	129,2
Gleby lekkie Light soils	89	13,9	131,3	73	21,6	220,2
Gleby średnie Medium soils	80	9,0	122,7	72	15,6	168,6
Gleby ciężkie Heavy soils	35	11,9	113,4	35	22,7	109,2
Gleby mineralno-organiczne i organiczne Mineral-organic and organic soils	35	52,4	133,8	34	52,9	102,5

cd. tab. 3

1	2	3	4	5	6	7
2010						
Gleby mineralne razem Mineral soils in total	247	15,0	165,2	237	16,9	172,4
Gleby bardzo lekkie Very light soils	61	15,9	176,5	61	18,6	201,8
Gleby lekkie Light soils	78	17,9	171,3	75	20,8	149,5
Gleby średnie Medium soils	74	12,3	141,2	70	12,0	155,8
Gleby ciężkie Heavy soils	34	12,4	118,6	31	15,0	156,3
Gleby mineralno-organiczne i organiczne Mineral-organic and organic soils	38	43,2	130,7	34	38,4	90,8
2011						
Gleby mineralne razem Mineral soils in total	245	14,3	143,5	245	17,9	148,3
Gleby bardzo lekkie Very light soils	59	14,3	159,9	59	14,9	106,6
Gleby lekkie Light soils	77	18,6	140,6	77	24,4	151,0
Gleby średnie Medium soils	74	11,6	113,5	74	13,4	159,4
Gleby ciężkie Heavy soils	35	10,9	124,0	35	18,1	117,2
Gleby mineralno-organiczne i organiczne Mineral-organic and organic soils	35	34,5	99,3	35	45,6	98,7
2009–2011						
Gleby mineralne razem Mineral soils in total	775	13,6	148,6	721	18,1	165,5
Gleby bardzo lekkie Very light soils	199	14,0	155,3	179	17,7	156,7
Gleby lekkie Light soils	244	16,6	151,5	225	22,3	174,4
Gleby średnie Medium soils	228	10,9	128,7	216	13,7	163,1
Gleby ciężkie Heavy soils	104	11,7	117,6	101	18,7	123,6
Gleby mineralno-organiczne i organiczne Mineral-organic and organic soils	108	43,3	128,2	103	45,6	99,3

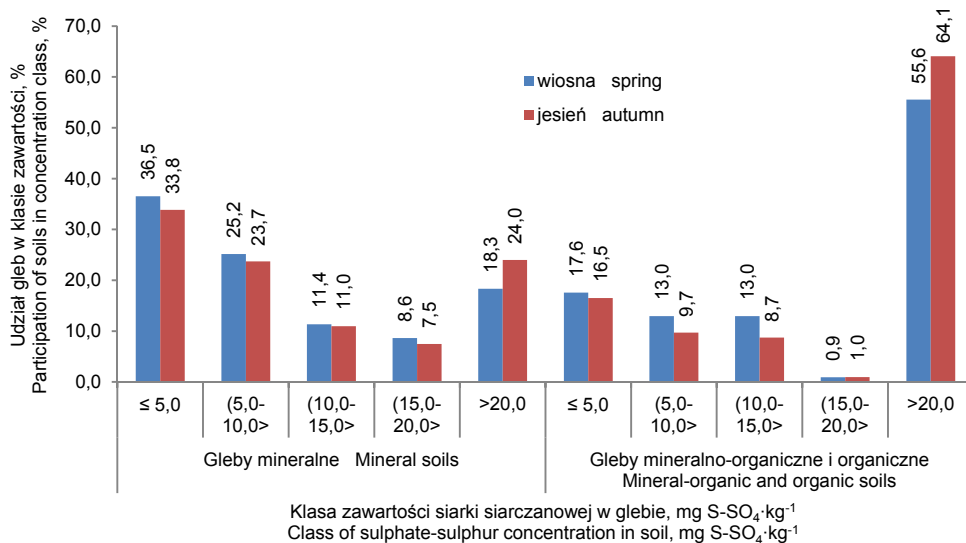
Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników KSChR.

