

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA
I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT
BADAWCZY



STUDIA
I
RAPORTY
IUNG-PIB

37(11)

PROGRAM WIELOLETNI

2011-2015

PULAWY 2014

DOBRE PRAKTYKI
W NAWOŻENIU

WSPIERANIE DZIAŁAŃ
W ZAKRESIE KSZTAŁTOWANIA
ŚRODOWISKA ROLNICZEGO
I ZRÓWNOWAŻONEGO
ROZWOJU PRODUKCJI ROLNICZEJ
W POLSCE

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Dyrektor: *prof. dr hab. Wiesław Oleszek*

Redakcja naukowa: *dr Tamara Jadczyshyn*

Autorzy:

*dr Tamara Jadczyshyn, dr Anna Kocoń, dr Piotr Ochal, dr hab. Alicja Pecio,
dr Dorota Pikula, dr hab. Anna Podleśna, dr Agnieszka Rutkowska,
dr Ryszard Winiarski*

Recenzenci:

*dr Tamara Jadczyshyn, dr Kazimierz Kęsik, dr Anna Kocoń, dr Jerzy Kopiński,
dr Dorota Pikula, dr hab. Anna Podleśna, dr Agnieszka Rutkowska*

Opracowanie redakcyjne i techniczne: *mgr Katarzyna Mikulska*

ISBN 978-83-7562-164-8

Egzemplarz bezpłatny

Nakład 250 egz., B5

Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG-PIB w Puławach

tel. (81) 8863421 w. 301 i 307; fax (81) 8864547

e-mail: iung@pulawy.pl; <http://www.iung.pulawy.pl>

DOBRE PRAKTYKI W NAWOŻENIU

SPIS TREŚCI

Wstęp	7
1. P. O c h a l – Wapnowanie podstawowym elementem dobrych praktyk rolniczych	9
2. A. K o c o ń – Potrzeby pokarmowe roślin	19
3. A. R u t k o w s k a – Racjonalne i efektywne nawożenie azotem.....	33
4. T. J a d c z y s z y n – Zrównoważone gospodarowanie fosforem i potasem w produkcji roślinnej.....	47
5. D. P i k u ł a – Racjonalne gospodarowanie nawozami naturalnymi i organicznymi.....	57
6. A. P e c i o – Nawożenie zbóż ozimych	69
7. A. P e c i o – Nawożenie zbóż jarych.....	83
8. D. P i k u ł a – Nawożenie kukurydzy uprawianej na ziarno	99
9. A. P o d l e ś n a – Potrzeby pokarmowe i nawożenie rzepaku ozimego	111
10. A. K o c o ń – Nawożenie roślin strączkowych	127
11. R. W i n i a r s k i – Rynek nawozów mineralnych w Polsce.....	139
12. A. R u t k o w s k a – Regulacje prawne dotyczące nawożenia	163

Wstęp

Rozwój cywilizacyjny oraz intensyfikacja produkcji przemysłowej i rolniczej powodują niekorzystne zmiany w środowisku przyrodniczym. Jednym z ważniejszych aspektów tego problemu jest zanieczyszczenie i eutrofizacja wód. Znaczącą rolę w emisji zanieczyszczeń do środowiska wodnego przypisuje się rolnictwu. Wyrazem tego jest wdrożenie w krajach UE tzw. dyrektywy azotanowej, której celem jest ochrona wód przed zanieczyszczeniem azotanami pochodzenia rolniczego. W myśl dyrektywy, na obszarach występowania wód zanieczyszczonych i zagrożonych zanieczyszczeniem wdrażane są specjalne programy działań zmniejszających emisje azotu z rolnictwa do wód. W Polsce powierzchnia takich obszarów stanowi aktualnie 7,36% powierzchni użytków rolnych (4,46% powierzchni kraju). Ze względu na położenie naszego kraju w zlewisku Morza Bałtyckiego oraz dużą powierzchnię użytków rolnych rolnictwo polskie odgrywa szczególną rolę w kształtowaniu środowiska morskiego. W całkowitej ilości azotu i fosforu wprowadzanych do Bałtyku wszystkimi rzekami, ładunki N i P z obszaru Polski stanowią blisko 30%. W celu ochrony i poprawy jakości wód morskich kraje nadbałtyckie w ramach HELCOM (Komisja Ochrony Środowiska Morskiego Bałtyku) opracowały tzw. Bałtycki Plan Działania, w którym zobowiązały się do określonych redukcji ilości biogenów odprowadzanych do Bałtyku. Wypełnienie tego zobowiązania jest dużym wyzwaniem dla całego społeczeństwa, a w szczególności dla jego części zaangażowanej w produkcję rolną. Koniecznością jest zatem upowszechnianie zasad dobrej praktyki w nawożeniu oraz ich wdrażanie na obszarze całego kraju.

Zeszyt „Dobre praktyki w nawożeniu” prezentuje ogólne zasady racjonalnego gospodarowania nawozami naturalnymi i mineralnymi na gruntach ornych oraz zrównoważone, przyjazne dla środowiska systemy nawożenia podstawowych gatunków roślin uprawnych. Specjalny rozdział poświęcono omówieniu nawozów mineralnych oferowanych aktualnie na rynku. Dokonano także przeglądu przepisów prawnych regulujących stosowanie nawozów w Polsce. Materiał dedykowany jest głównie doradcom rolniczym.

Kierownik zadania 1.3 i 2.3

dr Tamara Jadczyszyn

Piotr Ochal

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

WAPNOWANIE PODSTAWOWYM ELEMENTEM DOBRYCH PRAKTYK ROLNICZYCH*

Słowa kluczowe: wapnowanie, potrzeby wapnowania, środki wapnujące, wymagania jakościowe środków wapnujących

Wstęp

Specyfiką warunków rolnictwa w Polsce jest duży udział gleb lekkich ulegających silnemu zakwaszeniu (1–4, 13–14). Znaczne zakwaszenie gleb ma charakter przede wszystkim naturalny i wynika ze specyfiki procesu glebotwórczego i rodzaju skał macierzystych. Nakładają się na to procesy antropogenicznego zakwaszania oraz zbyt małe zużycie nawozów o działaniu odkwaszającym, głównie nawozów wapniowych i wapniowo-magnezowych (2–3, 16). Jak wynika z badań GUS (18), średnio w ostatnich 5 latach (2009–2013) zużywano zaledwie $38,8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ nawozów wapniowych. Optymizmem napawa fakt, że w roku gospodarczym 2012/2013 zużyto przeciętnie w kraju, w przeliczeniu na 1 ha użytków rolnych, $52,4 \text{ kg}$ nawozów wapniowych, w tym na 1 ha użytków rolnych (UR) w dobrej kulturze – $53,1 \text{ kg}$, tj. o ok. 55% więcej niż przed rokiem (20). Zużycie nawozów wapniowych przekłada się pośrednio na udział gleb o odczynie bardzo kwaśnym i kwaśnym, których w naszym kraju mamy 50%, gleb o odczynie lekko kwaśnym – 28%, a gleb o odczynie obojętnym i zasadowym – niewiele ponad 22% (11). Szacuje się, że dla poprawy odczynu gleb bardzo kwaśnych konieczne jest zastosowanie ok. 10 mln Mg CaO, natomiast w celu doprowadzenia wszystkich gleb do poziomu optymalnego konieczne byłoby trzykrotnie większe zużycie wapna nawozowego (11).

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.3 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

Potrzeby wapnowania gleb w Polsce

Oceną potrzeb wapnowania gleb w Polsce na skalę masową zajmują się okręgowe stacje chemiczno-rolnicze. Jak wynika z danych za lata 2009–2012, 38% badanych gleb znajduje się w przedziale potrzeb wapnowania koniecznego i potrzebnego, 17% – wskazanego, 16% – ograniczonego, a 29% gleb nie wymaga wapnowania (20). Porównując te dane z zestawieniem Lipińskiego (12) za okres 2000–2004, udział gleb w przedziale wapnowania koniecznego i potrzebnego zmniejszył się około 10%, natomiast udział gleb o potrzebach wapnowania ograniczonego i zbędnego wzrósł o około 9%. Analizowane dane wskazują na systematyczną, aczkolwiek powolną poprawę sytuacji w omawianym zakresie. W tabeli 1 przedstawiono procentowy udział gleb w poszczególnych przedziałach potrzeb wapnowania dla województw w latach 2009–2012.

Tabela 1

Potrzeby wapnowania gleb w poszczególnych województwach w latach 2009–2012

Województwo	Potrzeby wapnowania (%)				
	konieczne	potrzebne	wskazane	ograniczone	zbędne
Dolnośląskie	22	16	21	19	22
Kujawsko-pomorskie	12	11	13	16	48
Lubelskie	28	15	13	13	31
Lubuskie	14	17	20	20	29
Łódzkie	30	20	17	13	20
Małopolskie	41	14	12	10	23
Mazowieckie	30	17	16	12	25
Opolskie	12	18	31	23	16
Podkarpackie	45	16	13	10	16
Podlaskie	24	19	16	13	28
Pomorskie	20	21	20	16	23
Śląskie	30	17	21	15	17
Świętokrzyskie	22	12	12	12	42
Warmińsko-mazurskie	19	18	19	16	28
Wielkopolskie	16	14	16	18	26
Zachodniopomorskie	16	15	18	17	34
Polska	22	16	17	16	29

Źródło: GUS Środki Produkcji w Rolnictwie 2012/2013

Dane: Krajowa Stacja Chemiczno-Rolnicza (KSChR) (20)

W układzie regionalnym dla województw najwięcej gleb w zakresie potrzeb wapnowania koniecznego i potrzebnego znajduje się w województwach: podkarpackim (61%), małopolskim (55%), łódzkim (50%), mazowieckim i śląskim (po 47%) oraz lubelskim i podlaskim (po 43%), natomiast najmniej takich gleb występuje w województwach: kujawsko-pomorskim (23%), opolskim i wielkopolskim (30%),

lubuskim i zachodniopomorskim (31%). Gleb w przedziale wapnowania ograniczonego i zbędnego średnio w Polsce mamy 45%. Zdecydowanie wyższym niż średnia w naszym kraju udziałem gleb o potrzebach wapnowania koniecznego i zbędnego legitymują się województwa: kujawsko-pomorskie (64%), świętokrzyskie (54%) i zachodniopomorskie (51%). Najmniej takich gleb występuje w województwach: podkarpackim (26%), śląskim (32%), małopolskim i łódzkim (po 33%).

Podstawowe zasady wapnowania

Podstawową zasadą dobrych praktyk rolniczych jest dbałość o optymalny odczyn gleby wynikający zarówno z kategorii agronomicznej gleby, jak i uprawianej rośliny. Wielkość zalecanych dawek nawozów wapniowych na gleby gruntów ornych zależy od odczynu gleby i jej składu granulometrycznego (tab. 2 i 3) (21). Zapotrzebowanie na nawozy wapniowe wynika ze stanu zakwaszenia gleb oraz konieczności doprowadzenia ich odczynu do uznawanego za optymalny dla danej kategorii agronomicznej gleb.

Tabela 2

Przedziały potrzeb wapnowania

Kategoria agronomiczna gleby	pH _{KCL} dla przedziału potrzeb wapnowania				
	konieczne	potrzebne	wskazane	ograniczone	zbędne
Bardzo lekkie	do 4,0	4,1-5,5	4,6-5,0	5,1-5,5	od 5,6
Lekkie	do 4,5	4,6-5,0	5,1-5,5	5,6-6,0	od 6,1
Średnie	do 5,0	5,1-5,5	5,6-6,0	6,1-6,5	od 6,6
Ciężkie	do 5,5	5,6-6,0	6,1-6,5	6,6-7,0	od 7,1
Użytki zielone	do 5,0	5,1-5,5	5,6-6,0	-	-

Źródło: Zalecenia nawozowe, 1990 (21)

Tabela 3

Optymalne dawki nawozów wapniowych (t CaO·ha⁻¹)

Kategoria agronomiczna gleby	Przedział potrzeb wapnowania				
	konieczne	potrzebne	wskazane	ograniczone	zbędne
Bardzo lekkie	3,0	2,0	1,0	1,0	-
Lekkie	3,5	2,5	1,5	1,5	-
Średnie	4,5	3,0	1,7	1,7	1,0
Ciężkie	6,0	3,0	2,0	2,0	1,0

Źródło: Zalecenia nawozowe, 1990 (21)

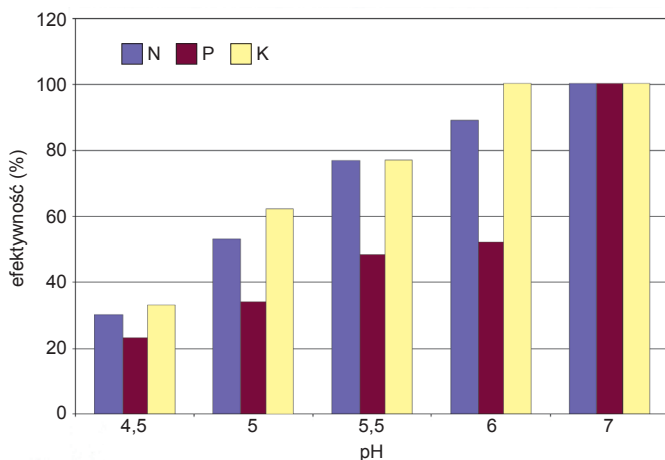
Jednorazowe stosowanie wysokich dawek nawozów wapniowych w praktyce nie jest uzasadnione (7). Zbyt wysokie dawki mogą wywołać szereg niekorzystnych zmian właściwości fizyko-chemicznych gleby. W związku z tym nie zaleca się jednorazowo stosować więcej jak 2/3 zalecanej dawki wapna przy wapnowaniu koniecznym, czyli od 2,0 do 4,0 t CaO·ha⁻¹ (7).

Zasady doboru nawozów wapniowych są niezmiennie od lat (1, 4). Przy wyborze formy nawozu wapniowego i ustaleniu warunków jego zastosowania należy wziąć pod uwagę rodzaj gleby podlegającej wapnowaniu oraz wymagania uprawianej rośliny. Wapno tlenkowe nadaje się przede wszystkim na gleby cięższe, których odczyn zmienia się bardzo powoli. Na tych glebach nie ma niebezpieczeństwa gwałtownej zmiany odczynu, gdyż odznaczają się one wysoką zdolnością buforową, dlatego nie zachodzi ryzyko przepapnowania. Natomiast na glebach lekkich, szczególnie piaskach, bardziej celowe jest stosowanie wapna węglanowego bądź kredy, które są znacznie łagodniejsze w działaniu (16).

Uprawa roślin na glebach o optymalnym dla nich odczynie gwarantuje dobre wykorzystanie przez nie składników pokarmowych z rezerw glebowych, nawozów naturalnych i mineralnych (5, 7, 9–10, 14). Wapnowanie jest zabiegiem przywracającym podstawowe funkcje gleby, traktowanym jako czynnik warunkujący optymalny przebieg procesów biogeochemicznych (9).

Wpływ odczynu gleby na zawartość podstawowych składników pokarmowych

Odczyn gleby jest jednym z podstawowych wskaźników pozwalających ocenić jakość gleby (3, 12). Gleby o pH poniżej 4,5 określamy jako bardzo kwaśne, w przedziale 4,6–5,5 jako kwaśne, 5,6–6,5 lekko kwaśne, 6,5–7,2 obojętne, a powyżej 7,2 jako zasadowe (17). Celem pośrednim regulowania odczynu gleby jest sterowanie procesami geochemicznymi i mikrobiologicznymi w taki sposób, aby zwiększyć rozpuszczalność, a tym samym przyswajalność i dostępność składników mineralnych. Odczyn gleby, zmniejszając się poniżej wartości optymalnej dla danego pierwiastka, prowadzi do szybkiego spadku jego efektywności plonotwórczej (rys. 1) Z trzech podstawowych składników mineralnych (N, P, K) najsilniej na zakwaszenie gleby reaguje fosfor (9, 14).



Rys. 1. Względna efektywność plonotwórcza NPK w zależności od odczynu gleby

Źródło: Grzebisz i in., 2013 (9)

Ochal (15) na podstawie wyników analiz glebowych w liczbie niemal 1 miliona rekordów danych wykonanych przez OSChR wykazał ścisłą zależność między odczynem gleby a zawartością w niej przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu.

Zawartość fosforu jest szczególnie silnie związana z odczynem gleby (tab. 4). Gleby bardzo kwaśne w ponad 50%, a gleby kwaśne w ponad 40% próbek wykazują bardzo niską i niską zawartość przyswajalnego fosforu. W glebach o odczynie obojętnym i zasadowym udział gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości fosforu nie przekracza natomiast 13%. Próbkę gleb o uregulowanym odczynie w ponad 50% przypadków charakteryzują się bardzo wysoką zawartością fosforu.

Tabela 4

Stan zasobności w fosfor gleb zaliczanych do różnych przedziałów odczynu

Odczyn	Udział próbek gleby zaliczonych do klas zawartości fosforu (%)					Ogółem
	b. niska	niska	średnia	wysoka	b. wysoka	
Bardzo kwaśny	17,82	34,69	27,19	12,82	7,48	20,21
Kwaśny	11,69	31,26	29,81	15,71	11,52	29,39
Lekko kwaśny	4,61	19,17	27,01	21,19	28,02	28,00
Obojętny	2,31	10,15	19,03	19,87	48,64	14,74
Zasadowy	3,52	9,14	17,21	19,25	50,89	7,66
Ogółem	8,94	23,76	25,94	17,55	23,81	100,0

Źródło: Ochal, 2011 (15)

Podobnie zawartość potasu związana jest w pewnym stopniu z odczynem gleby (tab. 5). Ponad 60% gleb bardzo kwaśnych i ponad 40% kwaśnych charakteryzuje się bardzo niską i niską zawartością potasu przyswajalnego. Gleby o odczynie lekko kwaśnym i obojętnym tylko w około 30% wykazują bardzo niską i niską zawartość potasu. W glebach o odczynie obojętnym stwierdza się natomiast tendencję do obniżania zawartości przyswajalnego potasu w stosunku do gleb o odczynie lekko kwaśnym i obojętnym. W skali ogólnej przeważają próbki gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości potasu. Niemal 1/3 próbek gleby zgromadzonych w analizowanej bazie danych wykazuje średnią zawartość tego składnika.

Tabela 5

Stan zasobności w potas gleb zaliczanych do różnych przedziałów odczynu

Odczyn	Udział próbek zaliczonych do klas zawartości potasu (%)					Ogółem
	b. niska	niska	średnia	wysoka	b. wysoka	
Bardzo kwaśny	25,85	37,08	24,37	7,49	5,21	20,21
Kwaśny	13,97	28,76	32,47	13,47	11,33	29,39
Lekko kwaśny	9,96	22,35	34,30	16,56	16,83	28,00
Obojętny	10,48	21,69	32,52	15,83	19,48	14,74
Zasadowy	13,30	23,66	31,22	14,44	17,38	7,66
Ogółem	14,68	27,21	31,26	13,55	13,30	100,0

Źródło: Ochal, 2011 (15)

W przypadku magnezu wpływ odczynu gleby na zawartość przyswajalnych form tego pierwiastka jest bardziej złożony. Ponad 50% próbek gleb o odczynie lekko kwaśnym i obojętnym wykazuje wysoką i bardzo wysoką zawartość magnezu (tab. 6). Udział takich próbek ulega bardzo znacznemu zmniejszeniu w glebach o odczynie bardzo kwaśnym, ale zmniejsza się również w glebach o odczynie obojętnym. Ponad 50% próbek gleb o odczynie bardzo kwaśnym wykazuje niedobór magnezu (zasobność bardzo niska i niska), natomiast w glebach o odczynie obojętnym udział takich próbek nie przekracza 35%.

