

**Ewa Stanisławska-Głubiak, Jolanta Korzeniowska**

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

**ANALIZA RYNKU NAWOZÓW MIKROELEMENTOWYCH NA TLE  
POTRZEB NAWOŻENIA MIKROELEMENTAMI W POLSCE\***

**Słowa kluczowe:** mikroelementy, niedobory, pszenica, rzepak, kukurydza, burak cukrowy, nawozy mikroelementowe

---

**Wstęp**

Mikroelementy do niedawna nie były doceniane przez rolników jako składniki, które są niezbędne do prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin uprawnych. Obecnie wiedza na temat ich funkcji biochemicznych i fizjologicznych, jaką pełnią w roślinie, jest szeroko dostępna. Coraz więcej producentów rolnych zdaje sobie sprawę, że niedostateczny poziom odżywienia roślin mikroelementami prowadzi do obniżenia ich odporności na niekorzystne warunki środowiska, takie jak: choroby i szkodniki, susza, mróz czy konkurencyjność chwastów. Następstwem tego jest obniżenie poziomu plonowania i pogorszenie jakości plonu. Pomimo tego nawożenie roślin mikroelementami do tej pory nie było stosowane na większą skalę. Potwierdzają to badania IUNG-PIB przeprowadzone we współpracy z Krajową Stacją Chemiczno-Rolniczą w latach 2010–2011 na polach pszenicy ozimej zlokalizowanych w gospodarstwach o średniej intensywności (23). Wykazano stosunkowo duże niedobory mikroelementów w roślinach pszenicy. Niską zawartością Zn i Mn charakteryzowało się odpowiednio: 38 i 29% próbek. Stwierdzono również niską zawartość Cu (21%) i B (18%). W zgromadzonych próbkach prawie wcale nie zaobserwowano niedoborów Mo (3%) i tylko nieliczne Fe (11%).

Rośliny uprawne, w zależności od gatunku, mają zróżnicowane potrzeby pokarmowe odnośnie poszczególnych mikroelementów, a także różną wrażliwość na ich niedobór. Niektóre gatunki, a nawet odmiany, łatwiej pobierają trudno dostępne formy mikroelementów z gleby niż inne. Dzieje się tak w wyniku wydzielania przez

---

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

korzenie substancji chelatujących zwanych fitosideroforami, co zostało stwierdzone głównie u zbóż i traw (29, 48, 53).

Nawożenie roślin mikroelementami wymaga większej wiedzy i większej precyzji niż nawożenie makroelementami. W sprzedaży dostępna jest szeroka gama nawozów mikroelementowych zarówno produkcji krajowej, jak i zagranicznej. Asortyment tych nawozów jest tak różnorodny, że producenci rolni mogą mieć kłopoty z wyborem odpowiedniego nawozu dostosowanego do potrzeb rośliny uprawnej i warunków jej uprawy. Często rolnicy ulegają agresywnej reklamie dystrybutorów nawozów, zwłaszcza firm zagranicznych, kupując produkty nawozowe, których skład nie jest dopasowany do aktualnego stanu odżywienia mikroelementami uprawianej rośliny. Zakup nawozu mikroelementowego powinien być poprzedzony dokładną analizą potrzeb nawożenia tymi składnikami. W tym celu można wykorzystać komputerowe doradztwo mikroelementowe dostępne na stronie internetowej Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa-Państwowego Instytutu Badawczego (46). W zależności od rekomendowanej dawki mikroskładnika, rolnik może dopasować odpowiedni nawóz spośród szerokiej oferty produktów dolistnych i doglebowych prezentowanych w niniejszej pracy.

### Zawartość mikroelementów w glebach Polski

Mikroelementy w glebie związane są głównie z jej najdrobniejszą frakcją granulometryczną, tzw. frakcją ilastą. Istotne zróżnicowanie zawartości mikroelementów stwierdza się raczej pomiędzy gatunkami niż typami gleb. Średnia ich zawartość jest zdecydowanie większa w glebach cięższych, o większej zawartości frakcji ilastych (gleby pyłowe i gliniaste), niż lżejszych, piaszczystych (tab.1).

Tabela 1

Całkowita zawartość mikroelementów w glebach Polski (mg·kg<sup>-1</sup>)

Mikroelement	Gleby piaszczyste	Gleby pyłowe i gliniaste	Gleby organiczne
Mn	240	500	150
Zn	37	70	60
B	10	30	25
Cu	6	15	5
Mo	1,5	3,0	1,0

Źródło: Kabata-Pendias i Pendias, 1999 (14)

Całkowita zawartość mikroelementów w glebie nie jest dobrym wskaźnikiem dla określenia potrzeb nawozowych roślin. Przemiany, jakim podlegają mikroelementy w glebie i związana z nimi ilość form dostępnych dla roślin, zależy od takich czynników, jak: skład granulometryczny, odczyn gleby, potencjał redoks, zawartość materii organicznej, zawartość fosforu, a także od różnych interakcji pomiędzy składnikami. Dlatego diagnostyka potrzeb nawozowych roślin uprawnych

w odniesieniu do mikroelementów opiera się na oznaczeniu zawartości w glebie tzw. form przyswajalnych, czyli wyekstrahowanych z gleby określonym roztworem.

W latach 1987–2012 stacje chemiczno-rolnicze we współpracy z Instytutem Nawożenia Uprawy i Gleboznawstwa cyklicznie przeprowadzały monitoring zawartości przyswajalnych dla roślin form mikroelementów w glebach Polski, oznaczanych po ich ekstrakcji roztworem 1 M HCl. W tabeli 2 przedstawiono skalę niedoborów mikroelementów oszacowaną na podstawie badań przeprowadzonych na podstawie kilkudziesięciu tysięcy próbek dla każdego z pierwiastków.

Tabela 2  
Procentowy udział gleb o niskiej zawartości przyswajalnych form mikroelementów w Polsce

Mikroelement	Lata badań				
	1987–1993 <sup>1</sup>	1994–1999 <sup>2</sup>	2000–2012 <sup>3</sup>	2016–2017 <sup>4)</sup>	
				pszenica	rzepak
B	75	79	74	19	45
Cu	37	34	34	30	14
Fe	-	28	21	21	10
Mn	11	7	3	16	15
Mo	23	x	x	x	x
Zn	14	13	17	20	14

<sup>1</sup>Obojski i Strączyński, 1995 (30), <sup>2</sup>Kucharzewski i Dębowski, 2000 (25), <sup>3</sup>Lipiński, 2013 (27), <sup>4</sup>Stanisławska-Głubiak i in. 2019 (47); x – nie wykonywano oznaczeń

Z przedstawionego zestawienia wynika, że największy niedobór przyswajalnych form mikroelementów w glebie dotyczył boru (średnio 76% gleb), a następnie miedzi (średnio 35% gleb). W ostatnim cyklu badań (2000–2012) stwierdzono wzrost deficytu cynku i zmniejszenie się deficytu manganu w stosunku do lat 1987–1999. Od 1994 roku nie wykonywano analiz molibdenu w glebach na masową skalę, ze względu na uciążliwą procedurę analityczną. Przyjęto, że niedobór tego pierwiastka występuje tylko w glebach kwaśnych i zabieg wapnowania powinien go wyeliminować.

