

PIOTR MALCZYK, HALINA DĄBKOWSKA-NĄSKRĘT,
HANNA JAWORSKA, JACEK DŁUGOSZ, MIROSLAW KOBIERSKI

PROFILOWA ZMIENNOŚĆ CAŁKOWITEJ ZAWARTOŚCI STRONTU W GLEBACH WYBRANYCH EKOSYSTEMÓW LEŚNYCH

PROFILE VARIABILITY OF STRONTIUM CONTENT IN SOILS OF SELECTED FOREST ECOSYSTEMS

Katedra Gleboznawstwa i Ochrony Gleb, Akademia Techniczno-Rolnicza,
Bydgoszcz

Abstract: The distribution of total strontium content along profile was studied in soils of selected forest ecosystems, with regard to their typology and physicochemical properties. Six soil profiles were selected for the study. The total strontium content in studied soils occurs in the range of 5.54 to 57.57 mg · kg⁻¹. The highest concentration of this element was detected in the mineral horizons of soil profiles „Chełmno” and „Dębiny”. The total strontium content in mineral horizons of studied soils was positively statistically correlated with the content of silt and clay fraction, content of exchangeable Ca, Mg and K, sum of exchangeable bases, cation exchange capacity and negatively correlated with the hydrolytic acidity.

Słowa kluczowe: stront, gleby leśne.

Key words: strontium, forest soils.

WSTĘP

Stront w większych skupieniach występuje w minerałach własnych jako stroncjanit SrCO₃ i celestyn SrSO₄. W skorupie ziemskiej, zakres jego najczęstszych zawartości w skałach magmowych wynosi 2–600 mg · kg⁻¹, a w osadowych 20–600 mg · kg⁻¹ [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Jest rozproszony w minerałach wapnia (kalcyt, aragonit, anhydryt, gips i apatyt) i potasu. Spośród krzemianów skałotwórczych w największych ilościach występuje w skaleniach [Bojakowska 1994].

Biogeochemiczne właściwości strontu są zbliżone do wapnia, w związku z czym obieg obu pierwiastków w środowisku przyrodniczym jest podobny. W procesach wietrzenia zachowuje się podobnie jak wapń i przechodzi do roztworu w postaci dwuwęglanu. Ilościowy stosunek Ca/Sr jest używany jako jednostka wskaźnikowa do oceny względnej koncentracji

strontu oraz jego toksyczności dla organizmów żywych. Wartość tego stosunku poniżej 8 może już być niekorzystna [Kabata--Pendias, Pendias 1999]. Stosunek Ca/Sr w glebach wynosi około 170 [Bojakowska 1994]. Zawartość tego pierwiastka w glebach zależy w dużym stopniu od jego występowania w skale macierzystej, a zakres stężeń w poziomach powierzchniowych w różnych krajach waha się od 5 do 1000 mg · kg⁻¹. Średnia zawartość w glebach bielcowych wynosi 87 mg · kg⁻¹, a w brunatnych 210 mg · kg⁻¹. Gleby w Polsce zawierają strontu od 14 do 220 mg · kg⁻¹, średnio 53,44 mg · kg⁻¹, w tym gleby piaszczyste średnio 10 mg · kg⁻¹, natomiast gliniaste 24 mg · kg⁻¹, przy czym wskaźnik antropogenicznego wzbogacenia jest stosunkowo wysoki [Dudka 1992, Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Piasecki i in. [1995] stwierdzili zwiększoną zawartość strontu w glebach Miedziowego Zagłębia Legnicko-Głogowskiego, wynoszącą około 300 mg · kg⁻¹.

Wysokie koncentracje Sr obserwuje się w glebach powstałych na wapieniach (Górny Śląsk, okolice Opola, część Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej, Wyżyna Lubelska). Naturalnym źródłem strontu na tych terenach są skały węglanowe zawierające ten pierwiastek w ilościach 400–600 mg · kg⁻¹ [Ważny 1969]. Wysokie zawartości strontu wykazują również gleby wykształcone na utworach zastoiskowych czwartorzędu w okolicy Pyrzyc i Szczecina.

