

Ewa Stanisławska-Głubiak, Jolanta Korzeniowska, Aleksandra Zajązkowska

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

ZAWARTOŚĆ MIKROELEMENTÓW W GLEBACH POLSKI W UJĘCIU REGIONALNYM*

Słowa kluczowe: mikroskładniki, zawartość w glebie, ekstrakcja 1 M HCl, zróżnicowanie regionalne

Wstęp

Zawartość pierwiastków śladowych w glebach skorupy ziemskiej, w tym również mikroelementów, takich jak: B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, zależy od zasobności skały macierzystej, procesów wietrzenia i procesów glebotwórczych oraz składu granulometrycznego (2, 3). W wyniku działalności człowieka zawartość ta zmienia się, zwłaszcza w wierzchnich warstwach gleb, co wpływa na skład chemiczny roślin i jakość naszego pożywienia (9, 15). W glebach użytkowanych rolniczo mikroelementy są wprowadzane przy okazji stosowania niektórych nawozów lub materiałów polepszających właściwości gleby, które zawierają w swoim składzie mikroelementy. Są to nawozy fosforowe (7), osady ściekowe (1), obornik, komposty, wapna (5) czy pyły skalne (13).

Zawartość mikroelementów w glebach Polski była badana regularnie w stacjach chemiczno-rolniczych (OSChR), w próbkach od indywidualnych rolników, na potrzeby doradztwa nawozowego. Zgromadzone dane wykorzystano do analizy zawartości mikroelementów w glebach Polski w kolejnych przedziałach czasowych. Obojski i Strączyński (11) opublikowali syntezę wyników badań zasobności gleb w B, Cu, Mn, Mo i Zn, przeprowadzonych w latach 1987–1993, których podstawą były wyniki analiz kilkudziesięciu tysięcy próbek reprezentujących powierzchnię ponad 4 mln ha użytków rolnych. Kucharzewski i Dębowski (8) podsumowali wyniki analiz 70 tys. próbek wykonanych w OSChR w latach 1994–1999, a Lipiński (10)

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.1 pt. „Nawożenie użytków rolnych” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2021 r.

zaprezentował wyniki analiz za okres 2000–2012. We wszystkich trzech cyklach badań zawartość mikroelementów w glebach oznaczano po ich ekstrakcji 1 M HCl. W badaniach tych procentowy udział próbek o niskiej, średniej lub wysokiej zasobności wyceniano na podstawie obowiązujących liczb granicznych dla 1 M HCl. W wymienionych trzech cyklach nie przedstawiono jednak bezwzględnych zawartości mikroelementów w glebach Polski. Dotyczy to również przeprowadzonego w latach 1995–2002 w IUNG szeroko zakrojonego monitoringu chemizmu gleb ornych (14). Celem monitoringu było określenie obszarów rolniczych zanieczyszczonych metalami i śledzenie kierunku zmian. Stwierdzono silne zróżnicowanie zawartości całkowitej badanych pierwiastków w zależności od właściwości gleb i ich lokalizacji w kraju. W tym przypadku również nie publikowano bezwzględnych zawartości, a przedstawiono jedynie ocenę zawartości pierwiastków (Cu, Zn) według skali określającej stopień zanieczyszczenia gleb (4).

Pomimo niekwestionowanych korzyści dla rolnictwa wynikających z takiego przedstawienia zawartości mikroelementów pewną luką wydaje się brak informacji na temat ich bezwzględnych zawartości w glebach Polski. Przeprowadzone dotychczas badania pokazują procentowy udział gleb charakteryzujących się niedoborem mikroelementów i gleb o zasobności wystarczającej w całym areale gruntów ornych, ale nie prezentują dokładnej informacji o poziomie zawartości bezwzględnych. W celu wypełnienia tej luki przedstawiono średnie zawartości mikroelementów w glebach poszczególnych województw Polski. Oznaczano formy ekstrahowane 1 M HCl, ponieważ procedura ta jest znacznie łatwiejsza i tańsza w porównaniu z oznaczeniami zawartości całkowitych, a wyniki obu metod są ze sobą wysoko skorelowane (6, 12).