Badania z lat 2000–2012 wskazują na znaczne regionalne zróżnicowanie zasobności gleb w mikroelementy (27). Najwięcej gleb ubogich w bor występowało na obszarze województw: podlaskiego (ponad 90%), zachodniopomorskiego, kujawsko-pomorskiego, wielkopolskiego i świętokrzyskiego (ponad 80%). Największy udział gleb deficytowych w miedź odnotowano w województwach opolskim i podlaskim (ok. 60%), a w mangan w województwach mazowieckim i wielkopolskim (powyżej 7%). Gleby ubogie w cynk występowały głównie na obszarze Mazowsza, Dolnego Śląska i Lubelszczyzny (ponad 30%). Najwięcej gleb ubogich w żelazo stwierdzano w województwach: kujawsko-pomorskim, wielkopolskim i podlaskim. Na podkreślenie zasługuje fakt występowania w kraju obszarów, na których deficyt mikroelementów dotyczył kilku z nich jednocześnie. Do tych regionów należały województwa wielkopolskie i mazowieckie, a także podlaskie, lubelskie, warmińsko-mazurskie i kujawsko-pomorskie.

Po wprowadzeniu nowej procedury analitycznej do oznaczeń zawartości makro- i mikroelementów w glebie, z wykorzystaniem wspólnego ekstrahenta Mehlich 3, w IUNG-PIB we współpracy z Krajową Stacją Chemiczno-Rolniczą opracowano liczby graniczne niedoboru mikroelementów w zależności od gatunku rośliny, który miałby być uprawiany na badanej glebie (22, 47). Deficyt poszczególnych mikroelementów w latach 2016–2017 oceniony tymi liczbami, zwłaszcza boru i miedzi, był wyraźnie zróżnicowany dla rzepaku i pszenicy (tab. 2). Generalnie, średnio dla obu gatunków roślin znacznie zmniejszył się udział gleb niedoborowych w bor w stosunku do ocen z lat 1987–2012. Jednocześnie odnotowano wzrost niedoborów manganu. Różnice te wynikały z innych kryteriów oceny, ale częściowo mogły również wynikać z rzeczywistych zmian zasobności polskich gleb w mikroelementy.

### Wrażliwość roślin na niedobory mikroelementów

Poszczególne gatunki roślin uprawnych różnią się znacznie wrażliwością na deficyt mikroelementów (tab. 3). Oznacza to, że ten sam poziom zawartości danego pierwiastka w glebie może być wystarczający dla jednego gatunku, a zbyt niski dla innego. Różną tolerancję na niedobór mikroelementów mogą wykazywać nie tylko gatunki, ale również odmiany roślin. Różnice we wrażliwości odmian pszenicy na niedobór mikroelementów często tłumaczy się ich różną zdolnością do wydzielania tzw. fitosideroforów.

Tabela 3

Wrażliwość najważniejszych roślin uprawnych na niedobór mikroelementów

Roślina	B	Cu	Mn	Mo	Zn
Pszenica	1	3	3	0	1
Jęczmień	0	3	2	1	0
Żyto	0	0	2	0	0
Pszenżyto	0	1	1	0	0
Owies	0	3	3	1	0
Rzepak	3	1	2	2	0
Burak cukrowy	3	2	3	2	1
Kukurydza	2	2	2	0	3

0 – brak, 1 – mała, 2 – średnia, 3 – duża

Źródło: opracowanie własne

### Reakcja roślin na nawożenie mikroelementami

W Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa od wielu lat prowadzono badania dotyczące potrzeb mikroelementowych najważniejszych gospodarczo roślin uprawnych oraz ich reakcji na nawożenie mikroelementami. Badania najczęściej opierano na doświadczalnictwie polowym prowadzonym na szeroką skalę oraz zbiorze

danych zebranych z pól produkcyjnych, ale także na wynikach ścisłych doświadczeń wazonowych i mikropoletkowych. Poniżej przedstawiono badania IUNG, poparte wynikami innych autorów, w odniesieniu do pszenicy ozimej, rzepaku ozimego, buraka cukrowego oraz kukurydzy.

### Pszenica ozima

Korzeniowska (18) na podstawie badań własnych oraz innych autorów wskazała na konieczność nawożenia pszenicy **miedzią** przy niedostatecznej zawartości tego składnika w glebie. Intensywny poziom agrotechniki, a zwłaszcza wysoki poziom nawożenia azotowego, zwiększa dodatkowo zapotrzebowanie pszenicy na ten pierwiastek. W badaniach Korzeniowskiej (18) pszenica w większości przypadków reagowała na nawożenie miedzią 11–23% zwykłą plonów, a z doniesień innych autorów wynika, że przy jej deficycie w glebie wzrost plonów może wynosić nawet 40–100% (15, 16). Decyzja o nawożeniu miedzią powinna zależeć nie tylko od zasobności gleby, ale również od uprawianej odmiany. W przeprowadzonych badaniach wykazano, że odmiany pszenicy powszechnie uprawiane w Polsce różnią się istotnie efektywnością wykorzystania tego pierwiastka. Wyodrębniono odmiany o dużym, średnim i małym zapotrzebowaniu na Cu, ale ze względu na częste zmiany w krajowym rejestrze odmian lista tych odmian jest częściowo zdezaktualizowana. Celowe byłoby włączenie testowania potrzeb miedziowych pszenicy do Porejestrowego Doświadczalnictwa Odmianowego (PDO).

Przy niskiej zasobności gleby w miedź najkorzystniejsze jest przedsięwzięcie nawożenia doglebowe tym pierwiastkiem, które wykazuje kilku-, a niekiedy nawet kilkunastoletni efekt następczy (4, 10, 11, 28). Zalecana dawka to raz na kilka lat 6–10 kg Cu·ha<sup>-1</sup> w zależności od rodzaju gleby, w formie siarczanu miedzi. Na gleby cięższe i o większej ilości substancji organicznej należy stosować wyższe dawki. Jeśli deficyt miedzi zostanie wykryty w czasie wegetacji roślin, powinno się wykonać oprysk dolistny. Najlepsze efekty przynosi zabieg wykonany w fazie początku strzelania w źdźbło z użyciem dawki 300 g·ha<sup>-1</sup> w formie siarczanu miedzi. Skuteczne, choć droższe są również nawozy zawierające miedź w formie chelatów.

