

**Jolanta Korzeniowska, Ewa Stanisławska-Głubiak, Tamara Jadczyzyn**

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

## EWOLUCJA METOD OCENY ZASOBNOŚCI GLEB POLSKI W PRZYSWAJALNE FORMY MIKROELEMENTÓW\*

**Słowa kluczowe:** mikroelementy, ekstrakcja, metody specyficzne, 1 M HCl, Mehlich 3, liczby graniczne

### Wstęp

Wielkość i jakość plonów roślin uprawnych zależy głównie od poziomu ich zaopatrzenia w wodę oraz składniki pokarmowe, wśród których podstawowe znaczenie mają makroelementy, takie jak: azot, fosfor, potas, magnez i siarka. Rola mikroelementów jako składników drugorzędnych nie zawsze była przez rolników doceniana. Tymczasem mikroskładniki, takie jak: bor, miedź, żelazo, mangan, molibden i cynk, biorą udział w wielu procesach metabolicznych w roślinie, wpływając na optymalne wykorzystanie makroelementów oraz ogólną kondycję i zdrowotność roślin. Niska zawartość mikroelementów w roślinach może ograniczać wielkość i jakość plonów, mimo dobrego zaopatrzenia w podstawowe makroskładniki, dlatego oznaczanie zawartości mikroelementów w glebach uprawnych i ocena zasobności gleby w formy przyswajalne dla roślin powinny być w szerszym zakresie praktykowane przez rolników niż dotychczas. W sytuacji wykrycia niskiej zawartości któregośkolwiek mikroelementu, możliwe jest uzupełnienie jego niedoboru poprzez nawożenie doglebowe lub dolistne (23).

Oznaczenie całkowitej zawartości mikroskładników w glebie nie jest przydatne do diagnozowania potrzeb nawożenia. Rośliny pobierają bowiem jedynie część pierwiastka z całkowitej jego puli, w stopniu zależnym od wielu czynników, między innymi od właściwości gleby i właściwości samej rośliny. Oceniając zasobność gleby w mikroelementy, niezbędne jest oznaczenie tylko form dostępnych dla roślin. W tym celu stosuje się różne testy glebowe (ekstrahenty), które mają za zadanie imitować pobieranie mikroelementów przez rośliny (17).

\* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.6 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

Ocena zasobności gleby składa się z 3 etapów: 1) ekstrakcji pierwiastka z gleby, 2) oznaczenia zawartości pierwiastka w ekstrakcie, 3) wyceny zawartości wg odpowiednich liczb granicznych. W ramach etapu 1 używane są metody ekstrakcji, które nie tylko najlepiej imitują pobieranie pierwiastków przez rośliny, ale są również możliwie proste, wiarygodne i niedrogie. Szczególnie przydatny jest test glebowy, który pozwala na równoczesną ekstrakcję wszystkich mikroelementów jednym roztworem ekstrakcyjnym. Użycie takiego uniwersalnego ekstrahenta znacznie obniża koszt analizy gleby, a co za tym idzie jej cenę. Dzięki temu badania chemiczne gleb mogą być bardziej dostępne dla rolników.

Etap 2, czyli oznaczenie ilości pierwiastka w ekstrakcie, aktualnie realizuje się najczęściej techniką ICP. W poprzednich latach były to na ogół skomplikowane i pracochłonne metody kolorymetryczne (19).

Wycena zawartości mikroelementów w glebie (etap 3) polega na określeniu, czy ilość przyswajalnych dla roślin form jest niska, średnia czy wysoka. Służą do tego specjalne wartości nazywane liczbami granicznymi lub też wartościami czy limitami krytycznymi. Ze względu na różną ilość ekstrahowanych pierwiastków przez różne ekstrahenty, każdy z nich wymaga osobnych liczb granicznych. Opracowanie takich liczb, nazywane niekiedy kalibracją testu, jest niezbędnym etapem przy wprowadzaniu nowego ekstrahenta do praktyki laboratoryjnej.

Badaniami nad metodyką oznaczania zawartości mikroelementów w polskich glebach od kilkadziesiąt lat zajmuje się Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa (IUNG), a oceną zasobności polskich gleb w te składniki – okręgowe stacje chemiczno-rolnicze (OSChR). W ramach badań prowadzonych w IUNG metody oceny zasobności stosowane w OSChR są systematycznie udoskonalane. W efekcie tych prac początkowo OSChR-y stosowały tzw. metody specyficzne, następnie metodę opierającą się na 1 M HCl, a aktualnie prowadzone są prace nad wdrożeniem metody Mehlich 3.