Tabela 6

Stan zasobności w magnez gleb zaliczanych do różnych przedziałów odczynu

Odczyn	Udział próbek zaliczonych do klas zawartości magnezu (%)					Ogółem
	b. niska	niska	średnia	wysoka	b. wysoka	
Bardzo kwaśny	37,16	26,26	20,64	7,34	8,60	20,21
Kwaśny	9,92	20,91	31,07	18,70	19,40	29,39
Lekko kwaśny	5,05	14,54	27,69	22,93	29,78	28,00
Obojętny	7,48	17,05	28,13	20,10	27,24	14,74
Zasadowy	15,86	21,89	28,30	15,95	18,00	7,66
Ogółem	14,16	19,71	27,37	17,59	21,17	100,0

Źródło: Ochal, 2011 (15)

Rodzaje środków wapnujących

Środki wapnujące występujące na rynku możemy podzielić według kilku kryteriów: 1) najczęściej nawozy wapniowe dzielimy na tlenkowe zawierające wapń w postaci tlenku wapnia CaO lub węglanowe zawierające wapń w postaci węglanu wapnia CaCO_3 ; 2) drugi podział zakłada, że wyróżniamy nawozy wapniowe zawierające magnez lub niezawierające magnezu, tutaj znajdują się zarówno środki wapnujące w formie tlenków, jak i węglanów; 3) trzecie kryterium podziału to pochodzenie wapna: z przerobu skał wapiennych, z produkcji ubocznej, tzn. czy jest to rozdrobniona kopalina czy użyteczne odpady przemysłowe. Szczegółowe wymagania jakościowe dla typów wapna nawozowego znajdują się w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki Dz.U. nr 183, poz. 1229, załącznik nr 6 (tab. 7 i 8) (19).

Tabela 7

Typy wapna nawozowego niezawierającego magnezu (19)

Lp.	Typ	Odmiana	Składniki podstawowe i sposób otrzymywania	Minimalna zawartość składników pokarmowych CaO (%)	Inne wymagania
1.	Z przerobu skał wapiennych	01	tlenek wapnia;	80	odśiew na sicie o wymiarze boku oczek kwadratowych 2 mm, %, najwyżej 25
2.		02	przerób skał wapiennych	70	
3.		03		60	
4.	Z przerobu skał wapiennych	04	tlenek wapnia i węglan wapnia lub węglan wapniowy; przerób skał wapiennych	50	odśiew na sicie o wymiarze boku oczek kwadratowych: 2 mm, %, najwyżej 10; przesiew przez sito o wymiarze boku oczek kwadratowych: 0,5 mm, %, co najmniej 50
5.		05	węglan wapnia; przerób skał wapiennych	40	
6.	Z produkcji ubocznej	06	tlenek wapnia, węglan wapnia, krzemiany wapnia; wapno posodowe suche, wapno defekacyjne, wapno pokarbidowe	35	zawartość wody, %, najwyżej 10; zawartość chlorków, %, najwyżej 2,5 ¹⁾
7.		07	węglan wapnia; wapno pocelulozowe, wapno posiatkowane, wapno dekarbonizacyjne, wapno defekacyjne, wapno pokarbidowe wilgotne, wapno posodowe podsuszone, wapno pogaszczone podsuszone	30	
8.		08	węglan wapnia; wapno defekacyjne, wapno posodowe odsączone, wapno pocelulozowe wilgotne, wapno poneutralizacyjne	25	
9.	Pochodzenia naturalnego – kopalina	09	węglan wapnia; wapno defekacyjne mokre, wapno posodowe mokre	20	zawartość wody, %, najwyżej 40; zawartość chlorków, %, najwyżej 3 ³⁾ lub 3,5 ²⁾
10.		06a	węglan wapnia, wapno kredowe suche	35	
11.		07a	węglan wapnia, wapno kredowe podsuszone	30	
12.		08a	węglan wapnia, kreda odsączona	25	
13.		09a	węglan wapnia, wapno kredowe mokre	20	zawartość wody, %, najwyżej 50

1) tylko dla wapna posodowego suchego.

2) tylko dla wapna pocelulozowego;

3) tylko dla wapna posodowego podsuszonego, wapna posodowego odsączonego i wapna posodowego mokrego;

4) tylko dla wapna pocelulozowego i posiatkowanego.

Tabela 8

Typy wapna nawozowego zawierającego magnez (19)

Lp.	Typ	Odmiana	Składniki podstawowe i sposób otrzymywania	Minimalna zawartość składników pokarmowych		Inne wymagania
				CaO (%)	w tym MgO (%)	
1.	Tlenkowe	01	tlenek wapnia i tlenek magnezu oraz węglan wapnia i węglan magnezu; prażenie, mielenie, odsiewanie skał wapniowo-magnezowych	75	25	odsiew na sicie o wymiarze boku oczek kwadratowych: 2 mm, %, powyżej 25
2.		02		60	20	
3.	Węglanowe	03	węglan wapnia i węglan magnezu lub węglan wapnia, węglan magnezu, tlenek wapnia i tlenek magnezu; mielenie, odsiewanie skał wapniowo-magnezowych lub mieszanie skał wapniowo-magnezowych z prażonymi skałami wapniowo-magnezowymi	50	15	zawartość wody, %, powyżej 10; odsiew na sicie o wymiarze boku oczek kwadratowych 2 mm, %, powyżej 10; przesiew przez sito o wymiarze boku oczek kwadratowych 0,5 mm, %, co najmniej 50
4.		04	węglan wapnia i węglan magnezu lub węglan wapnia, węglan magnezu i tlenek wapnia; mielenie, odsiewanie, mieszanie skał wapniowo-magnezowych ze skałami wapniowymi lub tlenkiem wapnia	50	8	zawartość wody, %, powyżej 10; odsiew na sicie o wymiarze boku oczek kwadratowych 2 mm, %, powyżej 10; przesiew przez sito o wymiarze boku oczek kwadratowych 0,5 mm, %, co najmniej 50
5.		05	węglan wapnia i węglan magnezu; mielenie, odsiewanie skał wapniowo-magnezowych	45	15	zawartość wody, %, powyżej 10; odsiew na sicie o wymiarze boku oczek kwadratowych 2 mm, %, powyżej 10; przesiew przez sito o wymiarze boku oczek kwadratowych 0,5 mm, %, co najmniej 50
6.		06	węglan wapnia i węglan magnezu lub węglan wapnia, węglan magnezu i tlenek wapnia; mielenie, odsiewanie, mieszanie skał wapniowo-magnezowych ze skałami wapniowymi lub tlenkiem wapnia	45	8	zawartość wody, %, powyżej 10; odsiew na sicie o wymiarze boku oczek kwadratowych 2 mm, %, powyżej 10; przesiew przez sito o wymiarze boku oczek kwadratowych 0,5 mm, %, co najmniej 50
7.		07	węglan wapnia i węglan magnezu lub węglan wapnia, węglan magnezu i tlenek wapnia; mielenie, odsiewanie, mieszanie skał wapniowo-magnezowych ze skałami wapniowymi lub tlenkiem wapnia	40	8	zawartość wody, %, powyżej 10; odsiew na sicie o wymiarze boku oczek kwadratowych 2 mm, %, powyżej 10; przesiew przez sito o wymiarze boku oczek kwadratowych 0,5 mm, %, co najmniej 50

Z rolniczego punktu widzenia bardzo istotny jest podział tej grupy nawozów na szybko i wolno działające. Do nawozów szybko odkwaszających glebę zaliczane są formy wodorotlenkowe i tlenkowe, a wolno odkwaszające glebę to węglany i krzemiany (1, 4–5, 16). Dodatkowo w grupie nawozów wolno działających duże znaczenie ma rozdrobnienie nawozu i pochodzenie geologiczne (4). Środki wapnujące pochodzące z młodszych okresów geologicznych charakteryzują się wyższą aktywnością chemiczną, co przełoży się na szybszy efekt odkwaszający. W tabeli 9 przedstawiono niektóre właściwości chemiczne wybranych skał węglanowych.

Tabela 9

Właściwości chemiczne wybranych skał węglanowych

Okres geologiczny	Zawartość w suchej masie (%)		Siła zobojętniająca (%)	Aktywność chemiczna* (%)
	CaO	MgO		
Wapienie				
Kambr	54,7	0,1	53,3	15-25
Dewon	55,4	0,8	55,8	20-26
Trias	55,2	0,2	55,0	20-25
Jura	55,4	0,4	53,3	35-46
Kreda	50,0	0,4	47,2	65-98
Dolomity				
Prekambr	30,3	21,8	56,3	9,7
Dewon	31,3	20,8	57,4	9,9
Trias	35,8	16,4	55,0	35,0

* frakcji 0,03-0,2 mm

Źródło: Fotyma i Zięba, 1988 (4)

Podsumowanie

Wapnowanie jest zabiegiem agrotechnicznym, który korzystnie wpływa na szerokie spektrum właściwości edaficznych gleby. Gleby o uregulowanym odczynie charakteryzują się zdecydowanie lepszą przyswajalnością i efektywnością wykorzystania składników pokarmowych. Również azot i fosfor zastosowane na glebie o uregulowanym odczynie charakteryzują się znacznie większą efektywnością plonotwórczą. Lepsze wykorzystanie składników pokarmowych z gleby pośrednio przyczynia się do ograniczania wymywania składników biogennych do wód gruntowych czy powierzchniowych (głównie N, P). W konsekwencji wielorakiego oddziaływania wapnowania na funkcjonowanie gleby zwiększa się zarówno potencjał produkcyjny gleb, jak i ograniczony zostaje ujemny wpływ na środowisko nadmiaru biogenów (9).

Jak wynika z badań KSChR, 38% gleb znajduje się w przedziałach koniecznych i potrzebnych potrzeb wapnowania. Najwięcej gleb wymagających pilnego wapnowania znajduje się w województwach: podkarpackim (61%), małopolskim (55%), łódzkim (50%), mazowieckim i śląskim (po 47%), oraz lubelskim i podlaskim (po 43%), natomiast najmniej takich gleb występuje w województwach: kujawsko-pomorskim (23%), opolskim i wielkopolskim (30%), lubuskim i zachodniopomorskim (31%).

Literatura

1. Boguszewski W.: Wapnowanie gleb. PWRiL, Warszawa 1980, ss. 176.
2. Filipek T.: Przyrodnicze i antropogeniczne przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb. Nawozy i Nawożenie, 2001, **8**: 5-26.
3. Filipek T., Fotyma M., Lipiński W.: Stan, przyczyny i skutki zakwaszenia gleb ornych w Polsce. Nawozy i Nawożenie, 2006 **27**: 7-38.
4. Fotyma M., Zięba S.: Przyrodnicze i gospodarcze podstawy wapnowania gleb. PWRiL, Warszawa 1988, ss. 251.
5. Gosek S.: Wapnowanie i nawożenie magnezem [gleby] zwiększają efektywność nawożenia [roślin]. Poradnik Gospodarski, 2007, **12**: 26-27.
6. Gosek S.: Potrzeby i zasady wapnowania gleb. Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego, 2007, **3(37)**: 26-28.
7. Grzebisz W., Szczepaniak W., Diatta J.B.: ABC wapnowania gleb uprawnych. Wyd. Prodruk, 2008, ss. 49.
8. Grzebisz W., Diatta J.B., Szczepaniak W.: Produkcyjne i ekologiczne uwarunkowania wapnowania gleb gruntów ornych. Nawozy i Nawożenie, 2006, **27**: 69-85.
9. Grzebisz W., Szczepaniak W., Diatta J.B.: Środowiskowe skutki zakwaszenia gleb uprawnych. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2013, **34(8)**: 19-26.
10. Jadczyzyn T.: Ocena zrównoważenia gospodarki nawozowej w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2012, **29**: 135-142.
11. Jadczyzyn T., Ochal P.: Zakwaszenie gleb i potrzeby wapnowania. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2013, **34(8)**: 9-18.
12. Lipiński W.: Odczyn i zasobność gleb w świetle badań stacji chemiczno – rolniczych. Nawozy i Nawożenie, 2000, **3**: 89-105.
13. Lipiński W.: Odczyn gleb Polski. Nawozy i Nawożenie, 2005, **23**: 33-40.
14. Materiały konferencyjne: Wapnowanie gleb – wyzwanie dla Polskiej gospodarki. Puławy, 26 września 2012, ss. 86.
15. Ochal P.: Wykorzystanie syntetycznego wskaźnika do oceny stanu agrochemicznego gleb w Polsce. Praca doktorska (maszynopis) IUNG-PIB, Puławy, 2011, ss. 108.
16. Ochal P.: Regeneracyjne wapnowanie gleb w Polsce. Instrukcja upowszechnieniowa, IUNG-PIB, Puławy, 2012, **198**: 1-31.
17. PN-ISO 10390: 1997: Jakość gleby – oznaczanie pH.
18. Rocznik statystyczny rolnictwa GUS, Warszawa 2009-2013.
19. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 8 września 2010 r. (Dz.U. nr 183 , poz. 1229, załącznik nr 6).
20. Środki Produkcji w rolnictwie w latach 2009–2013. GUS, Warszawa 2009-2014.
21. Zalecenia nawozowe. Cz. I. Liczby graniczne dla wyceny zawartości w glebach makro- i mikroelementów. IUNG Puławy, 1990, **P(44)**: 1-21.

Adres do korespondencji:

dr Piotr Ochal
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. 81 886 32 24 w. 252
e-mail: pochal@iung.pulawy.pl

Anna Kocoń

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

POTRZEBY POKARMOWE ROŚLIN*

Słowa kluczowe: potrzeby pokarmowe roślin, niezbędne składniki, makroelementy, mikroelementy

Wstęp

Rośliny do wzrostu, rozwoju i wydania odpowiedniego plonu potrzebują składników pokarmowych pobranych, w zależności od gatunku, w odpowiednich ilościach i proporcjach. Nie wszystkie znajdujące się w roślinach pierwiastki, które zostały przez nie pobrane są dla nich niezbędne, a część z nich to nawet pierwiastki toksyczne. Rośliny, posiadają tylko ograniczone możliwości do selektywnego pobierania mineralnych składników z podłoża, dlatego też w warunkach zanieczyszczenia gleb np. metalami ciężkimi pierwiastki te również są przez nie pobierane (10). Rośliny pobierają składniki pokarmowe głównie przez korzeń, ale mogą także, chociaż w ograniczonych ilościach, pobierać je przez liście. Z żywieniowego punktu widzenia, najważniejsze dla wzrostu, rozwoju i plonowania roślin są tzw. składniki niezbędne, bez których roślina nie może się prawidłowo rozwijać. Obecnie za niezbędne składniki pokarmowe dla wzrostu i rozwoju roślin wyższych uważa się 17 pierwiastków (23). Przyjmuje się 3 kryteria niezbędności pierwiastka:

- przy braku składnika roślina nie może przejść pełnego cyklu rozwojowego,
- działanie składnika nie może być zastąpione przez żaden inny pierwiastek,
- pierwiastek musi brać bezpośredni udział w procesach metabolicznych rośliny jako część składowa metabolitu lub aktywator enzymów.

Pierwiastki niezbędne w zależności od ilościowego zapotrzebowania dzieli się na makroelementy i mikroelementy (18, 23). Makroelementy występują w roślinach na ogół w ilości powyżej 0,1% suchej masy. Zawartość mikroelementów jest w roślinach

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 3.1 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

około 1000-krotnie mniejsza. Do grupy pierwszej, oprócz podstawowych elementów substancji organicznych, takich jak: węgiel (C), wodór (H) i tlen (O) należą także: azot (N), fosfor (P), potas (K), wapń (Ca), magnez (Mg) i siarka (S). Natomiast do grupy drugiej zalicza się: chlor (Cl), żelazo (Fe), mangan (Mn), cynk (Zn), bor (B), miedź (Cu), molibden (Mo) i nikiel (Ni). Wyróżniono ponadto trzecią grupę pierwiastków tzw. pożytecznych dla niektórych roślin, a mianowicie: sód (Na), który korzystnie stymuluje wzrost natriofitów (roślin lubiących sól), np. buraka cukrowego, a który, w niektórych funkcjach, może u większości roślin zastępować potas. Do tej grupy zaliczany jest również krzem (Si), który m.in. zmniejsza parowanie z powierzchni liści roślin, czy też kobalt (Co), który jest niezbędnym składnikiem pokarmowym dla roślin wiążącym azot atmosferyczny.

O ile niezbędne w żywieniu roślin makroelementy pełnią w nich głównie funkcje budulcowe, to mikroelementy są przede wszystkim składnikami enzymów. Niezależnie od ilościowych zawartości w roślinach, udział zarówno jednych jak i drugich, w odpowiednich proporcjach i ilościach, jest niezbędny (21). Jeśli brakuje któregoś z niezbędnych dla roślin składników pokarmowych lub występuje on w niewystarczającej ilości, to niedobór tego składnika powoduje zakłócenia w metabolizmie rośliny i zgodnie z prawem minimum Liebiga, wielkość plonu rośliny ograniczona jest niedoborem właśnie tego składnika (5, 18, 22, 23).

Występuje dość duże zróżnicowanie zawartości makro- i mikroelementów w poszczególnych gatunkach roślin (4, 7, 8). Różnice te wynikają m.in. z różnic w potrzebach pokarmowych między gatunkami, w pobieraniu składników, a także z różnic środowiskowo-glebowych, w których rosną rośliny. Jeśli zasobność gleby w składniki pokarmowe jest większa, rośliny na ogół pobierają większe ilości tych pierwiastków (8).

Funkcje i rola niezbędnych makroelementów w roślinach

Azot – tkanki roślin zawierają dużo azotu (tab.1). Zajmuje on czwarte miejsce w biomase roślin, po węglu, tlenie i wodrze. Azot jest podstawowym składnikiem budulcowym, bierze udział prawie we wszystkich reakcjach biochemicznych zachodzących w roślinach (18, 21, 23). Jest pierwiastkiem niezbędnym do budowy aminokwasów, amidów, białek, kwasów nukleinowych, koenzymów, chlorofilu, fitohormonów, cytokinin. Określany jest podstawowym pierwiastkiem plonotwórczym, a jego niedobór w czasie wzrostu roślin stanowi bardzo silny czynnik ograniczający ich wzrost i rozwój (7, 21). Azot jest też w największym stopniu odpowiedzialny za wytwarzanie powierzchni liściowej roślin decydującej o intensywności fotosyntezy – podstawowego procesu warunkującego plon roślin. Pierwiastek ten jest łatwo przemieszczany w roślinie z organów starszych do młodszych – intensywnie rosnących. Z tego względu pierwszym symptomem niedoboru azotu jest żółknięcie liści starszych. Rośliny pobierają azot przez korzenie i liście, głównie w formie azotanowej (NO_3^-), amonowej (NH_4^+) oraz jako mocznik. Duże znaczenie w efektywnym wykorzysta-

niu azotu przez roślinę ma odpowiednie jej żywienie także wszystkimi pozostałymi, niezbędnymi składnikami pokarmowymi (5, 6, 18, 21).

