

Wpłynęło 17.01.2017 r.
Zrecenzowano 01.03.2017 r.
Zaakceptowano 19.03.2017 r.

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

SIARKA W GLEBACH WOJEWÓDZTWA MAŁOPOLSKIEGO – OCENA ZASOBNOŚCI I MODELOWANIE ZAWARTOŚCI PIERWIASTKA W GLEBACH

Barbara FILIPEK-MAZUR^{ADEF}, **Monika TABAK**^{ABCDE},
Olga GORCZYCA^{BCDEF}

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Rolniczo-Ekonomiczny, Katedra Chemii Rolnej i Środowiskowej

Streszczenie

Celem badań było określenie zasobności gleb województwa małopolskiego w siarkę ogółem i siarkę siarczanową oraz zbadanie zależności między zawartością obu form siarki a wartością pH gleb, zawartością części spławialnych, węgla organicznego i azotu ogółem w glebach. Materiał badawczy (100 próbek gleb) pobrano w 2010 r. z terenu województwa małopolskiego. Próbkę pochodziły z pól uprawnych, łąk i lasów, z warstwy gleby o głębokości 0–20 cm. Badane gleby zaklasyfikowano w większości do pyłów i glin. Utwory bardzo kwaśne, kwaśne i lekko kwaśne stanowiły 69%. Gleby województwa małopolskiego zawierały 3,1–9,1 g węgla organicznego, 0,31–7,16 g azotu ogółem, 74–1425 mg siarki ogółem i 5,0–172,5 mg siarki siarczanowej w 1 kg s.m. Większość gleb cechowała się niską i średnią zawartością siarki. Zawartość węgla organicznego, azotu ogółem, siarki ogółem i siarki siarczanowej w glebach była z reguły istotnie dodatnio skorelowana. Opracowane na podstawie analizowanych parametrów modele zawartości siarki siarczanowej w glebach wyjaśniały badane zależności w większym stopniu niż modele zawartości siarki ogółem.

Słowa kluczowe: gleba, modelowanie, siarka ogółem, siarka siarczanowa, województwo małopolskie

WSTĘP

Pomimo powszechności występowania siarki w środowisku, ze względu na jej nierównomierny rozkład oraz bardzo zróżnicowaną dostępność i różnorodność

Do cytowania For citation: Filipek-Mazur B., Tabak M., Gorczyca O. 2017. Siarka w glebach województwa małopolskiego – ocena zasobności i modelowanie zawartości pierwiastka w glebach. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 17. Z. 2 (58) s. 51–68.

przyjmowanych form, w przyrodzie występują zarówno jej niedobory, jak i stany zbyt dużej koncentracji. Monitorowanie zawartości siarki w glebach użytkowanych rolniczo ma ogromne znaczenie. Gleba stanowi rezerwar składników odżywczych, z którego czerpią rośliny, a następnie reszta organizmów powiązanych z nimi w sieci zależności pokarmowych. W Polsce, podobnie jak w wielu krajach Europy Środkowej i Zachodniej, od końca XX w. obserwuje się systematyczne zmniejszanie się ilości siarki powracającej na powierzchnię upraw [FILIPEK-MAZUR (red.) 2011; MATEJKO i in. 2009]. Potwierdzona przez liczne badania [BORECZEK 2001; GRZEBISZ, PRZYGOCKA-CYNA 2003; SIEBIELEC i in. 2012] zmniejszająca się zawartość siarki w glebach stanowi jeden z ważniejszych problemów współczesnego rolnictwa, gdyż odpowiednia ilość siarki dostarczona roślinom przyczynia się do poprawy jakości roślin uprawnych i zwiększenia ich plonu [SCHERER 2001]. Przyczyną niedoboru siarki są, poza mniejszą imisją z powietrza, zmniejszenie zużycia nawozów naturalnych i organicznych oraz niskoprocen-towych nawozów mineralnych zawierających w swym składzie balast, w tym także siarkę, a także uprawa nowych odmian roślin o dużym zapotrzebowaniu na siarkę [FILIPEK-MAZUR (red.) 2011].

Celem badań było określenie zasobności gleb województwa małopolskiego w siarkę ogółem i siarkę siarczanową oraz zbadanie zależności między zawartością obu form siarki a wartością pH gleb, zawartością części spławialnych, węgla organicznego i azotu ogółem w glebach.

METODY BADAŃ

Materiał badawczy pobrano w 2010 r. z terenu województwa małopolskiego. Próbkę gleb pochodziły z pól uprawnych (39 próbek), łąk (41 próbek) i lasów (20 próbek) – łącznie 100 próbek. Miejsca ich pobierania wybrano losowo. Próbkę pobrano za pomocą laski Egnera z głębokości 0–20 cm i doprowadzono do stanu powietrznie suchego. W próbkach gleb oznaczono: skład granulometryczny, wartość pH_{KCl} oraz zawartość węgla organicznego, azotu ogółem, siarki ogółem i siarki siarczanowej.

Skład granulometryczny gleb oznaczono metodą areometryczną Bouyoucosa–Casagrande’a w modyfikacji Prószyńskiego [OSTROWSKA i in. 1991]. Kategorię agronomiczną gleb określono na podstawie zawartości części spławialnych (o średnicy poniżej 0,02 mm), przyjmując że gleby bardzo lekkie zawierają do 10% części spławialnych, lekkie 11–20%, średnie 21–35% i ciężkie ponad 35%. W badaniach zastosowano opisany powyżej sposób oznaczania składu granulometrycznego gleb, ponieważ do niego jest dostosowana metoda oceny zawartości siarki ogółem i siarki siarczanowej w glebach [KABATA-PENDIAS i in. 1995].

Wartość pH gleb oznaczono metodą potencjometryczną w zawiesinie gleby w roztworze KCl o stężeniu $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ [OSTROWSKA i in. 1991]. Oznaczenie zawartości utleniającego węgla organicznego ogółem wykonano metodą oksydacyjno-

-miareczkową [OSTROWSKA i in. 1991]. Zawartość azotu ogółem oznaczono metodą destylacyjną Kjeldahla za pomocą aparatu Kjeltec 2300, po mineralizacji w stężonym kwasie siarkowym(VI) z zastosowaniem pyłu cynku i żelaza jako reduktora [OSTROWSKA i in. 1991].