Source: own elaboration based on data from the National Chemical-Agricultural Station.

niż 20 mg·kg⁻¹ s.m. W przypadku gleb mineralnych w ponad 1/3 próbek zawartość S-SO₄ nie przekraczała 5 mg·kg⁻¹ s.m. (rys. 4).

Udział formy siarczanowej w siarce ogólnej w glebach zmieniał się sezonowo i zależał od ich rodzaju. W glebach mineralnych udział ten był większy niż w mineralno-organicznych i organicznych (tab. 4).

Odnosząc, po odpowiednim dostosowaniu, uzyskane wyniki do liczb granicznych, stwierdzono że większa niż naturalna zawartość siarki siarczanowej i ogólnej występowała łącznie, odpowiednio w 7,5 i 3,3% próbek gleb mineralnych wiosną oraz 10,4 i 3,2% próbek gleb mineralnych jesienią. Natomiast w glebach mineralno-organicznych (10–20% mat. org.) i organicznych (>20% mat. org.) większą niż naturalna zawartość siarki siarczanowej i ogólnej odnotowano odpowiednio w 12,8 i 20,5% ogólnej liczby próbek wiosną oraz w 2,6 i 5,3% ogólnej liczby próbek jesienią (tab. 5).



Rys. 4. Rozkład zawartości siarki siarczanowej w 0–30 cm warstwie gleb użytków zielonych w skali Polski w latach 2009–2011; źródło: opracowanie własne na podstawie wyników KSChR

Fig. 4. Distribution of sulphate-sulphur concentrations in 0–30 cm layer of grassland soils in Poland in the years 2009–2011; source: own elaboration based on data from the National Chemical-Agricultural Station

Tabela 4. Przeciętny udział siarki siarczanowej w siarce ogółem w różnych rodzajach gleb użytków zielonych w latach 2009–2011

Table 4. Average share of sulphate-sulphur in total sulphur in various types of grassland soils in the years 2009–2011

Okres / Period	Udział S-SO ₄ w S _{og} (%) w glebach / Percent of S-SO ₄ in total S in soils					
	bardzo lekkich / very light	lekkich / light	średnich / medium	ciężkich / heavy	mineralnych razem / mineral in total	mineralno-organicznych i organicznych / mineral-organic and organic
Wiosna / Spring	3,39	4,47	2,66	3,08	3,45	2,70
Jesień / Autumn	4,41	5,04	4,19	4,70	4,62	3,00

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników KSChR.

Source: own elaboration based on data from the National Chemical-Agricultural Station.

Odnotowano duże zróżnicowanie zawartości siarki siarczanowej w mineralnych glebach użytków zielonych położonych w różnych województwach. Do najbardziej zasobnych w ten składnik należały gleby województw opolskiego i zachodniopomorskiego, do najuboższych zaś – gleby województwa podkarpackiego (rys. 5).

Tabela 5. Udział próbek gleb użytków zielonych o bardzo dużej zawartości siarki siarczanowej i ogólnej (silnie zanieczyszczonych) w latach 2009–2011

Table 5. Percent of samples of meadow soils with very high concentrations of total and sulphate-sulphur (highly polluted) in the years 2009–2011

Grupa gleb Group of soils	Siarka siarczanowa (S-SO ₄) Sulphate-sulphur				Siarka ogólna (S _{og}) Total sulphur					
	wartość graniczna IV stopnia ¹⁾ zawartości siarki (większej niż naturalna) threshold value of the 4 th degree of sulphur concentration (higher than natural) mg S-SO ₄ ·kg ⁻¹	liczba ocenianych próbek number of samples	udział wyników przekraczających wartość graniczną, % percent of data exceeding the threshold value		wartość graniczna IV stopnia ¹⁾ zawartości siarki (większej niż naturalna) threshold value of the 4 th degree of sulphur concentration (higher than natural) mg S-SO ₄ ·kg ⁻¹	liczba ocenianych próbek number of samples	udział wyników przekraczających wartość graniczną, % percent of data exceeding the threshold value			
			wiosna spring	jesień autumn			wiosna spring	jesień autumn		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Gleby bardzo lekkie i lekkie (0–20% frakcji <0,02 mm)	>35	443	404	10,4	13,1	>1000	510	405	4,5	5,4
Very light soils (0–20% of fraction <0.02 mm)										
Gleby średnie Medium soils	>40	228	216	3,9	5,6	>1500	243	218	2,1	0,5
Heavy soils	>50	104	101	2,9	9,9	>2000	104	101	0,0	0,0
Gleby mineralne razem Mineral soils in total	–	775	721	7,5	10,4	–	857	724	3,3	3,2