Tabela 1

Zawartość makroelementów w roślinach oraz objawy ich niedoborów

Pierwiastek	Zawartości % s.m.	Objawy niedoboru
Azot	0,1-6,0	hamowanie wzrostu, szczególnie liści, mała krzewistość, chloroza liści starszych, łatwa reutilizacja
Potas	0,5-10,0	plamy chlorotyczne i nekrotyczne (od wierzchołka i brzegów blaszki) na liściach starszych (dolnych), wiotka łodyga, zahamowany wzrost, szczególnie organów spichrzowych, łatwa reutilizacja
Wapń	0,2-5,0	drastyczne zahamowanie wzrostu, zamieranie wierzchołków, śluzowacenie korzeni, nietypowe chlorozy, deformacja liści, zasychanie wierzchołków liści, szczególnie kapustnych, sucha zgnilizna owoców, słaba reutilizacja międzyorganowa
Fosfor	0,04-1,0	zahamowanie wzrostu, liście ciemnozielone, często od dolnej strony fioletowopurpurowe, łatwa reutilizacja
Magnez	0,5-0,8	chlorozy przechodzące w nekrozy (na liściach dolnych pięter plamy między żyłkami) w skrajnych przypadkach nekroza brzegów liści, łatwa reutilizacja
Siarka	0,05-0,8	chloroza całych liści, żyłki czerwone, czasem brak turgoru liści, łatwa reutilizacja

Źródło: opracowanie własne na podstawie Starck, 2007 (23) oraz Bergmann, 1997 (2)

Potas – średnia zawartość potasu w roślinach wynosi 2–5% suchej masy, chociaż może dochodzić nawet do 10%. Szczególnie duże ilości potasu zawierają organy spichrzowe. Jest on jedynym makroelementem w roślinie nietworzącym trwałych połączeń ze związkami organicznymi. Występuje jako jon jednowartościowy – kation K^+ . Funkcja tego składnika w roślinie związana jest przede wszystkim z aktywacją ponad 50 różnych enzymów, uczestniczących głównie w procesie fotosyntezy, oddychaniu, osmoregulacji aparatu szparkowego i równowadze jonowej (18, 23). Stosunkowo duże stężenie K^+ jest koniecznym warunkiem biosyntezy białek. Potas sprzyja pobieraniu azotu, reguluje gospodarkę węglowodanami, a także gospodarkę wodną roślin (5, 6). Jon K^+ odgrywa główną rolę w osmoregulacji komórek, szczególnie w warunkach deficytu wodnego. Deficyt potasu prowadzi do zaburzeń większości procesów fizjologicznych, głównie transportu asymilatów i wzrostu (17). Potas jest łatwo przemieszczany z organów starszych do młodszych, stąd niedobory składnika ujawniają się najpierw się na liściach starszych (tab. 1).

Wapń – zawartość wapnia w roślinach może dochodzić do 5,0% suchej masy. Rośliny dwuliścienne na ogół mają go więcej niż jednoliścienne. Rola wapnia w roślinie polega przede wszystkim na regulacji wielu enzymów, m.in. ATP-azy, amylazy oraz fosfolipazy (18, 23). Wapń wraz z potasem i magnezem wpływa na stan fizyczny koloidów. Jest składnikiem pektyn i ściany komórkowej – stabilizatorem błon komórkowych, pierwiastkiem niezbędnym do wzrostu roślin, ważnym dla

prawidłowego wzrostu korzeni. W przypadku deficytu Ca następuje zahamowanie podziału i wzrostu elongacyjnego komórek, co pociąga za sobą zahamowanie wzrostu roślin, zamieranie wierzchołków pędów, deformację liści, śluzowacenie korzeni. Wapń jest słabo przemieszczany między organami roślin. Pobierany jest przez rośliny z gleby tylko w stosunkowo niskim pH, jako jon Ca^{2+} , w formie rozpuszczalnej.

Fosfor – występuje w roślinach w niższych zawartościach niż N, K i Ca (tab. 1), ale jego rola jest niemniej ważna. Jest m.in. składnikiem kwasów nukleinowych, nukleotydów, koenzymów, fosfolipidów (18, 23). Bierze udział w przemianach energetycznych oraz w regulacji aktywności enzymów poprzez ich fosforylację lub defosforylację. Fosfor jest kluczowym makroelementem w procesach katabolicznych i anabolicznych. Odgrywa dużą rolę w transporcie związków organicznych oraz jonów nieorganicznych przez błonę komórkową. Fosfor pobierany jest przez rośliny w formie anionowej: H_2PO_4^- oraz HPO_4^{2-} . W roślinach jest łatwo przemieszczany z organów starszych do młodszych.

Magnez – rośliny zawierają do 0,8% tego pierwiastka w suchej masie. Magnez jest składnikiem chlorofilu, aktywatorem wielu enzymów, głównie uczestniczących w przenoszeniu reszt fosforanowych (18, 23). Jest pierwiastkiem bardzo ruchliwym; wiążąc się z różnymi enzymami, tworzy z nimi wiązania jonowe typu mostków, m.in. między białkiem a ATP. Uczestniczy w regulacji pH w komórce. Magnez jest pierwiastkiem antagonistycznym w stosunku do jonów K^+ i NH_4^+ , co w przypadku niewłaściwych proporcji między tymi składnikami prowadzić może do zakłócenia w pobieraniu tych jonów (17). Jest pierwiastkiem łatwo przemieszczającym się w roślinie.

Siarka – występuje w roślinach w ilościach dorównujących magnezowi (tab. 1). Ten niezbędny makroelement jest składnikiem aminokwasów: cystyny, cysteiny, metioniny, a także białek, sulfolipidów, koenzymów (np. CoA), glutationu, fitochelatyn, kwasu liponowego. Występuje on również w związkach smakowych i zapachowych m.in. chrzanu, cebuli, czosnku (23). Rolą siarki we wzroście i rozwoju roślin jest zwiększenie m.in. efektywności wykorzystania azotu, fosforu oraz mikroelementów (19). W przypadku deficytu siarki, stosunkowo mało ruchliwej w roślinie, objawy niedoboru w postaci chlorozy pojawiają się najpierw na liściach młodszych. Rośliny pobierają siarkę, głównie w postaci utlenionej jako jon SO_4^{2-} , przez korzeń, w mniejszych ilościach także przez liście. Siarka może być również w niewielkich ilościach pobierana przez rośliny z atmosfery jako dwutlenek siarki SO_2 .

Funkcje i rola mikroelementów

Chlor – mimo że występuje w roślinach w ilościach największych spośród wszystkich mikroelementów – do $5500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ suchej masy, dorównując zawartościom makroelementów (tab. 2), to jest traktowany jako mikroelement. Wystarczające do zapewnienia prawidłowego wzrostu roślin zawartości tego pierwiastka są niewielkie

i wynoszą zaledwie 10–30 mmol·kg⁻¹ s.m. Niezbędność chloru w roślinach związana jest przede wszystkim z procesem fotosyntezy, dokładniej z reakcją Hilla – rozkładu wody, w której uczestniczy wraz z manganem. Ponadto chlor stymuluje enzym H⁺ ATP-azy oraz spełnia ważną rolę w osmoregulacji komórek (23). Chlor pobierany jest przez rośliny jako rozpuszczalny anion Cl⁻. O ile niedobory chloru nie występują, to na glebach zasolonych pierwiastek ten może być akumulowany w nadmiernych ilościach.

Tabela 2

Zawartość mikroelementów w roślinach oraz objawy ich niedoborów

Pierwiastek	Zawartości (mg·kg ⁻¹)	Objawy niedoboru
Chlor	10-5500	prawie niespotykane, łatwa reutilizacja
Żelazo	50-1000	chloroza całych liści młodych, bardzo mała reutilizacja
Cynk	20-1500	zahamowanie wydłużania międzywęźli, redukcja powierzchni blaszek liściowych, jasnozielone przebarwienia liści starszych
Mangan	20-500	mozaikowa chloroza, nekroza międzyżyłkowa, niekiedy smugowate plamy, zahamowanie wzrostu, opadanie liści, mała reutilizacja
Bor	1-115	nekroza wierzchołków wzrostu pędu i korzeni, liście kruche, zamieranie kwiatów, brak zawiązywania owoców, nekrozy floemu, mała reutilizacja międzyorganowa
Miedź	1-30	nekrotyczne plamy, niebieskozielonawa barwa liści, czasem brak turgoru, zaburzenia w formowaniu organów generatywnych
Molibden	0,1-2,0	redukcja rozwoju blaszki liściowej, chloroza liści młodych, deformacja pędu, zahamowanie brodawkowania i wzrostu roślin motylkowatych
Nikiel	0,1-1,0	brak danych

Źródło: opracowanie własne na podstawie Starck, 2007 (23) oraz Bergmanna, 1997 (2)

Żelazo – zawartość tego pierwiastka w roślinach jest stosunkowo duża (tab. 2). Niegdyś żelazo zaliczane było przez niektórych autorów do makroelementów, jednak obecnie, ze względu na funkcje katalityczne, powszechnie włączane jest do mikroelementów (10, 23). Funkcje żelaza jako niezbędnego składnika w roślinie są różnorakie. Jest ono głównym składnikiem enzymów: cytochromów, ferredoksyny, dysmutazy ponadtlenkowej, katalazy, peroksydazy, reduktazy azotanowej. Ważną funkcją żelaza jest aktywacja syntezy chlorofilu i niektórych białek. Około 80% Fe w roślinach znajduje się w chloroplastach (22). Żelazo pobierane jest dobrze z roztworu o niskim pH w formie kationów Fe²⁺, Fe³⁺ oraz dość efektywnie – w formie chelatów. Mikroelementem antagonistycznym w stosunku do Fe jest Mn (10); stąd potrzeba utrzymania odpowiedniej proporcji między tymi składnikami. Żelazo jest bardzo słabo przemieszczane w roślinie, dlatego objawy jego niedoboru w postaci chlorozy całych liści ujawniają się w pierwszej kolejności na najmłodszych liściach.

Cynk – koncentracja tego pierwiastka w roślinach waha się w dużych granicach (tab. 2). Cynk jest składnikiem wielu enzymów: anhidrazy węglanowej, karboksypep-

tydazy, dehydrogenazy alkoholowej, dysmutazy ponadtlenkowej (18, 22). Uczestniczy w metabolizmie cukrów i syntezie białek, reguluje ekspresje genów oraz wchodzi w skład rybosomów. Przy deficycie cynku w roślinach występują zaburzenia wzrostu roślin, m.in. ulegają skróceniu międzywęzła, zmniejsza się również powierzchnia blaszek liściowych (20). Jest on najlepiej pobierany przez rośliny z gleby kwaśnej, w postaci kationu Zn^{2+} oraz w formie schelatowanej. Cynk jest pierwiastkiem antagonistycznym w stosunku do fosforu, stąd też przy niewłaściwym stosunku P:Zn występują zakłócenia w jego pobieraniu.

Mangan – zawartość tego pierwiastka dochodzi do $500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ suchej masy. Mangan aktywuje lub jest składnikiem wielu enzymów uczestniczących w reakcjach dekarboksylacji, hydrolizy i utleniania. Bierze udział w procesie fotosyntezy – w fotolizie wody. Mn aktywuje także wiele enzymów biorących udział w metabolizmie cukrów, białek i lipidów (18, 22). Niedobór tego mikroelementu prowadzi do hamowania wzrostu wydłużeniowego oraz zwiększania wrażliwości roślin na niskie temperatury. Mangan pobierany jest dobrze z gleby kwaśnej, w postaci kationów Mn^{2+} oraz Mn^{3+} , a także w formie schelatowanej. Do jonów ograniczających jego pobieranie należą Mg^{2+} oraz Ca^{2+} .

Bor – występuje w roślinach do $115 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ suchej masy. Rośliny jednoliścienne mają mniejsze wymagania pokarmowe względem boru w stosunku do dwuliściennych (12, 20, 22). Mimo, że bor został zaliczony do niezbędnych składników pokarmowych w latach dwudziestych ubiegłego wieku, dotychczas nie poznano w pełni jego funkcji fizjologicznych. Wiadomo, że B uczestniczy w procesie podziału i wzrostu łagiewki pyłkowej, a także w syntezie i lignifikacji ściany komórkowej. Klasyczne objawy obserwowane w przypadku braku boru to kruchość liści i ich łamliwość, szczególnie liści młodszych. Pierwiastek ten najlepiej pobierany jest przez rośliny z gleb kwaśnych, w postaci kwasu borowego H_2BO_3 , który jest bardziej dostępny niż forma anionu $B(OH)_3^-$ przeważająca w środowisku zasadowym. Do niedawna uważano, że bor w roślinie jest nieruchomy, jednak nowsze badania (3, 12) wskazują, że bor jest częściowo przemieszczalny, przynajmniej w niektórych roślinach.

Miedź – zawartość tego mikroelementu w roślinach dochodzi do $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ suchej masy (tab. 2). Miedź jest składnikiem wielu enzymów uczestniczących w reakcjach oksydoredukcyjnych, m.in. w procesie fotosyntezy i oddychania oraz w metabolizmie związków azotowych i cukrowców, a także uczestniczy w lignifikacji ściany komórkowej (23). Mikroelement ten jest łatwo reutilizowany z organów starszych do młodszych roślin. Szczególnie charakterystycznymi objawami niedoboru miedzi u zbóż są: zakłócenia w żywotności pyłku, a ziarniaki w kłosach źle się wypełniają (12, 22). Natomiast u roślin dwuliściennych występują zakłócenia w gospodarce wodnej objawiające się barkiem turgoru liści. Miedź jest pobierana przez rośliny w formie kationów Cu^{2+} i Cu^+ , a także w formie schelatowanej.

Molibden – należy do składników niezbędnych, który wraz z niklem występuje w roślinach w najmniejszych zawartościach, do $2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ suchej masy. Jego rola

w roślinach związana jest głównie z metabolizmem azotowym, co wynika z udziału molibdenu w reduktazie azotanowej i nitrogenazie (22, 23). Mo pobierany jest przez rośliny w formie anionu MoO_4^{2-} , najlepiej z roztworu glebowego o wysokim pH, w przeciwieństwie do większości mikroelementów, które lepiej są pobierane w środowisku kwaśnym.

Nikiel – jego zawartość w roślinach jest bardzo mała, do $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ suchej masy. Zapotrzebowanie roślin na nikiel jest minimalne, niemniej jest to pierwiastek dla nich niezbędny, będący składnikiem dehydrogenaz i ureazy, a także uczestniczy w pobieraniu żelaza i wiązaniu azotu atmosferycznego (23). Pobierany jest on przez rośliny w formie kationu Ni^{2+} . Przy deficycie niklu stwierdza się nadmierną akumulację mocznika w roślinach.

Potrzeby pokarmowe roślin

Potrzeby pokarmowe poszczególnych gatunków roślin odpowiadają ilościom niezbędnych składników pokarmowych, jaką rośliny muszą pobrać w danych warunkach środowiska dla wydania maksymalnego plonu (4, 5, 7, 8, 11). Zaś potrzeby nawozowe odpowiadają ilości składnika, jaką należy roślinom dostarczyć, w formie nawozów, w danych warunkach glebowych, żeby mogły być zrealizowane ich wymagania pokarmowe (4, 9).

Gatunki roślin, a nawet odmiany (w pewnym zakresie), różnią się nie tylko pod względem ilościowego zapotrzebowania na składniki odżywcze, ale również wzajemnym stosunkiem składników (4, 5, 21). Dla przykładu rośliny zbożowe (pszenica, żyto, jęczmień, pszenżyto i owies) z trzech głównych składników pokarmowych NPK – najwięcej potrzebują azotu, nieco mniej potasu, a znacznie mniej fosforu. Natomiast rośliny okopowe (m.in. buraki, ziemniaki) najwięcej pobierają potasu, następnie azotu i najmniej fosforu (5). W proporcjach wygląda to następująco:

	N	:	P	:	K
Zboża	1,0	:	0,2	:	0,7-0,9
Okopowe	1,0	:	0,17	:	1,2-1,4

Rośliny pobierają składniki pokarmowe przez cały okres swojego wzrostu i rozwoju, stosownie do ich potrzeb; najintensywniej w początkowym okresie wzrostu i rozwoju, a słabiej pod koniec okresu wegetacji. W młodocianym stadium roślin spośród makroelementów dominuje w nich potas i azot, stosunkowo dużo jest także wapnia, natomiast znacznie mniej siarki, fosforu i magnezu. Natomiast wraz ze starzeniem się roślin na ogół spada w roślinach zawartość azotu, fosforu i potasu, natomiast rośnie zawartość wapnia (5). Żeby rośliny mogły realizować swoje potrzeby pokarmowe względem konkretnych składników, muszą być one w środowisku glebowym dla nich dostępne – znajdować się w formie przyswajalnej dla roślin. Najlepszym rozwiązaniem jest wysoka naturalna żyzność gleby. Optymalna zasobność gleby

w składniki odżywcze stwarza nie tylko dobre warunki sprzyjające rozwojowi roślin, pobieraniu składników pokarmowych, ale również warunki wysokiej aktywności biologicznej, które rzutują na optymalne właściwości fizyczne gleb, w których wymywanie składników staje się znacznie ograniczone.

Każdy gatunek rośliny, nawet część rośliny, charakteryzuje się swoistym składem zawartości makro- i mikroelementów a także optymalnymi zawartościami składników – w poszczególnych fazach rozwojowych roślin (2, 11). Rośliny dla wydania maksymalnego plonu powinny być od początku wzrostu i rozwoju dobrze zaopatrzone we wszystkie składniki odżywcze. Wszelkie niedobory składników w trakcie wzrostu roślin zakłócają ich metabolizm, prawidłowy wzrost i rozwój, a tym samym ograniczają wielkość i jakość plonu (7, 19, 21, 25). Poniżej w tabeli 3 przedstawiono zakresy optymalnych zawartości składników dla wybranych faz rozwojowych i gatunków roślin.

Tabela 3

Zakresy zawartości optymalnych składników pokarmowych w suchej masie dla niektórych roślin uprawnych

Faza rozwojowa, termin	Makroelementy (%)					Mikroelementy (mg kg ⁻¹)				
	N	P	K	Ca	Mg	B	Mo	Cu	Mn	Zn
Pszenica ozima, wszystkie nadziemne części roślin ścięte powyżej 5–8 cm wysokości										
Początek strzelania w źdźbło (31/32)*	3,0-5,0	0,30-0,60	3,5-5,5	0,4-1,0	0,12-0,25	6-12	0,1-0,3	7-15	35-100	25-70
Strzelanie w źdźbło, liść flag. (35/37)*	2,3-3,8	0,25-0,50	3,3-4,5	0,35-1,0	0,10-0,23	5-10	0,10-0,30	5-10	30-100	20-70
Ziemniak, wszystkie w pełni rozwinięte liście										
Początek kwitnienia	5,0-6,5	0,40-0,60	5,0-6,6	0,6-2,0	0,25-0,80	25-70	0,2-0,5	7-15	40-100	20-80
Kukurydza, wszystkie w pełni rozwinięte liście										
Rośliny w fazie 40–60 cm wysok.	3,5-5,0	0,35-0,60	3,0-4,5	0,3-1,0	0,25-0,50	7-15	0,20-0,5	7-15	40-100	30-70
Buraki cukrowe, tylko liście środkowe										
W terminie przełom czerwca/ lipca	4,0-5,5	0,30-0,60	3,8-7,0	0,60-1,50	0,25-0,80	35-100	0,20-1,00	6-15	35-100	20-80

* faza rozwojowa wg skali BBCH

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Bergmanna, 1992, 1997 (1, 2)

Potrzeby pokarmowe roślin – całkowite wielkości pobrania podstawowych makro- i mikroelementów z plonem roślin, zostały doświadczalnie ustalone dla głównych gatunków roślin, w wieloletnich ścisłych badaniach polowych prowadzonych w zróżnicowanych warunkach glebowych i środowiskowych (4, 5, 8). W ustaleniu wielkości jednostkowego pobrania konkretnego składnika brano pod uwagę średnie pobranie składnika pokarmowego przez 1 tonę plonu głównego wraz z odpowiednią ilością plonu ubocznego (tab. 4), a przy ustaleniu całkowitych potrzeb pokarmowych – także oczekiwane plony (tab. 5 i 6).