Anomalia strontu w okolicach Tarnobrzega związane są ze złożami siarki rodzimej. Współwystępowanie strontu z siarką w tym rejonie (jak również w Niecce Nidziańskiej) oraz liczne skupienia krystalicznego celestynu wskazują, że stront występuje tu głównie w formie siarczanowej. Podwyższone zawartości strontu w glebach Wielkopolski, Kujaw i dawnego województwa bydgoskiego wydają się być związane z wapnowaniem gleb [Dąbkowska-Naskręt, Malczyk 1999, Lis, Pasieczna 1995]. W powierzchniowych warstwach gleb rejestruje się podwyższone zawartości strontu w stosunku do jego zawartości w skałach macierzystych [Bojakowska 1994].

Zawartość Sr w glebach kwaśnych jest zazwyczaj niższa niż w glebach zawierających węglan wapnia i wzrasta w głębszych poziomach profilu [Gliński i in. 1968]. Stront stosunkowo łatwo podlega sorpcji przez minerały ilaste oraz przez organizmy tworzące szkielety wapniowe, dzięki czemu jego zawartość wzrasta w ilowcowych skałach osadowych oraz w utworach węglanowych. Również substancja organiczna, np. torf, odznacza się dużą pojemnością sorpcyjną w stosunku do tego metalu [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. W lekkich glebach kwaśnych stront jest łatwo wypłukiwany w głąb profilu glebowego, a w glebach wapiennych ulega szybkiemu uruchamianiu, ponieważ jest podstawiany przez inne kationy jedno- i dwuwartościowe.

Wykorzystanie strontu w przemyśle nie jest duże, ale dosyć powszechne. Używany jest on w metalurgii żelaznej, w ceramice i hutnictwie szkła, w produkcji farb, środków pirotechnicznych oraz w przemyśle farmaceutycznym.

Główne źródło zanieczyszczenia strontem w skali światowej stanowi spalanie węgla, a lokalnie górnictwo siarki [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Zawartość tego pierwiastka w odpadach komunalnych zmienia się w zależności od udziału ścieków określonego przemysłu. W ściekach przemysłowych średnie jego stężenie wynosi 276 mg · kg⁻¹, a

ścieki komunalne zawierają 40–360 mg · kg⁻¹ s.m. Źródłem strontu w glebach mogą być nawozy, które zawierają ten pierwiastek w następujących ilościach: fosforowe od 25 do 500 mg · kg⁻¹, wapniowe 610 mg · kg⁻¹, a obornik 80 mg · kg⁻¹ [Górski i in. 1997].

Celem przeprowadzonych badań było poznanie całkowitej zawartości strontu oraz jego rozmieszczenia w profilach gleb leśnych. W badaniach chodziło także o określenie związków pomiędzy występowaniem strontu, a niektórymi właściwościami fizykochemicznymi gleb wybranych ekosystemów leśnych (odczynem gleb, składem granulometrycznym, zawartością próchnicy, pojemnością sorpcyjną, zawartością kationów wymiennych Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ i sumą zasadowych kationów wymiennych).

MATERIAŁ I METODY

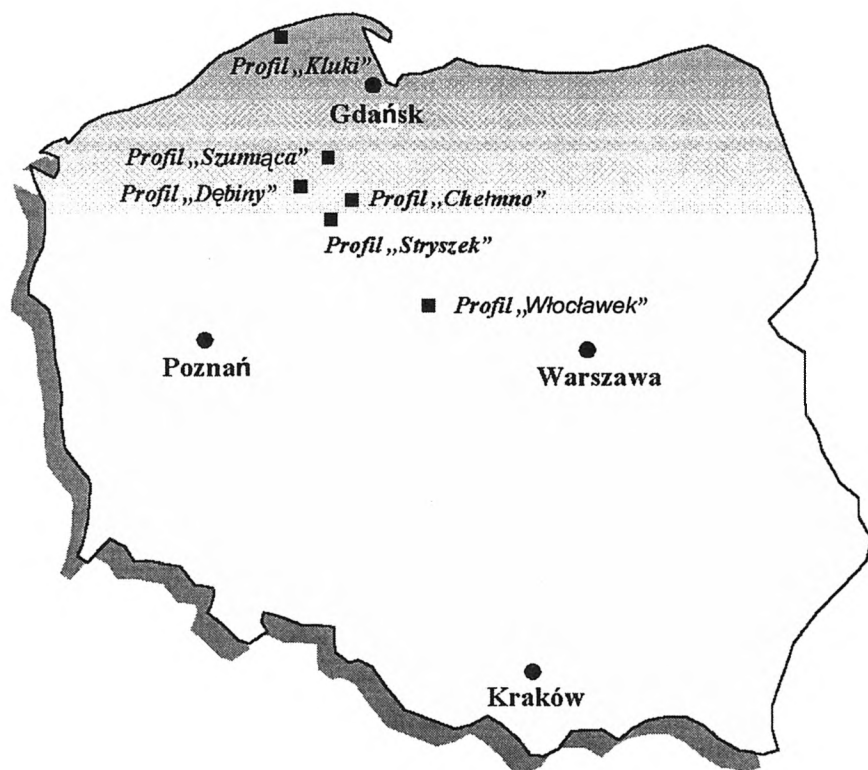
Do badań wytypowano sześć profili glebowych, które reprezentowały:

- profil „Szumiąca” – gleba biellicowo-rdzawa (Ol-Of-AEes-ABv-Bv-BvC-C) wytworzona z piasków sandrowych; siedlisko – bór sosnowy świeży, Bory Tucholskie, woj. kujawsko-pomorskie;
- profil „Stryzek” – gleba biellicowo-rdzawa (Ol-Of-AEes-Bv-BvC-C) wytworzona z piasków eolicznych; siedlisko – bór sosnowy świeży, Puszcza Bydgoska, woj. kujawsko-pomorskie;
- profil „Chełmno” – mada rzeczna (Ol-A-ABbr-B1br-B2br-C) wytworzona z pyłów pochodzenia aluwialnego; siedlisko – łęg jesionowo-wiązowy, rezerwat Ostrów Panieński, woj. kujawsko-pomorskie;
- profil „Dębiny” – gleba brunatna wylugowana (Ol-Of-A-B1br-B2br-B3br-C) wytworzona z gliny zwałowej; siedlisko – las świerkowy, Dolina Brdy, woj. kujawsko-pomorskie;
- profil „Włocławek” – gleba biellicowo-rdzawa (Ol-Of-Ofh-AEes-ABv-Bv-BvC-C) wytworzona z piasków aluwialnych; siedlisko – bór sosnowy świeży, strefa ograniczonego użytkowania „Anwil”SA we Włocławku, woj. kujawsko-pomorskie;
- profil „Kluki” – gleba glejobielicowa murszasta (Ol-Of-AeEes-Bh-Bfe-Bfegg-CG) wytworzona z piasków eolicznych; siedlisko – las dębowo-bukowy, Słowiński Park Narodowy, woj. pomorskie.

Usytuowanie profili glebowych będących przedmiotem badań ilustruje rysunek 1.

Z każdego profilu pobrano próbki z wydzielonych poziomów i podpoziomów genetycznych. Pobrany materiał glebowy wysuszone do stanu powietrznie suchego. Próbkę z podpoziomów próchnicy nadkładowej zostały zmielone, a z poziomów mineralnych rozarte i przesiane przez sito o średnicy oczek 1 mm.

Podstawowe właściwości badanych gleb leśnych oznaczono metodami ogólnie przyjętymi w gleboznawstwie. Całkowitą zawartość strontu oznaczono w roztworach uzyskanych po mineralizacji próbek przez roztwarzanie mikrofalowe w mieszaninie stężonych kwasów fluorowodorowego i azotowego [Crock, Severson 1980]. Pomiar przeprowadzono metodą spektrometrii emisyjnej w płomieniu acetylen-powietrze, za pomocą spektrometru Philips PU9100 X. Dokładność zastosowanej metody analitycznej



RYSUNEK 1. Lokalizacja miejsc poboru próbek glebowych
 FIGURE 1. Location of sampling sites

sprawdzono w odniesieniu do certyfikowanego materiału referencyjnego TILL-3 [Certificate of Analysis 1995]. Obliczenia statystyczne wykonano przy użyciu programu komputerowego „Statistica 5.0 PL”.