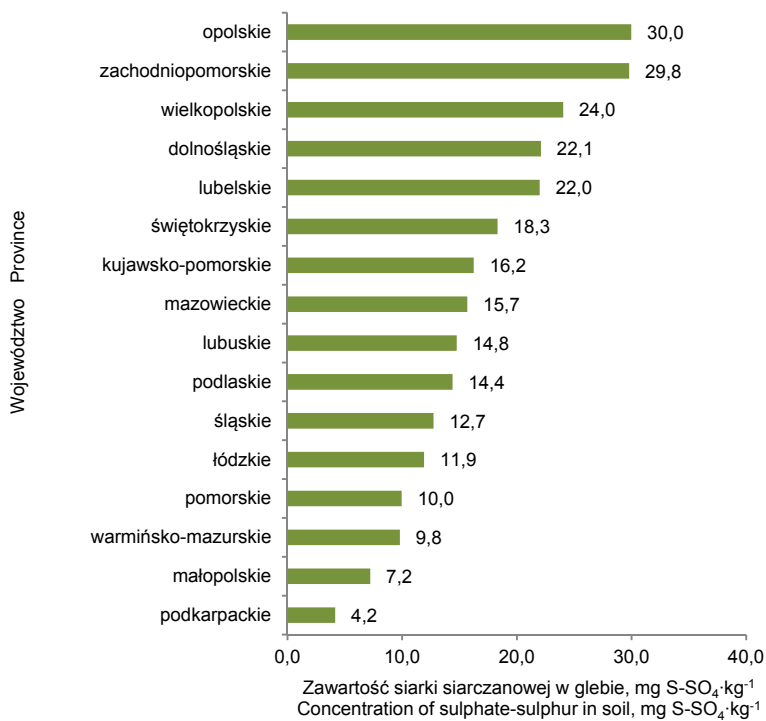
cd. tab. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Gleby mineralno-organiczne (10–20% materii organicznej)	>100	27	26	11,1	3,8	>2500	27	26	29,6	7,7
Mineral-organic soils (10–20% of organic matter)										
Gleby organiczne (>20% materii organicznej)	>150	12	12	16,7	0,0	>4500	12	12	0,0	0,0
Organic soils (>20% of organic matter)										
Gleby mineralno-organiczne i organiczne razem	–	39	38	12,8	2,6	–	39	38	20,5	5,3
Mineral-organic and organic soils in total										

¹⁾ IV stopień – zawartość podwyższona antropogenicznie/bardzo wysoka [KABATA-PENDIAS i in. 1993; TERELAK i in. 2008].

¹⁾ 4th degree – very high concentration anthropogenically elevated [KABATA-PENDIAS *et al.* 1993; TERELAK *et al.* 2008].

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.



Rys. 5. Uśredniona z okresów wiosennych i jesiennych zawartość siarki siarczanowej w 0–30 cm warstwie gleb użytków zielonych w poszczególnych województwach w latach 2009–2011; źródło: opracowanie własne na podstawie wyników KSchR

Fig. 5. Sulphate-sulphur concentration in 0–30 cm layer of grassland soils in particular provinces averaged for spring and autumn of the years 2009–2011; source: own elaboration based on data from the National Chemical-Agricultural Station