Tabela 4

Średnie pobranie makro- i mikroelementów przez wybrane rośliny uprawne w przeliczeniu na 1 t plonu głównego wraz z odpowiednią ilością produktu ubocznego

Roślina	Pobranie makroelementów (kg)						Pobranie mikroelementów (g)				
	N	P	K	Mg	Ca	S	B	Cu	Mn	Zn	Mo
Pszenica ozima – ziarno	27	4,7	15,6	2,3	3,6	4,1	5	8	82	59	0,7
Pszenica jara – ziarno	30	5,4	18,1	2,3	4,2	4,1	5	8	106	71	0,7
Kukurydza – ziarno	33	6,3	34,6	5,7	6,7	6,6	11	14	107	85	0,9
Rzepak – nasiona	51	10,1	51,1	5,7	41,3	12,5	51	10	100	64	1,0
Bobik – nasiona	60	6,0	31,5	3,3	14,9	6,0	32	19	45	96	1,3
Ziemniak – bulwy*	3,4	0,6	5,6	0,3	0,4	1,5	2	2	6	6	0,1
Burak cukrowy – korzenie*	5,8	0,8	6,9	1,1	5,0	1,0	7	3	28	14	0,2
Koniczyna czerwona – zielonka*	5,5	0,6	5,1	0,5	2,7	1,5	4	2	13	9	0,1

* świeża masa

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Fotymy i Mercika, 1995 (4) oraz Jadczyzsyn, 2000 (8)

Jednostkowe pobranie poszczególnych składników pokarmowych przez wymienione gatunki roślin jest dość zróżnicowane (tab. 4), nie tylko jeśli chodzi o wielkości w pobieraniu makro- i mikroelementów ale różnice między gatunkami w obrębie potrzeb pokarmowych składnika. Do roślin o szczególnie dużych potrzebach pokarmowych, jeśli chodzi o jednostkowe pobranie makro- i mikroskładników, zaliczamy: rzepak, następnie bobik i kukurydzę. Znając ilości pobranych składników (ilości wyniesionych składników wraz z t plonu) – jednostkowe pobranie, w zależności od oczekiwanego plonu, ustalamy potrzeby pokarmowe roślin, mnożąc jednostkowe pobranie składnika przez przewidziany plon roślin z hektara (8). Dla założonych, średnich – oczekiwanych plonów całkowite pobranie niezbędnych makroelementów, a tym samym ich potrzeby pokarmowe przedstawiono w tabeli 5, natomiast dla mikroelementów w tabeli 6. Roślinami o największych wymaganiach pokarmowych, przy średnich założonych plonach z hektara, spośród wybranych roślin uprawy polowej (tab. 5 i tab. 6) są: kukurydza, następnie burak cukrowy i rzepak.

Tabela 5

Średnie pobranie makroelementów przez wybrane rośliny uprawne w zależności od prognozowanego plonu głównego (wraz z odpowiednią ilością plonu ubocznego)

Roślina	Plon (t·ha ⁻¹)	Pobranie makroelementów (kg)					
		N	P	K	Mg	Ca	S
Pszenica ozima – ziarno	6	162	28	94	14	22	25
Pszenica jara – ziarno	5	150	27	91	12	21	21
Kukurydza – ziarno	9	297	57	311	51	60	59
Rzepak – nasiona	4	204	40	204	23	165	50
Bobik – nasiona	4	240	24	126	13	60	24
Ziemniak – bulwy*	30	102	18	168	9	12	45
Burak cukrowy – korzenie*	40	200	40	310	55	250	50
Koniczyna czerwona – zielonka*	40	220	24	204	20	108	60

* świeża masa

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Fotymy i Mercika, 1995 (4) oraz Jadczyzsyn, 2000 (8)

Tabela 6

Średnie pobranie mikroelementów przez wybrane rośliny uprawne w zależności od prognozowanego plonu głównego (wraz z odpowiednią ilością plonu ubocznego)

Roślina	Plon (t·ha ⁻¹)	Pobranie mikroelementów (g)				
		B	Cu	Mn	Zn	Mo
Pszenica ozima – ziarno	6	30	48	492	354	4,2
Pszenica jara – ziarno	5	25	40	530	355	3,5
Kukurydza – ziarno	9	99	126	963	765	8,1
Rzepak – nasiona	4	204	40	400	256	4,0
Bobik – nasiona	4	128	76	180	384	5,2
Ziemniak – bulwy*	30	60	60	180	180	3,0
Burak cukrowy – korzenie*	40	350	150	1400	700	10,0
Koniczyna czerwona – zielonka*	40	160	80	520	360	4,0

* świeża masa

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Fotymy i Mercika, 1995 (4) oraz Ruszkowskiej i in. 1996 (20)

Potrzeby pokarmowe roślin a zasobność gleb w składniki

Makro- i mikroelementy – niezbędne składniki pokarmowe roślin, występują w glebach w różnych formach i ilościach (13, 14, 15, 24). Z żywieniowego punktu widzenia najważniejsze dla roślin są ich formy przyswajalne, na które składają się ilości pierwiastków znajdujące się w roztworze glebowym, kompleksie sorpcyjnym oraz występujące w formie słabiej rozpuszczalnych soli. Jeśli chodzi o ich pobieranie przez korzenie roślin, decydujące znaczenie mają przede wszystkim: wiek i gatunek

rośliny, wilgotność i napowietrzenie gleby, odczyn, stosunki jonowe oraz temperatura. Według przyjętych kryteriów oceny stacji chemiczno-rolniczych gleby naszego kraju wykazują zróżnicowany poziom zawartości przyswajalnych składników (14, 15) od bardzo niskich do bardzo wysokich. Zawartość przyswajalnych makro- i mikroelementów w glebach Polski oceniana jest dla potrzeb praktyki rolniczej w klasach zawartości: bardzo niskiej, niskiej, średniej, wysokiej i bardzo wysokiej (24).

Potrzeby pokarmowe roślin pokrywane są w pierwszej kolejności z zasobów naturalnych gleby (przyswajalne makro- i mikroskładniki), a następnie z nawozów organicznych, naturalnych i mineralnych (8, 9). Naturalna zasobność gleb uprawnych naszego kraju w składniki pokarmowe, nie tylko w makroskładniki ale często i mikroskładniki, na ogół nie zabezpiecza w pełni potrzeb pokarmowych roślin (9,13). Również nawożenie obornikiem czy innymi nawozami naturalnymi nie dostarcza optymalnej ilości składników, choć wpływa na poprawę właściwości gleb, powodując lepsze wykorzystanie i wyższą efektywność zastosowanych nawozów mineralnych (16). Stąd konieczność pokrycia, przynajmniej w części, potrzeb pokarmowych roślin poprzez nawożenie mineralne. Powinno być ono stosowane zawsze racjonalnie, tzn. w takich ilościach i w taki sposób, aby zapewnić uprawianym roślinom określoną ilość składników pokarmowych w odpowiednich fazach wzrostu, stosownie do ich potrzeb pokarmowych, uzyskując przy tym możliwie największy efekt i nie stanowiąc zagrożenia dla środowiska naturalnego. Nieuzasadnione jest zatem stosowanie nawożenia bez znajomości potrzeb pokarmowych oraz nawozowych roślin oraz zasobności gleby w przyswajalne składniki pokarmowe w warunkach konkretnego pola.

Podsumowanie

Potrzeby pokarmowe poszczególnych gatunków roślin odpowiadają ilościom niezbędnych składników, jaką rośliny muszą pobrać w rozwoju ontogenetycznym dla wydania maksymalnego plonu. Gatunki roślin różnią się nie tylko pod względem ilościowego zapotrzebowania na niezbędne składniki odżywcze, ale również wzajemnym stosunkiem składników. Rośliny dla wydania maksymalnego plonu powinny być od początku wzrostu i rozwoju dobrze zaopatrzone we wszystkie składniki odżywcze. Niedobory składników w trakcie wzrostu roślin zakłócają ich metabolizm, prawidłowy wzrost i rozwój, a tym ograniczają wielkość plonu i jego jakość.

Potrzeby pokarmowe roślin powinny być pokrywane w pierwszej kolejności z gleby, z jej zasobów naturalnych, następnie z nawozów organicznych, naturalnych i mineralnych. Naturalna zasobność gleb uprawnych Polski w składniki pokarmowe, szczególnie makroelementy, ale też niektóre mikroelementy, na ogół nie zabezpiecza w pełni potrzeb pokarmowych roślin.

Nawożenie mineralne powinno być stosowane racjonalnie, tzn. w takich ilościach i w taki sposób, aby zapewnić uprawianym roślinom określoną ilość składników po-

karmowych w odpowiednim czasie, uzyskując przy tym możliwie największy efekt i nie stanowiąc zagrożenia dla środowiska naturalnego.

Literatura

1. Bergmann W.: Nutritional disorders of plants: development, visual and analytical diagnosis. Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart, New York, 1992, pp. 741.
2. Bergmann W.: Atlas objawów niedoboru lub nadmiaru składników pokarmowych u roślin uprawnych. PWRiL, Warszawa 1997, ss. 183.
3. Brown P.H., Bellaloui N., Wimmer M.A., Bassil E.S., Ruiz J., Hu H., Pfeiffer H., Dannel F.: Boron in plant biology. *Plant biology*, 2002, **4**: 205-223.
4. Fotyma M., Mercik S.: Metody określania potrzeb nawozowych roślin. *Chemia Rolna*, 1995, ss. 202-229.
5. Gorlach E., Mazur T.: *Chemia Rolna*. Wyd. PWN, Warszawa 2001, ss. 347.
6. Grzebisz W.: Potas w produkcji roślinnej (Potassium In Agriculture Production). Poznań, 2004, ss. 88.
7. Grzebisz W.: Nawożenie roślin uprawnych cz. I. Podstawy nawożenia. PWRiL., 2009, ss. 326-332.
8. Jadczyzyn T.: Podstawy naukowe doradztwa nawozowego. Nawozy i Nawożenie, 2000, **4**: 185-200.
9. Jadczyzyn T., Kowalczyk J., Lipiński W.: Zalecenia nawozowe dla roślin uprawy polowej i trwałych użytków zielonych. Instrukcje upowszechnieniowa, IUNG-PIB, Puławy 2008, **151**: 1-23.
10. Kabata-Pendias A., Pandal H.: Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN Warszawa, 1993, ss. 364.
11. Kocoń A.: Oznaczanie bieżących potrzeb nawożenia w oparciu o analizę materiału roślinnego. Upowszechnianie zasad dobrej praktyki rolniczej. Mat. Szkol. 87/03, Puławy 2003, I: 91-106.
12. Korzeniowska J.: Potrzeby nawożenia pszenicy cynkiem, miedzią i borem w warunkach glebowo-klimatycznych Polski. Monografie i rozprawy naukowe, IUNG-PIB Puławy, 2008, **20**: 1-106.
13. Kucharzewski A., Dębowski M.: Odczyn i zawartość mikroelementów w glebach Polski. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2000, **471**: 627-635.
14. Lipiński W.: Zasobność gleb Polski w potas przyswajalny. Nawozy i Nawożenie, 2005, **23**: 55-60.
15. Lipiński W.: Zasobność gleb Polski w mikroelementy. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2013, **34(8)**: 121-131.
16. Mazur T., Mazur Z.: Pobranie przez plon roślin i zawartość w glebach miedzi, manganu i cynku w zależności od systemu nawożenia. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2004, **502**: 229-234.
17. Mazurczyk W., Grzeskiewicz H.: Wpływ nawożenia potasem na dystrybucję w roślinach ziemniaka suchej masy potasu i magnezu oraz stan odżywienia tym składnikiem. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2001, **480**: 475-487.
18. Mengel K., Kirbky E.A.: Podstawy Żywienia Roślin. PWRiL, 1983, ss. 527.
19. Podleśna A., Cacak-Pietrzak G.: Kształtowanie plonu oraz parametrów przemiałowych i wypiekowych pszenicy jarej poprzez nawożenia azotem i siarką. *Pam. Puł.*, 2006, **142**: 381-392.
20. Ruszkowska M., Sykut S., Kusio M.: Stan zaopatrzenia roślin w mikroelementy w warunkach zróżnicowanego nawożenia w wieloletnim doświadczeniu lizymetrycznym. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1996, **434**: 43-47.

-
21. R u s z k o w s k a M.: Badania nad wskaźnikami fizjologicznymi stanu zaopatrzenia roślin w składniki pokarmowe. Mat. Symp. pt. „Wpływ nawożenia na jakość plonów”, Olsztyn 24–25. 06, 1986, ss. 4-15.
 22. R u s z k o w s k a M., W o j c i e s k a-W y s k u p a j t y s U.: Mikroelementy – fizjologiczne i ekologiczne aspekty ich niedoborów i nadmiarów. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1996, **434**: 1-11.
 23. S t a r c k Z.: Rola składników mineralnych w roślinie. W: Fizjologia roślin, J. Kopcewicz i S. Lewaka S. (red.). 2007, ss. 228-245.
 24. Zalecenia nawozowe. Praca zbiorowa.: Liczby graniczne do wyceny zawartości w glebach makro- i mikroelementów. Wyd. II, IUNG Puławy, 1990, **P(44)**: 1-26.
 25. W o ź n i a A.: Plonowanie i jakość ziarna pszenicy jarej (*Triticum aestivum* L.) i twardej w zależności od poziomu agrotechniki. Acta Agrophys., 2006, **8(3)**: 755-763.
-

Adres do korespondencji:

dr Anna Kocoń
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czarторыskich 8
24-100 Puławy
tel. (81) 886 34 21 w. 253
e-mail: akocon@iung.pulawy.pl

Agnieszka Rutkowska

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

RACJONALNE I EFEKTYWNE NAWOŻENIE AZOTEM*

Słowa kluczowe: akumulacja azotu, potrzeby pokarmowe, nawożenie azotem, formy nawozów

Wstęp

W praktyce rolniczej optymalizacja wykorzystania azotu w systemie produkcji roślinnej sprowadza się do realizacji kilku podstawowych zadań. Pierwsze z nich to dobór gatunków, a nawet odmian roślin o dużym potencjale plonowania i zdolności do pobierania azotu z gleby. Kolejnym zadaniem jest przygotowanie stanowiska zapewniającego uprawianej roślinie sprawne pobieranie wody i składników pokarmowych oraz efektywną kontrolę stresów biotycznych i abiotycznych. Trzecim zadaniem jest racjonalne nawożenie azotem, tj. zastosowanie odpowiedniej dawki nawozu w optymalnym terminie, dostosowanym do dynamiki pobierania składnika oraz dobór odpowiedniej formy nawozu azotowego i sposobu jego aplikacji.

W porównaniu do innych składników mineralnych ważnych w żywieniu roślin azot jest pierwiastkiem bardzo ruchliwym, przez co narażony jest na straty z agrosystemów. W warunkach produkcyjnych stopień wykorzystania azotu z nawozów jest stosunkowo niewielki i waha się w szerokich granicach od 33 do 55%. Część azotu wprowadzona do gleby w nawozach ulega immobilizacji i może być wykorzystana przez rośliny w kolejnych sezonach wegetacyjnych. Formy rozpuszczalne w wodzie mogą przemieszczać się poza strefę systemu korzeniowego, stwarzając ryzyko rozpraszania azotu do środowiska wodnego. Szczególnie niebezpieczne są jony azotanowe, które migrując w okresie jesienno-zimowym w głąb profilu glebowego, przedostają się do wód gruntowych i powierzchniowych, pogarszając ich jakość i prowadząc do zakłócenia funkcjonowania ekosystemów.

Racjonalne nawożenie azotem powinno zatem realizować cel produkcyjny, jakim jest uzyskiwanie maksymalnych w danych warunkach siedliskowych plonów

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.3 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

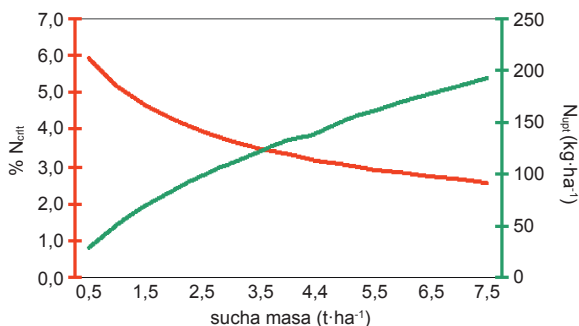
o wysokiej jakości oraz cel środowiskowy rozumiany jako ograniczanie strat azotu niewykorzystanego przez rośliny do wód gruntowych i atmosfery.

Pobieranie azotu i jego akumulacja w roślinach

Nadrzędna rola azotu w kształtowaniu plonu wynika z bezpośredniego związku tego pierwiastka z metabolizmem węgla zarówno w aspekcie procesów zachodzących na poziomie molekularnym, jak i fizjologicznym rośliny. W warunkach umiarkowanego niedoboru azotu roślina zwiększa transport związków węgla do korzeni, rozbudowując system korzeniowy, ale już w stanie optymalnego zaopatrzenia w azot inwestuje w organy odpowiedzialne za absorpcję dwutlenku węgla, głównie liście.

Czynnikiem zewnętrznym decydującym o pobieraniu jonów azotanowych jest ich stężenie w roztworze glebowym, w bezpośrednim sąsiedztwie korzeni. Do czynników wewnętrznych należy zaliczyć aktywność metaboliczną rośliny oraz stosunek masy nadziemnej do korzeni. Pobieranie i przemieszczanie związków azotu w każdej roślinie można wyjaśnić na gruncie koncepcji „sink – source” (12, 14). Zgodnie z tą koncepcją w roślinie istnieją miejsca stanowiące źródło związków mineralnych i organicznych, tzw. „source” oraz miejsce ich gromadzenia czyli „sink”. Te pierwsze to organy, w których zachodzi proces fotosyntezy, głównie blaszki liściowe, międzywęzła czy kłosa oraz korzenie jako organy pobierające składniki mineralne z gleby. Organy, do których przemieszczane są składniki mineralne z gleby określa się jako „sink”. W okresie intensywnego wzrostu każdy nadziemny, rozwijający się organ stanowi początkowo „sink” dla pobranego z gleby za pośrednictwem korzeni azotu (1). Przy deficycie składnika roślina znacznie zmniejsza powierzchnię asymilacyjną, chroniąc tym samym wcześniej wytworzone organy przed niedoborem azotu (3, 19).

Rośliny rosnące w warunkach dostatecznego zaopatrzenia w azot reprezentują model akumulacji zgodny z „krzywą wysycenia”. W modelu tym maksymalne tempo pobierania azotu ($I_{\max}$ – maximum uptake rate) zmniejsza się wraz z wiekiem rośliny (9, 17), przy czym zachodzi ścisła korelacja pomiędzy $I_{\max}$ a względną szybkością wzrostu (RGR – relative growth rate) (rys. 1).