WYNIKI I DYSKUSJA

Badane profile glebowe są zróżnicowane pod względem genezy, właściwości fizycznych, chemicznych, biologicznych, położenia fizjograficznego, siedliska występowania oraz charakteru wpływów antropogenicznych.

Profilową zmienność całkowitej zawartości strontu i właściwości badanych gleb przedstawiono w tabelach 1 i 2. Całkowita zawartość Sr kształtowała się w zakresie od 5,54 do 57,57 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Wynika z tego, że stężenie strontu mieści się w przedziale zawartości charakterystycznym dla gleb Polski, tzn. 14–220 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ i tylko nieznacznie przekracza wartość średnią równą 53,44 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ [Dudka 1992]. W próbkach pobranych z profili wytworzonych z piasków („Szumiąca”, „Stryzek”, „Włocławek”, „Kluki”) całkowita zawartość strontu była wyższa od wartości średniej dla polskich gleb

piaszczystych równej $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Wyjątek stanowiły podpoziom surowinowy i skały macierzystej w profilu „Włocławek” oraz poziomy Bfe, Bfegg i CG w profilu „Kluki” (tab. 2). W poziomach mineralnych gleby wytworzonej z gliny zwałowej (profil „Dębiny”) oraz we wszystkich poziomach genetycznych profilu „Chełmno”, wytworzonego z pyłów pochodzenia aluwialnego, stwierdzono wyższe stężenia strontu od wartości średniej dla polskich gleb gliniastych, tj. $24 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Zawartość strontu w profilu „Chełmno” była największa w porównaniu z pozostałymi badanymi glebami. Ma to związek ze znanym z literatury faktem, że zawartość Sr w glebach kwaśnych jest zazwyczaj niższa niż w glebach zawierających węglan wapnia oraz że pierwiastek ten stosunkowo łatwo ulega sorpcji wymiennej przez minerały ilaste [Connor, Shacklette 1975, Dąbkowska-Naskręt, Malczyk 1999, Gliński i in. 1968]. Potwierdzają te zależności obliczone współczynniki korelacji pomiędzy całkowitą zawartością Sr a kwasowością hydrolityczną oraz zawartością części spławialnych i frakcji iłu koloidalnego. W tych trzech przypadkach wartości współczynników były duże i wynosiły odpowiednio: $-0,9130$, $0,9571$ i $0,9043$.

Ogólnie wiadomo, że próchnica nadkładowa lekkich gleb leśnych wykazuje największe właściwości sorpcyjne, dlatego w jej podpoziomach obserwuje się zazwyczaj podwyższone stężenia prawie wszystkich pierwiastków [Pokojska 1992]. W badanych profilach gleb wytworzonych z piasków zauważalna jest również taka tendencja (tab. 2).

Zawartość strontu w ściółkach leśnych wykazywała związek ze stopniem ich humifikacji; im wyższy był stopień humifikacji próchnicy nadkładowej, tym stężenie Sr było wyższe. Wyjątek stanowił profil „Stryzek”. Tutaj zawartość Sr w podpoziomie surowinowym była około dwukrotnie wyższa niż w podpoziomie detrytusowym (tab. 2). Może to być związane z wpływem czynników antropogenicznych. W podpoziomie O1 profilu „Stryzek”, umiejscowionym około 6 km od aglomeracji bydgoskiej, stwierdzano wcześniej podwyższone zawartości pierwiastków np. metali ciężkich [Malczyk 1996]. Na podstawie uzyskanych wyników nie można stwierdzić wyraźnej zależności pomiędzy całkowitą zawartością strontu w próchnicach nadkładowych badanych gleb a ich typem i rodzajem siedlisk leśnych. Przeprowadzone badania i obliczenia statystyczne nie wykazały również istotnego związku pomiędzy ilością całkowitą strontu w glebach a zawartością w nich węgla organicznego, pomimo że takie współzależności są obserwowane [Kabata-Pendias, Pendias 1999].