DYSKUSJA WYNIKÓW BADAŃ

Z przeprowadzonych badań wynika, że w latach 2009–2011, w wierzchniej 30-centymetrowej warstwie mineralnych gleb użytków zielonych w Polsce przeciętna zawartość siarki ogólnej wynosiła, w zależności od pory roku, od 391,4 do 395 mg·kg⁻¹ s.m., a siarczanowej – od 13,6 do 18,1 mg·kg⁻¹ s.m. Zawartości te przekraczają ilości określone w ramach ich krajowego monitoringu dla gleb ornych, które w warstwie 0–20 cm zawierały średnio 200 mg·kg⁻¹ s.m. siarki ogólnej i 11,4 mg·kg⁻¹ s.m. siarczanowej [SIEBIELEC i in. 2012]. W glebach mineralno-organicznych i organicznych użytków zielonych zawartość siarki ogólnej i siarczanowej była znacznie większa niż w mineralnych, co wyjaśnia stwierdzone istnienie dodatniej współzależności między zawartością S_{og} i ilością materii organicznej/ węgla organicznego w glebie [TERELAK i in. 1998] oraz między zawartością

S_{og} i $S-SO_4$ [KALEMBASA, GODLEWSKA 2005; KULCZYCKI, PATORCZYK-PYTLIK 2008; SIEBIELEC i in. 2012]. Zawartość siarki ogólnej i siarczanowej zmieniała się w poszczególnych latach. W glebach mineralnych różnice zawartości siarki ogólnej dochodziły do $109 \text{ mg } S_{og} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$, a w organicznych – do ponad $566 \text{ mg } S_{og} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ W przypadku siarki siarczanowej różnice te sięgały odpowiednio 3,3 i ok. $17,9 \text{ mg } S_{og} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ Ze względu na krótki okres obserwacji trudno jest ocenić, jaki charakter miały te zmiany. Nie występowały jednoznacznie uporządkowane relacje pomiędzy glebami mineralnymi o różnej zawartości frakcji ilastych (o średnicy $<0,02 \text{ mm}$) a zawartością w nich S_{og} , co potwierdza wyniki badań KULCZYCKIEGO i PATORCZYK-PYTLIK [2008]. Nie występował też jednoznaczny związek pomiędzy kategoriami agronomicznymi gleb mineralnych a występującym w nich stosunkiem zawartości $S-SO_4$ do S_{og} , co z kolei nie potwierdza ustaleń wymienionych autorów. Zaznaczyć należy, że udział siarki siarczanowej w siarce ogółem wynosił 3,45–4,62% w glebach mineralnych i 2,7–3,0 w glebach mineralno-organicznych i organicznych i był mniejszy niż podawany w literaturze w odniesieniu do gleb gruntów ornych, w których osiąga wartości rzędu 6–14% [KULCZYCKI, SPIAK 2003; PODLEŚNA 2013].

Rozpatrując sezonową zmienność zawartości siarki w poszczególnych latach badań, w odniesieniu do rodzajów gleb, stwierdzono że ogólna zawartość tego składnika w glebie częściej – ale w niezbyt dużej przewadze – jest większa jesienią niż wiosną (kierunek zmian w tym zakresie nie był wyrazisty), a formy siarczanowej – prawie zawsze większa w sezonie jesiennym. Zwiększenie zawartości formy siarczanowej w okresie jesieni należy wiązać z mineralizacją siarki organicznej. Zwykle stanowi ona zasadnicze źródło dostępnej siarki w glebach użytków zielonych [BREYMEYER, VAN DYNE 2012].

W układzie przestrzennym gleby użytków zielonych charakteryzowały się znacznym zróżnicowaniem pod względem zawartości siarki ogólnej i siarczanowej. Na zawartość w nich $S-SO_4$ prawdopodobnie nie miała wpływu depozycja atmosferyczna tego związku, ponieważ nie stwierdzono istotnych statystycznie zależności między ładunkami jonów siarczanowych wniesionych przez opady atmosferyczne w latach 2009–2011 (tab. 6) na obszarze poszczególnych województw a zawartością siarki siarczanowej w występujących w nich glebach pod użytkami zielonymi ($R = 0,041$; $n = 16$).