Metodyka i materiały

W latach 2016–2017 pobrano 3865 próbek glebowych z pól uprawnych 16 województw Polski, na ogół po jednej próbce z jednej gminy (tab. 1). W roku 2016 próbki pobierano z pól pszenicy, a w 2017 z pól rzepaku. Każda próbka powstała przez zmieszanie 5 próbek pierwotnych pobranych łaską glebową z warstwy 0–20 cm. We wszystkich próbkach oznaczono zawartość B, Cu, Fe, Mn i Zn.

Mikroelementy ekstrahowano z gleby roztworem 1 M HCl, a następnie oznaczano techniką ICP. Podczas ekstrakcji stosunek gleby do roztworu wynosił 1:10, a czas wytrząsania na mieszadle rotacyjnym 60 min przy prędkości 40 obrotów/min. Ponadto w próbkach glebowych oznaczano pH, zawartość węgla organicznego (Corg), oraz skład granulometryczny. Odczyn oznaczano potencjometrycznie w 1 M KCl, Corg – metodą z dwuchromianem potasu, a skład granulometryczny – metodą dyfrakcji laserowej. Zbiór wyników analiz chemicznych scharakteryzowano za pomocą metod statystyki opisowej, przy użyciu programu Statgraphics Plus 5.1.

Tabela 1

Liczba próbek pobranych z poszczególnych województw

Lp.	Województwo		Powierzchnia (km ²)	Rok	
				2016	2017
1.	opolskie	OPL	9 412	92	94
2.	świętokrzyskie	SWT	11 711	63	72
3.	śląskie	SLS	12 333	94	100
4.	lubuskie	LUS	13 988	93	89
5.	małopolskie	MAL	15 183	129	113
6.	podkarpackie	PDK	17 846	110	119
7.	kujawsko-pomorskie	KUJ	17 972	118	90
8.	łódzkie	LOD	18 219	137	154
9.	pomorskie	POM	18 310	124	139
10.	dolnośląskie	DLN	19 947	115	109
11.	podlaskie	PDL	20 187	67	70
12.	zachodniopomorskie	ZAP	22 892	135	129
13.	warmińsko-mazurskie	WAM	24 173	140	195
14.	lubelskie	LUB	25 122	133	127
15.	wielkopolskie	WLP	29 826	182	186
16.	mazowieckie	MAZ	35 558	189	158
Suma				1921	1944

Wyniki badań i dyskusja

Charakterystyka gleb na poziomie kraju

Średnie wartości pH, zawartości poszczególnych frakcji gleby oraz Corg w pobranych próbkach pokazują przeciętne warunki glebowe uprawy pszenicy i rzepaku w Polsce. Na podstawie danych zamieszczonych w tabeli 2 można stwierdzić, że pszenica i rzepak w większości były uprawiane na glebach lekko kwaśnych, średnio związłych, charakteryzujących się zawartością węgla organicznego na poziomie 1,3%.

Tabela 2

Charakterystyka 3865 próbek glebowych

Cecha gleby	Średnia	Błąd standardowy	Zakres	Współczynnik zmienności (%)
pH w KCl	6,1	0,014	3,3–8,2	15,0
Części spławiane (%)	24,2	0,035	2,6–72,0	49,2
Pył (%)	40,8	0,327	5,1–99,8	49,8
Il (%)	3,6	0,034	0,0–46,5	59,3
Corg (%)	1,3	0,009	0,05–9,8	44,6

Pył 0,05–0,002 mm; il <0,002 mm; części spławialne <0,02 mm; Corg – węgiel organiczny

Zawartość mikroelementów w glebach układała się w następujący szereg: najwięcej w glebie było Fe, a następnie kolejno coraz mniej Mn, Zn, Cu i B (tab. 3). Największą zmiennością, mierzoną współczynnikiem zmienności, charakteryzowały się zawartości Zn i B, następnie Fe i Cu, a zdecydowanie najmniejszą zmienność, prawie o połowę niższą niż Zn i B, wykazywała zawartość Mn.