Oznaczenie zawartości siarki ogółem oraz siarczanowej w glebach wykonano metodą optycznej spektrometrii emisyjnej z plazmą wzbudzoną indukcyjnie (ICP-OES) za pomocą aparatu Optima 7300 DV, zgodnie z metodyką podaną przez OSTROWSKĄ i in. [1991]. Oznaczenie zawartości siarki ogółem rozpoczęto od związania siarki przez wygrzewanie próbki z roztworem azotanu(V) magnezu. Następnie materiał spalono (8 godz. w 450°C), a pozostałość przeprowadzono do roztworu przez działanie roztworem kwasu azotowego(V). Siarkę siarczanową wypłukano z gleb roztworem kwasu octowego o stężeniu 0,03 mol·dm⁻³ (30 obr·min⁻¹, 30 min). Oceny zawartości siarki ogółem i siarczanowej w glebach dokonano zgodnie z wytycznymi podanymi przez KABATE-PENDIAS i in. [1995], zgodnie z którymi wyróżnia się 4 stopnie zawartości pierwiastka: I – zawartość niska, II – zawartość średnia, III – zawartość wysoka, IV – zawartość podwyższona antropogenicznie (stopnie I–III odpowiadają naturalnej zawartości siarki w glebach, IV stopień zawartości siarki ogółem oznacza stan zasarczenia gleb, a IV stopień zawartości siarki siarczanowej określa aktualną imisję pierwiastka z zanieczyszczeń obecnych w powietrzu atmosferycznym). MOTOWICKA-TERELAK i TERELAK [1998] wydzielają cztery klasy zawartości siarki ogółem i siarczanowej w glebach, jednak tylko klasy I i II przedstawiają jako odpowiadające naturalnej zawartości pierwiastka, a kolejne dwie jako odpowiadające zawartości podwyższonej antropogenicznie.

Do serii analitycznych, w ramach poszczególnych oznaczeń laboratoryjnych, włączano certyfikowany materiał referencyjny oraz wewnętrzne laboratoryjne próby kontrolne. Wyniki analiz (zawartość azotu ogółem, węgla organicznego i siarki ogółem) glebowego materiału certyfikowanego NCS ZC73002, wraz z danymi dotyczącymi precyzji i dokładności przeprowadzonych oznaczeń, przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki analiz glebowego materiału certyfikowanego NCS ZC73002 wraz z danymi dotyczącymi precyzji i dokładności

Table 1. Results of analyses of certified soil material NCS ZC73002, as well as data for precision and accuracy

Pierwiastek Element	Wartość certyfikowana Certified value g·kg ⁻¹ s.m. g·kg ⁻¹ DM	Uzyskana wartość Obtained value g·kg ⁻¹ s.m. g·kg ⁻¹ DM	Precyzja Precision	Dokładność Accuracy
			%	
N	0,95 ± 0,10	0,97 ± 0,09	9,28	2,11
S	0,217 ± 0,023	0,198 ± 0,018	9,09	-8,76
C org.	10,7 ± 0,6	10,4 ± 0,5	4,81	-2,80

Źródło: LGC Standards 2008/2009; wyniki własne. Source: LGC Standards 2008/2009; own study.

Opisując właściwości gleb, zbiór 100 próbek podzielono na grupy, posługując się trzema kryteriami: kategorią agronomiczną gleby, odczynem gleby oraz sposobem użytkowania stanowiska, z którego pobrano próbkę. Uzyskane wyniki opracowano statystycznie, podając wartości: średniej arytmetycznej, zakresu (jako wartości minimum i maksimum), odchylenia standardowego (*SD*) i współczynnika zmienności (*CV*). Przeprowadzono także jednoczynnikową analizę wariancji, a istotność zróżnicowania wartości średnich określono, stosując test Duncana, na poziomie istotności $\alpha \leq 0,05$. Zależności między właściwościami gleb wyrażono za pomocą współczynnika korelacji prostej (*r*). Opracowano także modele regresji liniowej wielorakiej dla zawartości siarki ogółem i siarczanowej w glebach (zmienne do modelu dobierano metodą krokową postępującą). Do statystycznego opracowania wyników wykorzystano program Statistica 10 (StatSoft, Inc.). Graficzne opracowanie danych wykonano, wykorzystując program Surfer 8 (Golden Software, Inc.).

WYNIKI BADAŃ

Najwięcej próbek gleb województwa małopolskiego zaklasyfikowano do utworów pyłowych – 41%. Gliny, piaski i ily stanowiły odpowiednio 30, 21 i 8% badanych gleb. Kategorię agronomiczną gleb określono na podstawie zawartości części spławialnych, 8 próbek gleb zaliczono do utworów bardzo lekkich, 13 do lekkich, 27 do średnich, a 52 do ciężkich.

Wśród próbek gleb leśnych przeważały utwory piaszczyste, wśród próbek gleb pobranych z terenu pól uprawnych dominowały utwory pyłowe, a gleby łąkowe w większości zaklasyfikowano do glin i pyłów. Dane przedstawione w tabeli 2. odzwierciedlają te zależności. Gleby leśne cechowały się najmniejszą średnią zawartością części spławialnych (23%) i jednocześnie największym zróżnicowaniem

Tabela 2. Zawartość części spławialnych w glebach województwa małopolskiego w rozbiu na sposoby użytkowania

Table 2. Content of floatable particles in soils of Malopolska province with division into ways of land use

Sposób użytkowania Way of land use	Zawartość części spławialnych		Content of floatable particles, %	
	średnia mean	zakres range	<i>SD</i>	<i>CV</i>
Las Forest	23 a	1–64	18	79
Łąka Meadow	37 b	7–73	15	39
Pole uprawne Arable field	37 b	12–54	11	29

Objaśnienia: wartości średnie w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie na poziomie istotności $\alpha \leq 0,05$ według testu Duncana.

Explanations: mean values in columns marked with the same letters do not differ statistically significantly at the significance level $\alpha \leq 0.05$ according to Duncan's test.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

tej zawartości w poszczególnych próbkach. Średnia zawartość części o średnicy <0,02 mm w glebach łąkowych i leśnych wynosiła 37%.

Wartość pH próbek gleb województwa małopolskiego oznaczona w roztworze KCl o stężeniu $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ mieściła się w szerokim zakresie – od 3,2 do 7,5, średnio 5,6. Wśród badanych próbek utwory bardzo kwaśne stanowiły 28%, kwaśne 18%, lekko kwaśne 23%, obojętne 27%, a zasadowe 4%.

Średnią wartość pH_{KCl} (oraz oznaczone wartości minimalne i maksymalne) próbek gleb województwa małopolskiego, z uwzględnieniem podziału gleb w zależności od kategorii agronomicznej oraz sposobu użytkowania, przedstawiono w tabelach 3. i 4. Gleby bardzo lekkie charakteryzowały się istotnie mniejszą średnią wartością pH_{KCl} (4,2) od gleb zaliczonych do pozostałych kategorii agronomicznych (pH 5,2–6,0). Gleby pobrane z terenów użytkowanych rolniczo (łąk i pól uprawnych) cechowały się o około dwie jednostki większą średnią wartością pH_{KCl} od gleb leśnych.