Uzyskane wyniki badań porównano z liczbami granicznymi dotyczącymi oceny stanu zawartości siarki w glebie, opracowanymi przez IUNG (obejmującymi 4 stopnie zawartości $S-SO_4$ i S_{og} w glebie: niski, średni, wysoki i podwyższony antropogenicznie/bardzo wysoki) [KABATA-PENDIAS i in. 1993; TERELAK i in. 2008] oraz standardy w zakresie oceny zawartości siarki przyswajalnej dla roślin uprawianych na glebach mineralnych (5 przedziałów zawartości $S-SO_4$: bardzo niska, niska, średnia, wysoka i bardzo wysoka) [LIPIŃSKI i in. 2003]. Kryteria kwalifikacji zawartości siarki w glebie podane w wymienionych źródłach dotyczą jej 0–20 cm warstwy, nie są więc w pełni odpowiednie do oceny uzyskanych wy-

Tabela 6. Obciążenie powierzchniowe obszaru poszczególnych województw siarczanami wniesionymi przez opady atmosferyczne w latach 2009–2011 r.

Table 6. Load of sulphates delivered to particular provinces in atmospheric precipitation in the years 2009–2011

Województwo Province	Depozycja siarczanów, kg SO ₄ ·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹ Sulphate deposition, kg SO ₄ ·ha ⁻¹ ·y ⁻¹			
	2009	2010	2011	średnia z lat 2009–2011 mean for the years 2009–2011
Dolnośląskie	16,93	18,66	16,93	17,51
Kujawsko-pomorskie	15,41	19,52	14,66	16,53
Lubelskie	14,63	15,40	12,88	14,30
Lubuskie	13,35	15,53	12,29	13,72
Łódzkie	17,72	21,97	16,34	18,68
Małopolskie	21,31	23,13	19,77	21,40
Mazowieckie	15,82	18,27	16,96	17,02
Opolskie	20,82	22,20	18,06	20,36
Podkarpackie	17,28	20,22	15,82	17,77
Podlaskie	12,88	13,34	12,49	12,90
Pomorskie	12,17	15,12	14,48	13,92
Śląskie	22,33	26,63	19,25	22,74
Świętokrzyskie	15,43	21,42	15,16	17,34
Warmińsko-mazurskie	11,21	12,57	12,45	12,08
Wielkopolskie	18,11	23,26	18,46	19,94
Zachodniopomorskie	14,01	16,47	13,90	14,79

Źródło: opracowanie własne na podstawie: LIANA [2010; 2011]; LIANA i in. [nedatowane].

Source: own elaboration based on LIANA [2010; 2011]; LIANA *et al.* [nedatowane].

ników, które dotyczą 0–30 cm warstwy gleby, a jak podają SZULC i in. [2004b] oraz CZYŻ i in. [2013] koncentracja siarki zmniejsza się wraz z głębokością profilu glebowego. Zdecydowano się jednak wykorzystać je jako najlepszy z możliwych punkt odniesienia. Z przeprowadzonych analiz wynika, że zawartość siarki ogólnej w zdecydowanej większości mineralnych gleb użytków zielonych mieściła się w zakresie odpowiadającym jej naturalnej zawartości (stopnie: od niskiego do wysokiego). Udział mineralnych gleb użytków zielonych o naturalnej zawartości S-SO₄ był zróżnicowany w zależności od ich kategorii. Podwyższona antropogenicznie zawartość S-SO₄ występowała przede wszystkim w glebach bardzo lekkich i lekkich. Ogólnie do klas gleb o większej niż naturalna zawartości S-SO₄ zakwalifikowano większy odsetek mineralnych gleb użytków zielonych niż gleb ornych zaszeregowanych do tej kategorii przez SIEBIELECA i in. [2012]. W przypadku gleb mineralno-organicznych i organicznych bardzo wysokie zawartości S-SO₄ i S_{og} (IV stopnia), występowały znacznie częściej niż w glebach mineralnych, przy

czym ulegały one znacznym zmianom sezonowym. Trudno jest jednoznacznie stwierdzić jakie czynniki wpłynęły na ten stan.