W mineralnych poziomach genetycznych profili, wytworzonych z piasków całkowitych o odczynie kwaśnym, zauważalna jest tendencja wypłukiwania strontu. Szczególnie widoczne jest to w profilu „Włocławek”, gdzie stężenie Sr w poziomie próchniczno-eluwialnym, wynoszące $12,99 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, stopniowo maleje w niżej leżących poziomach i w skale macierzystej wynosi $7,39 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (tab. 1 i 2).

Obliczenia statystyczne wykazały istotne zależności pomiędzy całkowitą zawartością strontu a ilością wymiennych form wapnia ($r = 0,9166$), magnezu ($r = 0,9166$), potasu ($r = 0,4182$), sumą zasadowych kationów wymiennych ($r = 0,9515$) i kationową pojemnością sorpcyjną ($r = 0,7883$).

TABELA 1. Niektóre właściwości fizykochemiczne badanych gleb leśnych
 TABLE 1. Selected physical and chemical properties of investigated forest soils

Poziom genetyczny Horizon	Mięższość Thickness [cm]	pH H ₂ O	pH KCl	Kwasowość hydrolytyczna Hydrolytic acidity [cmo(+) \cdot kg ⁻¹]	C org. [g \cdot kg ⁻¹]	Frakcja Fraction <0,02 mm [%]	Frakcja Fraction <0,002 mm [%]
Profil "Szumiąca" – Profile "Szumiąca"							
Ol	8-2	4,05	3,06	54,00	493,9	–	–
Of	2-0	4,01	2,82	61,92	395,3	–	–
AEes	0-10	3,93	2,90	6,75	18,4	10	8
ABv	10-25	4,49	3,83	3,27	5,5	5	2
Bv	25-62	4,55	3,98	1,50	1,7	4	2
BvC	62-102	4,99	4,15	0,78	0,3	1	1
C	102-150	5,78	4,46	0,39	0,1	1	1
Profil "Stryzek" – Profile "Stryzek"							
Ol	9-4	4,11	3,36	107,28	549,3	–	–
Of	4-0	3,73	2,89	132,72	452,7	–	–
AEes	0-16	4,08	3,21	4,50	9,8	3	2
Bv	16-50	4,66	4,09	2,67	4,0	3	3
BvC	50-78	4,84	4,27	1,29	0,4	3	2
C	78-150	5,38	4,51	0,81	0,4	1	0
Profil "Chełmno" – Profile "Chełmno"							
Ol	5-0	5,94	5,89	10,80	375,3	–	–
A	0-25	6,32	5,63	2,04	26,0	34	15
ABbr	25-40	7,69	6,80	0,33	9,6	34	16
Bbr1	40-55	7,75	7,02	0,18	7,5	29	6
Bbr2	55-70	7,79	7,17	0,40	7,6	33	13
C	70-150	7,81	7,07	0,21	10,0	40	20
Profil "Dębiny" – Profile "Dębiny"							
Ol	8-5	4,48	3,95	42,72	475,6	–	–
Of	5-0	4,20	3,51	58,08	466,1	–	–
A	0-31	4,39	3,86	4,57	5,2	18	6
Bbr1	31-40	4,86	3,96	3,67	1,4	23	12
Bbr2	40-80	5,14	3,94	2,95	1,6	26	16
Bbr3	80-105	5,21	3,90	2,32	0,6	24	13
C	105-150	5,34	4,08	1,75	0,7	23	13
Profil "Włocławek" – Profile "Włocławek"							
Ol	6-3	5,33	4,06	119,36	457,6	–	–
Of	3-1	5,10	3,82	112,94	387,5	–	–
Ofh	1-0	5,09	3,71	69,32	212,7	–	–
AEes	0-4	3,99	3,03	10,51	9,4	9	5
ABv	4-24	4,59	3,71	6,62	3,1	6	4
Bv	24-63	4,53	3,84	2,74	1,0	6	5
BvC	63-86	5,09	4,25	2,15	0,5	2	2
C	86-150	5,10	4,31	1,87	0,2	1	1
Profil "Kłuki" – Profile "Kłuki"							
Ol	8-5	4,57	3,82	46,18	462,1	–	–
Of	5-0	5,45	4,91	52,03	389,4	–	–
AeEes	0-16	4,42	3,72	3,75	53,1	8	4
Bh	16-27	4,70	3,81	0,92	3,1	5	3
Bfe	27-55	4,69	3,86	0,96	2,0	3	1
Bfegg	55-78	4,85	4,11	0,74	0,9	3	1
CG	78-150	5,86	5,00	0,56	0,3	1	1