### **Metody specyficzne**

W latach 60. XX w. stacje chemiczno-rolnicze rozpoczęły oznaczanie zawartości mikroelementów w glebach Polski przy użyciu tzw. metod specyficznych, powszechnie stosowanych wtedy na świecie. Metody te bazowały na stosowaniu dla każdego mikroelementu innego (specyficznego) ekstrahenta. Bor ekstrahowano przy pomocy gorącej wody, miedź przy użyciu kwasu azotowego, mangan metodą siarczanową, molibden przy użyciu szczawianu amonowego oraz cynk, stosując słaby kwas solny. Pierwiastki w ekstraktach oznaczano kolorymetrycznie lub metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej (tab. 1).

Tabela 1

Ekstrakcja i oznaczanie mikroelementów w glebie metodami specyficznymi

Mikroelemnet	Ekstrahent Autor	Oznaczenie pierwiastka w ekstrakcie <sup>1</sup>
B	gorąca woda Berger i Truog 1944 (1)	kolorymetrycznie z diantrymidem lub z kurkumina
Cu	0,43 N HNO <sub>3</sub> Westerhoff 1955 (24)	kolorymetrycznie z dwukupralem; AAS
Mn	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ; pH 8 Schachtschabel 1955 (21)	kolorymetrycznie metodą nadsiaczanową lub formaldozynową; AAS
Mo	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O + (COOH) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O; pH 3,3 Grigg 1953 (8)	kolorymetrycznie metodą rodankową
Zn	0,1 M HCl Wear i Sommer 1948 (25)	kolorymetrycznie metodą ditizonową; AAS

<sup>1</sup>metody badań laboratoryjnych w stacjach chemiczno-rolniczych. Cz. I. Badanie gleb (19).

Źródło: opracowanie własne

Ocenę zasobności gleby prowadzono za pomocą tzw. tymczasowych liczb granicznych, opracowanych w większości w innych krajach. W przypadku B, Mn i Mo przyjęto liczby z Instytutu Żywnienia w Jenie (tab. 2, 4, 5), a dla Cu – liczby opracowane przez Westerhoffa i Knabea (tab. 3). Jedynie liczby dla cynku przyjęto za PTG (tab. 6).

Tymczasowe liczby dla wszystkich mikroelementów były 3-stopniowe, tzn. określały niską, średnią i wysoką zawartość pierwiastka w glebie. Ocena zasobności B i Cu była uzależniona od zwięzłości gleby, a Mn, Mo i Zn od jej odczynu (tab. 2–6).

Tabela 2

Tymczasowe liczby graniczne do oceny zawartości B w glebie oznaczanego w gorącej wodzie w mg·kg<sup>-1</sup>

Zawartość w glebie	Gleby	
	lekkie	średnie i ciężkie
Niska	do 0,15	do 0,29
Średnia	0,16–0,30	0,30–0,60
Wysoka	od 0,31	od 0,61

Źródło: Zawartość rozpuszczalnych form mikroelementów w glebach polskich, 1985 (27)

Tabela 3

Tymczasowe liczby graniczne do oceny zawartości Cu oznaczanej metodą Westerhoffa w glebie w mg·kg<sup>-1</sup>

Zawartość w glebie	Gleby		
	lekkie	średnie i ciężkie	torf
Niska	do 2,0	do 1,5	do 1,0
Średnia	2,1–3,5	1,6–2,5	1,1–2,0
Wysoka	od 3,6	od 2,6	od 2,1

Źródło: Zawartość rozpuszczalnych form mikroelementów w glebach polskich, 1985 (27)

Tabela 4

Tymczasowe liczby graniczne do oceny zawartości Mn oznaczanego metodą Schachtschabela w glebie w  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

Zawartość w glebie	pH w 1 M KCl					
	do 6,0	6,2	6,4	6,6	6,8	7,0 i wyżej
Niska	do 15	do 20	do 30	do 40	do 50	do 60
Średnia	15–26	21–30	31–40	41–50	51–60	61–70
Wysoka	od 26	od 31	od 41	od 51	od 61	od 71

Źródło: Zawartość rozpuszczalnych form mikroelementów w glebach polskich, 1985 (27)

Tabela 5

Tymczasowe liczby graniczne do oceny zawartości Mo w glebie oznaczanego metodą Grigga w  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

Zawartość w glebie	Liczba molibdenowa (wartość pH + zawartość Mo x 10)
Niska	do 6,2
Średnia	6,3–8,2
Wysoka	od 8,3

Źródło: Zawartość rozpuszczalnych form mikroelementów w glebach polskich, 1985 (27)

Tabela 6

Tymczasowe liczby graniczne do oceny zawartości Zn w glebie oznaczanego metodą Weara i Sommer w  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

Zawartość w glebie	Odczyn gleby	
	kwaśny i obojętny	zasadowy
Niska	do 2	do 4
Średnia	2–5	4–8
Wysoka	od 5	od 8