Tabela 3. Wartość pH_{KCl} gleb województwa małopolskiego w rozbiciu na kategorie agronomiczne

Table 3. pH_{KCl} value of soils of Malopolska province with division into agronomic categories

Kategoria agronomiczna Agronomic category	pH_{KCl}	
	średnia mean	zakres range
Bardzo lekka Very light	4,2 a	3,2–6,5
Lekka Light	6,0 b	3,7–7,5
Średnia Medium	5,2 b	3,2–7,2
Ciężka Heavy	5,8 b	3,4–7,5

Objaśnienia: jak w tabeli 2. Explanations: as in Table 2.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Tabela 4. Wartość pH_{KCl} gleb województwa małopolskiego w rozbiciu na sposoby użytkowania

Table 4. pH_{KCl} value of soils of Malopolska province with division into ways of land use

Sposób użytkowania Way of land use	pH_{KCl}	
	średnia mean	zakres range
Las Forest	4,1 a	3,2–6,2
Łąka Meadow	5,8 b	3,9–7,4
Pole uprawne Arable field	6,1 b	3,6–7,5

Objaśnienia: jak w tabeli 2. Explanations: as in Table 2.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Zawartość węgla organicznego w próbkach gleb województwa małopolskiego wynosiła od 3,1 g do $79,1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m., natomiast zawartość azotu ogółem od 0,31 g do $7,16 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. Średnie zawartości węgla organicznego i azotu ogółem wynosiły odpowiednio $20,0 \text{ g}$ i $2,1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. Spośród pobranych próbek gleb leśnych 10

zaliczono do gleb organiczno-mineralnych, a spośród gleb łąkowych – 7 (przyjęto, że gleby organiczno-mineralne zawierają 5–20% substancji organicznej, a zawartość węgla w substancji organicznej to 58%).

Analizując wartości omawianych parametrów w zależności od kategorii agronomicznej gleb, stwierdzono, że najmniejszą średnią zawartością węgla organicznego i azotu ogółem cechowały się gleby lekkie – było to odpowiednio 9,8 g i 1,13 g·kg⁻¹ s. m. (tab. 5). Pozostałe gleby zawierały średnio od 19,4 g do 26,8 g węgla i od 1,90 g do 2,45 g azotu w 1 kg s.m. Dużą zawartość węgla i azotu w próbkach gleb bardzo lekkich należy tłumaczyć pochodzeniem tych próbek (prawie wszystkie pobrano z terenów leśnych). Średnia wartość stosunku zawartości węgla do azotu w glebach bardzo lekkich była istotnie statystycznie większa (C:N = 14) niż w glebach należących do pozostałych kategorii agronomicznych (C:N = 9). Zakresy zmienności zawartości węgla i azotu w ramach kategorii były znacznie większe niż różnice między kategoriami.

Tabela 5. Zawartość węgla organicznego i azotu ogółem w glebach województwa małopolskiego oraz wartość stosunku zawartości węgla do azotu (C:N) w rozbiciu na kategorie agronomiczne

Table 5. Content of organic carbon and total nitrogen in soils of Malopolska province as well as carbon to nitrogen ratio (C:N), with division into agronomic categories

Kategoria agronomiczna Agronomic category	Zawartość, g·kg ⁻¹ s.m. Content, g·kg ⁻¹ DM								C:N średnio mean
	C org. organic C				N og. total N				
	średnia mean	zakres range	SD	CV, %	średnia mean	zakres range	SD	CV, %	
Bardzo lekka Very light	26,8 b	8,2–66,4	20,5	76	1,90 b	0,64–5,40	1,50	79	14 b
Lekka Light	9,8 a	3,1–19,7	4,78	49	1,13 a	0,31–1,95	0,45	40	9 a
Średnia Medium	24,0 b	8,0–79,1	18,2	76	2,45 b	1,16–7,16	1,39	57	9 a
Ciężka Heavy	19,4 b	4,8–58,1	11,0	56	2,18 b	0,72–5,21	0,90	41	9 a

Objaśnienia: jak w tabeli 2. Explanations: as in Table 2.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Gleby pól uprawnych cechowały się najmniejszą średnią zawartością węgla organicznego i azotu ogółem (odpowiednio 13,7 g i 1,68 g·kg⁻¹ s.m.) – tabela 6. Gleby leśne zawierały istotnie więcej węgla niż gleby łąkowe (odpowiednio 32,7 g i 20,3 g·kg⁻¹ s.m.), natomiast średnia zawartość azotu w obu grupach gleb była zbliżona (2,49 g i 2,30 g·kg⁻¹ s.m.). Konsekwencją dużej zawartości węgla w glebach leśnych była istotnie większa niż w pozostałych grupach gleb średnia wartość stosunku zawartości węgla do azotu (wartości C:N odpowiednio 13 i 8). Najmniejszym zróżnicowaniem wartości omawianych parametrów cechowały się gleby pól uprawnych.

Tabela 6. Zawartość węgla organicznego i azotu ogółem w glebach województwa małopolskiego oraz wartość stosunku zawartości węgla do azotu (C:N) w rozbiu na sposoby użytkowania**Table 6.** Content of organic carbon and total nitrogen in soils of Malopolska province as well as carbon to nitrogen ratio (C:N), with division into ways of land use

Sposób użytkowania Way of land use	Zawartość, g·kg ⁻¹ s.m. Content, g·kg ⁻¹ DM								C:N średnio mean
	C org. organic C				N og. total N				
	średnia mean	zakres range	SD	CV, %	średnia mean	zakres range	SD	CV, %	
Las Forest	32,7 c	8,2–66,4	19,5	60	2,49 b	0,64–5,40	1,46	59	13 b
Łąka Meadow	20,3 b	3,1–79,1	13,6	67	2,30 b	0,31–7,16	1,27	55	8 a
Pole uprawne Arable field	13,7 a	6,8–25,2	4,1	30	1,68 a	0,98–2,69	0,41	25	8 a

Objaśnienia: jak w tabeli 2. Explanations: as in Table 2.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Analizując wartości omawianych parametrów w glebach województwa małopolskiego podzielonych w zależności od odczynu, stwierdzono, że gleby o większym zakwaszeniu cechowały się większą średnią zawartością węgla organicznego i azotu ogółem od gleb mniej zakwaszonych (tab. 7). Gleby bardzo kwaśne zawierały średnio 25,2 g węgla i 2,30 g azotu, natomiast gleby zasadowe zawierały 9,5 g węgla i 1,08 g azotu w kg s.m. Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic średniej wartości stosunku C:N w badanych glebach. Zmienność zawartości węgla i azotu w ramach wszystkich wydzielonych kategorii była duża.