Rys. 1. Model nagromadzenia suchej masy oraz azotu przez rośliny

Źródło: Lemaire i Gastal, 1997 (9)

Klasyczny model pobierania azotu występuje u zbóż, które akumulują 60–80% potrzebnego składnika w okresie wzrostu wegetatywnego, natomiast podczas nalewania ziarna dochodzi do jego remobilizacji z organów wegetatywnych. Ponieważ w tym czasie maleje aktywność systemu korzeniowego, intensywność pobierania azotu z gleby jest niewielka (13). Niektórzy autorzy utrzymują nawet, że zasoby azotu zakumulowanego przez zboża w częściach wegetatywnych w całości pokrywają potrzeby pokarmowe rozwijającego się ziarna (2, 11). W okresie intensywnego wzrostu i rozwoju organów wegetatywnych zbóż aktywność reduktazy azotanowej jest bardzo duża, a stężenie azotanów w soku ksylemowym wysokie (19). Przy dużym stężeniu azotanów w glebie, pomimo wysokiej aktywności enzymu proces redukcji nie nadąża za pobieraniem jonów, w związku z czym młode rośliny mogą gromadzić znaczną ilość azotanów. U pszenicy ozimej w fazie DC 25-26 (pęd główny i 5–6 pędów bocznych) zawartość azotu w całej masie nadziemnej może dochodzić nawet do 6%, z czego znaczną część stanowi azot w formie azotanowej. W miarę upływu czasu zdolność korzeni do pobierania azotanów zmniejsza się, co wynika ze zmieniającego się zapotrzebowania na azot, a intensywność pobierania jonów zależy w dużej mierze od stosunku masy części nadziemnych do korzeni (16). Począwszy od fazy kłoszenia u zbóż zaczyna się proces remobilizacji związków azotowych w nadziemnych częściach zbóż i przemieszczania ich do tworzącego się ziarna.

W stanowiskach naturalnie ubogich w azot nawet przy stosunkowo wysokich dawkach nawozów azotowych nie funkcjonuje model „wysycenia”, ponieważ niewystarczające odżywienie potasem powoduje, że azot mineralny nie jest pobierany z dostateczną szybkością w fazie krytycznej dla szybkości nagromadzania biomasy. W takich stanowiskach dynamika pobierania azotu przebiega zgodnie z modelem liniowym, określanym jako ciągły bądź „pełzający”. Niektóre gatunki, czy nawet odmiany roślin uprawnych akumulują azot przez cały okres wegetacji. Taki właśnie model pobierania składnika reprezentują rośliny motylkowate uprawiane na nasiona, które korzystają z dwóch źródeł azotu: remobilizowanego z organów wegetatywnych oraz pobieranego z gleby. Według modelu ciągłego przebiega również akumulacja azotu przez modyfikowane genetycznie odmiany kukurydzy typu stay – green.

Krytyczne fazy zapotrzebowania roślin na azot

Jak wspomniano w poprzedniej części pracy, u większości roślin zapotrzebowanie na azot jest największe w początkowym okresie wegetacji, w tzw. liniowej fazie wzrostu i zmniejsza się wraz z wiekiem rośliny. Niemniej jednak dynamika akumulacji azotu w okresie wegetacji zależy od gatunku rośliny. Podczas wzrostu i rozwoju każdego gatunku roślin uprawnych występują okresy największego zapotrzebowania na azot, a niedostateczne zaopatrzenie w ten składnik wpływa negatywnie na wielkość plonu końcowego. Fazy największego zapotrzebowania na azot określane są jako krytyczne stadia rozwojowe bądź też fazy największej wrażliwości rośliny na niedobory azotu.

Z tego względu terminy stosowania nawozów azotowych powinny być tak dobrane, aby kształtować trzy główne okresy tworzenia plonu użytkowego:

- 1) tworzenie pierwotnych podstaw struktury plonu, kiedy to pobieranie azotu z gleby jest kontrolowane przez fosfor, magnez, potas oraz mangan i cynk;
- 2) kształtowanie elementów struktury plonu, przypadające na okres liniowej fazy wzrostu, podczas którego szybkość wzrostu, a w konsekwencji wielkość biomasy determinuje stan odżywienia roślin azotem, potasem, magnezem oraz chlorem, miedzią i siarką;
- 3) kwitnienie i dojrzewanie, gdy pierwiastkami krytycznymi dla roślin są: azot, fosfor, magnez, żelazo, siarka, cynk oraz miedź.

Szczegółowe wydzielanie faz krytycznych powinno odnosić się zawsze do uprawianego gatunku, ponieważ niektóre rośliny wykazują silną reakcję na niedobór określonego składnika, np. kukurydza na niedobór cynku, a burak cukrowy na niedobór boru. Fazy krytyczne ujawniają się w każdym okresie tworzenia plonu, dlatego należy pamiętać, aby nawóz azotowy stosować z dostatecznym wyprzedzeniem, a ilość składnika powinna wynikać z potrzeb pokarmowych roślin w stosunku do azotu w danej fazie rozwojowej. Krytyczne stadia rozwojowe wybranych gatunków roślin uprawnych zebrano w tabeli 1.

Tabela 1

Fazy krytyczne – okresy największej wrażliwości roślin uprawnych na odżywienie azotem

Roślina	Fazy krytyczne	Fazy w skali BBCH
Zboża	1) krzewienie 2) początek strzelania w źdźbło 3) koniec strzelania w źdźbło	25-29 31-32 37-51
Rzepak	1) pełnia budowy rozety/początek wzrostu wydłużeniowego 2) pąkowanie	30-31 50-51
Ziemniak	1) 20-30% zakrytych międzyczęści 2) początek tworzenia bulw	32-33 40-41
Burak cukrowy	1) 2–3 para liści 2) 60 dni od wschodów; początek lipca	14-15 41-43
Strączkowe, groch	1) początek wzrostu wydłużeniowego 2) początek kwitnienia	30-31 61-62

Źródło: Grzebisz, 2008 (6)

Teoretyczne podstawy obliczania dawki azotu

Podstawowym kryterium wyznaczania dawki azotu jest zaklasyfikowanie rośliny do grupy roślin jarych bądź ozimych. Od tej klasyfikacji zależy zarówno sposób wyznaczenia całkowitej dawki azotu, jak i jej podział na dawki częściowe oraz dobór formy nawozów azotowych. Niezależnie od tego, całkowitą dawkę nawozów należy dzielić na dawki cząstkowe dostosowane do tempa nagromadzania azotu i tworzenia

biomasy przez rośliny, co gwarantuje zabezpieczenie ich potrzeb pokarmowych na każdym etapie wzrostu i rozwoju oraz ogranicza straty składnika do środowiska.

Optymalna dawka azotu, jaką należy zastosować w uprawie poszczególnych gatunków roślin uprawnych powinna być z jednej strony dawką maksymalną, aby zapewnić pełną realizację potencjału plonotwórczego w danych warunkach środowiska, z drugiej strony – dawką minimalną, w trosce o bezpieczeństwo środowiska przyrodniczego. Przy ustalaniu całkowitej dawki nawozów azotowych należy brać pod uwagę następujące czynniki:

- zapotrzebowanie roślin na azot,
- zawartość azotu mineralnego w glebie bezpośrednio przed ruszeniem wegetacji,
- ilość azotu uwolnionego z zasobów glebowych w czasie wegetacji uprawianej rośliny,
- wykorzystanie azotu z nawozu przez uprawianą roślinę.

Potrzeby pokarmowe roślin oblicza się z algorytmu, którego elementami składowymi są oczekiwany plon użytkowy wraz z odpowiadającym mu plonem ubocznym oraz zapotrzebowanie jednostkowe na azot:

$$U_N = P \cdot N_j,$$

gdzie:

U_N – potrzeby pokarmowe roślin ($\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$),

P – plon użytkowy ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$),

N_j – pobranie jednostkowe ($\text{kg N} \cdot \text{t}^{-1}$) składnika z plonem głównym (użytkowym) wraz z odpowiednią ilością plonu ubocznego.

Klasyczną metodą ustalania potrzeb nawożenia jest metoda bilansowa, w której porównuje się rozchody składników pokarmowych (wynoszenie składników z plonami, straty w glebie) z przychodami (nawozy naturalne i organiczne, resztki poźniwne, opad atmosferyczny). W metodzie bilansowej potrzeby nawozowe roślin uprawnych, czyli całkowitą dawkę nawozów mineralnych oblicza się z różnicy potrzeb pokarmowych i ilości azotu, jaką rośliny mogą pobrać z gleby zgodnie ze wzorem:

$$N_{\text{opt}} = (N_{\text{pok}} - N_{\text{gleb}}) / WW_N$$

gdzie:

N_{opt} – całkowita dawka nawozów mineralnych,

N_{pok} – potrzeby pokarmowe roślin,

N_{gleb} – ilość azotu dostępnego z gleby,

WW_N – współczynnik wykorzystania azotu z nawozów.

O ile potrzeby pokarmowe, które stanowią iloczyn oczekiwanego plonu i jednostkowego pobrania składnika są stosunkowo łatwe do ustalenia, to praktycznie niemożliwa do dokładnego oszacowania jest ilość azotu, jaką rośliny mogą pobrać z gleby. Pojęcie azotu glebowego należy rozumieć szeroko jako ilość składnika ulegającego mineralizacji glebowej substancji organicznej, w tym resztek poźniw-

nych roślin przedplonowych, niewykorzystanego przez przedplon azotu z nawozów mineralnych i azotu z opadu atmosferycznego (7). Tylko część azotu pozostającego w glebie można określić za pomocą testu N_{min} . Wyceny następczego działania azotu z nawozów mineralnych dokonuje się za pomocą tzw. równoważników azotowych. Równoważniki te wyznaczono na podstawie ścisłych doświadczeń polowych, w których plony roślin uzyskane wyłącznie w wyniku działania następczego azotu stosowanego pod przedplon porównywano z plonami roślin otrzymanymi przy zróżnicowanych dawkach azotu pochodzącego z nawozów mineralnych.

Równoważnik azotowy odpowiada ilości azotu w nawozach mineralnych stosowanych bezpośrednio pod roślinę, która równoważy działanie jednego kilograma azotu zastosowanego pod przedplon. Dla przykładu – wartość równoważnika azotowego równa 0,3 oznacza, że działanie 1 kg azotu zastosowanego pod przedplon można zrównoważyć, stosując 0,3 kg azotu bezpośrednio pod roślinę uprawną. Wartości równoważników azotowych stosowanych pod przedplon dla roślin jarych i ozimych, zależnie od ilości opadów w okresie jesienno-zimowym przedstawiono w tabeli 2. Wartości równoważników są wyższe dla roślin ozimych niż jarych, co wynika z dłuższego okresu wegetacji ozimin. Rośliny te zaczynają pobierać azot z gleby wkrótce po zbiorze przedplonu. W okresie jesienno-zimowym część azotu ulega stratom poprzez wymycie poza zasięg systemu korzeniowego roślin jarych, stąd równoważnik azotowy osiąga dla nich niższe wartości.

Tabela 2

Równoważniki azotowe nawozów mineralnych stosowanych pod przedplon

Ilość opadów atmosferycznych od listopada do marca	Równoważnik azotu dla roślin następczych	
	rośliny ozime	rośliny jare
Poniżej normy	0,30	0,25
W normie	0,26	0,17
Powyżej normy	0,20	0,05

Źródło: Jadczyzyn, 2002 (7)

Należy pamiętać, że nawozy azotowe nie są wykorzystywane przez rośliny uprawne w całości. Wynika to częściowo z rozbieżności między terminem stosowania nawozów i tempem nagromadzania składnika przez rośliny, przestrzennym rozmieszczeniem nawozów i systemu korzeniowego, jak również wymywania i immobilizacji azotu w glebie. Z tego względu przy wyznaczaniu optymalnej dawki nawozów azotowych należy uwzględnić współczynnik wykorzystania azotu z nawozów. Jest on uwarunkowany różnymi czynnikami, m.in. fazą rozwojową rośliny, przebiegiem pogody czy ilością wnoszonego w nawozach składnika. Azot z mniejszych dawek wykorzystywany jest z reguły w większym stopniu (5, 20). W uprawie pszenicy ozimej przy stosowaniu kilku małych dawek nawozów azotowych, dostosowanych do tempa nagromadzania azotu i tworzenia biomasy, wartość współczynnika wykorzystania azotu przez rośliny może przekraczać nawet 90% (17).

Wartości współczynników wykorzystania azotu z nawozów przez wybrane gatunki roślin uprawnych przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3

Współczynniki wykorzystania azotu z nawozów mineralnych przez wybrane gatunki roślin

Roślina	Współczynnik	Roślina	Współczynnik
Pszenica ozima	0,70	Burak cukrowy	0,92
Pszenica jara	0,73	Burak pastewny	0,75
Jęczmień jary	0,75	Ziemniak przemysłowy	0,51
Rzepak ozimy	0,55	-	-

Źródło: Jadczyzyn, 2002 (7)

Ważnym źródłem azotu dla roślin są nawozy naturalne, tj. obornik, gnojówka i gnojowica. Azot pochodzący z obornika uwalniany jest stopniowo w procesie mineralizacji substancji organicznej, przy czym dynamika tego procesu zależy w dużej mierze od stosunku węgla do azotu w nawozie oraz warunków glebowo-klimatycznych. Tempo uwalniania azotu z obornika nie jest w pełni zbieżne z fazami największego zapotrzebowania roślin na ten składnik, dlatego część azotu ulega stratom, a część zostaje trwale wbudowana w substancję organiczną gleby. Azot z gnojówki i gnojowicy jest znacznie łatwiej dostępny dla roślin aniżeli azot z obornika, ale narażony jest na duże straty gazowe zarówno podczas przechowywania, jak również w czasie aplikacji. Gnojówka i gnojowica są nawozami szybko działającymi, w znacznym stopniu zbliżonymi pod tym względem do nawozów naturalnych. Azot zawarty w nawozach naturalnych, bezpośrednio dostępny dla roślin, określany jest jako tzw. „azot działający”. Ilość azotu działającego wyznacza się z iloczynu zawartości tego składnika w nawozie i wartości równoważnika nawozowego. Równoważnik nawozowy jest wartością ustaloną eksperymentalnie i odpowiada ilości składnika wnoszonego do gleby w nawozach mineralnych, która wykazuje takie samo działanie nawozowe, jak jeden kilogram składnika w formie całkowitej w nawozach naturalnych. Wartości równoważników nawozowych dla azotu w poszczególnych nawozach naturalnych zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4

Równoważniki nawozowe dla azotu nawozów naturalnych zależnie od terminu aplikacji

Rodzaj nawozu	Równoważnik nawozowy dla azotu	
	wiosna	jesień
Obornik w pierwszym roku po zastosowaniu	0,30	0,30
Gnojówka stosowana wiosną	0,50	0,70
Gnojowica stosowana wiosną	0,50	0,60

Źródło: Maćkowiak, 1994 (10)

Dla przykładu, wartość równoważnika nawozowego dla azotu obornika wynosi 0,30, co oznacza, że 1 kilogram w tym nawozie wykazuje takie samo działanie, jak 0,3 kg azotu w nawozach mineralnych.

Ze względu na opisane wyżej trudności wyznaczania całkowitej dawki azotu na podstawie metody bilansowej w praktyce doradztwo nawozowe oparte jest w dużej mierze na funkcjach produkcji i wyliczaną z nich efektywność nawożenia oraz wspomniane już współczynniki wykorzystania azotu z nawozów. Funkcja produkcji jest to funkcja matematyczna opisująca zależność pomiędzy wielkością lub wartością produkcji i wielkością badanego czynnika produkcji (4, 17). Za kryteria doboru odpowiedniego modelu przyjmuje się m.in. najlepszą zgodność plonów rzeczywistych uzyskanych doświadczalnie z plonami odtworzonymi z równania funkcji.

Zalecane dawki nawozów azotowych w zależności od przewidywanej wielkości plonu, wyznaczone na podstawie funkcji produkcji, zestawiono w tabeli 5.

Tabela 5

Zalecane dawki nawozów mineralnych ($\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) zależnie od prognozowanego plonu

Roślina	Plon	Dawka N	Roślina	Plon	Dawka N
Pszenica ozima	6	100	Ziemniak późny na oborniku (30 t·ha ⁻¹)	30	50
	8	120		35	70
	9	140		40	90
	10	160		45	100
Jęczmień jary	6	80	Ziemniak późny bez obornika	25	65
	7	100		30	85
	8	120		35	105
				40	125
Żyto	4	60	Ziemniak wczesny na oborniku (30 t·ha ⁻¹)	25	40
	6	100		30	50
	8	140		35	60
				40	70
			45	80	
Pszenżyto	6	80	Ziemniak wczesny bez obornika	20	30
	7	100		25	50
	9	120		30	70
	10	140		35	85
Owies	4	40	Burak cukrowy na oborniku (30 t·ha ⁻¹)	40	80
	5	60		50	90
	7	120		60	100
	8	140		70	120
Mieszanki zbożowe na ziarno	4	55	Burak pastewny na oborniku (30 t·ha ⁻¹)	40	80
	5	75		50	100
	7	110		60	120
	8	145		70	150
				80	180

cd. tab. 5

Roślina	Plon	Dawka N	Roślina	Plon	Dawka N
Kukurydza na ziarno	5	80	Koniczyna z trawami	30	40
	7	130		40	60
	9	180		50	80
	10	200			
Kukurydza na zieloną masę	50	140	Owies na zieloną masę	30	50
	60	160		35	60
	80	190		40	70
	100	220			
Rzepak	2,5	100	Żyto na zieloną masę	30	50
	3,5	120		35	60
	4,5	160		40	70
	5	200			
Mieszanki zbożowo-strączkowe na ziarno	2,5	30	Bobik	3	20
	3,5	40		4	20
	4,5	60		5	20
Lucerna z trawami	30	40	Groch	2,5	20
	40	60		3	20
	50	85		3,5	20

Źródło: Jadczyzyn i in., 2013 (8)

Terminy stosowania nawozów azotowych

W grupie roślin ozimych wielkość podstawowej (pierwszej) dawki azotu zależy od czynników glebowych, pogodowych i agrotechnicznych oraz stanu morfologicznego łąnu wczesną wiosną. W uprawie zbóż ozimych należy stosować system trzydawkowy, tak aby pierwsza dawka azotu pokryła zapotrzebowanie roślin w stosunku do azotu do fazy strzelania w źdźbło (stadium pierwszego lub drugiego kolanka). Podział całkowitej zaplanowanej dawki nawozów azotowych na dawki cząstkowe jest szczególnie ważny w przypadku uprawy jakościowych odmian pszenic ozimych. W uprawie tych odmian zaleca się następujący podział:

- przy dawkach do 100 kg N·ha⁻¹: 40–60% w okresie ruszenia wegetacji, resztę w fazie strzelania w źdźbło;
- przy dawkach większych niż 100 kg N·ha⁻¹: 40–50 kg N·ha⁻¹ w okresie ruszenia wegetacji, pozostałe 30–35% w fazie strzelania w źdźbło i 20–25% na krótko przed kłoszeniem lub na początku tej fazy (15).

W regionach o dużej częstotliwości występowania susz zaleca się stosować system dwudawkowy, przy czym pierwsza dawka powinna stanowić około 60–70% całkowitej zaplanowanej dawki nawozów.

Analogicznie należy postępować w przypadku rzepaku oraz zbóż paszowych. Wyznaczona w tym systemie dawka nawozów powinna pokryć potrzeby pokarmowe zbóż do stadium rozwiniętego liścia flagowego, a w przypadku rzepaku do połowy fazy wzrostu wydłużeniowego.

Ustalenie dawki nawozowej azotowej pod zboża jare jest łatwiejsze. Całkowitą dawkę azotu w uprawie tej grupy roślin dzieli się na dwie części, w stosunku 60:40. Pierwszą dawkę należy zastosować przed siewem i dobrze wymieszać z glebą. Druga dawka powinna być aplikowana w okresie od pełni krzewienia do fazy ukazania się liścia flagowego. W przypadku małych dawek, poniżej $70 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, całą dawkę nawozów azotowych należy zastosować przed siewem. Terminy stosowania mineralnych nawozów azotowych z podziałem na dawki cząstkowe pod poszczególne rośliny uprawy polowej zestawiono w tabeli 6.