TABELA 2. Właściwości sorpcyjne i całkowita zawartość strontu w badanych glebach
TABLE 2. Exchangeable properties and total strontium content in investigated soils

Poziom genetyczny Horizon	Miąższość Thickness [cm]	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	T Sum of bases	CEC Cation exchange capacity	Sr [mg · kg ⁻¹]
		[cmo(+) · kg ⁻¹]						
Profil "Szumiąca" – Profile "Szumiąca"								
OI	8-2	16,72	2,02	8,67	0,66	28,07	82,07	11,33
Of	2-0	18,34	1,23	0,90	0,37	20,84	82,76	23,03
AEcs	0-10	0,22	0,06	0,06	0,04	0,38	7,13	21,09
ABv	10-25	0,12	0,02	0,03	0,04	0,21	3,48	17,59
Bv	25-62	0,11	0,02	0,04	0,04	0,21	1,71	13,42
BvC	62-102	0,12	0,02	0,03	0,03	0,20	0,98	11,86
C	102-150	0,20	0,04	0,03	0,04	0,31	0,70	12,07
Profil "Stryzek" – Profile "Stryzek"								
OI	9-4	17,28	2,36	6,83	0,49	26,96	134,24	30,55
Of AEcs	4-0	8,63	1,56	1,36	0,47	12,02	144,74	14,42
Bv	0-16	0,64	0,10	0,04	0,02	0,80	5,30	20,41
BvC	16-50	0,76	0,06	0,02	0,03	0,87	3,54	15,90
C	50-78	0,38	0,05	0,02	0,02	0,47	1,76	17,59
	78-150	0,39	0,07	0,02	0,01	0,49	1,30	18,56
Profil "Cielmno" – Profile "Cielmno"								
OI	5-0	53,42	13,15	1,05	2,90	70,52	81,32	49,50
A	0-25	12,90	2,92	0,68	0,55	17,05	19,09	52,76
ABbr	25-40	13,27	2,41	0,37	0,37	16,42	16,75	54,90
Bbr1	40-55	12,33	1,99	0,26	0,24	14,82	15,00	44,08
Bbr2	55-70	13,42	1,99	0,29	0,26	15,96	16,36	46,30
C	70-150	16,97	3,00	0,28	0,28	20,53	20,74	57,23
Profil "Dębiny" – Profile "Dębiny"								
OI	8-5	29,22	3,28	4,02	1,30	37,82	80,54	13,98
Of	5-0	27,00	2,08	1,86	1,29	32,23	90,31	17,27
A	0-31	3,71	0,13	0,33	0,32	4,49	9,06	27,03
Bbr1	31-40	11,97	0,82	0,28	0,20	13,27	16,94	32,94
Bbr2	40-80	11,79	1,37	0,36	0,30	13,82	16,77	37,83
Bbr3	80-105	10,80	1,24	0,30	0,23	12,57	14,89	39,91
C	105-150	12,34	1,15	0,28	0,28	14,05	15,80	36,47
Profil "Wrocławek" – Profile "Wrocławek"								
OI	6-3	8,31	3,83	5,14	0,54	17,83	137,19	5,54
Of	3-1	2,46	0,97	0,34	0,16	3,92	116,86	15,12
Ofh	1-0	1,85	0,30	0,18	0,11	2,44	71,76	23,13
AEcs	0-4	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	10,55	12,99
ABv	4-24	0,00	0,01	0,01	0,02	0,04	6,66	12,24
Bv	24-63	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	2,77	11,37
BvC	63-86	0,00	0,01	0,00	0,01	0,03	2,18	10,71
C	86-150	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	1,89	7,39
Profil "Kłuki" – Profile "Kłuki"								
OI	8-5	14,27	1,86	5,23	1,03	22,38	68,56	23,56
Of	5-0	16,45	1,42	1,11	0,76	19,75	71,78	57,57
AeEcs	0-16	0,38	0,13	0,05	0,18	0,74	4,49	19,76
Bh	16-27	0,01	0,02	0,01	0,10	0,14	1,06	13,53
Bfē	27-55	0,01	0,02	0,01	0,10	0,13	1,09	7,67
Bfēgg	55-78	0,01	0,01	0,01	0,10	0,12	0,86	6,82
CG	78-150	0,00	0,01	0,01	0,11	0,13	0,69	7,49