Tabela 3

Średnie zawartości mikroelementów w 3856 próbkach glebowych

Pierwiastek	Średnia	Błąd standardowy	Zakres	Współczynnik zmienności (%)
B	1,3	0,017	0,02–8,66	79,6
Cu	4,0	0,041	0,3–22,5	63,7
Fe	1366	15,549	182–11039	70,7
Mn	177	1,381	12–677	48,6
Zn	12,3	0,158	0,8–132,9	80,1

Zawartość Cu, Mn i Fe w glebie była związana ze składem granulometrycznym, a B i Zn z zawartością Corg w glebie (tab. 4). Gleby cięższe, zawierające więcej części spławialnych i gleby bogatsze w materię organiczną charakteryzowały się wyższą zawartością mikroelementów. Niskie korelacje z odczynem gleby świadczą o tym, że zawartości mikroelementów oznaczone po ekstrakcji 1 M HCl nie odzwierciedlają form przyswajalnych dla roślin, a raczej są zbliżone do form całkowitych.

Tabela 4

Współczynniki korelacji Pearsona pomiędzy zawartością mikroelementów w glebie a cechami gleby (n = 3856)

Pierwiastek	pH	Pył	Ił	Części spławialne	Corg
B	0,306***	0,229***	0,273***	0,300***	0,326***
Cu	0,156***	0,339***	0,416***	0,468***	0,372***
Fe	ns	0,327***	0,456***	0,484***	0,421***
Mn	0,131***	0,391***	0,418***	0,478***	0,275***
Zn	0,186***	0,116***	0,117***	0,134***	0,219***

Pył 0,05–0,002 mm; Ił < 0,002 mm; części spławialne < 0,02 mm; Corg – węgiel organiczny

*, **, *** – poziom istotności dla $p < 0,05$; 0,01; 0,001 odpowiednio; ns – nieistotne

Charakterystyka gleb na poziomie województw

Wszystkie województwa charakteryzowały się średnio lekko kwaśnym odczynem gleb (pH od 5,7 do 6,5), przy czym najkwaśniejsze gleby występowały w województwach podlaskim i małopolskim, a gleby o najwyższym pH – w województwie kujawsko-pomorskim (tab. 5). Średnie zawartości części spławialnych

w glebach poszczególnych województw wahały się od 17 do 42%, z czego gleby 6 województw można zaliczyć do gleb lekkich, 9 województw do gleb średnich, a tylko jednego województwa – małopolskiego – do gleb ciężkich. Średnia zawartość węgla organicznego wahała się od 1,0 do 1,6%, przy czym najmniejszą zawartość materii organicznej wykazywały gleby województw wielkopolskiego i kujawskiego, a największą – pomorskiego i opolskiego.

Zwraca uwagę fakt, że gleby województwa kujawsko-pomorskiego były najlżejsze i najbardziej ubogie w materię organiczną, a jednocześnie charakteryzowały się najwyższym pH. Zupełnie odwrotne cechy wykazywały gleby województw południowych, a szczególnie województwa małopolskiego. Tutaj najniższe spośród wszystkich województw pH było powiązane z najcięższymi glebami. Fakty te w znacznym stopniu determinują zawartość przyswajalnych mikroelementów w glebie.