Źródło: Zawartość rozpuszczalnych form mikroelementów w glebach polskich, 1985 (27)

Posługując się metodami specyficznymi, stacje chemiczno-rolnicze wykonały w latach 1965–1983 oznaczenia mikroelementów w ponad 400 000 próbek glebowych pobranych z 49 województw Polski. Wyniki tych badań zostały zebrane i opracowane w ramach współpracy OSChR-ów z IUNG-iem. Efektem była praca nazywana potocznie „atlasem mikroelementowym” (27). Zawierała ona tabelaryczne zestawienie niskiej, średniej i wysokiej zawartości mikroelementów w poszczególnych gminach oraz 5 map Polski przedstawiających % gleb o niskiej zawartości mikroelementów we wszystkich gminach naszego kraju.

### Wspólna ekstrakcja 1 M HCl

W roku 1984 Ministerstwo Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej zleciło IUNG-owi opracowanie nowej metody diagnostyki niedoborów mikroelementów w glebie, która mogłaby być wdrożona w stacjach chemiczno-rolniczych w miejsce stosowanych kilku metod specyficznych. Problemem priorytetowym, narzuconym przez Ministerstwo, było opracowanie metody ekstrakcji wszystkich mikroelementów jednym roztworem ekstrakcyjnym w celu obniżenia kosztów badań zasobności

gleby. Zmiany wymagały również budzące wątpliwości liczby graniczne adaptowane z krajów o innych warunkach klimatyczno-glebowych.

Poszukiwaniem nowej metody zajęł się zespół prof. Gembarzewskiego z Wrocławskiego Oddziału IUNG. Prowadzone w latach 1984–1986 badania składały się z dwóch etapów. W I etapie poszukiwano roztworu umożliwiającego jednoczesną ekstrakcję wszystkich mikroelementów z gleby, w II – opracowano liczby graniczne do interpretacji wyników ekstrakcji.

W I etapie badań spośród 11 testowanych ekstrahentów wybrany został roztwór 1 M HCl, który okazał się najlepszym ekstrahentem do wspólnej ekstrakcji mikroskładników z gleby w warunkach naszego kraju. Roztwór 1 M HCl porównywano między innymi z takimi ekstrahentami, jak: 0,43 M HNO<sub>3</sub>, 0,1 M HCl, 1 M octan amonu, EDTA, DTPA czy metoda Lakanena i Ervio (4). Badania przeprowadzono, używając zbioru 165 próbek glebowych i odpowiadających im 165 próbek roślinnych. W próbkach tych oznaczano zawartość mikroelementów, przy czym w próbkach glebowych oznaczono mikroelementy wszystkimi 11 testowanymi metodami ekstrakcji. Ponadto w próbkach glebowych oznaczono cechy gleby wpływające na dostępność mikroelementów dla roślin, takie jak: pH, powierzchnia właściwa oraz zawartość pyłu, łu i części splawialnych, zawartość Corg i przyswajalnego fosforu. Wyboru ekstrahenta dokonano na podstawie analizy korelacji pomiędzy współczynnikiem bioakumulacji mikroelementów R/G (zawartość w roślinie/zawartość w glebie) a różnymi cechami gleby. Istotą przyjętej metody było stwierdzenie, że istnienie istotnej silnej korelacji pomiędzy R/G a cechami gleby stwarza możliwość wyliczenia równań regresji, które mogą być użyte do opracowania liczb granicznych do oceny zasobności gleby. W wyniku przeprowadzonych badań wykazano, że spośród testowanych 11 ekstrahentów jedynie roztwór 1 M HCl dawał istotne korelacje dla wszystkich sześciu mikroelementów i w związku z tym mógł być przyjęty jako wspólny ekstrahent (6). Roztwór 1 M HCl jest stosunkowo silnym ekstrahentem, jednak autorzy tej metody wychodzili z założenia, że silniejszy ekstrahent zapewnia informacje nie tylko o aktualnych, ale również o potencjalnie dostępnych ilościach mikroelementów, które mogą przechodzić do roztworu glebowego w wyniku zmian zachodzących w glebie w dłuższym okresie czasu.