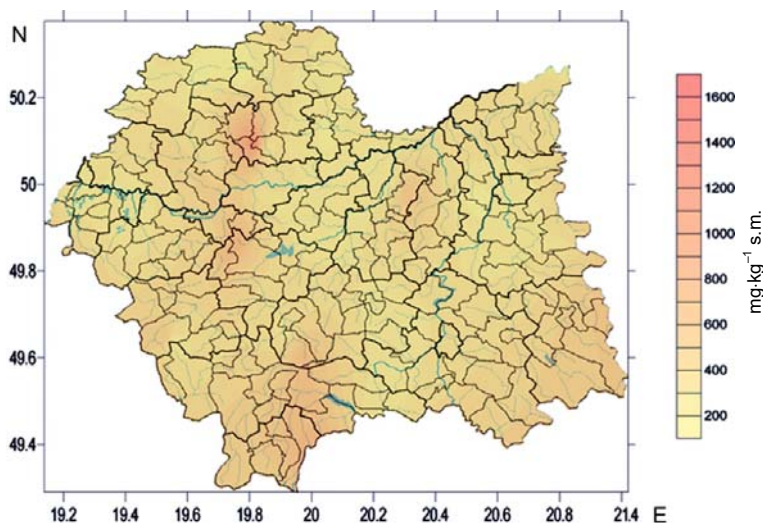
Tabela 7. Zawartość węgla organicznego i azotu ogółem w glebach województwa małopolskiego oraz wartość stosunku zawartości węgla do azotu (C:N) w zależności od odczynu**Table 7.** Content of organic carbon and total nitrogen in soils of Malopolska province as well as carbon to nitrogen ratio (C:N), depending on reaction

Odczyn Reaction	Zawartość, g·kg ⁻¹ s.m. Content, g·kg ⁻¹ DM								C:N średnio mean
	C org. organic C				N og. total N				
	średnia mean	zakres range	SD	CV, %	średnia mean	zakres range	SD	CV, %	
Bardzo kwaśny Very acid	25,2 b	6,5–66,4	17,0	68	2,30 b	0,64–5,40	1,16	50	11 a
Kwaśny Acid	20,6 ab	3,8–48,7	12,7	62	2,18 b	0,64–4,33	1,13	52	9 a
Lekko kwaśny Slightly acid	17,9 ab	3,6–58,1	11,1	62	2,05 ab	0,53–5,21	0,92	45	8 a
Obojętny Neutral	18,0 ab	7,7–79,1	14,2	78	2,03 ab	0,72–7,16	1,25	61	9 a
Zasadowy Basic	9,5 a	3,1–14,6	4,8	50	1,08 a	0,31–1,82	0,63	58	9 a

Objaśnienia: jak w tabeli 2. Explanations: as in Table 2.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

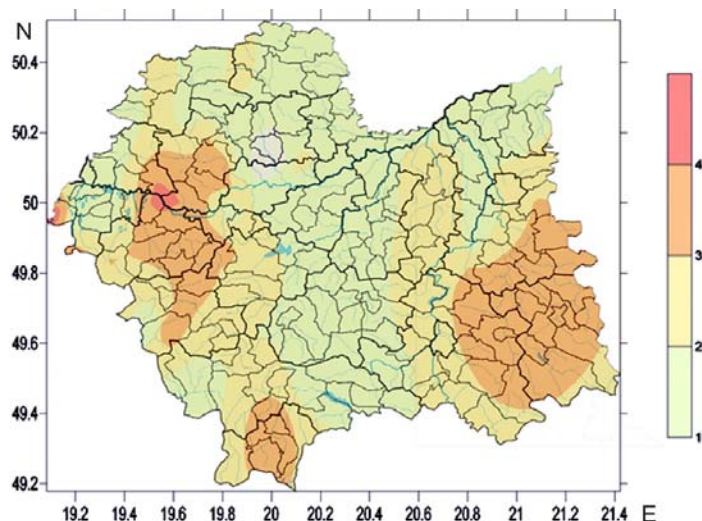
Gleby województwa małopolskiego zawierały średnio 401 mg siarki ogółem i 38,9 mg siarki siarczanowej w 1 kg s.m., zawartości te mieściły się odpowiednio w granicach 74–1425 i 5,0–172,5 mg·kg⁻¹ s.m. Większość gleb województwa charakteryzowała się niską (I stopień zawartości – 29 próbek) i średnią (II stopień – 67 próbek) zawartością siarki ogółem; tylko w 4 punktach stwierdzono wysoką zawartość siarki ogółem (III stopień). Wśród badanych gleb województwa małopolskiego stwierdzono 31 próbek o niskiej zawartości siarki siarczanowej, 33 próbki o zawartości średniej, 21 próbek o zawartości wysokiej i 15 próbek o zawartości bardzo wysokiej. Zróżnicowanie zawartości siarki ogółem i siarki siarczanowej w glebach na obszarze województwa małopolskiego przedstawiono na rysunkach 1. i 2.



Rys. 1. Zawartość siarki ogółem w glebach województwa małopolskiego; źródło: wyniki własne

Fig. 1. Total sulphur content in soils of Malopolska province; source: own study

Nie stwierdzono wyraźnych zmian zawartości siarki (zwłaszcza formy siarczanowej) w glebach w zależności od kategorii agronomicznej (tab. 8). Średnia zawartość siarki ogólnej w wydzielonych kategoriach agronomicznych gleb mieściła się w przedziale 236–393 mg·kg⁻¹ s.m., a zawartość siarki siarczanowej w przedziale 25,0–36,1 mg·kg⁻¹ s.m. Zakresy zmienności obu wielkości w ramach poszczególnych kategorii były znacznie większe niż różnice między kategoriami. Największą wartością stosunku zawartości węgla organicznego do siarki ogółem cechowały się gleby bardzo lekkie (C:S = 90), co wynikało z dużej zawartości węgla organicznego w tych glebach (prawie wszystkie próbki tych gleb pochodziły z terenów leśnych). Wartość stosunku C:S w glebach średnich wynosiła 69, w glebach ciężkich – 56, natomiast w glebach lekkich – 48. Średnio udział zawartości siarki siarczanowej w zawartości siarki ogółem wynosił 9–10%.



Rys. 2. Stopnie zawartości siarki siarczanowej w glebach województwa małopolskiego; stopnie zawartości w glebach: 1 = niska, 2 = średnia, 3 = wysoka, 4 = podwyższona antropogenicznie; źródło: wyniki własne

Fig. 2. Levels of pollution with sulphate sulphur in soils of Małopolska province; content levels in soils: 1 = low, 2 = medium, 3 = high, 4 = elevated anthropogenically; source: own study

Tabela 8. Zawartość siarki ogółem i siarki siarczanowej w glebach województwa małopolskiego oraz wartość stosunku zawartości węgla do siarki (C:S) w rozbiciu na kategorie agronomiczne

Table 8. Content of total sulphur and sulphate sulphur in soils of Małopolska province as well as carbon to sulphur ratio (C:S), with division into agronomic categories

Kategoria agronomiczna Agronomic category	Zawartość, g·kg ⁻¹ s.m. Content, g·kg ⁻¹ DM								Udział S _{SO4} w S ogółem Share of S _{SO4} in total S %	C:S
	S og. total S				S siarczanowa sulphate S					
	średnia mean	zakres range	SD	CV, %	średnia mean	zakres range	SD	CV, %	średnio mean	
Bardzo lekka Very light	281 ab	113–546	155	55	33,2 a	9,1–36,2	41,6	125	10 a	90 b
Lekka Light	236 a	74–635	143	61	25,0 a	5,6–82,5	20,3	81	10 a	48 a
Średnia Medium	393 b	139–1425	284	72	36,1 a	10,3–172,5	32,3	89	10 a	69 ab
Ciężka Heavy	367 ab	114–941	173	47	31,4 a	5,0–113,6	18,9	60	9 a	56 a