Oceniając zawartość siarki siarczanowej w aspekcie potrzeb nawożenia, stwierdzono że w przedziałach $\leq 5,0$ i od $5,0$ do $10,0$ mg S-SO₄·kg⁻¹ s.m., a więc w klasach o bardzo niskiej i niskiej zawartości S-SO₄ [LIPIŃSKI i in. 2003] znajduje się łącznie około 57,6–61,7% mineralnych gleb użytków zielonych (rys. 4). Uznano, że do dobrze zaopatrzonych w ten składnik, tj. zawierających od 10 do 20 mg S-SO₄·kg⁻¹ s.m. (klasy o średniej i wysokiej zawartości S-SO₄) można zakwalifikować około 18,4–20,0% tego rodzaju gleb, a do bardzo dobrze zaopatrzonych, o zawartości powyżej 20 mg S-SO₄·kg⁻¹ s.m. (zawartość bardzo wysoka) – 18,3–24%. Wyniki te sugerują, że na znacznym areale gruntów mineralnych zajmowanych przez użytki zielone może występować deficyt siarki. Problem ten prawdopodobnie w o wiele mniejszym stopniu dotyczy organicznych gleb użytków zielonych (trudno to jest jednoznacznie określić, ze względu na brak w tym zakresie liczb granicznych umożliwiających szczegółową ocenę).

WNIOSKI

1. W Polsce w latach 2009–2011 średnia zawartość siarki ogólnej i siarczanowej w 0–30 cm warstwie mineralnych gleb użytków zielonych wynosiła, w zależności od pory roku, odpowiednio 391,4–395,0 mg·kg⁻¹ s.m. i 13,6–18,1 mg·kg⁻¹ s.m., a w glebach organiczno-mineralnych i organicznych – 1522,4–1607,7 mg·kg⁻¹ s.m. i 43,3–45,6 mg·kg⁻¹ s.m.

2. W poszczególnych latach badań zawartość siarki siarczanowej w glebach użytków zielonych na ogół była większa w okresie jesiennym niż w okresie wiosennym. W przypadku siarki ogólnej taki kierunek zmian był znacznie mniej wyraźny.

3. Występowały różnice zawartości S_{og} i S-SO₄ oraz stosunku zawartości S-SO₄ do S_{og} w mineralnych glebach użytków zielonych różnych kategorii agromicznych, jednak nie były one jednoznacznie ukierunkowane.

4. Mineralne gleby użytków zielonych w poszczególnych województwach są znacznie zróżnicowane pod względem zawartości siarki ogólnej i siarczanowej. Depozycja atmosferyczna siarki prawdopodobnie nie ma wpływu na ten stan.

5. W okresie badań poziom zawartości S_{og} i S-SO₄ w przeważającej części gleb użytków zielonych był naturalny. Większą niż naturalna zawartość siarki siarczanowej i ogólnej zanotowano w przybliżeniu odpowiednio w 7,5–10,4% i 3,2–3,3% (w zależności od pory roku) gleb mineralnych oraz 2,6–12,8 i 5,3–20,5% gleb mineralno-organicznych i organicznych.

6. Ze względu na wymagania związane z nawożeniem siarką, w ok. 60% mineralnych gleb użytków zielonych zawartość S-SO₄ była bardzo niska i niska, co wskazuje na występowanie w nich niedoboru wymienionego składnika.