W II etapie badań, przy wykorzystaniu równań regresji, zostały opracowane liczby graniczne do interpretacji wyników tej ekstrakcji (5, 7). Opracowano liczby dla sześciu mikroelementów: B, Cu, Fe, Mn, Mo i Zn. Efekty badań, czyli metodę ekstrakcji oraz liczby graniczne, wdrożono w 1986 r. w stacjach chemiczno-rolniczych. Opracowane w 1986 roku liczby graniczne zostały w kolejnych latach skorygowane na podstawie przeprowadzonych w latach 1986–1990 dużych serii doświadczeń z nawożeniem pszenicy i kukurydzy mikroelementami. Łącznie, we współpracy z Wojewódzkimi Ośrodkami Postępu Rolniczego wykonano ok. 150 ścisłych doświadczeń polowych, których wyniki wykorzystano do uściślenia liczb granicznych dla miedzi i cynku. Korekta liczb została przeprowadzona na podstawie zależności pomiędzy zawartością mikroelementu w glebie oznaczanego w 1 M HCl a reakcją

roślin na nawożenie tym mikroelementem. Wdrożone w 1986 i skorygowane w 1990 roku liczby graniczne obowiązują w stacjach chemiczno-rolniczych do chwili obecnej (26).

Podobnie jak w przypadku roztworów specyficznych, liczby do 1 M HCl są 3-stopniowe i nie zależą od gatunku rośliny uprawnej (są takie same dla wszystkich roślin), ale od odczynu, zwięzłości gleby lub zawartości w niej fosforu. Liczby przedstawiono w tabelach 7–12 ze względu na ograniczoną aktualnie dostępność broszury, w której je opublikowano.

Tabela 7

Ocena zawartości B w glebach mineralnych w wyciągu 1 M HCl ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

Ocena zawartości	pH w 1 M HCl			
	do 4,5	4,6–5,5	5,6–6,5	od 6,5
niska	<0,8	<1,0	<1,3	<2,2
średnia	0,8–2,6	1,0–3,2	1,3–4,3	2,2–7,2
wysoka	>2,6	>3,2	>4,3	>7,2

Źródło: Zalecenia nawozowe, 1990 (26)

Tabela 8

Ocena zawartości Cu w glebach mineralnych w wyciągu 1 M HCl ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

Ocena zawartości	Gleba			
	bardzo lekka	lekka	średnia	ciężka
Niska	<0,9	<1,6	<2,3	<5,0
Średnia	0,9–2,5	1,6–4,9	2,3–6,7	5,0–15,0
Wysoka	>2,5	>4,9	>6,7	>15,0

Źródło: Zalecenia nawozowe, 1990 (26)

Tabela 9

Ocena zawartości Fe w glebach mineralnych w wyciągu 1 M HCl ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

Ocena zawartości	Fe – wszystkie gleby mineralne
Niska	<700
Średnia	700–3800
Wysoka	>3800

Źródło: Zalecenia nawozowe, 1990 (26)

Tabela 10

Ocena zawartości Mn w glebach mineralnych w wyciągu 1 M HCl ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

Ocena zawartości	pH w 1 M KCl															
	do 4,5				4,6–5,0				5,1–5,5				od 5,6			
	gleby															
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Niska	<9	<13	<16	<18	<12	<21	<28	<40	<15	<30	<50	<75	<17	<40	<85	<110
Średnia	9–90	13–130	16–160	18–180	12–125	21–210	28–280	40–390	15–150	30–310	50–510	75–750	17–170	40–400	85–830	110–1100
Wysoka	>90	>130	>160	>180	>125	>210	>280	>390	>150	>310	>510	>750	>170	>400	>830	>1100

I – gleby bardzo lekkie, II – lekkie, III – średnie, IV – ciężkie

Źródło: Zalecenia nawozowe, 1990 (26)

Tabela 11  
Ocena zawartości Mo w glebach mineralnych w wyciągu 1 M HCl (mg·kg<sup>-1</sup>)

Ocena zawartości	Zawartość P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> w mg na 100 g gleby										
	do 5				5–10				od 10,1		
	pH w 1 M KCl										
	do 4,5	4,6–5,5	5,6–6,5	od 6,6	do 4,5	4,6–5,5	5,6–6,5	od 6,6	do 4,5	4,6–5,5	od 5,6
Niska	<0,180	<0,075	<0,030	<0,020	<0,110	<0,040	<0,025	<0,020	<0,030	<0,025	<0,020
Średnia	0,180–1,000	0,075–0,400	0,030–0,140	0,020–0,100	0,110–0,570	0,040–0,220	0,025–0,125	0,020–0,085	0,030–0,140	0,025–0,100	0,020–0,075
Wysoka	>1,000	>0,400	>0,140	>1,00	>0,570	0,220	>0,125	>0,085	>0,140	>0,100	>0,075

Źródło: Zalecenia nawozowe, 1990 (26)

Tabela 12.  
Ocena zawartości Zn w glebach mineralnych w wyciągu 1 M HCl (mg·kg<sup>-1</sup>)