Tabela 6

Terminy stosowania nawozów azotowych pod wybrane gatunki roślin uprawnych

Roślina	I dawka	II dawka	III dawka
Zboża ozime	przed ruszeniem wegetacji wiosną	faza strzelania w źdźbło	początek kłoszenia
Zboża jare	przedśiewnie	faza strzelania w źdźbło	początek kłoszenia
Kukurydza	przedśiewnie	do wysokości roślin ok. 30 cm	-
Ziemniaki średnio późne i późne	przed sadzeniem	początek wschodów	-
Buraki	przedśiewnie	po przerywce lub w fazie 4-6 liści	-
Rzepak	przed ruszeniem wegetacji wiosną	faza rozety	początek pąkowania
Trawy, motylkowate i ich mieszanki w roku siewu	przedśiewnie	po I pokosie	
Trawy, motylkowate i ich mieszanki w latach pełnego użytkowania	przed ruszeniem wegetacji wiosną	po I pokosie	po II pokosie

Źródło: Jadczyżyn i in., 2013 (8)

Podane w powyższej tabeli dawki nawozów odnoszą się do roślin uprawianych w dobrym stanowisku, w warunkach sprzyjających wysokiej efektywności azotu z nawozów oraz innych źródeł. Poza wyjątkiem ziemniaków i buraków uprawianych na oborniku, nie uwzględniono również stosowania nawozów naturalnych. Zalecane dawki nawozów azotowych można zmniejszyć odpowiednio po zastosowaniu: obornika – o $15 \text{ kg} \cdot \text{N} \cdot \text{ha}^{-1}$, gnojowicy bydłowej – o $17 \text{ kg} \cdot \text{N} \cdot \text{ha}^{-1}$, gnojowicy świńskiej – o $20 \text{ kg} \cdot \text{N} \cdot \text{ha}^{-1}$, gnojówki – o $20 \text{ kg} \cdot \text{N} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Korygowanie pierwszej dawki azotu w oparciu o wyniki testu $N_{\min}$

Test azotu mineralnego, zwany testem $N_{\min}$, pozwala na bezpośrednie dokonanie pomiaru zawartości form $\text{NO}_3 - \text{N}$ i $\text{NH}_4 - \text{N}$ w warstwie gleby, w której rozmieszczona jest główna masa korzeni. Analiza chemiczna dokonywana jest w świeżym materiale glebowym. Podstawowym wymogiem wyznaczania dawki azotu metodą $N_{\min}$ jest oznaczenie jego zawartości wczesną wiosną, tuż przed ruszeniem wegetacji, zaraz po ustąpieniu zmarzliny. Próbkę należy pobrać w terminie zgodnym z zaleceniami laboratorium agrochemicznego, tak aby analiza została wykonana w świeżym materiale, nie dłużej niż 24 godziny po pobraniu próbek gleby. Dla celów doradztwa nawozowego próbki gleby pobiera się do głębokości 60 cm, ponieważ w tych warstwach rozmieszczona jest główna masa korzeni. Wynik testu, wyrażony w $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, odnoszony jest bezpośrednio do potrzeb pokarmowych roślin. W celu uściślenia wielkości pierwszej dawki azotu wykorzystuje się tzw. „przeciętną” zawartość azotu mineralnego w glebie. Przeciętne zawartości azotu mineralnego w glebach w okresie wiosennym, na podstawie których koryguje się wielkość wiosennej dawki nawozów, wyznaczone na podstawie badań monitoringowych w Polsce, zestawiono w tabeli 7.

Tabela 7

Zawartość azotu mineralnego w glebie wczesną wiosną zależnie od kategorii agronomicznej

Kategoria agronomiczna gleby	Zawartość $N_{\min}$				
	bardzo niska	niska	średnia	wysoka	bardzo wysoka
Bardzo lekka	do 30	31-50	51-70	71-90	> 90
Lekka	do 40	41-60	61-80	81-100	> 100
Średnia i ciężka	do 50	51-70	71-90	91-100	> 100

Źródło: Jadczyzyn i in., 2013 (8)

Jeżeli wynik testu $N_{\min}$ wskazuje na wysoką lub bardzo wysoką zawartość azotu mineralnego w profilu gleby do głębokości 60 cm, planowaną dawkę nawozów można zmniejszyć o różnicę pomiędzy zawartością $N_{\min}$ w glebie pobranej z pola i górną granicą zawartości średniej.

W przypadku, kiedy w glebie stwierdzono bardzo niską lub niską zawartość azotu, planowaną dawkę N należy zwiększyć o różnicę pomiędzy dolną granicą zawartości średniej dla danej gleby i oznaczoną zawartością $N_{\min}$.

Planowana dawka azotu nie wymaga korekty, jeżeli wynik testu mieści się w przedziale zawartości średnich dla danej kategorii agronomicznej gleby.

Dobór formy nawozów azotowych

Właściwie dobrana forma nawozu azotowego, dopasowana do terminu jego aplikacji, gwarantuje większą skuteczność jego działania, minimalizuje straty gazowe oraz ogranicza wymywanie azotanów do wód gruntowych.

Nawozy azotowe zawierające azot wyłącznie w formie amonowej, np. siarczan amonowy, są sorbowane w glebie i nie ulegają wymywaniu, stanowiąc źródło azotu dla roślin przez dłuższy czas. Są to typowe nawozy przedsiewne i mogą być stosowane jednorazowo nawet w wyższych dawkach. Ten sposób aplikacji zalecany jest na glebach ciężkich jesienią i wczesną wiosną, gdy procesy nityfikacji przebiegają bardzo powoli lub nie zachodzą w ogóle. W takich warunkach nie ma obawy, że azot amonowy zostanie szybko przekształcony do łatwo wymywanej formy azotanowej. Nawozy amonowe należy natychmiast po zastosowaniu wymieszać z glebą w celu uniknięcia strat azotu na skutek ulatniania się amoniaku. Ponadto wymieszanie z glebą umożliwia umieszczenie nawozu w warstwie gleby, w której będzie rozmieszczona masa korzeni. Nawozy amonowe najbardziej zakwaszają glebę, dlatego nie należy ich stosować pod rośliny wrażliwe na niskie pH, np. jęczmień, burak czy rzepak oraz na glebach lekkich. Stanowią natomiast dobry nawóz pod ziemniaka i kukurydzę, jak również pod żyto, owies, rośliny poplonowe.

Nawozy saletrzone zawierające azot wyłącznie w formie saletrzanej np. saletra wapniowa, są nawozami szybko działającymi, nieulegającymi sorpcji wymiennej w glebie. Należy je stosować wyłącznie pogłównie. Nawozy te nieznacznie odkwaszają glebę, jednak ze względu na wysokie koszty nie są powszechne w praktyce rolniczej.

Najczęściej stosowane są nawozy saletrzano-amonowe, np. saletra amonowa czy saletrzaki. Saletra amonowa jest najpopularniejszym nawozem jednoskładnikowym, łatwo rozpuszczalnym w wodzie, działa szybko, dostarczając roślinom azot w dwóch formach. Forma azotanowa działa szybko, forma amonowa jest zatrzymywana przez kompleks sorpcyjny i udostępniana roślinom w dłuższym okresie po wysiewie, dlatego nawóz ten przeznaczony jest zarówno do stosowania przedsiewnego, jak i pogłównego. Nawozem uniwersalnym jest również saletrzak, szczególnie zalecany na gleby kwaśne i ubogie w magnez oraz w uprawie takich roślin, jak zboża jare, buraki cukrowe oraz pastewne oraz do pogłównego nawożenia na glebach lekkich i zakwaszonych. Przedsiewnie nawozy saletrzano-amonowe należy stosować na krótko przed siewem roślin, natomiast pogłównie – wiosną, pod oziminy i rośliny jare. Saletra amonowa nieznacznie zakwasza glebę, saletrzaki są neutralne dla odczynu gleby.

Mocznik jest nawozem uniwersalnym zawierającym 46% azotu w formie amidowej, która w glebie przechodzi w dostępną dla roślin formę amonową, a następnie azotanową. Dzięki temu azot z mocznika jest udostępniany równomiernie, co zapobiega gromadzeniu azotanów w roślinie bądź stratom przez wymywanie. Mocznik może być stosowany pod wszystkie uprawy zarówno przedsiewnie, jak i pogłównie. Można go stosować również w formie roztworu, do dolistnego dokarmiania roślin. Stosowny pogłównie działa wolniej od saletry amonowej, co warunkowane jest tempem jego hydrolizy w glebie. Nawóz ten zaleca się do stosowania na różnych glebach, z wyjątkiem kwaśnych, silnie zasadowych lub świeżo wapnowanych, w których przemiany mocznika są znacznie ograniczone. Bezpośrednio po zastosowaniu mocznika pH gleby nieznacznie wzrasta, jednak w wyniku dalszych przemian nawozu obniża się. Z tego względu mocznik uznawany jest za nawóz zakwaszający glebę.

Roztwór saletrzano-mocznikowy (RSM) jest wysoko skoncentrowanym nawozem azotowym w formie wodnego roztworu saletrzano-mocznikowego. Zawiera wszystkie dostępne formy azotu (azotanową, amonową, amidową), przez co zapewnia roślinom stały dopływ azotu w czasie wegetacji. Zalecany jest do stosowania zarówno przed-siewnego, jak i pogłównego. Płynna forma nawozu umożliwia równomierne jego rozprowadzenie na powierzchni gleby. RSM wykazuje dużą skuteczność w okresach suszy. Zaleca się stosowanie tego nawozu na wszystkie rodzaje gleb, do nawożenia zbóż, buraków, ziemniaka, kukurydzy.

Podsumowanie

Podstawowym założeniem technologii nawożenia każdej uprawy powinna być duża efektywność działania plonotwórczego azotu. Skuteczność azotu w kształtowaniu wielkości i jakości plonu roślin uprawnych zależy nie tylko od dawki, ale również od czynników produkcyjnych warunkujących efektywne pobieranie składnika z gleby i jego aktywność metaboliczną w roślinie. Azot powinien być stosowany w dawkach dopasowanych do potrzeb pokarmowych roślin, zgodnie z modelem nagromadzania tego składnika oraz tworzenia biomasy, tak aby nie ograniczał ich wzrostu i rozwoju, a w konsekwencji plonowania. Zgodnie z zaleceniami nawozowymi nawozy azotowe powinny być stosowane w systemie dwu- lub trzydawkowym, co gwarantuje lepsze wykorzystanie składnika z nawozów. Ze względów ekonomicznych i środowiskowych, wielkość pierwszej dawki powinna być korygowana na podstawie wyników testu azotu mineralnego N_{min} . Odpowiedni dobór nawozów azotowych pod względem szybkości działania zawartej w nich formy lub form azotu znacznie zwiększa efektywność wykorzystania składnika z nawozów, jednocześnie ograniczając ich negatywny wpływ na środowisko.

Literatura

1. Bowen G., Zapata F.: Efficiency in uptake and use of nitrogen by plants. Invited paper, 1991, IAEA – SM-313/**130**: 394-362.
2. Djockić D., Lomović S.: Uptake and reutilization of nitrogen in reproductive period of wheat. Savremena poljoprivreda, 1990, **38 (3-4)**: 59-64.
3. Fisher R.A.: Irrigated spring wheat and timing and amount of nitrogen fertilizer. II. Physiology of grain yield response. Field Crop Research, 1993, **33**: 57-80.
4. Fotyma E.: Reakcja roślin na nawożenie azotem. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 1988, **93**: 37-60.
5. Fotyma M., Fotyma E.: Parametry modelu optymalizacji dawek azotu pod pszenicę. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 2002, **1(10)**: 83-89.
6. Grzebiś W.: Nawożenie roślin uprawnych. 2. Nawozy i systemy nawożenia. PWRiL, Poznań 2008, ss. 322.
7. Jadczyński T.: System doradztwa nawozowego. W: Chemia rolna. Postawy teoretyczne i praktyczne, S. Mercik (red.). SGGW, Warszawa 2002, s. 251.

8. J a d c z y s z y n T., K o w a l c z y k J., L i p i ń s k i W.: Nawożenie mineralne na gruntach ornych i użytkach zielonych. Puławy, Wyd. IUNG-PIB, Puławy 2013, s. 5-10.
9. L e m a i r e G., G a s t a l P.: N uptake and distribution in plant canopies. In.: *Diagnosis of the nitrogen status in crops*, G. Lemaire (ed.). Springer Verlag, 1997, pp. 3-45.
10. M a ć k o w i a k C.: Zasady stosowania gnojowicy, Zalecenia nawozowe cz. IV, Wydawnictwo IUNG, 1994, s. 21.
11. M i G., T a n g L., Z h a n g F., Z h a n g J.: Is nitrogen uptake after anthesis regulated by sink size? *Field Crop Research*, 2000, **68(3)**: 183-190.
12. N a t r L.: Grain yield formation. *Fragmenta Agronomica*, 1995, **2(46)**: 84-93.
13. P a p a k o s t a D.K., G a g i a n a s A.A.: Nitrogen and dry matter accumulation, remobilization, and losses of Mediterranean wheat during grain filling. *Agron. J.*, 1991, **83**: 864-869.
14. P a u l M.J., F o y e r Ch.H.: Sink regulation of photosynthesis . *J. Exp. Bot.*, 2001, **52(360)**: 1383-1400.
15. P o d o l s k a G.: Zalecenia agrotechniczne. Technologie uprawy roślin. Pszenica ozima. Wyd. IUNG Puławy, 1994, ss. 21.
16. R o b i n s o n D.: The responses of plants to non-uniform supplies of nutrient. *New Phytologists*, 1994, **127**: 635-674
17. R u t k o w s k a A.: Studia nad nawożeniem pszenicy ozimej azotem. Monografia. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 2004, **4(21)**: 45-52.
18. S c h e n k M.K.: Regulation of nitrogen uptake on whole plant level. *Plant Soil*, 1996, **181**: 131-137.
19. W o j c i e s k a U., W o l s k a E., G i z a A.: Wpływ zróżnicowanego zaopatrzenia w azot na wielkość i strukturę plonu oraz możliwość wykorzystania reduktazy azotanowej jako wskaźnika zaopatrzenia roślin pszenicy w azot. *Pamiętnik Puławski*, 1991, **98**: 23-38.
20. W r ó b e l E., S z e m p l i ń s k i W.: Plonowanie i wartość technologiczna ziarna pszenicy ozimej nawożonej zróżnicowanymi dawkami azotu. *Pamiętnik Puławski*, 1999, **118**: 463-470.

Adres do korespondencji:

dr Agnieszka Rutkowska
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. (81) 886 34 21 w. 231
e-mail: agrut@iung.pulawy.pl

Tamara Jadczyżyn

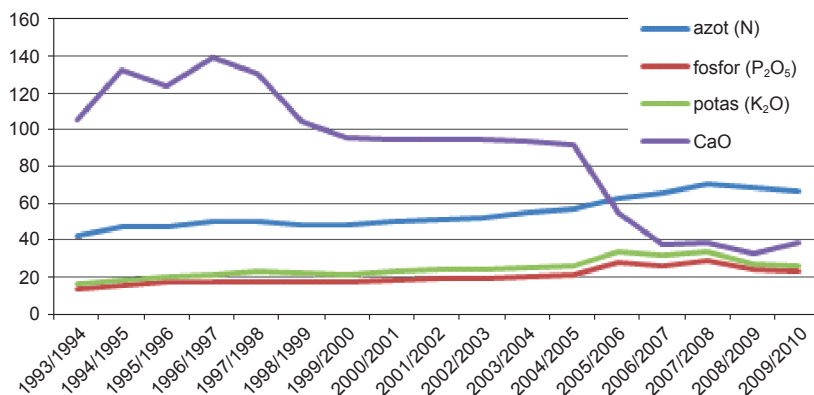
*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

ZRÓWNOWAŻONE GOSPODAROWANIE FOSFOREM I POTASEM W PRODUKCJI ROŚLINNEJ*

Słowa kluczowe: fosfor, potas, nawożenie, zasobność gleb, doradztwo nawozowe

Wstęp

Fosfor i potas są obok azotu są najważniejszymi składnikami plonotwórczymi. Ich rola nie jest doceniana przez producentów rolnych, co potwierdzają znaczne dysproporcje w zużyciu nawozów P i K w stosunku do nawozów azotowych (rys. 1).



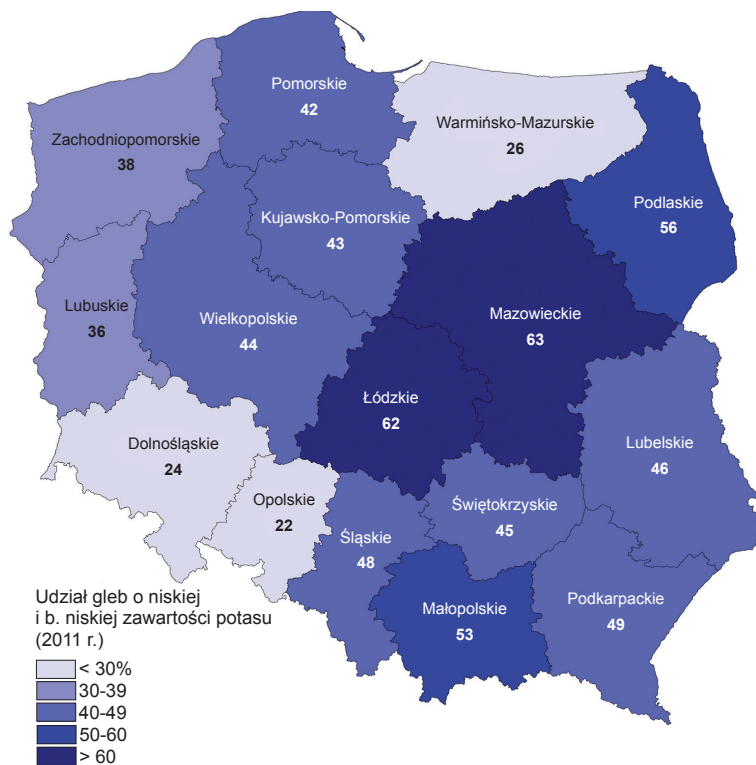
Rys. 1. Zużycie nawozów mineralnych w Polsce (kg·ha⁻¹)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (12)

Wzrost zużycia nawozów fosforowych i potasowych notowany od roku 2000 jest wyraźnie mniejszy niż nawozów azotowych. Wpływa to na dalsze rozszerzenie

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.3 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

niekorzystnego stosunku N:P:K, który jest szczególnie negatywny w odniesieniu do potasu z uwagi na duży udział gleb o niskiej i bardzo niskiej zawartości składnika (rys. 2) oraz niskie i nadal malejące saldo bilansu potasu w Polsce (11).



Rys. 2. Udział gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości potasu

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (12)

W systemie zrównoważonej produkcji roślinnej strategia nawożenia fosforem i potasem polega na zabezpieczeniu potrzeb pokarmowych roślin i utrzymaniu zasobności gleby na poziomie średnim. Fosfor i potas wprowadzone do gleby w nawozach i innych środkach użyźniających, jeśli nie zostaną pobrane przez rośliny, wzbogacają zasoby glebowe i mogą być wykorzystane w kolejnych latach przez rośliny następcze (8). Dzięki zdolności sorpcyjnej gleby nadwyżki składników są zabezpieczone przed wymywaniem (1). Mechanizm sorpcji nie jest do końca wyjaśniony, ale najważniejszymi czynnikami decydującymi o sorpcyjnych właściwościach gleb jest zawartość ilu koloidalnego, związków próchnicznych i kationów metali. Gleba jest układem dynamicznym, w którym następują ciągłe przemiany różnych form składników mineralnych. Z upływem czasu część form aktywnych P i K dostarczonych w nawozach może przechodzić w formy silnie związane niedostępne dla roślin. Naj-

większej efektywności nawożenia można oczekiwać w warunkach średniej zasobności gleb w K_2O , gdy nawozy stosowane są w dawkach odpowiadających potrzebom pokarmowym roślin uprawnych.