Pszenica jako gatunek nie jest wrażliwa na niedobór **boru**, niemniej w warunkach jego niskiej zawartości w glebie może reagować zwykłą plonów na nawożenie tym pierwiastkiem. Korzeniowska (18) stwierdziła, że duże uzależnienie reakcji pszenicy na aplikację boru od pogody sprawia, że efekt nawożenia tym pierwiastkiem jest mało przewidywalny. Pszenica zareagowała istotnym 6–35% przyrostem plonu na dolistną aplikację boru w czterech na sześć przeprowadzonych doświadczeń, ale w jednym doświadczeniu 3 odmiany zareagowały istotną, niespodziewaną 12–23% jego obniżką. Z badań przeprowadzonych w naszym kraju przez innych autorów wynika, że nawożenie borem pszenicy może spowodować 6–10% wzrost plonów (8, 52). Według różnych autorów najlepsze efekty daje nawożenie

doglebowe w dawce 1–2 kgB·ha<sup>-1</sup> (8, 31, 36, 37, 49). Wróbel i Sienkiewicz-Cholewa (52) zalecają dla pszenicy ozimej nawożenie doglebowe pogłównie w dawce 1,2–1,8 kg B·ha<sup>-1</sup> w formie 0,2% roztworu H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, który jest rozlewany na powierzchnię gleby w fazie krzewienia.

Według Korzeniowskiej (18), reakcja pszenicy na nawożenie **cynkiem** związana była nie tylko z niską zawartością tego pierwiastka w glebie, ale również ze stosunkiem cynku do fosforu i cynku do miedzi w glebie. Pszenica zareagowała zwyżką plonów na nawożenie cynkiem na polach, gdzie było go za mało w stosunku do fosforu i miedzi. Na glebach lekkich o niskiej i średniej zasobności w cynk i równoczesnych wysokich zawartościach fosforu i miedzi mogą wystąpić korzystne efekty nawożenia pszenicy cynkiem. Potrzeby nawożenia cynkiem mogą również wystąpić przy stosowaniu wysokich dawek skoncentrowanych nawozów fosforowych. Wynika to z antagonizmu cynku i fosforu oraz cynku i miedzi szeroko udokumentowanego w literaturze (1, 6, 7, 13, 24, 26, 54). W opisaney sytuacji można spodziewać się ok. 10% wzrostu plonów ziarna na skutek aplikacji 10 kg cynku na 1 ha. Dawka ta okazała się najkorzystniejsza zarówno pod względem przyrostu plonu, jak i efektywności nawożenia. Z doniesień literaturowych wynika, że cynk powinien być stosowany przedsięwnie, doglebowo, raz na kilka lat (1, 2, 3, 5, 32, 33). Wielu autorów podkreśla wieloletnie działanie następcze nawożenia tym pierwiastkiem (2, 3, 8, 12, 35). Dobrym źródłem cynku jest ZnSO<sub>4</sub> ze względu na łatwą rozpuszczalność, dostępność i niski koszt.

### Rzepak ozimy

W ścisłych doświadczeniach polowych przeprowadzonych w warunkach niskiej bądź średniej zawartości miedzi w glebie odnotowano istotny wzrost plonów pod wpływem dolistnego nawożenia **miedzią** w dawce 250 g·ha<sup>-1</sup>, a w niektórych przypadkach także w wyniku nawożenia doglebową dawką miedzi – 12 kg·ha<sup>-1</sup>. Zwyżki plonów kształtowały się na poziomie 2–9% w stosunku do plonów roślin nietraktowanych miedzią (38). Badano również reakcję wybranych odmian rzepaku na nawożenie tym pierwiastkiem (39). W przypadku 2 odmian na 5 badanych dolistna aplikacja miedzi spowodowała zwyżkę plonów nasion oraz wzrost zawartości tłuszczu i zawartości miedzi w nasionach. Te same odmiany zareagowały również wzrostem zawartości tłuszczu i koncentracji miedzi w nasionach na dawkę doglebową 12 kg Cu·ha<sup>-1</sup>.

W badaniach Sienkiewicz-Cholewy i Kieloch (42) doglebowe nawożenie rzepaku **borem** w dawce 2 kg·ha<sup>-1</sup>, w warunkach niskiej zasobności gleby w ten pierwiastek, spowodowało wzrost plonów o 10% w porównaniu z glebą nienawożoną. Stwierdzono także znaczny wzrost zawartości tłuszczu w nasionach, o 1,0–1,4 punktu procentowego w odniesieniu do suchej masy, po zastosowaniu łącznego nawożenia borem i miedzią w dawkach odpowiednio: 2 i 5 kg·ha<sup>-1</sup>.

W badaniach Stanisławskiej-Głubiak (43, 44) prowadzonych na 33 polach produkcyjnych na terenie 8 województw rzepak zareagował na dolistne nawożenie **molibdenem** istotnym wzrostem plonu nasion w stosunku do roślin nienawożonych Mo. Na glebach lekkich była to średnia zwyżka na poziomie  $0,11 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , przy czym skuteczna okazała się tu dawka  $120 \text{ g Mo}\cdot\text{ha}^{-1}$ . W grupie doświadczeń prowadzonych na glebach średnich i ciężkich wzrost plonu wynosił średnio  $0,17 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . W tym przypadku już dawka  $60 \text{ g Mo}\cdot\text{ha}^{-1}$  była wystarczająca. Istotnie gorsze rezultaty uzyskano po oprysku roślin dawką  $30 \text{ g Mo}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Molibden stosowano w 2 terminach: wiosną, kilka dni po ruszeniu wegetacji oraz na początku formowania łodygi, jednak nie stwierdzono istotnego wpływu terminu aplikacji na skuteczność działania Mo. Zaobserwowano natomiast, że wysoka zawartość fosforu w glebie może ograniczać dodatnią reakcję roślin na dolistną aplikację molibdenu, a duża zawartość miedzi i manganu może ją stymulować. Oprócz wzrostu plonów dolistne nawożenie molibdenem, w sytuacji niedostatecznego zaopatrzenia rzepaku w ten składnik, może powodować wzrost koncentracji Mo w nasionach o 40%–50%, co jest korzystne w przypadku materiału siewnego lub surowca paszowego. Najlepszych rezultatów należy spodziewać się po zastosowaniu dawki  $60\text{--}120 \text{ g Mo}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

W badaniach polowych innych autorów największe zwyżki plonów uzyskano po zastosowaniu molibdenu łącznie z borem lub kompletem mikroelementów (34, 40, 41). W niemieckich zaleceniach dla praktyki rolniczej zwraca się uwagę na znaczenie boru, molibdenu oraz manganu w nawożeniu rzepaku ozimego (9).

## Kukurydza

Na podstawie 45 doświadczeń polowych zlokalizowanych na terenie całego kraju stwierdzono, że kukurydza uprawiana na kiszonkę w 60% przypadków reagowała wzrostem plonów na doglebowe nawożenie **cynkiem** (17). Najwyższe plony uzyskano po zastosowaniu  $20 \text{ kg Zn}\cdot\text{ha}^{-1}$ , w formie siarczanu cynku, ale najlepszą efektywność nawożenia uzyskano, stosując dawkę  $10 \text{ kg Zn}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Średni przyrost plonów wskutek aplikacji  $20 \text{ kg Zn}\cdot\text{ha}^{-1}$  wynosił 9,7%. Na nawożenie cynkiem najczęściej reagowały rośliny na glebach bardzo lekkich i lekkich.