Objaśnienia: jak w tabeli 2. Explanations: as in Table 2.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Najmniejszą średnią zawartość siarki ogółem (253 mg·kg⁻¹ s.m.) stwierdzono w próbkach gleb pobranych z pól uprawnych (tab. 9). Istotnie więcej siarki ogółem zawierały gleby leśne (360 mg·kg⁻¹ s.m.) i łąkowe (435 mg·kg⁻¹ s.m.). Nie stwier-

Tabela 9. Zawartość siarki ogółem i siarki siarczanowej w glebach województwa małopolskiego oraz wartość stosunku zawartości węgla do siarki (C:S) w rozbiciu na sposoby użytkowania

Table 9. Content of total sulphur and sulphate sulphur in soils of Malopolska province as well as carbon to sulphur ratio (C:S), with division into ways of land use

Sposób użytkowania Way of land use	Zawartość, g·kg ⁻¹ s.m. Content, g·kg ⁻¹ DM								Udział S _{SO4} w S ogółem Share of S _{SO4} in total S %	C:S
	S og. total S				S siarczanowa sulphate S					
	średnia mean	zakres range	SD	CV, %	średnia mean	zakres range	SD	CV, %	średnio mean	
Las Forest	360 b	113–941	211	59	37,3 a	5,6–141,2	35,7	96	10 ab	95 b
Łąka Meadow	435 b	74–1425	241	56	34,3 a	5,0–172,5	28,6	83	8 a	51 a
Pole uprawne Arable field	253 a	136–640	92,7	37	26,8 a	12,4–66,4	10,5	39	11 b	57 a

Objaśnienia: jak w tabeli 2. Explanations: as in Table 2.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

dzono istotnego statystycznie zróżnicowania zawartości siarki siarczanowej w glebach w zależności od sposobu użytkowania, a średnie zawartości obliczone dla poszczególnych grup mieściły się w zakresie 26,8–37,3 mg·kg⁻¹ s.m. Najmniejszym zróżnicowaniem zawartości obu form siarki cechowały się gleby pól uprawnych. Udział zawartości siarki siarczanowej w zawartości siarki ogółem wynosił 8–11% i w glebach łąkowych był istotnie mniejszy niż w glebach pól uprawnych. Gleby leśne cechowała największa wartość stosunku zawartości węgla organicznego do siarki ogółem (C:S = 95). Średnie wartości tego stosunku w próbkach gleb pobranych z łąk i pól uprawnych były istotnie mniejsze i wynosiły odpowiednio 51 i 57.

Nie wykazano istotnego zróżnicowania zawartości siarki ogółem w glebach w zależności od odczynu, a średnia zawartość siarki obliczona dla poszczególnych grup gleb mieściła się w zakresie od 314 mg do 413 mg·kg⁻¹ s.m. (tab. 10). Wraz ze zmniejszaniem się zakwaszenia gleb ulegała zwiększeniu średnia zawartość siarki siarczanowej oraz udział zawartości siarki siarczanowej w zawartości siarki ogółem. Średnia zawartość siarki siarczanowej w glebach zasadowych (50,6 mg·kg⁻¹ s.m.) była istotnie statystycznie większa od zawartości oznaczonej w glebach bardzo kwaśnych i kwaśnych (odpowiednio 27,2 mg i 26,7 mg·kg⁻¹ s.m.). Zawartość siarki w formie siarczanowej w glebach bardzo kwaśnych i kwaśnych stanowiła średnio 9% zawartości siarki ogółem, a w glebach zasadowych 13%. Zakresy zmienności zawartości siarki ogółem i siarczanowej w ramach kategorii były znacznie większe niż różnice między grupami. Średni stosunek zawartości węgla organicznego do zawartości siarki ogółem w glebach bardzo kwaśnych i kwaśnych wynosił odpowiednio 77 i 74, w glebach lekko kwaśnych i obojętnych odpowiednio 51 i 50, natomiast w glebach zasadowych – 38.

Obliczono wartości współczynnika korelacji prostej (*r*) między wybranymi właściwościami gleb leśnych, łąkowych i ornych województwa małopolskiego

Tabela 10. Zawartość siarki ogółem i siarki siarczanowej w glebach województwa małopolskiego oraz wartość stosunku zawartości węgla do siarki (C:S) w zależności od odczynu

Table 10. Content of total sulphur and sulphate sulphur in soils of Malopolska province as well as carbon to sulphur ratio (C:S), depending on reaction

Odczyn Reaction	Zawartość, g·kg ⁻¹ s.m. Content, g·kg ⁻¹ DM								Udział S _{SO4} w S ogółem Share of S _{SO4} in total S %	C:S
	S og. total S				S siarczanowa sulphate S					
	średnia mean	zakres range	SD	CV, %	średnia mean	zakres range	SD	CV, %	średnio mean	
Bardzo kwaśny Very acid	330 a	114–645	151	46	27,2 a	5,0–141,2	27,4	101	9 a	77 b
Kwaśny Acid	314 a	74–821	203	64	26,7 a	6,1–92,4	19,3	72	9 a	74 b
Lekko kwaśny Slightly acid	363 a	99–941	204	56	33,0 ab	8,9–114,0	21,2	64	10 ab	51 ab
Obojętny Neutral	373 a	167–1425	254	68	37,0 ab	12,4–172,5	28,5	77	10 ab	50 ab
Zasadowy Basic	413 a	177–640	259	63	50,6 b	19,2–82,5	29,0	57	13 b	38 a

Objaśnienia: jak w tabeli 2. Explanations: as in Table 2.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Tabela 11. Wartości współczynnika korelacji prostej (*r*) między wybranymi właściwościami gleb województwa małopolskiego w rozbiciu na sposoby użytkowania

Table 11. Values of simple correlation coefficient (*r*) between selected properties of soils of Malopolska province, with division into ways of land use

Sposób użytkowania Way of land use	Parametr Parameter	Części spławialne Floatable particles <0,02 mm	[H ⁺]	Zawartość Content		
				C org. organic C	N og. total N	S og. total S
	[H ⁺]	-0,196				
Las Forest	C org. organic C	0,426	0,277			
	N og. total N	0,533*	0,070	0,951***		
	S og. total S	0,563*	0,041	0,725***	0,813***	
	S siarczanowa sulphate S	0,214	0,022	0,825***	0,886***	0,671**
	[H ⁺]	0,368*				
Łąka Meadow	C org. organic C	0,169	-0,128			
	N og. total N	0,264	-0,075	0,970***		
	S og. total S	0,076	-0,235	0,705***	0,664***	
	S siarczanowa sulphate S	-0,112	-0,358*	0,727***	0,645***	0,779***
	[H ⁺]	-0,221				
Pole uprawne Arable field	C org. organic C	0,278	-0,230			
	N og. total N	0,359*	-0,129	0,911***		
	S og. total S	0,234	-0,191	0,291	0,226	
	S siarczanowa sulphate S	0,226	-0,361*	0,189	0,107	0,604***

Objaśnienia: * istotny, gdy $p < 0,05$; ** istotny, gdy $p < 0,01$; *** istotny, gdy $p < 0,001$, pozostałe nieistotny.