Tabela 5

Odczyn oraz zawartość części spławialnych i węgla organicznego w glebach poszczególnych województw

Województwo	pH	Województwo	Frakcja <0,02 mm (%)	Województwo	Corg (%)
PDL	5,7	WLP	17	WLP	1,0
MAL	5,7	KUJ	17	KUJ	1,0
LOD	5,9	MAZ	18	SWT	1,1
LUS	6,0	LUS	19	LUB	1,1
PDK	6,0	LOD	19	LOD	1,1
WAM	6,0	ZAP	19	MAZ	1,2
MAZ	6,0	PDL	21	PDL	1,2
LUB	6,1	SLS	21	ZAP	1,4
POM	6,2	WAM	21	MAL	1,4
SLS	6,2	POM	24	SLA	1,4
ZAP	6,2	LUB	27	LUS	1,4
DLN	6,2	SWT	32	PDK	1,4
OPL	6,3	OPL	33	DLN	1,4
SWT	6,3	PDK	35	WAM	1,5
WLP	6,3	DLN	35	POM	1,6
KUJ	6,5	MAL	42	OPL	1,6

Zawartość mikroelementów w glebach poszczególnych województw

Największe zawartości boru w glebach, co najmniej $1,7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, występują w województwach: lubuskim, dolnośląskim, opolskim i podkarpackim, a najniższe, poniżej $1,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, w województwach: świętokrzyskim, łódzkim, mazowieckim

i warmińsko-mazurskim (rys. 1). Fakt ten w pewnym stopniu koresponduje z zawartością węgla organicznego w glebie (Corg). Gleby o najwyższej zawartości boru są zlokalizowane w województwach, które jednocześnie wykazują najwyższą zawartość Corg, w przedziale 1,4–1,6%, oraz zaliczają się raczej do kategorii agronomicznej gleb ciężkich. Najniższe zawartości boru występują na ogół w glebach lekkich, z zawartością Corg w granicach 1,0–1,2%. Wyjątkiem było województwo warmińsko-mazurskie z zawartością Corg w glebie na poziomie 1,5%.

Największą zawartością miedzi w glebach, co najmniej $6,1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, wyróżniają się dwa województwa: dolnośląskie i małopolskie (rys. 1). W tych województwach gleby charakteryzują się najwyższą w skali kraju zawartością części spławialnych, co klasyfikuje je do kategorii agronomicznej gleb ciężkich. Jednocześnie są to tereny w zasięgu oddziaływania przemysłu metalurgicznego, co również ma wpływ na zwiększone zawartości miedzi w porównaniu z innymi województwami. Najuboższe w miedź, o zawartości nieprzekraczającej $3,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, są gleby województw: podlaskiego, lubelskiego i warmińsko-mazurskiego.

Największą zawartość żelaza w glebach, co najmniej $1500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, odnotowano w północnym rejonie kraju, w województwach: pomorskim i warmińsko-mazurskim oraz w pasie południowym, w województwach: dolnośląskim, opolskim, śląskim oraz małopolskim i podkarpackim (rys. 1). Dwa ostatnie z wymienionych województw charakteryzują się szczególnie dużą zawartością tego pierwiastka w glebach, bo powyżej $2000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Najmniejszą zawartość żelaza, nieprzekraczającą $1000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, obserwowano w województwach: wielkopolskim, świętokrzyskim, lubelskim i mazowieckim. Gleby tych województw są jednocześnie stosunkowo ubogie w materię organiczną. Zawartość Corg waha się w granicach 1,0–1,2%.

Zawartość manganu w glebach Polski układała się podobnie jak żelaza (rys. 1). Największe zawartości tego pierwiastka, powyżej $230 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, stwierdzono w glebach województw: małopolskiego, podkarpackiego i śląskiego. Zawartości w granicach $185\text{--}215 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ obserwowano w województwach: dolnośląskim, opolskim, lubuskim i pomorskim. Najmniej tego pierwiastka zawierały gleby województw środkowej i północno-wschodniej części kraju, czyli: wielkopolskiego, łódzkiego, mazowieckiego, kujawsko-pomorskiego i podlaskiego. Większe zawartości manganu w glebach były związane z większą zawartością części spławialnych i węgla organicznego.