W doświadczeniach wazonowych przeprowadzonych na 6 glebach lekkich o zróżnicowanych parametrach fizykochemicznych wykazano, że potrzeby mikroelementowe kukurydzy dotyczą nie tylko cynku, ale również **boru i miedzi**, co zostało udokumentowane wzrostem plonów w wyniku doglebowego nawożenia tymi pierwiastkami (19). Nie stwierdzono natomiast plonotwórczego działania manganu, a nawet odnotowano jego negatywne działanie na poziom plonów.

Pozytywna reakcja kukurydzy na nawożenie **borem** została potwierdzona w doświadczeniach polowych (21). Zwyżki plonów zielonej masy kukurydzy uprawianej na kiszonkę, uzyskane po nawożeniu  $2 \text{ kg B}\cdot\text{ha}^{-1}$ , kształtowały się w zakresie 11,3–30,2% w warunkach niskiej lub średniej zawartości tego pierwiastka w glebie.

Zwyżki plonów badanych 6 odmian kukurydzy uprawianej na ziarno były uzależnione od zawartości boru dostępnego w glebie i jej odczynu (51). Dawka  $2 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$  w postaci kwasu borowego zastosowana dogłębowo przyniosła największe efekty plonotwórcze i była najbardziej opłacalna. W przypadku wykonania oprysku interwencyjnego w okresie wegetacji kukurydzy, najlepiej zastosować dawkę  $250\text{--}300 \text{ g B} \cdot \text{ha}^{-1}$  w postaci kwasu borowego lub schelatyzowanej formy boru.

Częste wystąpienie niedoborów **miedzi** w roślinach kukurydzy oraz wzrost plonów na skutek nawożenia Cu, pomimo wystarczającej zawartości tego pierwiastka w glebie, świadczy o stosunkowo dużych potrzebach kukurydzy w stosunku do miedzi (20). Nawożenie miedzią zwiększało plon o 10–19%. Problem niedoboru **molibdenu** dotyczył jedynie kukurydzy uprawianej na glebie silnie zakwaszonej. Zastosowanie w takim przypadku molibdenu spowodowało niemal tak dużą zwyżkę plonów, jak w wyniku wapnowania gleby.

### Burak cukrowy

Potrzeby mikroelementowe buraka cukrowego zostały określone przez Wróbla (50) na podstawie 115 doświadczeń prowadzonych na polach produkcyjnych oraz 8 ścisłych doświadczeń polowych, w których stosowano nawożenie mikroelementami. Autor stwierdził, że wzrost poziomu nawożenia NPK i związany z tym wzrost plonów buraka powodował zmniejszenie zawartości w roślinach przede wszystkim **boru, miedzi i molibdenu**. Niedobory cynku, manganu i żelaza występowały rzadziej. Wykazano korzystne działanie dogłębowego nawożenia deficytowymi mikroelementami zarówno stosowanymi oddzielnie, jak również w kombinacji. Efekt plonotwórczy odnotowywano najczęściej w uprawach wysokoplonujących. Udowodniono pozytywny wpływ nawożenia molibdenem nie tylko na wielkość plonów, ale również na zawartość cukru w korzeniach buraka. Rekomendowane dawki mikroelementów, które wykazały wysoką efektywność ekonomiczną to  $2 \text{ kg B}$ ,  $8 \text{ kg Cu}$ ,  $2 \text{ kg Mn}$ ,  $0,4 \text{ kg Mo}$  i  $8 \text{ kg Zn} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

### Zalecenia do nawożenia mikroelementami

Zalecenia nawozowe dotyczące nawożenia mikroelementami roślin uprawnych zostały opracowane na podstawie wyników badań prowadzonych w IUNG-PIB z uwzględnieniem danych literaturowych. Określono zasady, którymi rolnicy powinni się kierować przy podejmowaniu decyzji o nawożeniu upraw mikroelementami (45). Przy niskiej zawartości mikroelementów w glebie, dawki nawozów mieszczą się w zakresach podanych w tabeli 4. Dokładne ustalenie dawki mikroelementu jest uzależnione od wielu czynników. Oprócz wrażliwości gatunku i zasobności gleby w mikroelement należy wziąć pod uwagę czynniki modyfikujące przyswajalność mikroelementu dla roślin, a więc np. pH gleby, jej teksturę, zawartość fosforu



w glebie, regularność nawożenia obornikiem i wapnowania, poziom nawożenia azotem i formę nawozu azotowego. Dla przeciętnego rolnika jest to dość skomplikowane. Dlatego w IUNG-PIB opracowano program komputerowy o nazwie „Kalkulator potrzeb nawożenia mikroelementami roślin uprawnych”, za pomocą którego można uzyskać informację, czy nawożenie danym mikroelementem jest konieczne, czy tylko wskazane bądź zbędne (46).

Tabela 4

Dawki mikroelementów zalecane przy niskiej zasobności gleb (w przeliczeniu na formę pierwiastkową)

Mikroelement	Dawka doglebowa kg ha <sup>-1</sup>	Dawka dolistna g ha <sup>-1</sup>
B	2–3*	200–400**
Cu	6–0	300
Zn	8–2	600
Mn	-	1200
Mo	-	40 (60–120**)

\*najwyższą dawkę stosować pod buraki uprawiane na glebach alkalicznych; \*\*dawka dla rzepaku. Cu i Zn doglebowo stosować raz na 4–5 lat, B doglebowo można stosować zawsze pod roślinę wrażliwą

Program wylicza również wielkość dawki i podaje najlepszy sposób nawożenia (dolistnie lub doglebowo). Rekomendowane dawki mikroelementów podawane są w ilości czystego składnika na hektar. Program jest dostępny bezpłatnie online na stronie IUNG-PIB (<http://www.iung.pulawy.pl>).

### Oferta nawozów mikroelementowych na rynku krajowym

Oferta nawozów zawierających mikroelementy, które znajdują się w sprzedaży jest bardzo bogata. Obok nawozów typowo mikroelementowych, zawierających tylko jeden mikroelement, proponowane są również nawozy makroelementowe (N, P, K, Ca, Mg i S w różnych kombinacjach) z dodatkiem jednego lub wielu mikroskładników. Nawozy te w większości przeznaczone są do stosowania dolistnego i mają charakter uniwersalny bądź są dedykowane pod określone rośliny uprawne, np. zboża, rzepak czy kukurydzę. Zestaw mikroelementów i ich koncentracja w nawozach przeznaczonych pod konkretne uprawy są dostosowane do wymagań gatunku rośliny. Oferta nawozów do stosowania doglebowego jest znacznie skromniejsza niż nawozów dolistnych.

W nawozach dolistnych w zależności od rodzaju nawozu i producenta zawartość mikroskładników waha się w szerokich granicach. Nawozy jednoskładnikowe charakteryzują się znacznie większą koncentracją mikroelementu w porównaniu z jego zawartością spotykaną w nawozach makroelementowych z dodatkiem wielu mikroelementów (tab. 5).