LITERATURA

- BARCZAK B. 2010. Siarka jako składnik pokarmowy kształtujący wielkość i jakość plonów wybranych roślin uprawnych. Rozprawy. Nr 144. Bydgoszcz. UTP. ISSN 0209-0597 ss. 131.
- BREYMEYER A.I., VAN DYNE G.M. (red.) 2012. Grasslands, Systems Analysis and Man. Cambridge. University Press. Ser. International Biological Programme Synthesis Series 19. ISBN 9781107404168 ss. 976.
- CZYŻ H., MALINOWSKI R., KITCZAK T., PRZYBYSZEWSKI A. 2013. Charakterystyka chemiczna gleb i szaty roślinnej użytków zielonych w dolinie ujścia Warty. Rocznik Ochrona Środowiska. T. 15 s. 694–713.
- Defra 2010. Fertiliser Manual (RB209) 8th Edition ss. 253. London: The Stationery Office [online]. [Dostęp 22.12.2014]. Dostępny w Internecie: <http://adlib.everysite.co.uk/adlib/defra/content.aspx?doc=262994&id=263249>
- JESCHKE M., DIEDRICK K. 2010. Sulfur fertility for crop production [online]. [Dostęp 22.12.2014]. Crop Insights. Vol. 20. No. 12. Dostępny w Internecie: <https://www.pioneer.com/home/site/us/agronomy/library/template.CONTENT/guid.7786411D-9BC0-C084-8A66-CC7BE3A9C8E9>
- KABATA-PENDIAS A., MOTOWICKA-TERELAK T., PIOTROWSKA M., TERELAK H., WITEK T. 1993. Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. Ramowe wytyczne dla rolnictwa. Puławy. Wydaw. IUNG. ss. 23.
- KACZOR A., ZUZAŃSKA J. 2009. Znaczenie siarki w rolnictwie. Chemia, Dydaktyka, Ekologia, Metrologia. R. 14. Nr 1–2 s. 69–78.
- KALEMBASA D., GODLEWSKA A. 2005. Zawartość siarki całkowitej i siarczanowej w glebach położonych wzdłuż obwodnicy siedleckiej. Journal of Elementology. Wyd. 10(2) s. 303–308.
- KULCZYCKI G., PATORCZYK-PYTLIK B. 2008. Zawartość siarki w glebach i runi użytków zielonych okolic Wrocławia. W: Ekotoksykologia w Ochronie Środowiska. Pr. zbior. Red. B. Kołwzan, K. Grabas. Wrocław. Wydaw. PZliTS. ISBN 978-83-921167-8-3 s. 203–212.
- KULCZYCKI G., SPIAK Z. 2003. Zawartość siarki ogólnej i siarczanowej w glebach Polski Południowo-Zachodniej. Nawozy i Nawożenie. Nr 4(17) s. 75–81.
- LIANA E. 2010. Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i ocena depozycji zanieczyszczeń do podłoża w latach 2010–2012. Wyniki badań monitoringowych w województwie lubuskim w 2009 roku [online]. [Dostęp 22.12.2014]. Wrocław. IOŚ ss. 46. Dostępny w Internecie: <http://www.zgora.pios.gov.pl/wios/images/stories/pms/air/chemizm/chemizm.opadow-2009-IMGW.pdf>
- LIANA E. 2011. Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i ocena depozycji zanieczyszczeń do podłoża w latach 2010–2012. Wyniki badań monitoringowych w województwie lubuskim w 2010 roku [online]. [Dostęp 22.12.2014]. Wrocław. Inspekcja Ochrony Środowiska ss. 46. Dostępny w Internecie: <http://www.zgora.pios.gov.pl/wios/images/stories/pms/air/chemizm/chemizm.opadow-2010-IMGW.pdf>
- LIANA E., POBUDEJSKI M., BOŻEK A. [niedatowane]. Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża w województwie śląskim w 2011 roku [online]. [Dostęp 22.12.2014]. Wrocław. IMGW-PIB ss. 45. Dostępny w Internecie: <http://www.katowice.pios.gov.pl/monitoring/informacje/stan2011/opady.pdf>
- LIPiŃSKI W., TERELAK H., MOTOWICKA-TERELAK T. 2003. Propozycja liczb granicznych zawartości siarki siarczanowej w glebach mineralnych na potrzeby doradztwa nawozowego. Roczniki Gleboznawcze. T. 54(3) s. 79–84.
- MATHOT M., MERTENS J., VERLINDEN G., LAMBERT R. 2008. Positive effects of sulphur fertilisation on grasslands yields and quality in Belgium. European Journal of Agronomy. Vol. 28 s. 655–658.
- MUIR S., SCHWENKE G.D., MCCORMICK L.H., SQUIRES S.A., BOWMAN C.G. 2008. Soil phosphorus and sulphur in pastures of North-West Slopes and Upper Hunter districts of New South Wales. Pro-