Explanations: * significant, when $p < 0,05$; ** significant, when $p < 0,01$; *** significant, when $p < 0,001$, others insignificant.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

(tab. 11). W odniesieniu do wszystkich badanych siedlisk stwierdzono bardzo silną korelację między zawartością węgla organicznego i azotu ogółem w glebie ($r = 0,911-0,970$).

Wartość współczynnika korelacji prostej między zawartością siarki ogółem i siarki siarczanowej wynosiła 0,604 w glebach pól uprawnych, 0,671 w glebach leśnych i 0,779 w glebach łąkowych (tab. 11). W odniesieniu do gleb leśnych i łąkowych wykazano bardzo silne korelacje pomiędzy zawartością siarki ogółem i siarki siarczanowej a zawartością węgla organicznego i azotu ogółem (od 0,645 do 0,886, przy czym większe wartości r stwierdzono w przypadku gleb leśnych); takich zależności nie stwierdzono w odniesieniu do gleb pól uprawnych. Zawartość siarki ogółem w glebach leśnych była istotnie dodatnio skorelowana z zawartością części spławialnych ($r = 0,563$). Ponadto w glebach łąkowych i ornyczych zawartość siarki siarczanowej była istotnie ujemnie skorelowana ze stężeniem jonów wodorowych, a wartości r wynosiły odpowiednio $-0,358$ i $-0,361$. Równania regresji prostej dla zależności między zawartością siarki a wybranymi właściwościami gleb przedstawiono w tabeli 12.

Kolejnym etapem statystycznego opracowania uzyskanych wyników było opracowanie modeli regresji liniowej wielorakiej (zmiennie do modelu dobierano metodą krokową postępującą) dla zawartości obu form siarki w glebach. Do budowy modelu zawartości siarki ogółem w glebach wykorzystano zawartość węgla organicznego, azotu ogółem, części spławialnych oraz stężenie jonów wodorowych, a do budowy modelu zawartości siarki siarczanowej w glebach – dodatkowo zawartość siarki ogółem.

Przedstawione modele wyjaśniały badane zależności w 8–90% (tab. 13). Modele zawartości siarki siarczanowej w glebach lepiej opisywały badane zależności niż modele zawartości siarki ogółem, jednocześnie najlepiej zmienność badanych parametrów wyjaśniały modele dla gleb leśnych, w mniejszym stopniu dla gleb łąkowych, a w najmniejszym stopniu dla gleb pól uprawnych.

DYSKUSJA WYNIKÓW

Jednym z istotniejszych parametrów fizykochemicznych gleby jest jej odczyn. Za optymalne pH dla procesów metabolicznych większości gatunków roślin i mikroorganizmów glebowych przyjmuje się wartości pH od 5,5 do 7,2 [SIEBIELEC i in. 2012]. W badaniach własnych 55% próbek gleb z terenu województwa małopolskiego charakteryzowało się wartością pH mieszczącą się w tym zakresie, a 28% próbek gleb cechowało się wartością pH mniejszą od 4,5. W warunkach takiego poziomu zakwaszenia zmniejsza się pobranie składników pokarmowych z gleby, następuje wymywanie azotu, uwstecznianie fosforu, a rozpuszczalne formy glinu uszkadzają włósniki korzeni [FILIPEK-MAZUR (red.) 2011; SINGH i in. 2017]. SIEBIELEC i in. [2012] podają, że średnia wartość pH gleb ornyczych w Polsce

Tabela 12. Równania regresji prostej pomiędzy zawartością siarki a wybranymi właściwościami gleb w rozbięciu na sposoby użytkowania**Table 12.** Simple regression equations between sulphur content and selected soil properties, with division into ways of land use

Zawartość składnika Element content	Sposób użytkowania Way of land use	Równanie Equation	r^2	
Siarka ogółem Total sulphur	las forest	S og. = 103,159 + 7,838 C org. total S = 103.159 + 7.838 organic C	0,5253	
		S og. = 67,013 + 117,364 N og. total S = 67.013 + 117.364 total N	0,6612	
	łąka meadow	S og. = 182,184 + 12,479 C org. total S = 182.184 + 12.479 organic C	0,4963	
		S og. = 145,195 + 126,053 N og. total S = 145.195 + 126.053 total N	0,4409	
	pole uprawne arable field	S og. = 166,135 + 6,396 C org. total S = 166.135 + 6.396 organic C	0,0819	
		S og. = 170,425 + 49,577 N og. total S = 170.425 + 49.577 total N	0,0483	
	Siarka siarczanowa Sulphate sulphur	las forest	S siarczanowa = -3,573 + 0,114 S og. sulphate S = -3.573 + 0.114 total S	0,4504
			S siarczanowa = -12,148 + 1,512 C org. sulphate S = -12.148 + 1.512 organic C	0,6807
S siarczanowa = -16,681 + 21,668 N og. sulphate S = -16.681 + 21.668 total N		0,7843		
Siarka siarczanowa Sulphate sulphur	łąka meadow	S siarczanowa = -5,842 + 0,092 S og. sulphate S = -5.842 + 0.092 total S	0,6072	
		S siarczanowa = 3,394 + 1,527 C org. sulphate S = 3.394 + 1.527 organic C	0,5292	
	S siarczanowa = 0,9609 + 14,518 N og. sulphate S = 0.9609 + 14.518 total N	0,4162		
	pole uprawne arable field	S siarczanowa = 9,408 + 0,069 S og. sulphate S = 9.408 + 0.069 total S	0,3707	
S siarczanowa = 20,509 + 0,462 C org. sulphate S = 20.509 + 0.462 organic C		0,0336		
S siarczanowa = 22,57 + 2,536 N og. sulphate S = 22.57 + 2.536 total N	0,0099			

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

wynosi 5,48, mediana – 5,38, a wartości pierwszego i trzeciego kwartyła odpowiednio 4,7 i 6,3. PIETRZAK [2012], badając odczyn gleb terenów łąkowych, zaklasyfikował 40% próbek z województwa małopolskiego do kategorii bardzo kwaśnych, 32,3% do kategorii kwaśnych, 16,9% do kategorii lekko kwaśnych, 9,2% do kategorii obojętnych i 1,5% do kategorii alkalicznych.