Nawozy dolistne zarówno jednoskładnikowe (tab. 6), jak i makroelementowe z dodatkiem wielu mikroelementów (tab. 7) występują w formie płynnej bądź stałej (krystalicznej lub mikrogranulatu) przeznaczonej do rozpuszczania w wodzie.

Tabela 5

## Zakres zawartości mikroelementów w nawozach dolistnych (%)

Mikroskładnik	Rodzaj nawozu	
	mikroelementowe jednoskładnikowe	makroelementowe z dodatkiem wielu mikroelementów
B	11,0–20,8	0,01–11,0
Cu	5,0–15,0	0,01–5,0
Fe	3,0–13,0	0,02–6,3
Mn	5,0–13,0	0,01–10,1
Mo	3,0–13,0	0,001–8,1
Zn	5,0–15,0	0,005–5,0

Źródło: opracowanie własne

Tabela 6

Jednoskładnikowe nawozy mikroelementowe do stosowania **dolistnego** (stan na 29.02.2020)

Producent	Nawóz	Zawartość w %					
		B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
<b>Nawozy w formie płynnej</b>							
ADOB	Cu EDTA		7,4				
	Fe EDTA			5			
	Mn EDTA				5,8		
	Zn EDTA						7,4
	Fe DTPA			3			
	Fe DTPA			6			
EKOPLON	EKOLIST MONO Bor	11					
	EKOLIST MONO Miedź		6				
	EKOLIST MONO Mangan				11,4		
	EKOLIST MONO Molibden					4,5	
INSOL SP. Z O.O. (INS)	EKOLIST MONO Cynk						8
	INSOL B	11					
	INSOL Cu		5,0				
	INSOL Mn				5,0		
INTERMAG	INSOL Zn						5,0
	BORMAX	11,0					
	MIKROVIT MIEDŹ 80		6,5				
	MIKROVIT ŹELAZO 75			6,0			
	MIKROVIT MANGAN 160				11,3		
	MIKROVIT CYNK 112						8,4
<b>Nawozy w formie stałej do rozpuszczania w wodzie</b>							
ADOB	MIKROVIT MOLIBDEN 33					3,0	
	Fe HBED			7			
	Zn HBED						9,0
	Cu EDTA		15				
	Mn EDTA					13	
	Zn EDTA						15
	Fe DTPA			7			
	Fe DTPA			11			
	Cu IDHA		10				
	Fe IDHA			9			
EKOPLON	Mn IDHA				9		
	Solubor DF	17,5					
	Maxibor 21	20,8					0,02
	MIKROCHELAT Cu-15		15,0				
INTERMAG	MIKROCHELAT Mn-13				13,0		
	MIKROCHELAT Zn-15						15,0
	MIKROCHELAT Fe-13			13,0			
	MIKROCHELAT Fe-8			8,0			

Źródło: opracowanie własne

Tabela 7

Nawozy makroelementowe z dodatkiem wielu mikroelementów do stosowania **dolistnego**  
(stan na 29.02.2020)

Producent	Nawóz	Zawartość w %											
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
<b>Nawozy w formie płynnej</b>													
ADOB	ADOB 2,0 Cu IDHA	2							4,4				
	ADOB Bor	5,8						11,0					
	ADOB 2,0 Mo	3,9										8,1	
	ADOB 2,0 Mn	6,5				2,0					10,1		
	ADOB Mikro	5		5				0,5	0,16	0,3	1,1	0,04	0,4
	Basfoliar 36 Extra	27				3,2		0,02	0,2	0,02	1,0	0,005	0,01
	Basfoliar 34	27				0,5			0,1		0,1		
	Basfoliar 12-4-6 + S	12	4	6		+	+	0,02	0,01	0,02	0,01	0,005	0,005
INSOL SP. Z O.O. (INS)	INSOL 3	15,0				4,6		0,28	0,56	1,2	1,68	0,01	1,12
	INSOL 4					6,5		0,5	0,2	0,4	0,7	0,005	0,35
	INSOL 5					2,3		0,8	0,1	0,3	0,5	0,01	0,33
	INSOL 6					8,3		0,50	0,10	0,4	0,73	0,001	0,30
	INSOL 7	15,0						0,50	0,50		1,1		1,50
	INSOL K	15,0				4,1	4,3	0,1	0,2	0,6	0,5	0,005	0,6
	INSOL Fos	5,0	35							0,03			
INTER MAG	MIKRO PLUS							0,2	0,1	2,0	0,8	0,05	0,3
	PLONVIT ZBOŻA	15,0				2,0	4,5	0,014	0,90	0,80	1,1	0,005	1,00
	PLONVIT RZEPAK	15,0				2,5	2,5	0,5	0,100	0,50	0,50	0,005	0,500
	PLONVIT KUKURYDZA	15,0				2,0	4,2	0,40	0,60	0,70	0,7	0,005	1,10
	PLONVIT BURAK	15,0			3,0*	2,0	1,8	0,5	0,2	0,2	0,65	0,05	0,5
	PLONVIT ZIEMNIAK	15,0				2,5	2,5	0,4	0,2	0,3	0,6	0,05	0,65
	PLONVIT MOTYLKOWE	15,0			0,02**	2,0	1,6	0,5	0,2	0,3	0,40	0,006	0,3
	PLONVIT ZEL	14,3	14,3	14,3	0,0008**	1	0,7	0,02	0,05	0,1	0,05	0,001	0,05
	WAPNOVIT TURBO	8,5			17,0	0,7		0,05	0,02			0,001	0,020
NITROMAG	27,5				3,0	0,7	0,025	0,22	0,03	0,80	0,004	0,020	
<b>Nawozy w formie stałej do rozpuszczania w wodzie</b>													
ADOB	ADOB Mikro Rzepak	4,7					13,5	10	0,5	0,3	1,5	0,1	0,3
	ADOB Mikro Zboże	10		5			31		1,5	0,3	3,0	0,02	0,5
	ADOB Mikro Kukurydza	7	20			3	10	2	0,1	0,2	0,5	0,01	4
	ADOB Mikro Trawa	10	10	10		4,5	8,8		0,5	0,1	2,0	0,01	0,6
	Magplus	10,5				15,0		0,05	0,02		0,08	0,01	0,05
	Magboron	10,8				15,5		0,2					
	Calcplus	14,6			26,5			0,03	0,01	0,07	0,04	0,004	0,03

Tabela 7 cd.