Ocena zawartości	Gleba			
	bardzo lekka	lekka	średnia	ciężka
Niska	<0,7	<1,4	<4,6	<11,5
Średnia	0,7–3,3	1,4–6,3	4,6–20,5	11,5–51,1
Wysoka	>3,3	>6,3	>20,5	>51,1

Źródło: Zalecenia nawozowe, 1990 (26)

### Metoda Mehlich 3

Od 2012 roku IUNG-PIB prowadzi we współpracy z Krajową Stacją Chemiczno-Rolniczą prace nad wdrożeniem metody Mehlich 3 do oceny zasobności gleb w makro- i mikrośladniki. Metoda ta pozwala na jednoczesną ekstrakcję makro- i mikroelementów z gleby jednym roztworem ekstrakcyjnym (18). Przeprowadzanie jednej ekstrakcji wszystkich składników pokarmowych równocześnie zamiast użycia kilku różnych ekstrahentów jest dużym uproszczeniem i skróceniem procedury analitycznej, a tym samym wiąże się ze znaczną redukcją kosztów analiz. Procedury stosowane wcześniej przez okręgowe stacje chemiczno-rolnicze do badania zasobności gleby wymagały stosowania trzech różnych roztworów ekstrakcyjnych: mleczanu wapnia do oznaczania P i K, chlorku wapnia do oznaczania Mg oraz 1 M HCl do oznaczania mikroelementów.

W latach 2012–2014 w Głównym Laboratorium Analiz Chemicznych IUNG-PIB w Puławach opracowano procedurę ekstrakcji i oznaczania zawartości makro- i mikroelementów w glebie według metody Mehlich 3 dostosowaną do potrzeb okręgowych stacji chemiczno-rolniczych (2). W 2015 roku metoda Mehlich 3 wraz z odpowiednimi liczbami granicznymi została wdrożona w laboratoriach OSCHR w zakresie oznaczania makroelementów (3, 11).

W celu wdrożenia metody Mehlich 3 do oznaczania mikroelementów konieczne było porównanie jej skuteczności z dotychczas stosowanym 1 M HCl, a w przypadku zadowalających wyników, opracowanie liczb granicznych do tej metody odpowiednich dla warunków glebowych naszego kraju. Badania te zostały podjęte w 2015 roku

przez oddział wrocławski IUNG w ścisłej współpracy z Krajową Stacją Chemiczno-Rolniczą.

Przeprowadzone na podstawie 330 próbek glebowych i 330 roślinnych porównanie przydatności roztworu 1 M HCl i Mehlich 3 do ekstrakcji mikroelementów z gleb Polski nie wykazały zdecydowanie lepszego działania roztworu Mehlich 3 (9, 12, 14). Jednak ze względu na zbliżoną lub tylko w nielicznych przypadkach nieco gorszą skuteczność tego ekstrahenta zdecydowano się na wdrożenie go do stacji chemiczno-rolniczych. Uznano, że korzyści wynikające ze wspólnej ekstrakcji makro- i mikroelementów jednym roztworem i zmniejszenia kosztów analiz usprawiedliwiają wprowadzenie roztworu Mehlich 3 do oznaczania mikroelementów w glebie dla potrzeb nawozowych. Niższa cena analiz gleby umożliwia rolnikom częstsze ich wykonywanie, co przekłada się na właściwy dobór dawek nawozów. Bardziej precyzyjne nawożenie rzutuje zarówno na uzyskiwany poziom plonów, jak również na ochronę środowiska w Polsce.

Kolejnym etapem wdrażania nowej metody oznaczania zawartości mikroelementów w glebie było opracowanie liczb granicznych niedoboru B, Cu, Fe, Mn i Zn dla pszenicy i rzepaku (13, 23). Liczby zostały opracowane na podstawie zbioru danych uzyskanych z 1921 pól z pszenicą i 1944 pól z rzepakiem rozmieszczonych równomiernie na terenie całego kraju. Z pól tych w latach 2016 i 2017 próbobiornicy okręgowych stacji chemiczno-rolniczych pobrali próbki gleby i odpowiadające im próbki roślinne. We wszystkich pobranych próbkach roślinnych oznaczono zawartość mikroelementów, a w próbkach glebowych oprócz mikroelementów oznaczonych metodą Mehlich 3 również pH, skład granulometryczny oraz zawartość węgla organicznego i przyswajalnego fosforu. Ponadto dla każdego pola zebrano dane odnośnie plonu ziarna pszenicy i nasion rzepaku. Uzyskana w ten sposób baza danych, zawierająca ok. 150 000 wyników, stała się podstawą do opracowania liczb granicznych.