Tabela 13. Modele regresji liniowej wielorakiej zawartości siarki ogółem i siarczanowej w glebach w rozbiściu na sposoby użytkowania

Table 13. Models of multiple linear regression of total sulphur content and sulphate sulphur content in soils, with division into ways of land use

Zawartość składnika Element content	Sposób użytkowania Way of land use	Równanie Equation	r^2
Siarka ogółem Total sulphur	las forest	S og. = 72,92 + 186,71 N og. – 5,46 C org. total S = 72.92 + 186.71 total N – 5.46 organic C	0,6857
	łąka meadow	S og. = 208,43 + 12,14 C org. – 1263520,36 [H ⁺] total S = 208.43 + 12.14 organic C – 1263520,36 [H ⁺]	0,5176
	pole uprawne arable field	S og. = 166,48 + 6,49 C org. total S = 166.48 + 6.49 organic C	0,0848
	las forest	S siarczanowa = –10,52 + 39,51 N og. – 0,84 frakcja spławialna – 0,97 C org. sulphate S = –10.52 + 39.51 N og. – 0.84 floatable fraction – 0.97 organic C	0,9019
Siarka siarczanowa Sulphate sulphur	łąka meadow	S siarczanowa = 9,23 + 0,06 S og. + 2,06 C org. – 0,32 frakcja spławialna – 13,33 N og. sulphate S = 9.23 + 0.06 total S + 2.06 organic C – 0.32 floatable fraction – 13.33 total N	0,7339
	pole uprawne arable field	S siarczanowa = 12,08 + 0,06 S og. – 54461,96 [H ⁺] sulphate S = 12.08 + 0.06 total S – 54461.96 [H ⁺]	0,4281

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Zawartość węgla organicznego jest bardzo istotna ze względu na właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne gleb. SIEBIELEC i in. [2012] podają dla gleb ornych w Polsce średnie zawartości węgla organicznego i azotu ogółem wynoszące odpowiednio 11,4 i 1,1 g·kg⁻¹ s.m., z zakresem zmienności między 4,4 a 35,1 g oraz między 0,4 a 4,1 g·kg⁻¹ s.m. Wyniki badań własnych są potwierdzeniem danych przedstawionych w wymienionej pracy. Jednocześnie zawartości węgla organicznego i azotu ogółem oznaczone w badaniach własnych były większe od wartości uzyskanych przez KULCZYCKIEGO i SPIAK [2003] dla gleb południowo-zachodniego rejonu Polski.

Wartość stosunku C:N zmienia się w zależności od rodzaju gleby – zazwyczaj w glebach leśnych jest większa niż w glebach darniowych, natomiast w poziomach próchnicznych profilu glebowego stosunek ten jest zwykle szerszy niż w poziomach mineralnych [MARTY i in. 2017; THOMPSON, TROEH 1978]. W badaniach własnych, w próbkach pochodzących z pól uprawnych i łąk średnia wartość stosunku C:N była mniejsza niż w próbkach pochodzących z lasów. Było to związane z obecnością w glebach leśnych nierozłożonych szczątków roślinnych. Podczas początkowej fazy procesu rozkładu resztek organicznych przez mikroorganizmy glebowe następuje znaczna utrata węgla, który wydzielany jest do atmosfery w po-

stacji CO₂. Wartość stosunku zawartości węgla organicznego do zawartości azotu ogółem (C:N) większa od 32 świadczy o spowolnieniu mineralizacji substancji organicznej i istnieniu warunków sprzyjających pobieraniu azotu przyswajalnego dla roślin przez mikroorganizmy (uwstecznianie, immobilizacja azotu). Gdy wartość ilorazu zawartości węgla organicznego i azotu ogółem jest mniejsza od 32, następuje intensyfikacja mineralizacji azotu, który nie jest wykorzystywany przez rośliny [THOMPSON, TROEH 1978]. W badaniach własnych wartość stosunku C:N we wszystkich badanych glebach była znacznie mniejsza od 32 i wynosiła od 6 do 20.

Według raportów o stanie środowiska opublikowanych przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Krakowie w latach 2002 i 2008 (raport z 2008 roku jest ostatnim, w którym zamieszczono dane monitoringowe dotyczące zanieczyszczenia gleb województwa) zawartość SO₄²⁻ w większości punktów pomiarowych zlokalizowanych na terenie województwa kwalifikuje się do I stopnia [WIOŚ 2002; 2008]. W badaniach własnych, w 15% przebadanych gleb wykazano zawartość siarki siarczanowej na poziomie wskazującym na zanieczyszczenie antropogeniczne – IV stopień (w glebach wykazano duży udział zawartości siarki siarczanowej w zawartości siarki ogółem). W badaniach własnych największe zawartości siarki ogólnej i siarczanowej oznaczono w glebach o wartości pH > 7,2, co jest zgodne z wynikami badań KULCZYCKIEGO i SPIAK [2003]. Średnie zawartości siarki ogólnej i siarczanowej w glebach łąkowych i glebach pól uprawnych były większe od podawanych w literaturze średnich zawartości w glebach ornych [STEBIELEC i in. 2012] i użytków zielonych [PIETRZAK 2015] w Polsce. Stosunek zawartości węgla organicznego do siarki ogółem w 63% próbek gleb był większy od 50:1, a więc wartości określonej przez REJMAN-CZAJKOWSKĄ [1973] jako krytyczną dla możliwości wystąpienia względnego niedoboru siarki.

Tempo mineralizacji organicznych związków siarki w glebie zależy m.in. od wartości pH gleby [SZULC 2002]. Sposób uprawy gleby to kolejny czynnik wpływający na procesy mineralizacji-immobilizacji związków organicznych; ograniczenie uprawy przyczynia się nie tylko do zwiększenia zawartości substancji organicznej w glebie, ale też siarki (niezależnie od jej formy) [SZULC i in. 2004]. W zależności od sposobu uprawy i odczynu gleby zawartość siarki siarczanowej stanowi od 9,2% do 15,4% ogólnej zawartości tego pierwiastka w glebie, a wraz ze zwiększaniem się zakwaszenia gleby zmniejsza się udział siarczanów w ogólnej zawartości siarki [SZULC i in. 2004].

WNIOSKI

1. Badane gleby województwa małopolskiego zaklasyfikowano w większości do pyłów i glin. Gleby bardzo kwaśne, kwaśne i lekko kwaśne stanowiły 69% badanych gleb.

2. Gleby województwa małopolskiego zawierały 3,1–9,1 g węgla organicznego, 0,31–7,16 g azotu ogółem, 74–1425 mg siarki ogółem i 5,0–172,5 mg siarki siarczanowej w 1 kg s.m. Większość gleb województwa charakteryzowała się niską i średnią zawartością siarki ogółem i siarki siarczanowej.

3. Zawartość węgla organicznego, azotu ogółem, siarki ogółem i siarki siarczanowej w glebach była z reguły istotnie dodatnio skorelowana.

4. Opracowane na podstawie powyższych parametrów modele zawartości siarki ogółem w glebach wyjaśniały badane zależności w 8–69%, a modele zawartości siarki siarczanowej w 43–90%. Zmienność zawartości siarki najlepiej wyjaśniały modele dla gleb leśnych, w mniejszym stopniu dla gleb łąkowych, a w najmniejszym dla gleb pól uprawnych.

Badania zostały sfinansowane z dotacji przyznanej przez MNiSW na działalność statutową.