Potrzeby pokarmowe roślin i potrzeby nawożenia

System doradztwa nawozowego opracowany w IUNG-PIB i szeroko upowszechniony w praktyce opiera się na koncepcji zrównoważonego gospodarowania, którego celem jest uzyskanie wysokich plonów o dobrej jakości, ale także zwiększanie i zachowanie wysokiego poziomu żyzności gleb. Ważnymi agrochemicznymi wskaźnikami żyzności gleb jest ich zasobność w fosfor i potas. Ze względów środowiskowych (ryzyko przemieszczania składników do wód powierzchniowych i podziemnych) i produkcyjnych (immobilizacja do form niedostępnych dla roślin lub rozpraszanie poza zasięg systemu korzeniowego) akumulacja fosforu i potasu w glebie powyżej zawartości średniej nie jest korzystna. Dlatego celem doradztwa w zakresie nawożenia fosforem i potasem jest zabezpieczenie potrzeb pokarmowych roślin i utrzymanie zawartości składników w glebie na poziomie średnim. O dostępności składników pokarmowych dla roślin w dużym stopniu decyduje odczyn gleby. Dlatego warunkiem racjonalnej gospodarki fosforem i potasem jest regulacja odczynu. Jest to podstawowy element doradztwa nawozowego, który omówiono w innym opracowaniu.

Potrzeby pokarmowe roślin oznaczają ilość składników pobieranych przez rośliny dla wytworzenia określonego plonu. Ilość tę można obliczyć na podstawie przewidywanego plonu oraz tzw. pobrania składników na jednostkę plonu (produktu głównego i ubocznego) danego gatunku rośliny uprawnej. Pobranie składników pokarmowych określono na podstawie wyników analiz chemicznych materiału roślinnego z pól produkcyjnych i doświadczalnych.

W tabeli 1 przedstawiono pobranie poszczególnych składników na wyprodukowanie jednostki produktu głównego i ubocznego oraz pobranie całkowite wyznaczone z uwzględnieniem stosunku plonu głównego i ubocznego poszczególnych gatunków roślin.

Potrzeby pokarmowe roślin na danym polu oblicza się, mnożąc przewidywany plon przez pobranie składnika według tabeli 1. Badania przeprowadzone w IUNG-PIB wskazują (10), że polscy rolnicy często stosują nawożenie w sposób schematyczny nieuwzględniający realnych możliwości plonowania roślin na ich polach. Skutkiem stosowania jednolitych dawek nawozów niezależnie od poziomu plonów w długim okresie czasu są znaczne nadwyżki składników. Realistyczna ocena możliwości plonowania w warunkach gospodarstwa jest zatem ważnym elementem efektywnego stosowania nawozów.

Tabela 1

Pobranie składników mineralnych z plonami roślin uprawnych (kg·dt⁻¹)

Roślina	Plon główny			Plon uboczny			Stosunek plon główny: uboczny	Plon główny i uboczny		
	azot (N)	fosfor (P ₂ O ₃)	potas (K ₂ O)	azot (N)	fosfor (P ₂ O ₃)	potas (K ₂ O)		azot (N)	fosfor (P ₂ O ₃)	potas (K ₂ O)
Zboża										
Pszennica ozima	1,89	0,82	0,52	0,52	0,18	1,20	0,90	2,37	0,99	1,51
Pszennica jara	2,10	0,87	0,55	0,55	0,18	1,28	0,90	2,51	1,03	1,63
Jęczmień ozimy	1,74	0,80	0,58	0,50	0,21	1,39	0,80	2,23	0,99	1,87
Jęczmień jary	1,63	0,80	0,58	0,55	0,23	1,44	0,80	2,10	0,96	1,64
Żyto	1,57	0,78	0,58	0,55	0,21	1,42	1,10	2,16	1,01	2,16
Pszonżyto	1,79	0,82	0,55	0,59	0,23	1,45	1,00	2,41	1,08	2,11
Owies	1,61	0,80	0,56	0,59	0,27	1,88	1,10	2,22	1,08	2,19
Kukurydza	1,55	0,78	0,55	1,29	0,46	2,24	1,00	2,84	1,24	2,79
Mieszanki zbożowe	1,65	0,87	0,61	0,61	0,30	1,63	0,90	2,20	1,15	2,08
Gryka	2,05	0,76	0,78	1,06	0,66	2,30	2,00	4,17	2,08	5,39
Strączkowe										
Bobik	3,98	1,24	1,36	1,34	0,32	2,06	0,90	5,42	1,60	3,64
Grochy	3,43	0,96	1,29	1,68	0,41	2,11	1,00	4,86	1,35	3,24
Łubiny	5,50	1,58	1,55	1,20	0,37	1,85	1,00	6,70	1,95	3,39
Soja	5,40	1,65	2,24	1,00	0,30	1,14	1,00	6,80	1,95	3,38
Mieszanki zbożowo-strączkowe	2,54	0,92	0,95	1,14	0,34	1,87	1,00	3,53	1,24	2,65
Oleiste i przemysłowe										
Rzepak – nasiona	3,36	1,56	1,04	0,69	0,34	2,04	1,50	4,45	2,19	3,99
Len oleisty – nasiona	3,36	1,51	1,00	0,53	0,32	1,44	1,50	4,03	2,02	3,16
Gorzyczka – nasiona	5,00	1,76	0,92	0,70	0,39	2,50	1,50	4,95	2,47	5,32
Słonecznik – nasiona	2,80	1,60	2,39	1,50	0,89	4,98	1,80	6,05	2,34	4,67

cd. tab. 1

Roślina	Plon główny			Plon uboczny			Stosunek plon główny: uboczny	Plon główny i uboczny		
	azot (N)	fosfor (P ₂ O ₃)	potas (K ₂ O)	azot (N)	fosfor (P ₂ O ₃)	potas (K ₂ O)		azot (N)	fosfor (P ₂ O ₃)	potas (K ₂ O)
Korzeniowe										
Wczesny ziemniak	0,30	0,12	0,53	0,21	0,05	0,36	0,20	0,33	1,15	0,58
Ziemniak późny	0,31	0,12	0,58	0,26	0,07	0,41	0,20	0,39	0,14	0,66
Burak cukrowy	0,17	0,09	0,23	0,36	0,09	0,66	0,70	0,40	0,16	0,65
Burak pastewny	0,18	0,09	0,34	0,33	0,09	0,62	0,40	0,33	0,14	0,62
Inne korzeniowe	0,18	0,09	0,25	0,35	0,08	0,73	0,40	0,32	0,12	0,54
Pastewne										
Kukurydza na zielonkę	0,37	0,14	0,46	-	-	-	-	0,37	0,14	0,46
Koniczyna na zielonkę	0,51	1,15	0,53	-	-	-	-	0,51	1,15	0,53
Lucerna na zielonkę	0,61	0,14	0,56	-	-	-	-	0,61	0,14	0,56
Koniczyna z trawami (z.m.)	0,48	0,12	0,56	-	-	-	-	0,48	0,12	0,56
Lucerna z trawami (z.m.)	0,52	0,16	0,59	-	-	-	-	0,52	0,16	0,59
Strączkowo/zbożowe (z.m.)	0,48	0,16	0,65	-	-	-	-	0,48	0,16	0,65
Trawy (z.m.)	0,51	0,14	0,59	-	-	-	-	0,51	0,14	0,59
Owies (z.m.)	0,40	0,14	0,55	-	-	-	-	0,40	0,14	0,55
Żyto (z.m.)	0,41	0,14	0,53	-	-	-	-	0,41	0,14	0,53
Ślonecznik (z.m.)	0,42	0,16	0,52	-	-	-	-	0,42	0,16	0,52
Kapusta pastewna (z.m.)	0,42	0,12	0,60	-	-	-	-	0,42	0,12	0,60
Inne nie motylkowe (z.m.)	0,40	0,14	0,47	-	-	-	-	0,40	0,14	0,47
Inne motylkowe (z.m.)	0,48	0,14	0,47	-	-	-	-	0,48	0,14	0,47
Rzepak (z.m.)	0,45	0,14	0,58	-	-	-	-	0,45	0,14	0,58
Seradela (z.m.)	0,45	0,14	0,47	-	-	-	-	0,45	0,14	0,47

Źródło: Fotyma i in., 2001 (4)

Potrzeby pokarmowe roślin są podstawą do określenia potrzeb nawożenia, a w dalszym etapie – dawek nawozów fosforowych i potasowych. Potrzeby nawożenia są wynikiem modyfikacji potrzeb pokarmowych z uwzględnieniem zawartości składników pokarmowych w glebie. Z przeprowadzonych w IUNG w latach 80. XX w. badań (2, 3) wynika, że określone nadwyżki bilansowe składników będące różnicą pomiędzy wnoszeniem w nawozach i wynoszeniem w produktach roślinnych powodują wzrost zasobności gleby. Nadwyżki składników kumulowane w glebie mogą być wykorzystane przez rośliny następcze (9). Ujemna różnica bilansowa przyczynia się do obniżenia zawartości P i K w glebie. Dla potrzeb doradztwa nawozowego sposób wyznaczania nadwyżki bilansowej został uproszczony w stosunku do pierwotnej koncepcji zaproponowanej przez F o t y m ę i G o s k a (2, 3). Nadwyżkę bilansową wyznacza się przy pomocy współczynnika korekcyjnego, którego wartość wynosi 0,75 lub 0,50 odpowiednio dla gleb o bardzo wysokiej i wysokiej zawartości składników, a dla gleb o zawartości niskiej i bardzo niskiej – odpowiednio 1,25 i 1,50. W praktyce oznacza to, że potrzeby nawożenia są o 25% większe od potrzeb pokarmowych roślin na glebach o niskiej zawartości składnika i o 25% mniejsze na glebach o zawartości wysokiej (7). Dla przykładu potrzeby nawożenia pszenicy ozimej przy założonym plonie $60 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$ na glebie o niskiej zawartości fosforu i wysokiej zawartości potasu wynoszą:

Fosfor: $60 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot 0,985 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{dt}^{-1} \times 1,25 = 74 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{dt}^{-1}$

Potas: $60 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot 1,51 \text{ kg K}_2\text{O} \cdot \text{dt}^{-1} \times 0,75 = 68 \text{ kg K}_2\text{O} \cdot \text{dt}^{-1}$

Na glebach o zawartości średniej fosforu i potasu współczynnik korekcyjny wynosi 1, a to oznacza, że potrzeby nawożenia są równe potrzebom pokarmowym roślin. Wartości współczynników korekcyjnych wskazują na duży wpływ zawartości fosforu i potasu w glebie na potrzeby nawożenia, dlatego rozpoznanie stanu agrochemicznego pól jest warunkiem zrównoważonego gospodarowania składnikami. W Polsce stosowany jest 5-stopniowy system oceny zasobności gleb (tab. 2 i 3), a usługi analityczne świadczą zarówno laboratoria okręgowych stacji chemiczno-rolniczych i inne prywatne laboratoria agrochemiczne. Ocena zasobności gleb jest także narzędziem kontroli poprawności stosowanego w gospodarstwie systemu nawożenia i powinna być wykonywana w odstępach 4–6-letnich. Stwarza wówczas możliwość obserwacji trendów zmian zasobności gleby oraz wprowadzenia odpowiednich korekt w przypadku, gdy zawartość któregośkolwiek składnika niebezpiecznie obniża się lub wchodzi w zakres zawartości bardzo wysokiej.

Rozpoznanie stanu agrochemicznego gleby ma znaczenie nie tylko dla celów planowania nawożenia, lecz jest także najprostszym wskaźnikiem ryzyka, jakie dla środowiska przyrodniczego może stanowić produkcja rolnicza, a raczej jej niezrównoważony sposób prowadzenia. Uświadczenie rolnikom owego ryzyka ma szczególne znaczenie w odniesieniu do fosforu, bowiem analizy wskazują, że niezależnie od znacznego udziału gleb o niskiej i bardzo niskiej zawartości tego składnika, aktualnie w Polsce występuje ok. 40% gleb o zawartości wysokiej i bardzo wysokiej (rys. 3), na których nawożenie fosforem wymaga ograniczenia i szczególnej staranno-

ści. Na glebach o zawartości fosforu przekraczającej $40 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ nie zaleca się stosowania nawozów fosforowych mineralnych ani innych substancji użyźniających zawierających ten składnik.

Tabela 2

Ocena zawartości fosforu oznaczonego metoda Egnera-Riehma ($\text{mg P}_2\text{O}_5$ w 100 g gleby) w glebach mineralnych i węglanowych

Gleby	Zawartość w glebie				
	bardzo niska	niska	średnia	wysoka	bardzo wysoka
Mineralne	do 5,0	5,1-10,0	10,1-15,0	15,1-20,0	od 20,1
Węglanowe	do 5,0	5,1-10,0	10,1-20,0	20,1-40,0	od 40,1

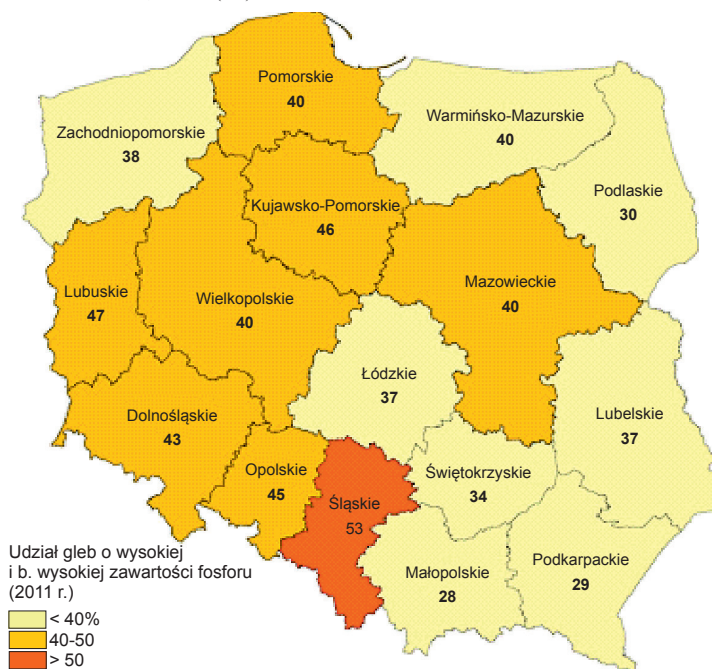
Źródło: Zalecenia nawozowe, 1990 (13)

Tabela 3

Ocena zawartości potasu oznaczonego metodą Egnera-Riehma ($\text{mg K}_2\text{O}$ w 100 g gleby) w glebach mineralnych

Kategoria agronomiczna gleby	Zawartość w glebie				
	bardzo niska	niska	średnia	wysoka	bardzo wysoka
Bardzo lekkie	do 2,5	2,6-7,5	7,6-12,5	12,6-17,5	od 17,6
Lekkie	do 5,0	5,1-10,0	10,1-15,0	15,1-20,0	od 20,1
Średnie	do 7,5	7,6-12,5	12,6-20,0	20,1-25,0	od 25,1
Ciężkie	do 10,0	10,1-15,0	15,1-25,0	25,1-30,0	od 30,1

Źródło: Zalecenia nawozowe, 1990 (13)



Rys. 3. Udział gleb o wysokiej i bardzo wysokiej zawartości przyswajalnego fosforu

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (12)

Wyznaczanie dawek nawozów fosforowych i potasowych

Dopływ do gleby składników ze źródeł zewnętrznych powinien równoważyć potrzeby nawożenia na danym polu. Źródłami składników mogą być nawozy mineralne i organiczne (w tym naturalne), a także przyorywane produkty uboczne roślin uprawnych.

W przypadku stosowania nawozów organicznych pochodzących z zakupu ilość wnoszonych składników pokarmowych określa się na podstawie informacji producenta o składzie chemicznym nawozu.

Najtrudniejszym elementem w planowaniu nawożenia jest określenie ilości składników z nawozów naturalnych. Dopływ składników z tego źródła można określić precyzyjnie na podstawie wyników analiz składu chemicznego nawozów. Ponieważ jednak są one wykonywane rzadko, praktycznie w tym celu wykorzystuje się standardowe zawartości fosforu i potasu w nawozach naturalnych (tab. 4). Podstawowym kryterium rozdysponowania nawozów naturalnych na poszczególne pola w gospodarstwie jest zawartość azotu. Dla potrzeb bilansowania fosforu i potasu ilości składników z tego źródła określa się na podstawie dawki nawozu (wyznaczonej ze względu na azot) oraz stężenia P i K w danym nawozie.

Tabela 4

Zawartość składników mineralnych w nawozach naturalnych

Rodzaj nawozu	Zawartość w masie nawozu (%)		
	azot (N)	fosfor (P_2O_5)	potas (K_2O)
Gnojowica bydlęca gęsta	0,36	0,20	0,40
Gnojowica bydlęca średnia	0,25	0,12	0,30
Gnojowica bydlęca rzadka	0,19	0,05	0,20
Gnojowica świńska gęsta	0,44	0,30	0,30
Gnojowica świńska średnia	0,35	0,20	0,30
Gnojowica świńska rzadka	0,25	0,10	0,20
Gnojówka bydlęca dobra	0,45	0,00	0,70
Gnojówka bydlęca średnia	0,30	0,00	0,50
Gnojówka bydlęca słaba	0,10	-	0,20
Gnojówka świńska dobra	0,35	0,00	0,30
Gnojówka świńska średnia	0,30	0,00	0,20
Gnojówka świńska słaba	0,06	-	0,15
Obornik bydlęcy	0,45	0,28	0,50
Obornik koński	0,58	0,28	0,50
Obornik mieszany	0,50	0,30	0,50
Obornik owczy	0,45	0,30	0,70
Obornik świński	0,45	0,30	0,60

Źródło: dane IUNG

Zawartość składników w nawozach naturalnych można także oszacować według modelu SFOM (6) opracowanego i oprogramowanego w IUNG-PIB. Model ten jest elementem systemu doradztwa nawozowego NawSald (8), a także niezależnym kalkulatorem nawozów naturalnych (5).

Ilość fosforu i potasu w przyoranych produktach ubocznych można obliczyć na podstawie uzyskanego plonu i pobrania składników na jednostkę plonu ubocznego według tabeli 1.

Dawkę nawozów fosforowych i potasowych mineralnych wyznacza się jako różnicę pomiędzy potrzebami nawożenia oraz dopływem składników w produktach ubocznych oraz nawozach organicznych, w tym naturalnych według następującego wzoru ogólnego:

$$\text{Dawka} = \text{plon} \times \text{pobranie jednostkowe} \times \text{współczynnik korekcyjny} - \text{plon uboczny} \times \text{pobranie jednostkowe} - \text{dawka nawozu naturalnego/organicznego} \times \text{zawartość składnika}$$

Podsumowanie

Poprawne gospodarowanie fosforem i potasem ma ogromne znaczenie plonotwórcze i środowiskowe. Najważniejszymi elementami gospodarki tymi składnikami są potrzeby nawożenia roślin i zasobność gleb oraz dopływ fosforu i potasu z nawozów organicznych i mineralnych. Zrównoważone nawożenie wymaga precyzyjnego oszacowania wszystkich wymienionych elementów, co nie dla wszystkich rolników jest zadaniem łatwym. W celu wsparcia działań związanych z planowaniem nawożenia w opracowaniu przedstawiono odpowiednie wskaźniki, które mogą być wykorzystane w procesie planowania nawożenia oraz przygotowane do tego celu narzędzia, takie jak kalkulatory dostępne on-line na stronie internetowej IUNG-PIB oraz program doradztwa nawozowego NawSald.