WNIOSKI

1. Całkowita zawartość strontu w badanych glebach leśnych mieściła się w zakresie od 5,54 do 57,57 mg · kg⁻¹.
2. Stężenie strontu było charakterystyczne dla najczęstszych zawartości rejestrowanych dla niezanieczyszczonych gleb Polski.
3. W profilach wytworzonych z piasków całkowita zawartość strontu była wyższa od wartości średniej dla polskich gleb piaszczystych, a w poziomach mineralnych gleb wytworzonych z gliny zwałowej i pyłów pochodzenia aluwialnego wyższa od wartości średniej dla polskich gleb gliniastych.
4. Całkowita zawartość strontu w badanych glebach leśnych była istotnie skorelowana z zawartością frakcji spławialnych i iłu koloidalnego, kwasowością hydrolytyczną, zawartością wymiennych kationów Ca, Mg, K, sumą zasadowych kationów wymiennych i kationową pojemnością sorpcyjną.

LITERATURA

- BOJAKOWSKA I. 1994: Wpływ czynnika antropogenicznego na procesy geochemiczne w powierzchniowych warstwach litosfery. Instrukcje i metody badań geologicznych. 53. PIG, Warszawa: 140–142, 146.
- CERTIFICATE OF ANALYSIS 1995: Geochemical and Till Reference Materials. Canada, 6.
- CONNOR J., SHACKLETTE H.T. 1975: Background geochemistry of some rocks, soils, plants and vegetables in the Conterminous United States. Geological Survey Paper. 547-F: 137–138.
- CROCK J.G., SEVERSON R.C. 1980: Geological Survey Circular. U.S. 841.
- DĄBKOWSKA-NASKRĘT H., MALCZYK P. 1999: Total and DTPA-extractable forms of Li, Rb and Sr in arable soils of Kujawy region (Poland). Friedrich-Schiller-Universität, Jena, *Mengen- und Spurenelemente* 19: 834–841.
- DUDKA S. 1992: Ocena całkowitych zawartości pierwiastków głównych i śladowych w powierzchniowej warstwie gleb Polski. Rozprawy IUNG, Puławy, 24.
- GLIŃSKI J., MELKE J., UZIAK S. 1968: Trace elements content in silt soils of the Polish Carpathian foot-land region. *Rocz. Glebozn.* 19: 73–83.
- GÓRSKI J., JANTOŃ A., POZNAŃSKIE., TRZĘSOWSKA J. 1997: Ocena stanu zanieczyszczenia gleb województwa bydgoskiego metalami ciężkimi i siarką. Biblioteka Monitoringu Środowiska, 15.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1999: Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa: 134–140.
- LIS J., PASIECZNA A. 1995: Atlas Geochemiczny Polski. 1:250000. PIG, Warszawa, 26.
- MALCZYK P. 1996: Metale ciężkie w glebach wybranych ekosystemów leśnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 434: 599–603.
- PIASECKI J., MACIEJEWSKA A., CYRAN A. 1995: Studies on lithium and strontium contents in soils and plants of the Legnica-Głogów Basin. W: Lithium in the trophic chain soil-plant-animal-man. Proceedings of Intern. Symp. SGGW, Warszawa: 89–93.
- POKOJSKA M. 1992: Adsorpcja i wymiana kationów w próchnicach leśnych. *Rozprawy UMK*, Toruń: 33–62, 72–82.
- WAŻNY H. 1969: Stront w utworach węglanowych cechsztynu. *Pol. Kwart. Geol.* 13, 2.

dr inż. Piotr Malczyk
Katedra Gleboznawstwa i Ochrony Gleb AT-R
85-029 Bydgoszcz, ul. Bernardyńska 6
E-mail: malczyk@atr.bydgoszcz.pl