BIBLIOGRAFIA

- BORECZEK B. 2001. Bilans siarki w uprawach wybranych roślin polowych [Sulphur balance in fields of selected crops]. *Fragmenta Agronomica*. T. 18. Nr 4 s. 118–133.
- FILIPEK-MAZUR B. (red.) 2011. Środowiskowe aspekty stosowania nawozów i środków ochrony roślin w rolnictwie [Environmental aspects of applying fertilizers and plant protection products in the farming]. Kraków. Wydaw. UR. ISBN 978-83-60633-54-0 ss. 212.
- GRZEBISZ W., PRZYGOCKA-CYNA K. 2003. Aktualne problemy gospodarowania siarką w rolnictwie polskim [Current problems of sulphur in Poland]. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization*. Nr 4(17) s. 64–77.
- KABATA-PENDIAS A., PIOTROWSKA M., MOTOWICKA-TERELAK T., MALISZEWSKA-KORDYBACH B., FILIPIAK K., KRAKOWIAK A., PIETRUCH Cz. 1995. Podstawy oceny chemicznego zanieczyszczenia gleb. Metale ciężkie, siarka i WWA [Bases for the assessment of chemical soil pollution. Heavy metals, sulphur and PAHs]. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa. PIOŚ, IUNG. ISBN 83-86676-35-3 ss. 41.
- KULCZYCKI G., SPIAK Z. 2003. Zawartość siarki ogólnej i siarczanowej w glebach Polski Południowo-Zachodniej [Total sulphur and sulphate sulphate content in the soils of South-West Poland]. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization*. Nr 4 (17) s. 75–81.
- LGC Standards 2008/2009. Analytical reference materials, standards and high purity solvents ss. 905.
- MARTY C., HOULE D., GAGNON C., COURCHESNE F. 2017. The relationships of soil total nitrogen concentrations, pools and C:N ratios with climate, vegetation types and nitrate deposition in temperate and boreal forests of eastern Canada. *Catena*. Vol. 152 s. 163–172.
- MATEJKO M., DORE A.J., HALL J., DORE CH.J., BŁAŚ M., KRYZA M., SMITH R., FOWLER D. 2009. The influence of long term trends in pollutant emissions on deposition of sulphur and nitrogen and exceedance of critical loads in the United Kingdom. *Environmental Science and Policy*. Vol. 12. Iss. 7 s. 882–896.
- MOTOWICKA-TERELAK T., TERELAK H. 1998. Siarka w glebach Polski. Stan i zagrożenie [Sulphur in soils of Poland. The status and the risks]. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa. PIOŚ. ISBN 83-7217-37-1 ss. 106.
- OSTROWSKA A., GAWLIŃSKI S., SZCZUBIAŁKA Z. 1991. Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. Katalog [Methods of analysis and the evaluation of properties of soils and the plants. Catalogue]. Warszawa. IOŚ ss. 333.

- PIETRZAK S. 2012. Odczyn i zasobność gleb łąkowych w Polsce [Fertility and pH of meadow soils in Poland]. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 12. Z. 1 (37) s. 105–117.
- PIETRZAK S. 2015. Zawartość siarki w glebach użytków zielonych w Polsce w latach 2009–2011 [Sulphur content in grassland soils in Poland in the years 2009–2011]. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 15. Z. 2 (50) s. 97–113.
- REJMAN-CZAJKOWSKA M. 1973. Zawartość i rozmieszczenie siarki w glebach wytworzonych z gliny lekkiej [Content and distribution of sulphur in soils developed of light loam]. *Roczniki Gleboznawcze*. T. 24. Z. 2 s. 201–229.
- SCHERER H.W. 2001. Sulphur in crop production. *European Journal of Agronomy*. Vol. 14. Iss. 2 s. 81–111.
- SIEBIELEC G., SMREČZAK 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 [Monitoring of arable land chemism in Poland in the years 2010–2012] [online]. Puławy. IUNG-PIB ss. 202. [Dostęp 21.04.2017]. Dostępny w Internecie: http://www.gios.gov.pl/images/dokumenty/pms/monitoring_jakosci_gleb/monitoring_chemizmu_gleb_2010_2012.pdf
- SINGH S., TRIPATHI D.K., SINGH S., SHARMA S., DUBEY N.K., CHAUHAN D.K., VACULIK M. 2017. Toxicity of aluminium on various levels of plant cells and organism: A review. *Environmental and Experimental Botany*. Vol. 137 s. 177–193.
- SZULC W. 2002. Wpływ zróżnicowanego nawożenia na zawartość różnych form siarki w glebie [Influence of diversified fertilization on the content of different sulphur forms in soil]. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. Z. 482 s. 513–518.
- SZULC W., RUTKOWSKA B., ŁABĘTOWICZ J. 2004. Zawartość siarki ogólnej, organicznej i siarczanej w profilu glebowym w warunkach różnych systemów uprawy gleby [The content of total sulphur and sulphate sulphur in soil profile in conditions of different soil cultivation system]. *Annales UMCS. Sec. E. T. 59. Nr 1 s. 55–62*.
- THOMPSON L.M., TROEH F.R. 1978. Gleba i jej żyzność [Soil and its fertility]. Warszawa. PWRiL ss. 546.
- WIOŚ 2002. Raport o stanie środowiska w województwie małopolskim w 2001 roku [The state of the environment, report in Małopolskie Voivodeship in 2001] [online]. Kraków. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska. [Dostęp 21.04.2017]. Dostępny w Internecie: <http://www.krakow.pios.gov.pl/raport01/raport01.htm>.
- WIOŚ 2008. Raport o stanie środowiska w województwie małopolskim w 2007 roku [The state of the environment, report in Małopolskie Voivodeship in 2007] [online]. Kraków. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska. [Dostęp 21.04.2017]. Dostępny w Internecie: <http://www.krakow.pios.gov.pl/publikacje/raporty/raport07/>.

Barbara FILIPEK-MAZUR, Monika TABAK, Olga GORCZYCA

**SULPHUR IN SOILS OF THE MAŁOPOLSKA PROVINCE
– ASSESSMENT OF RICHNESS AND MODELLING
OF THE ELEMENT CONTENT IN SOILS**

Key words: *Małopolska province, modeling, soil, sulphate sulphur, total sulphur*

S u m m a r y

The aim of the research was to assess the richness of soils of Małopolska province in total and sulphate sulphur. Another aim of the research was to study the relation between the content of both

sulphur forms and pH value of soils as well as content of floatable particles, organic carbon and total nitrogen in the soils. The research material (100 soil samples) was taken in 2010 from Małopolska province. Samples were taken from arable fields, meadows and forests; from the 0–20 cm deep soil layer. Most of the studied soils were classified as silts and loams. 69% of the examined soils had very acid, acid and slightly acid reaction. The soils of the Małopolska province contained 3.1–9.1 g organic carbon, 0.31–7.16 g total nitrogen, 74–1425 mg total sulphur, and 5.0–172.5 mg sulphate sulphur per 1 kg DM. Most of the soils were characterized by a low and medium sulphur content. As a rule, concentrations of organic carbon, total nitrogen, total sulphur and sulphate sulphur in the soils were significantly positively correlated. Models of the sulphate sulphur content in the soils, based on the analyzed parameters, explained the studied relations better than the models of the total sulphur content.

Adres do korespondencji: prof. dr hab. inż. Barbara Filipek-Mazur, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Katedra Chemii Rolnej i Środowiskowej, al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków; tel. + 48 12 662-43-44, e-mail: rrfilipe@cyf-kr.edu.pl