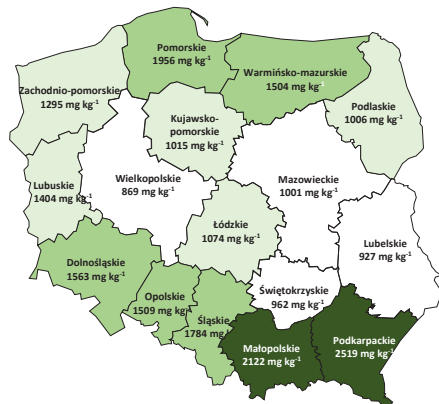
Największymi zawartościami cynku w glebach, co najmniej $19 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, wyróżniają się województwa: opolskie, śląskie i małopolskie, przy czym szczególnie bogate w ten pierwiastek są gleby województwa śląskiego (rys. 1). Gleby o najmniejszej zawartości cynku, nieprzekraczającej $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, występują w województwach: lubelskim, mazowieckim, podlaskim, warmińsko-mazurskim i kujawsko-pomorskim. Wydaje się, że zasobność gleb poszczególnych województw w cynk jest mniej związana z ich składem granulometrycznym i zawartością Corg w porównaniu z innymi metalami. Prawdopodobnie zasobność ta została ukształtowana działalnością przemysłu metalurgicznego, który w rejonach o najwyższej zawartości cynku w glebie jest szczególnie intensywnie rozwinięty.



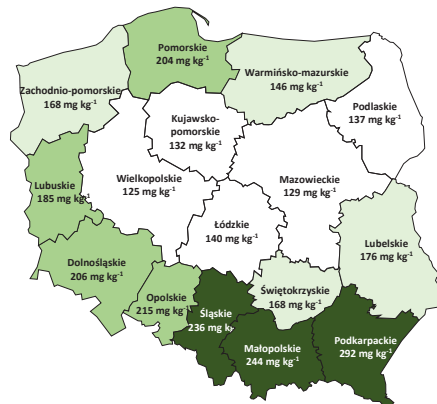
Zawartość B
do 1,0 | 1,1-1,3 | 1,4-1,6 | od 1,7



Zawartość Cu
do 3,0 | 3,1-4,5 | 4,6-6,0 | od 6,1



Zawartość Fe
do 1000 | 1001-1500 | 1501-2000 | od 2001



Zawartość Mn
do 140 | 141-180 | 181-230 | od 231



Zawartość Zn
do 10 | 11-15 | 16-20 | od 21

Rys. 1. Zawartość mikroelementów w poszczególnych województwach w mg·kg⁻¹

Podsumowanie

Największe zawartości wszystkich mikroelementów w glebie występują w południowej, zachodniej i północno-zachodniej części kraju. Województwa centralne, wschodnie i północno-wschodnie charakteryzują się mniejszymi zawartościami mikroskładników w glebie. Można jednak zauważyć pewne różnice w terytorialnym rozmieszczeniu poszczególnych pierwiastków.

Uwagę zwracają województwa kujawsko-pomorskie i małopolskie. Pierwsze z nich charakteryzuje się najłżejszymi glebami i jednocześnie zdecydowanie najwyższym spośród wszystkich województw odczynem gleby (tab. 5). Warunki takie sugerują niską zawartość mikroelementów w glebie i równocześnie ich małą przyswajalność dla roślin. Można przypuszczać, że właśnie w tym województwie rośliny najczęściej będą cierpieć z powodu niedoboru mikroelementów i wymagać ich uzupełnienia poprzez nawożenie. Powszechnie wiadomo, że wysoki odczyn gleby ogranicza przyswajalność Mn, Zn, Fe, Cu i B. Drugie z wymienionych województw, małopolskie, przeciwnie do województwa kujawsko-pomorskiego, charakteryzuje się najniższym odczynem i jednocześnie zdecydowanie najcięższymi glebami w kraju. Taka sytuacja najprawdopodobniej nie generuje niedoboru mikroelementów w glebie oraz potrzeby ich uzupełniania w uprawach rolniczych. Dodatkowo na terenach przemysłowych tego województwa można się spodziewać nadmiernych ilości metali ciężkich, w tym takich mikroelementów, jak Cu i Zn.