Liczby graniczne wyznaczono dwiema niezależnymi metodami: 1) metodą równań regresji oraz 2) tzw. metodą wysokich plonów, opisanymi przez Korzeniowską i in. (13) oraz Stanisławską-Głubiak i in. (23). Porównanie liczb wyliczonych metodą równań regresji i metodą wysokich plonów wykazało ich bardzo duże podobieństwo, co potwierdziło wiarygodność tych liczb.

Opracowane liczby dla roztworu Mehlich 3 są jednostopniowe w odróżnieniu od trzystopniowych liczb dla 1 M HCl. Uznano za wystarczające wyznaczenie jedynie granicy niskiej zawartości mikroelementu w glebie, poniżej której zalecane jest nawożenie roślin tymi składnikami. Ponadto dotychczasowe liczby do metody 1 M HCl są zróżnicowane tylko w zależności od wybranych właściwości gleby. Liczby do metody Mehlich 3 uwzględniają, prócz właściwości gleby, również wrażliwość roślin i są opracowane oddzielnie dla pszenicy i rzepaku (tab. 13 i 14). W najbliższej przyszłości planowane jest opracowanie liczb dla kukurydzy.



Tabela 13

Liczby graniczne niskiej zawartości mikroelementów w glebie oznaczanych metodą Mehlich 3 dla pszenicy w  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 

Pierwiastek	Cecha gleby	Niska zawartość $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$
B	pH	
	$\leq 5,5$	<0,10
	5,6–6,5	<0,25
	6,6–7,2	<0,40
	$\geq 7,3$	<0,55
Cu	Corg (%)	
	$\leq 1,0$	<1,4
	1,1–1,5	<1,6
	1,6–2,0	<1,8
	$\geq 2,1$	<2,2
Fe	$P_{M3}$ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	
	$\leq 100$	<190
	101–200	<240
	$\geq 201$	<280
Mn	pH	
	$\leq 5,5$	<30
	5,6–6,5	<45
	6,6–7,2	<60
	$\geq 7,3$	<75
Zn	$P_{M3}$ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	
	$\leq 100$	<3,0
	101–200	<3,5
	201–300	<4,5
	$\geq 301$	<6,0

Corg – węgiel organiczny,  $P_{M3}$  – fosfor oznaczony metodą Mehlich 3

Źródło: opracowanie własne

Tabela 14

Liczby graniczne niskiej zawartości mikroelementów w glebie oznaczanych metodą Mehlich 3 dla rzepaku

Pierwiastek	Cecha gleby	Niska zawartość $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$
B	Corg (%)	
	do 1,5	<0,30
	1,1–1,5	<0,50
	1,6–1,2	<0,70
	od 2,1	<0,90
Cu	Corg (%)	
	do 1,5	<1,0
	od 1,6	<2,0
Fe	-	<200
Mn	pH	
	do 5,5	<30
	od 5,6	<50
Zn	$P_{M3}$ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	
	do 100	<2,5
	101–200	<3,0
	201–300	<4,0
	od 301	<5,5

Corg – węgiel organiczny,  $P_{M3}$  – fosfor oznaczony metodą Mehlich 3

Źródło: opracowanie własne

## Podsumowanie

Niedobory mikroelementów w glebie prowadzą do obniżania wielkości i jakości plonów ziemiopłodów i powinny być uzupełniane nawożeniem. Poczynając od połowy lat 60. XX w. stacje chemiczno-rolnicze we współpracy z Instytutem Nawożenia Uprawy i Gleboznawstwa cyklicznie przeprowadzały monitoring niedoborów mikroelementów w glebach Polski (tab. 15). Początkowo ocena niskiej zawartości przyswajalnych dla roślin form mikroskładników prowadzona była przy wykorzystaniu metod specyficznych i odpowiadających im liczb granicznych. Badania przeprowadzone w latach 1965–1983 na podstawie ponad 400 000 próbek glebowych wykazały, że ponad 40% użytków rolnych wykazywało niedobory Mo, B i Cu, 25% niedobory Mn, i tylko 9% niedobory Zn.

W roku 1986 metody specyficzne zostały zastąpione metodą z 1 M HCl i liczbami granicznymi opracowanymi specjalnie dla tego ekstrahenta. Trzy cykle monitoringu przeprowadzone w latach 1987–2013 wykorzystujące tę nową metodę wykazały średnio 76% niedoborów B, 36% Cu, ok. 20% Fe i Mo, 15% Zn oraz 7% Mn (tab. 15). Główna różnica pomiędzy wyceną metodami specyficznymi a metodą z 1 M HCl dotyczyła boru, którego niedobory szacowane nową metodą dotyczyły aż 3/4 użytków rolnych w Polsce. Wykazane w cyklu 1987–1993 znacznie mniejsze niedobory Mo, niż stwierdzone w latach 1965–1983 metodami specyficznymi, nie zostały w kolejnych cyklach potwierdzone. Od 1994 roku zaniechano bowiem wykonywania analiz Mo w glebach ze względu na ich dużą pracochłonność, małą wiarygodność i szkodliwość dla ludzi i środowiska.