- ceedings of the 23rd Annual Conference of the Grassland Society of NSW [online]. [Dostęp 22.12.2014]. Dostępny w Internecie: <http://grasslandnsw.com.au/news/publications/conference-proceedings/conferences-2000-onwards/conference-2008/>
- PIETRZAK S. 2012a. Odczyn i zasobność gleb łąkowych w Polsce. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 12. Z. 1 (37) s. 105–117.
- PIETRZAK S. 2012b. Azotany w wodach gruntowych na terenach zajmowanych przez użytki zielone w Polsce. Polish Journal of Agronomy. Vol. 11 s. 34–40.
- PIETRZAK S. 2014. Kształtowanie się ilości azotu mineralnego w mineralnych glebach łąkowych w Polsce w latach 2008–2012. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 14. Z. 3 (47) s. 113–124.
- PODLEŚNA A. 2013. Potrzeby nawożenia siarką – stan obecny i perspektywy. Studia i Raporty IUNG-PIB. Z. 34(8) s. 107–120.
- SIEBIELEC G., SMRE CZAK B., KLIMKOWICZ-PAWLAS A., MALISZEWSKA-KORDYBACH B., TERELAK H., KOZA P., HRYŃCZUK B., ŁYSIAK M., MITURSKI T., GAŁĄZKA R., SUSZEK B. 2012. Monitoring chemizmu gleb ornych w Polsce w latach 2010–2012. Puławy. IUNG-PIB ss. 202.
- SZULC W., RUTKOWSKA B., ŁABĘTOWICZ J. 2004a. Wpływ trzech systemów nawożenia na zawartość ogólnych form siarki i węgla w profilu glebowym. Nawozy i Nawożenie. Nr 1(18) s. 92–98.
- SZULC W., RUTKOWSKA B., ŁABĘTOWICZ J. 2004b. Zawartość siarki organicznej i siarczanowej w profilu glebowym w warunkach różnych systemów uprawy. Annales UMCS. Sec E. Vol. 159 s. 55–62.
- TERELAK H., MOTOWICKA-TERELAK T., PASTERNAK J., WILKOS S. 1998. Zawartość form siarki w glebach mineralnych Polski. Pamiętnik Puławski. Supl. 91 s. 1–59.
- TERELAK H., STUCZYŃSKI T., MOTOWICKA-TERELAK T., MALISZEWSKA-KORDYBACH B., PIETRUCH CZ. 2008. Monitoring chemizmu gleb ornych Polski w latach 2005–2007. Puławy. IUNG-PIB ss. 205.

Stefan PIETRZAK

SULPHUR CONTENT IN GRASSLAND SOILS IN POLAND IN THE YEARS 2009–2011

Key words: *agronomic categories, grassland soils, monitoring, sulphur concentration*

S u m m a r y

The paper presents estimates of the content of total sulphur and sulphate-sulphur in the upper 30 cm layer of grassland soils in Poland in spring and autumn 2009–2011. The assessment was based on the results of soil and water monitoring carried out in grasslands by the National Chemical-Agricultural Station (NC-AS) and its subordinate regional stations in cooperation with the Institute of Technology and Life Sciences in Falenty.

It was found that: 1) mean concentration of total and sulphate-sulphur in mineral grassland soils was 391.4–395.0 mg S·kg⁻¹ DM and 13.6–18.1 mg S-SO₄·kg⁻¹ DM, respectively, depending on season while in organic-mineral and organic soils the respective ranges were 1522.4–1607.7 mg S·kg⁻¹ and 43.3–45.6 mg S-SO₄·kg⁻¹ DM; 2) concentrations of total and sulphate-sulphur in mineral grassland soils varied among provinces and amounted from 303.5 to 497.9 mg S·kg⁻¹ DM, and from 4.3 to 30.0 mg S-SO₄·kg⁻¹ DM (data averaged for spring and autumn); 3) in most grassland soils concentrations of total and sulphate-sulphur was close to natural; 4) in nearly 60% of grassland soils the concentration of sulphate-sulphur was very low or low.

Adres do korespondencji: dr hab. S. Pietrzak, prof. nadzw., Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Zakład Jakości Wody, al. Hrabstwa 3, 05-090 Raszyn; tel. +48 22 735-75-62, e-mail: S.Pietrzak@itp.edu.pl