Literatura

1. Antonkiewicz J., Kołodziej B., Bielińska E. J., Popławska A.: The possibility of using sewage sludge for energy crop cultivation exemplified by reed canary grass and giant miscanthus. *Soil Science Annual*, 2019, **70(1)**: 21-33.
2. Czarnowska K.: Wpływ skały macierzystej na zawartość metali ciężkich w glebach. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 1983, **242**: 51-61.
3. Kabata-Pendias A.: Zawartość metali ciężkich w glebach uprawnych Polski. *Pamiętnik Puławski*, 1981, **74**: 101-111.
4. Kabata-Pendias A., Motowicka-Terelak T., Piotrowska M., Terelak H., Witek T.: Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. Ramowe wytyczne dla rolnictwa. Wyd. IUNG Puławy, **P(53)**, 1993, ss. 20.
5. Kabata-Pendias A., Mukherjee A.B.: Trace elements from soil to human. Springer Science & Business Media, 2007, pp. 550.
6. Korzeniowska J., Stanisławska-Głubiak E.: Proposal of new convenient extractant for assessing phytoavailability of heavy metals in contaminated sandy soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, **24(17)**: 14857-14866.
7. Korzeniowska J., Stanisławska-Głubiak E., Hoffmann J., Górecka H., Józwiak W., Wiśniewska G.: Ocena efektywności nawozów fosforowo-siarkowych produkowanych na bazie mielonego fosforytu. Cz. 1. Technologia wytwarzania nawozów. *Przemysł Chemiczny*, 2014, **93(5)**: 803-806.
8. Kucharzewski A., Dębowski M.: Odczyn i zawartość mikroelementów w glebach Polski. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 2000, **471(2)**: 627-635.

9. Li C., Zhou K., Qin W., Tian C., Qi M., Yan X., Han W.: A review on heavy metals contamination in soil: effects, sources, and remediation techniques. *Soil and Sediment Contamination*, 2019, **28**(4): 380-394.
10. Lipiński W.: Zasobność gleb Polski w mikroelementy. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2013, **34**(8): 121-131.
11. Obojski J., Strączyński S.: Odczyn i zasobność gleb polskich w makro i mikroelementy. Wyd. IUNG Puławy, 1995, ss. 40.
12. Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J.: Usefulness of 1 mol HCl·dm⁻³ extractant to assess copper zinc and nickel contamination in sandy soil. *Fresenius Environmental Bulletin*, 2010, **19**(4): 589-593.
13. Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J., Galka B.: Ocena przydatności odpadowego odwodnionego szlamu kamiennego do polepszania właściwości fizykochemicznych gleby. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 2009, **538**: 231-240.
14. Terelak H., Motowicka-Terelak T., Maliszewska-Kordybach B., Pietruch C.: Monitoring chemizmu gleb ornych Polski. Program badań i wyniki 1995 i 2000. Wyd. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa 2002, ss. 146.
15. Tripathi D.K., Singh S., Singh S., Mishra S., Chauhan D.K., Dubey N.K.: Micronutrients and their diverse role in agricultural crops: advances and future prospective. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2015, **37**(7): 1-14.

Adres do korespondencji:

*prof. dr hab. Ewa Stanisławska-Głubiak,
Zakład Herbologii i Techniki Uprawy Roli
IUNG-PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel. 71 363 8707, w. 114
e-mail: e.głubiak@iung.wrocław.pl*

AUTOR	ORCID
Ewa Stanisławska-Głubiak	0000-0003-1852-6732
Jolanta Korzeniowska	0000-0003-3701-9576
Aleksandra Zajączkowska	0000-0002-9237-5568