Producent	Nawóz	Zawartość w %											
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
EKO PŁON	Maximus PKMg (PLATINUM EXTRA)		25	20		10	22	0,05	0,06	0,11	0,01	0,001	0,04
	Maximus Amino Mikro kukurydza		11	7				2,0	2,0	2,0	3,0	0,04	5,0
	Maximus Amino Mikro rzepak	11,0		7				2,0	1,5	3,0	4,0	0,04	1,5
	Maximus Amino Mikro zboża	11,0		7				0,34	5,0	2,0	4,0	0,04	2,0
	Maximus Amino Mikro Universal		11	7		2		0,34	2,0	6,0	3,0	0,04	2,0
	Maximus Ekstra 20+20+20	20	20	20		0,3	0,6	0,05	0,06	0,11	0,01	0,001	0,04
	Maximus Ekstra P	12	50	6		0,7	1,4	0,05	0,06	0,11	0,01	0,001	0,04
	Maximus Ekstra K	14	8	32		1,3		0,05	0,06	0,11	0,01	0,001	0,04
	Maximus Ekstra Mg	15	5	5		12	23	0,05	0,06	0,11	0,01	0,001	0,04
	Maximus Ekstra S	7		15			50	0,05	0,06	0,11	0,01	0,001	0,04
	Maximus Ekstra PK	5	20	35			3,8	2,0	0,06	0,11	0,01	0,001	0,04
Maximus Ekstra Zn+B+Mg		25	20		10	22	0,05	0,06	0,11	0,01	0,001	3,5	
INTER MAG	PŁONVIT NITRO	31,0	12	10	0,001**	0,1	2,1	0,03	0,03	0,15	0,07	0,002	0,07
	PŁONVIT OPTY	20,0	20	20	0,001**	0,1	1,1	0,03	0,03	0,15	0,07	0,002	0,07
	PŁONVIT PHOSPHO	11,0	53	5	0,001**	0,1	0,5	0,03	0,03	0,15	0,07	0,002	0,07
	PŁONVIT KALI	11,0	12	38	0,001**	0,1	1,1	0,03	0,03	0,15	0,07	0,002	0,07
	PŁONVIT SULFI	7,0		15			50	0,05	0,06	0,11	0,01	0,001	0,04
	PŁONVIT BOROSULF	6,0				5,3	11	8,0			1,0	0,04	0,1
	MIKROPLUS ULTRA							0,7	0,4	6,3	2,8	0,15	0,9

+ obecność składnika w nawozie, \* obecność Na, \*\* obecność Co

Źródło: opracowanie własne

Nawozy doglebowe makroelementowe z udziałem jednego lub dwóch mikroelementów (tab. 8) występują tylko w formie stałej i zawierają bor (0,1 lub 0,2%) lub sód (2,2–5%), a w jednym przypadku cynk (0,2%). Nawozy z zawartością boru i sodu przeznaczone są głównie pod rzepak i burak cukrowy, natomiast z udziałem cynku – pod kukurydzę.

W ofercie rynkowej znajdują się również nawozy doglebowe makroelementowe z dodatkiem wielu mikroelementów, które występują głównie w formie stałej (8 rodzajów nawozów), a tylko 2 rodzaje w formie płynnej (tab. 9). W nawozach stałych najczęściej występuje cynk (0,05–0,5%) i bor (0,09–0,1%), następnie miedź (0,01–0,1%), rzadziej żelazo (0,5%) i mangan (0,1–0,2%).

Na stronie internetowej IUNG-PIB dostępna jest wyszukiwarka nawozów, w tym również mikroelementowych, zawierająca informacje o producencie, składzie nawozu i sposobie stosowania.

Tabela 8

Nawozy makroelementowe z dodatkiem jednego lub dwóch mikroelementów do stosowania **dogłębowego** (stan na 29.02.2020)

Producent	Nawóz	Zawartość w %								
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Na	Zn
<b>Nawozy w formie stałej</b>										
LUVENA	Lubofos pod Rzepak	3,5	10	21	2	2,5	14,5	0,2		
	Lubofos pod Buraki	3,5	10	18,5	2	2,5	14,5	0,2	2,2	
SIARKOPOL	Tarnogran R z B	3	16,5	19	5	5	21	0,2		
AZOTY Tarnów	Saetrzak 27 stand. z B	27			2	4		0,2		
FOSFAN S.A.	Suprofos Rzepak	4	12	22			14	0,2		
	Suprofos 21	3,5	10	21	2		14	0,2		
	Suprofos 24	3	10	24	2	2	10	0,2	3	
	Polski CukroVit PK 10-32		10	32		2	5	0,2		
	Polski CukroVit pod buraki	4	9	23		2	9,5	0,1	5	
ZAK S.A.	Salmag z borem	27			3	4		0,2		
FOSFORY Grupa Puławy	Amofoska NPK+B	5	10	25	4		14	0,1		
	Amofoska NPKMg+B	4	12	12	10	2,5	15	0,1		
	Amofoska Corn	4	10	22	4		10	0,1		0,2
	Amofoska z borem	5	12,5	25	4		14	0,1		

Źródło: opracowanie własne

Tabela 9

Nawozy makroelementowe z dodatkiem wielu mikroelementów do stosowania **dogłębowego** (stan na 29.02.2020)

Producent	Nawóz	Zawartość w %											
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
<b>Nawozy w formie płynnej</b>													
ADOB	ADOB SB-2 (zaw. g/L)	230	19			3		0,75			2,4		
	ADOB PO (zaw. g/L)	200	40	52,5		4,5	3,5	0,75	2				
<b>Nawozy w formie stałej</b>													
LUVENA	Lubofoska pod zboża	4	10	18	12,5		26		0,1		0,2		
	Lubofos Corn	5	10	21	2		18,5	0,09					0,2
SIARKOPOL Tarnobrzeg	Tarnogran K	3	17,5	21	6	3	18	0,1					0,3
	Tarnogran pod zboża	4	35	20	5	2	13		0,1		0,1		0,1
	WapMag z MIKRO				28	16		0,1	0,1			0,012	0,1
Z.Ch. POLICE	Polimag S	10	8	15		5	35	0,1	0,1		0,2		0,5
	Polifoska Tytan	6	25	25			5			0,5			0,05
FOSFAN S.A.	Suprofos 27	3	13	27		2	5		0,01	0,5			

Źródło: opracowanie własne

## Podsumowanie

Najlepszym sposobem uzupełnienia stwierdzonych niedoborów mikroelementów w glebie, takich jak **bor, miedź i cynk**, jest nawożenie doglebowe w jednorazowej dawce wystarczającej na kilka lat, zastosowanej pod roślinę wrażliwą na deficyt danego mikroskładnika. Można zalecaną dawkę mikroelementu zastosować w postaci tzw. soli technicznych, czyli boraksu (11% B) oraz siarczanów miedzi (25% Cu) i cynku (23% Zn). Można również skorzystać z oferowanych na rynku nawozów posiadających w swoim składzie mikroelementy, niemniej oferta mikroelementowych nawozów doglebowych jest niewielka. Na ogół są to nawozy zawierające makroelementy, o największym udziale fosforu i potasu, uzupełnione niewielkim dodatkiem jednego lub kilku mikroskładników. Ilość takiego nawozu, jaką stosuje się na hektar, jest limitowana zalecaną dawką makroskładnika, np. fosforu i potasu, a to powoduje, że dawka wprowadzanego do gleby mikroskładnika jest kilkukrotnie mniejsza niż zalecana. Stąd zastosowanie takiego nawozu jednorazowo w zmianowaniu może być niewystarczające do uzupełnienia niedoboru mikroelementów w glebie i należałoby go stosować nawet corocznie.