Liczby graniczne do metod specyficznych i do metody z 1 M HCl nie były zróżnicowane w zależności od gatunku rośliny. Stwierdzenie niskiej zawartości mikroelementu skutkowało zaleceniem nawożenia nim każdego gatunku uprawianego na tej glebie. Wiadomo jednak, że poszczególne gatunki roślin różnią się zdolnością pobierania mikropierwiastków z gleby, a także wrażliwością na ich niedobory, co stwarza potrzebę zróżnicowania liczb granicznych dla poszczególnych gatunków roślin uprawnych. Problem ten został rozwiązany przy zamianie obowiązującej w OSChR metody 1 M HCl na metodę Mehlich 3, dla której opracowano odrębne liczby dla pszenicy i rzepaku.

Ocena zasobności gleb przeprowadzona metodą Mehlich 3 i opracowanymi dla niej liczbami wykazała zróżnicowanie niedoborów mikroelementów w zależności od gatunku rośliny (tab. 15). Na podstawie 3865 próbek glebowych pobranych z terenu całej Polski wykazano, że aż 45% gleb wykazywało niedobór B dla rzepaku i jedynie 19% dla pszenicy. Duże różnice wystąpiły również w przypadku Cu, gdzie 30% gleb charakteryzowało się niedoborem tego pierwiastka dla pszenicy, a tylko 14% dla rzepaku. Biorąc pod uwagę dużą wrażliwość rzepaku i małą pszenicy na niedobór B oraz znacznie większą wrażliwość pszenicy na niedobór Cu niż rzepaku (10), wydaje się, że poziom liczb granicznych dla obu gatunków jest ustalony właściwie.

Tabela 15

Niedobory mikroelementów w glebach Polski w % użytków rolnych

Okres	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn	Liczba prób	Metoda	Roślina
1965–1983	41	41	x	25	44	9	ok. 400000	metody specyf. <sup>1</sup>	wszystkie
1987–1993	75	37	x	11	23	14	11184 (Mo) -78278 (B)	1 M HCl <sup>2</sup>	wszystkie
1994–1999	79	36	x	7	x	13	ok. 70000	1 M HCl <sup>3</sup>	wszystkie
2000–2012	74	34	21	3	x	17	37000 (B), 55000 (reszta)	1 M HCl <sup>4</sup>	wszystkie
Średnia	76	36	21	7	23	15			
2016–2017	19	30	21	16	x	20	3865	Mehlich 3 <sup>5</sup>	pszenica
2016–2017	45	14	10	15	x	14			rzepak

<sup>1</sup>Zawartość..., 1985 (27), <sup>2</sup>Obojski i Strączyński, 1995 (20), <sup>3</sup>Kucharzewski i Dębowski, 2000 (15),<sup>4</sup>Lipiński, 2013 (16), <sup>5</sup>Stanisławska-Głubiak i in., 2019 (23), x – oznaczeń nie wykonywano

Źródło: opracowanie własne

## Literatura

- Berger K.C., Truog E.: Boron tests and determination for soils and plants. *Soil Sci.*, 1944, **57(1)**: 25-36.
- Boreczek B., Sumorek-Gołąbek A., Janda B.: Wielopierwiastkowa analiza gleb metodą Mehlich III. Główne Laboratorium Analiz Chemicznych IUNG-PIB Puławy, 2012, ss. 17 (materiały niepublikowane do użytku wewnętrznego).
- Fotyma M., Kęsik K., Lipiński W., Filipiak K., Purchała L.: Testy glebowe jako podstawa doradztwa nawozowego. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2015, **42(16)**: 9-51.
- Gembarzewski H., Kamińska W., Korzeniowska J.: Zastosowanie 1M roztworu HCl jako wspólnego ekstrahenta do oceny zasobności gleby w przyswajalne formy mikroelementów. *Prace Kom. Nauk. PTG*, 1987, **IV/8**: 1-9.
- Gembarzewski H., Korzeniowska J.: Ocena zasobności gleby w mikroelementy według „starych” i „nowych” liczb granicznych a doradztwo nawozowe. *Prace Kom. Nauk. PTG*, 1989, **IV/10**: 24-37.
- Gembarzewski H., Korzeniowska J.: Simultaneous extraction of B, Cu, Fe, Mn, Mo and Zn from mineral soils, and an estimation of the results. *Agribiological Research-Zeitschrift für Agrarbiologie Agrikulturchemie Okologie*, 1990, **43(2)**: 115-127.
- Gembarzewski H., Korzeniowska J.: Wybór metody ekstrakcji mikroelementów z gleby i opracowanie liczb granicznych przy użyciu regresji wielokrotnej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1996, **434**: 353-364.
- Grigg J.L.: A rapid method for the determination of molybdenum in soils. *Analyst*. 1953, **78(929)**: 470-473.
- Kantek K., Korzeniowska J.: Przydatność ekstrahentów Mehlich 3 i 1 M HCl do oceny niedoborów miedzi w glebie pod kątem monitoringu środowiska. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 2013, **24(3)**: 1-5.
- Katyal J.C., Randhawa N.S.: Micronutrients. *FAO Fertilizer and plant nutrition Bulletin*, 1983, **7**: 1-82.
- Kęsik K., Lipiński W., Jadczyzyn T., Boreczek B., Janda B., Sumorek-Gołąbek A., Kocoń A., Ochal P., Piłkuła D., Bochniarz A.: Liczby graniczne oraz procedura badawcza oznaczania metodą Mehlich 3 ruchomych form fosforu, potasu i magnezu w glebach mineralnych. Instrukcja wdrożeniowa nr 230, IUNG-PIB Puławy, ss. 26.