Nie zaleca się uzupełniania niedoborów **molibdenu i manganu** w postaci nawożenia doglebowego, ponieważ jego skuteczność jest krótkotrwała. W tym przypadku rekomendowane jest nawożenie dolistne roślin wrażliwych na niedobory tych mikroelementów. Można to zrobić, rozpuszczając w wodzie molibdenian amonu (54% Mo) i siarczan manganu (23% Mn), regulując dopuszczalne stężenie cieczy ilością wody bądź zastosować gotowe nawozy jednoskładnikowe zawierające wybrany mikroelement w formie schelatowanej.

Pozostałymi mikroelementami można również nawozić dolistnie, korzystając z bardzo bogatej oferty nawozów dolistnych. Należy jednak zdawać sobie sprawę, że w przypadku niskiej zawartości mikroelementu w glebie nawozy te będą służyć jedynie do poprawy stanu odżywienia rośliny w mikroelement, nie wzbogacając gleby w deficytowy składnik. Do tego rodzaju nawożenia nadają się nawozy mikroelementowe jednoskładnikowe, w których koncentracja mikroelementu waha się od kilku do kilkunastu procent w masie nawozu. Należy je w pierwszej kolejności aplikować na gatunki wrażliwe na niedobór danego mikroelementu.

Dolistne nawozy makroelementowe z dodatkiem wielu mikroelementów charakteryzują się znacznie mniejszymi ich stężeniami niż nawozy jednoskładnikowe. Średnio zawierają 1,2% boru, 0,6% miedzi, po 1% żelaza i manganu, 0,8% cynku i 0,02% molibdenu. Wiele z nich zawiera zaledwie kilka setnych, a nawet kilka tysięcznych procenta mikroskładnika w odniesieniu do masy nawozu. Stosując tego rodzaju nawozy, nie można liczyć na jakikolwiek efekt związany z poprawą zaopatrzenia roślin w dany mikroelement. Jeśli producenci zalecają stosowanie nawozów w ilości 1–2 l·ha<sup>-1</sup>, to na przykład, przyjmując wyliczone średnie zawartości boru (1,2%) i miedzi (0,6%), dostarczymy roślinom maksymalnie 24 g B i 12 g Cu·ha<sup>-1</sup>. W konfrontacji z zalecanymi dawkami dolistnymi są to ilości

niewystarczające, nawet jeśli wykonamy oprysk kilka razy w ciągu sezonu wegetacyjnego (tab. 4). Nawozy te należy traktować jako poprawiające stan odżywienia roślin w makroelementy, a niewielki dodatek mikroelementów pełni tu rolę stymulującą przyrost biomasy.

### Literatura

1. Alloway B.J.: Zinc in Soils and Crop Nutrition, International Zinc Association, Brussels, Belgium, 2004: 1-129.
2. Brennan R.F.: Availability of previous and current applications of zinc fertilizer using single superphosphate for the grain production of wheat on soils of South Western Australia. *J. Plant Nut.*, 1996, **19(7)**: 1099-1115.
3. Brennan R.F.: Residual value of zinc fertiliser for production of wheat. *Aust. J. Exp. Agric.*, 2001, **41(4)**: 541-547.
4. Brennan R.F.: Long-term residual values of copper fertiliser for production of wheat grain. *Aust. J. Exp. Agric.*, 2006, **46**: 77-83.
5. Cakmak I.: Identification and correction of widespread zinc deficiency in turkey – a success story. *Proceedings 552, International Fertilisers Society, York, UK, 2004*, 1-26.
6. Cakmak I., Braun H.J.: Genotypic variation for zinc efficiency. In: *Application of Physiology in Wheat Breeding*, Reynolds M.P., Ortiz-Monasterio J.I., McNab A. (Eds), CIMMYT, Mexico 2001, 183-199.
7. Erdal I., Yilmaz A., Taban S., Eker S., Torun B., Cakmak I.: Phytic acid and phosphorus concentrations in seeds of wheat cultivars grown with and without zinc fertilization. *J. Plant Nut.*, 2002, **25(1)**: 113-127.
8. Faber A.: Bezpośrednie i następcze działanie nawożenia borem, miedzią, molibdenem i cynkiem w zmianowaniu czteropolowym. *Wyd. IUNG Puławy*, 1992, **H(2)**: 1-81.
9. Finck A.: Rapsdüngung – Bericht über deutsche Literatur. *Beiträge zur Düngung von Winterraps. UFOP- Schriften*, 1997, **9**: 9-48.
10. Franzen D.: Wheat responses to copper and other micronutrients. *Proceedings of the 24th Workshop, Manitoba-North Dakota Zero Tillage Farmers Association, 2002*, dostępne jako: <http://www.mandakzerotill.org/Archives.htm>.
11. Gartrell J.W.: The residual effectiveness of copper fertilisers for wheat in Western Australia. *Aust. J. Exp. Agri. Anim. Husb.*, 1980, **20**: 370-376.
12. Grewal H.S., Graham R.D.: Residual effects of subsoil zinc and oilseed rape genotype on the grain yield and distribution of zinc in wheat. *Plant Soil*, 1999, **207**: 29-36.
13. Imtiaz M., Alloway B.J., Khan P., Memon M.Y., Siddiqui S., Aslam M., Shah S.K.H.: Zinc deficiency in selected cultivars of wheat and barley as tested in solution culture. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 2006, **37(11-12)**: 1703-1721.
14. Kabata-Pendias A., Pendias H.: *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. PWN, Warszawa, 1999: 1-398.
15. Karamanos R.E., Goh T.B., Harapiak J.T.: Determining wheat response to copper in prairie soils. *Can. J. Soil Sci.*, 2003, **83(2)**: 213-221.
16. Karamanos R.E., Pomarenski Q., Goh T.B., Flore N.A.: The effect of foliar copper application on grain yield and quality of wheat. *Can. J. Plant Sci.*, 2004, **84(1)**: 47-56.
17. Korzeniowska J.: Potrzeby nawożenia cynkiem kukurydzy uprawianej na kiszonce w świetle wyników doświadczeń polowych. *Rocz. Glebozn.*, 1994, **45(1/3)**: 91-99.
18. Korzeniowska J.: Potrzeby nawożenia pszenicy cynkiem, miedzią i borem w warunkach glebowo-klimatycznych Polski. *Monografie i Rozprawy Naukowe, IUNG-PIB*, 2008, **20**: 1-108.
19. Korzeniowska J., Gembarzewski H.: Reakcja na nawożenie mikroelementami kukurydzy uprawianej na glebach lekkich w świetle doświadczeń wazonowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1996, **434**: 118-122.

20. Korzeniowska J., Gembarzewski H.: Wpływ następczy nawożenia miedzią, cynkiem i molibdenem kukurydzy na tle zróżnicowanego odczynu gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1996, **434**: 118-138.
21. Korzeniowska J., Gembarzewski H.: Potrzeby nawożenia mikroelementami kukurydzy uprawianej na kiszonce. *Rocz. Glebozn.*, 1999, **50(1/2)**: 79-84.
22. 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.
23. Korzeniowska J., Stanisławska-Głubiak E., Kantek K., Lipiński W., Gaj R.: Micronutrient status of winter wheat in Poland. *Journal of Central European Agriculture*, 2015, **16(1)**: 54-64.
24. Krauze A.: Wpływ nawożenia cynkiem na plony i jakości ziarna pszenicy ozimej w zależności od dawki i sposobu nawożenia fosforem. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1996, **434**: 185-191.
25. Kucharzewski A., Dębowski M.: Odczyn i zawartość mikroelementów w glebach Polski. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2000, **471**: 627-635.
26. Li H.Y., Zhu Y.G., Smith S.E., Smith F.A.: Phosphorus-zinc interactions in two barley cultivars differing in phosphorus and zinc efficiencies. *J. Plant Nutr.*, 2003, **26(5)**: 1085-1099.
27. Lipiński W.: Zasobność gleb Polski w mikroelementy. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2013, **34(8)**: 121-131.
28. Malhi S.S., Piening L.J., Macpherson D.J.: Effect of copper on stem melanosis and yield of wheat: Sources, rates and methods of application. *Plant Soil*, 1989, **119**: 199-204.
29. Marschner H., Romheld V., Kissel M.: Different strategies in higher plants in mobilization and uptake of iron. *J. Plant Nutr.*, 1986, **9**: 695-713.
30. Obojski J., Strączyński S.: Odczyn i zasobność gleb polskich w makro- i mikroelementy. *Wyd. IUNG Puławy*, 1995: 1-40.
31. Pant J., Rerkasem B., Noppakoonwong R.: Effect of water stress on the boron response of wheat genotypes under low boron field conditions. *Plant Soil*, 1998, **202(2)**: 193-200.
32. Prasad B., Sharma M.M., Sinha S.K.: Evaluating zinc fertilizer requirement on typical haplaquent in the rice-wheat cropping system. *J. Sustain. Agric.*, 2002, **19(3)**: 39-49.
33. Rafique E., Rashid A., Ryan J., Bhatti A. U.: Zinc deficiency in rainfed wheat in Pakistan: magnitude, spatial variability, management, and plant analysis diagnostic norms. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 2006, **37(1-2)**: 181-197.
34. Schröder G., Falke H.: Zur Bor- und Molybdändüngung zu Winterraps. *Landwirtschaft*, 1992, **4**: 46-47.
35. Sharma C.M., Bhardwaj S.K.: Effect of phosphorus and zinc fertilization on yield and nutrient uptake in wheat and their residual effect on soybean. *Indian J. Agron.*, 1998, **43(3)**: 426-430.
36. Soyul S., Topal A., Sade B., Akgun N., Gezgin S., Babaoglu M.: Yield and yield attributes of durum wheat genotypes as affected by boron application in boron-deficient calcareous soils: An evaluation of major turkish genotypes for boron efficiency. *J. Plant Nutr.*, 2004, **27(6)**: 1077-1106.
37. Subedi K.D., Budhathoki C.B., Subedi M.: Variation in sterility among wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes in response to boron deficiency in Nepal. *Euphytica*, 1997, **95**: 21-26.
38. Sienkiewicz-Cholewa U.: Wpływ nawożenia miedzią na wielkość plonu i stan odżywienia rzepaku ozimego. *Zesz. Nauk. UP we Wrocławiu*, 2008, **568**: 49-56.
39. Sienkiewicz-Cholewa U.: Reakcja wybranych odmian rzepaku ozimego na nawożenie miedzią. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2010, **556(1)**: 279-285.
40. Sienkiewicz-Cholewa U., Gembarzewski H.: Badania nad potrzebami nawożenia mikroelementami podwójnie ulepszonych odmian rzepaku ozimego. *IUNG Puławy*, 1997, S(81).
41. Sienkiewicz-Cholewa U., Gembarzewski H.: Wpływ nawożenia rzepaku ozimego borem i molibdenem na plony. W: *Zbilansowane nawożenie rzepaku. Aktualne problemy*. AR Poznań, 2000: 175-180.
42. Sienkiewicz-Cholewa U., Kieloch R.: Effect of sulphur and micronutrients fertilization on yield and fat content in winter rape seeds (*Brassica napus* L.). *Plant Soil and Environment*, 2015, **61(4)**: 164-170.



43. Stanisławska-Głubiak E.: Wpływ niektórych czynników glebowych na efekty dolistnego nawożenia rzepaku ozimego molibdenem, *Annales UMCS Sec. E, Agricultura*, 2008, **63(4)**: 65-71.
44. Stanisławska-Głubiak E.: Wpływ dolistnego nawożenia rzepaku ozimego molibdenem na zawartość tego pierwiastka w nasionach. *Annales UMCS Sec. E, Agricultura*, **63(3)**: 119-126.
45. Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J.: Zasady nawożenia mikroelementami roślin uprawnych. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2008, **8**: 99-110.
46. Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J., Pietruch C.: Programy komputerowe jako narzędzia wspomagające efektywne i bezpieczne nawożenie roślin mikroelementami. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2012, **28(2)**: 21-30.
47. 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.
48. Suzuki M., Takahashi M., Tsukamoto T., Watanabe S., Matsushashi S., Yazaki J., Kishimoto N., Kikuchi S., Nakanishi H., Mori S., Nishizawa N.K.: Biosynthesis and secretion of mugineic acid family phytosiderophores in zinc-deficient barley. *The Plant Journal*, 2006, **1**: 85-97.
49. Topal A., Gezgin S., Akgun N., Dursun N., Babaoglu M.: Yield and yield attributes of durum wheat (*Triticum durum* desf.) as affected by boron application. In: *Boron in plant and animal nutrition*, Ed. by Goldbach et al., Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 2002: 401-406.
50. Wróbel S.: Określenie potrzeb nawożenia buraka cukrowego mikroelementami. *Monografie i Rozprawy Naukowe, IUNG-PIB*, 2002, **2**: 1-96.
51. Wróbel S., Korzeniowska J.: Ocena potrzeb nawożenia kukurydzy borem. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2007, **8**: 127-142.
52. Wróbel S., Sienkiewicz-Cholewa U.: Określenie potrzeb nawożenia pszenicy ozimej borem. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2004, **502**: 459-466.
53. Zhang F.S., Treeby M., Romheld V., Marschner H.: Mobilization of iron by phytosiderophores as affected by other micronutrients. *Plant and Soil*, 1991, **130**: 173-178.
54. Zhu Y.G., Smith S.E., Smith F.A.: Zinc (Zn)-phosphorus (P) interactions in two cultivars of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) differing in P uptake efficiency. *Ann. Bot.*, 2001, **88**: 941-945.

---

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