12. Korzeniowska J., Stanisławska-Głubiak E.: Comparison of 1 M HCl and Mehlich 3 for assessment of the micronutrient status of polish soils in the context of winter wheat nutritional demands. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 2015, **46(10)**: 1263-1277.
13. Korzeniowska J., Stanisławska-Głubiak E., Lipiński W.: Opracowanie liczb granicznych niedoboru mikroelementów w glebie oznaczanych przy użyciu ekstrahenta Mehlich 3 dla polskich warunków glebowych. Część I. Pszenica. *Soil Sci. Ann.*, 2019, **70(4)**: 314-23.
14. Korzeniowska J., Stanisławska-Głubiak E., Lipiński W.: Porównanie wyników ekstrakcji mikroelementów z gleby roztworem 1 M HCl i Mehlich 3. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu: Rolnictwo*, 2016, **619**: 59-68.
15. Kucharzewski A., Dębowski M.: Odczyn i zawartość mikroelementów w glebach Polski. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.*, 2000, **471**: 627-635.
16. Lipiński W.: Zasobność gleb polski w mikroelementy. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2013, **34(8)**: 121-131
17. McLaughlin M.J., Zarcinas B.A., Stevens D.P., Cook N.: Soil testing for heavy metals. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 2000, **3**: 1661-1700.
18. Mehlich A.: Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 1984, **15(12)**: 1409-1416.
19. Metody badań laboratoryjnych w stacjach chemiczno-rolniczych. Cz. I. Badanie gleb. IUNG Puławy, 1980.
20. Obojski J., Strączyński S.: Odczyn i zasobność gleb polskich w makro- i mikroelementy. *Wyd. IUNG Puławy*, 1995, ss. 40.
21. Schachtschabel P.: Manganese in soil. *Die Phosphorsaure*, 1955, **15**: 133-139.
22. Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J.: Zasady nawożenia mikroelementami roślin uprawnych. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2007, **8**: 99-110.
23. Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J., Lipiński W.: Opracowanie liczb granicznych niedoboru mikroelementów w glebie oznaczanych przy użyciu ekstrahenta Mehlich 3 dla polskich warunków glebowych. Część II. Rzepak. *Soil Sci. Ann.*, 2019, **70(4)**: 324-30.
24. Westerhoff H.: Beitrage zur Kupferbestimmung im Boden, *Landwirtschaftliche Forschung*, 1955, **7**: 190-192.
25. Wear J.I., Sommer A.L.: Acid-extractable zinc of soils in relation to the occurrence of zinc deficiency symptoms of corn: A method of analysis. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 1948, **12**: 143-144.
26. Zalecenia nawozowe. Praca zbiorowa. Cz. I. Liczby graniczne do wyceny w glebach makro- i mikroelementów. IUNG Puławy, 1990, ss. 44.
27. Zawartość rozpuszczalnych form mikroelementów w glebach polskich. Synteza wyników badań wykonanych przez okręgowe stacje chemiczno-rolnicze w latach 1965–1983. IUNG Puławy, 1985, ss. 122.

---

Adres do korespondencji:

*prof. dr hab. Jolanta Korzeniowska*  
*Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Orzechowa 61, 50-540 Wrocław*  
*tel. 71 363 8707, w. 112*  
*e-mail: j.korzeniowska@iung.wroclaw.pl*

---

AUTOR	ORCID
Ewa Stanisławska-Głubiak	0000-0003-1852-6732
Jolanta Korzeniowska	0000-0003-3701-9576
Tamara Jadczyzyn	0000-0002-4755-699