Piśmiennictwo

1. Brogowski Z., Kwasowski W.: Sorpcja fosforanów przez część mineralną i organiczną gleby. *Rocz. Glebozn.* 2009, **LX(1)**: 12-21.
2. Fotyła M., Gosek S.: Elementy bilansu fosforu jako podstawa nawożenia tym składnikiem. *Rocz. Glebozn.* 1986, **XXXVII(1)**: 175-190.
3. Fotyła M., Gosek S.: Elementy bilansu potasu jako podstawa nawożenia tym składnikiem. *Rocz. Glebozn.* 1986, **XXXVII(1)**: 191-202.
4. Fotyła M., Jadczyżsyn T., Pietruch C.: A decision Support System for sustainable nutrient management on farm level: MACROBIL. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizer and Fertilization*, 2001, **2(7)**: 7-26.
5. <http://iung.pulawy.pl/naturalne/nawozynaturalne.php>

6. Jadczyszyn T., Maćkowiak C., Kopiński J.: Model SFOM narzędziem symulacji ilości i jakości nawozów organicznych wytwarzanych w gospodarstwie. *Pam. Puł.*, 2000, **120/1**: 169-175.
 7. Jadczyszyn T.: Sporządzanie planu nawożenia z uwzględnieniem wyników badań gleby. *Raporty PIB*, Puławy, 2006, **1**: 37-43.
 8. Jadczyszyn T.: Planowanie nawożenia w gospodarstwie z wykorzystaniem programu NawSald. *Studia i raporty IUNG-PIB*, 2009, **16**: 9-18.
 9. Kęsik K., Fotyma M.: Działanie następce nawozów fosforowych. *IUNG Puławy*, 1991, *Seria S (74)*, ss. 57.
 10. Kęsik K., Zarychta M.: Zalecenia i praktyka w nawożeniu. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2013, **34(8)**: 173-191.
 11. Kopiński J., Ochala P.: Gospodarowanie potasem w warunkach zróżnicowanej zasobności gleb. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2013, **34(8)**: 75-90.
 12. Ochrona środowiska 2012. *GUS Warszawa* 2012, ss. 546.
 13. Zalecenia nawozowe. Cz. I. Liczby graniczne do wyceny zawartości w glebach makro- i mikroelementów. *Puławy* 1990, *Seria P (44)*: 26.
-

Adres do korespondencji:

dr Tamara Jadczyszyn
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. (81) 886 34 21 w. 298
e-mail: tj@iung.pulawy.pl

Dorota Pikula

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

RACJONALNE GOSPODAROWANIE NAWOZAMI NATURALNYMI I ORGANICZNYMI*

Słowa kluczowe: nawożenie naturalne, nawożenie organiczne, ustawa o nawozach i nawożeniu, równoważniki nawozowe, azot działający

Wstęp

W ostatnich latach produkcja roślinna koncentrowała się głównie na sterowaniu wielkością i jakością plonu poprzez stosowanie nawozów mineralnych. Spowodowało to z jednej strony zwiększenie plonowania roślin, a z drugiej, wskutek zaniechania nawożenia naturalnego i organicznego, znaczny spadek zawartości materii organicznej w glebach (3, 4, 16). Obecnie, z uwagi na potrzebę odnawiania zasobów próchnicy w glebie, jak i rosnących cen nawozów azotowych, wraca zainteresowanie nawozami naturalnymi i organicznymi jako źródłami materii organicznej i składników pokarmowych. W Polsce w ciągu roku wytwarzane jest około 160 mln. ton nawozów naturalnych i odpadów organicznych. W tym udział odchodów z produkcji zwierzęcej stanowi około 70% ogólnej masy, a udział odpadów z produkcji zbóż, ziemniaków, warzyw i owoców około 21%. Odpady bytowe stanowią 3,6%, osady ściekowe około 2%, a odpady organiczne z pozostałych źródeł to około 3,4%. Liczba funkcjonujących obecnie ferm wielkoprzemysłowych wynosi 752 (Ministerstwo Środowiska, wrzesień 2010), w tym 146 ferm trzody chlewnej.

Nawozy naturalne

Zgodnie z ustawą o nawozach i nawożeniu z dnia 10 lipca 2007 roku (Dz.U. nr 147, poz. 1033) do nawozów naturalnych zalicza się obornik, gnojówkę i gnojowicę. Według szacunków IUNG-PIB w Polsce w przeliczeniu na hektar użytków

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.3 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

rolnych najwięcej obornika produkuje się na Podlasiu i w Wielkopolsce (8). Natomiast najmniej tego nawozu wytwarza się na Dolnym Śląsku oraz w województwie zachodniopomorskim i lubuskim. W produkcji gnojówki i gnojowicy przodują zaś: Wielkopolska, Podlasie i Mazowsze. Większość nawozów naturalnych zużywa się w pobliżu miejsca ich wytwarzania. Największe ilości składników pokarmowych w nawozach naturalnych, dochodzące do ok. 125 kg NPK·ha⁻¹ UR, zużywa się w województwach podlaskim i wielkopolskim (8).

OBORNIK. Spośród nawozów naturalnych ma największe znaczenie ze względu na korzystne oddziaływanie na właściwości chemiczne i fizyczne gleby. Skład chemiczny obornika podobnie jak innych nawozów naturalnych zależy od gatunku, żywienia i wieku zwierząt, sposobu ich żywienia i kierunku użytkowania, a także od warunków przechowywania nawozu (10). Dlatego przed zastosowaniem obornika na polu zaleca się wykonać analizę jego składu chemicznego w celu oszacowania wartości nawozowej. Wykonanie analizy pozwala dokładnie określić ilości składników pokarmowych wniesionych do gleby z daną dawką obornika oraz ocenić, czy wprowadzone ilości nie przekraczają norm i są bezpieczne dla środowiska. Obornik ze względu na dużą zawartość substancji organicznej korzystnie wpływa na zwiększenie zapasów próchnicy w glebie, a dla roślin jest bogatym źródłem makro- i mikroelementów (10). Oczywiście jest to, że obornik ze względu na wolniejsze działanie nie może zastąpić szybko działających nawozów mineralnych, ale na pewno jest najtańszym źródłem składników pokarmowych. Z 1 toną przyoranego obornika gleba zostaje wzbogacona przeciętnie o 5 kg azotu (N), 3 kg fosforu (P₂O₅) i 7 kg potasu (K₂O).

Wartość produkcyjną nawozów naturalnych ocenia się na podstawie efektów uzyskanych w roku ich zastosowania i w latach następnych. Działanie to zależy od szybkości mineralizacji substancji organicznej wprowadzonej do gleby z określoną dawką obornika. Szybkość rozkładu obornika w glebie ma zasadniczy wpływ na ilość uwalnianych składników pokarmowych ze związków organicznych i ich pobieraniu przez rośliny. Obornik szybciej mineralizuje się w glebach lekkich, bo proces ten trwa do 2 lat, a w cięższych do 3–4 lat (10). Biorąc pod uwagę przeciętne warunki glebowo-klimatyczne Polski, w pierwszym roku po zastosowaniu obornika wykorzystanie N wynosi 30%, P – 40%, a K – 80%. Systematycznie stosowany obornik pozwala utrzymać optymalny poziom próchnicy w warstwie ornej gleby. Poza tym, regularnie przyorowany obornik pozwala także znacznie wzbogacić glebę w mikroelementy. Szczególnie wrażliwe na ich brak są: kukurydza i pszenica (cynk), rzepak i buraki cukrowe (bor), oraz zboża (mangan i miedź).

GNOJOWICA. Powstaje ze zmieszania moczu, kału i wody, którą splukuje się stanowiska w bezściółowym chowie zwierząt. Jej skład zmienia się w zależności od gatunku i żywienia zwierząt, a także stopnia rozcieńczenia wodą. Przeciętnie z 1 m³ gnojowicy wnosi się do gleby do 4 kg azotu (N), 3 kg fosforu (P₂O₅), 4 kg potasu (K₂O) oraz 3 kg wapnia (CaO) i 1 kg magnezu (MgO). Gnojowica oprócz makroelementów, jest także źródłem mikroelementów oraz materii organicznej (1, 10). Przeciętnie z 1 toną suchej masy gnojowicy do gleby wnosi się 0,28 t·ha⁻¹ materii organicznej.

GNOJÓWKA. Jest to przefermentowany moczu zwierząt z niewielką domieszką kału, zbierany z pomieszczeń inwentarskich, w których stosuje się tzw. system płytkiej ściółki. Nawóz ten zawiera do 0,3% azotu (N) i 0,7% potasu (K_2O) oraz znikomą ilość fosforu (P_2O_5) (10). To znaczy, że 1 m³ gnojówki wzbogaca glebę o 3 kg azotu (N) i 7 kg potasu (K_2O). Gnojówka to praktycznie nawóz potasowo-azotowy, którego skład procentowy składników pokarmowych uzależniony jest od gatunku zwierząt. Gnojówka bydłęca jest np. zasobniejsza w potas w porównaniu do gnojówki trzody chlewnej. Ze względu na dużą zmienność składu chemicznego gnojowicy, jak i gnojówki wskazane jest przed każdorazowym wylaniem tych nawozów na pole pobrać próbki i oznaczyć zawartość podstawowych składników pokarmowych, oraz suchej masy w przypadku gnojowicy, co pozwala precyzyjnie oszacować wielkość optymalnej dawki oraz ilość składników pokarmowych wniesionych do gleby z tymi nawozami. Jest to niezbędne także do wykonania korekty dawek nawozów mineralnych.

Dla racjonalnego zagospodarowania nawozów naturalnych bardzo ważne jest precyzyjne oszacowanie ilości produkowanych w danym gospodarstwie odchodów (12). Ilość ta zależy przede wszystkim od wielkości i struktury stada podstawowego, ale i od kierunku użytkowania zwierząt oraz intensywności żywienia (tuczu). Do wyliczenia produkcji nawozów naturalnych wykorzystuje się m.in. wskaźniki według Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 r. w sprawie szczegółowych warunków i trybu udzielania pomocy finansowej na dostosowanie gospodarstw rolnych do standardów UE objętej planem rozwoju obszarów wiejskich (Dz.U. nr 17, poz. 142) (14). Wyżej cytowany akt prawny podaje m.in. wskaźniki dla trzody chlewnej, bydła, koni, owiec, kur, gęsi, indyków i brojlerów dla stanów średniorocznych w poszczególnych systemach utrzymania zwierząt (tab. 1).

Tabela 1

Wskaźniki do obliczania ilości wytwarzanych nawozów naturalnych dla trzody chlewnej

Rodzaj zwierząt (sztuki średnioroczne)	System utrzymania			
	głęboka ściółka	płytki ściółka		bezściółkowo
	obornik (t·ha·rok ⁻¹)*	obornik (t·ha·rok ⁻¹)*	gnojówka (m ³ ·rok ⁻¹)*	gnojowica (m ³ ·rok ⁻¹)*
Knury	6,5	3,2	2,9	4,6
Maciory	7,0	3,7	3,6	4,6
Warchlaki od 2 do 4 miesięcy	2,5	0,1	1,1	1,7
Prosięta do 2 miesięcy życia	1,2	0,2	0,9	0,5
Tuczniaki	4,5	2,5	2,2	3,5

* produkcja nawozu od jednej sztuki średniorocznej poszczególnych rodzajów zwierząt

Źródło: Rozporządzenie RM (14)

Przechowywanie i stosowanie

Odchody zwierząt inwentarskich zawierają przeważnie kilkanaście procent materii organicznej, w której zawartość C_{org} oscyluje w granicach 40%, a azotu ogólnego wynosi około 5%. Niektóre substancje i składniki zawarte w nawozach naturalnych, takie jak masa organiczna (CO_2), azot (NH_3) oraz siarka (siarkowodór), są podatne na straty (4,13). Wielkość strat uzależniona jest od warunków przechowywania nawozów naturalnych. W przyzmach obornika, prowadzonych w sposób tlenowy strata masy organicznej i azotu często przekracza 50%. Straty azotu z przechowywanej w zbiornikach gnojowicy również mogą sięgać 50%. Łatwemu wymywaniu z przyzmy, niezależnie od systemu przechowywania obornika, ulegają potas i sód; pozostałe składniki pokarmowe nie ulegają wymyciu (4).

Straty składników pokarmowych z nawozów naturalnych są niekorzystne z punktu widzenia rolnika, który będzie musiał uzupełnić je nawozami mineralnymi, co zwiększy koszty produkcji, ale również stanowią poważny problem środowiskowy (4), bowiem przyczyniają się do eutrofizacji zbiorników wodnych i zanieczyszczenia azotanami wód podziemnych. Przechowywanie i stosowanie nawozów naturalnych jest regulowane przepisami unijnymi i krajowymi (Dyrektywa Azotanowa i ustawa o nawozach i nawożeniu z dnia 10 lipca 2007 roku (Dz.U. nr 147, poz. 1033) (2,17). Przepisy te obligują do stosowania i zagospodarowania odchodów w sposób, który nie zagraża środowisku naturalnemu. Nawozy stałe należy przechowywać w pomieszczeniach inwentarskich lub na nieprzepuszczalnych płytach wyposażonych w specjalną instalację zabezpieczającą przed wyciekami do gruntu. Rodzaj i wymagana pojemność tych obiektów uzależnione są od systemu utrzymania zwierząt, ilości produkowanych odchodów i są regulowane odrębnymi przepisami programów środowiskowych wynikającymi z zobowiązań lub uczestnictwa gospodarstwa w programach finansowanych ze środków unijnych. Nawozy naturalne w postaci płynnej należy przechowywać wyłącznie w szczelnych zbiornikach o pojemności umożliwiającej gromadzenie co najmniej 4-miesięcznej produkcji tych nawozów.

W przypadku gospodarstw położonych na obszarach szczególnie narażonych na zanieczyszczenia azotem ze źródeł rolniczych (OSN) wielkość płyty gnojowej oraz pojemność zbiorników na gnojówkę i gnojowicę powinny umożliwiać gromadzenie i przechowywanie tych nawozów przez co najmniej 6 miesięcy. Od 1 stycznia 2011 r. zbiorniki na gnojówkę i gnojowicę są obligatoryjne dla wszystkich gospodarstw rolnych.

Nawozy naturalne w postaci stałej lub płynnej stosuje się wyłącznie w okresie o 1 marca do 30 listopada, z wyjątkiem nawozów stosowanych pod uprawy pod osłonami. Ilość azotu wnoszona na hektar w nawozach naturalnych ograniczona jest do 170 kg rocznie. Zgodnie z artykułem 13 ustawy o nawozach i nawożeniu (17) nie można stosować nawozów naturalnych na glebach zalanych wodą oraz pokrytych śniegiem lub zamarzniętych do głębokości 30 cm; natomiast w postaci płynnej – na

glebach bez okrywy roślinnej, położonych na stokach o nachyleniu większym niż 10% oraz podczas wegetacji roślin przeznaczonych do bezpośredniego spożycia.

Nawozy naturalne zaleca się stosować przede wszystkim pod rośliny o długim okresie wegetacji, które najlepiej wykorzystują składniki pokarmowe zawarte w tych nawozach, w tym szczególnie azot. Dawki nawozów naturalnych należy ustalać według zawartości w nich azotu działającego. Azot działający wykazuje takie samo działanie nawozowe jak azot z nawozów mineralnych. Przy przeliczaniu azotu całkowitego nawozów naturalnych na azot działający należy posługiwać się wzorem :

$$\text{AZOT DZIAŁAJĄCY} = \text{AZOT CAŁKOWITY} \times \text{RÓWNOWAŻNIK NAWOZOWY}.$$

Równoważnik nawozowy obornika wynosi 0,3 (przy wiosennym i jesiennym stosowaniu), dla gnojowicy i gnojówki wynosi 0,7 przy wiosennym stosowaniu i 0,5 przy jesiennym stosowaniu (9). Obornik można stosować corocznie na glebach z niską zawartością próchnicy, a tradycyjnie zaleca się przyorywać ten nawóz raz na 3–4 lata, w terminie jesiennym. Obornik jest szczególnie polecany pod rośliny o długim okresie wegetacji, a więc pod kukurydzę, ziemniaka i buraka cukrowego. Rośliny te najlepiej wykorzystują składniki pokarmowe z tego nawozu, głównie azot i potas. Pod ziemniaka stosuje się przeciętnie 20–30 t·ha⁻¹ obornika, pod buraki 35 t·ha⁻¹, a pod kukurydzę 25–30 t·ha⁻¹. W dawce 30 t·ha⁻¹ obornika wprowadza się do gleby co najmniej 140 kg azotu, co odpowiada 42 kg N działającego, 84 kg fosforu, 195 kg potasu oraz 130 kg wapnia i 45 kg magnezu. Rośliny uprawiane w pierwszym roku po zastosowaniu obornika będą mogły wykorzystać maksymalnie 30% wprowadzonego do gleby z tym nawozem azotu, 40% fosforu i 80% potasu.

W praktyce coraz częściej obornik wykorzystywany jest do nawożenia użytków zielonych, co wpływa korzystnie, w krótkim okresie na poprawę składu botanicznego runi i poprawia jakość zbieranej paszy. Obornik stosowany na użytkach zielonych powinien być jednak dobrze przefermentowany, gdyż obornik słomiasty trudno ulega rozkładowi. Przy ustalaniu dawki obornika na użytki zielone należy uwzględnić zawartość azotu i potasu, gdyż przenawożenie tymi składnikami może pogarszać jakość i skład botaniczny runi. Optymalna dawka obornika na użytki zielone nie powinna przekraczać 20 t·ha⁻¹.

Obecnie największy udział w strukturze zasiewów mają zboża; wynosi on w skali kraju 75%, a w niektórych województwach osiąga nawet 80%, co skutkuje zmniejszeniem ilości resztek roślinnych pozostawianych w glebie po zbiorach, stanowiących istotne źródło próchnicy w glebie (15). Z tego względu, szczególnie w uprawach monokultur zbożowych, zaleca się stosować obornik. Jednorazowa dawka obornika powinna oscylować w granicach 20 t·ha⁻¹.

W celu ograniczenia do minimum strat azotu z obornika nawóz ten zaleca się stosować w bezwietrzne i pochmurne dni, a po rozrzuceniu na polu szybko przyorać na głębokość ok. 15 cm na glebach cięższych, a na lekkich – głębiej, w celu zwiększenia tempa jego rozkładu w wilgotniejszej warstwie gleby. W praktyce termin przyorowywania obornika często zbiega się z zabiegiem wapnowania. Należy jednak

pamiętać, by nie łączyć wapnowania z przyorywaniem obornika, bo w ten sposób azot z obornika ulega stracie. Najlepszym terminem aplikacji obornika jest jesień. W okresie wiosennym nawóz ten można stosować, ale w mniejszych niż zalecane dawkach, gdyż nie rozłożony może utrudniać kiełkowanie roślin.

Gnojowica i gnojówka są to nawozy polecane szczególnie do aplikacji wiosennej, na nieobsianą glebę (9 i 12). Ich działanie nawozowe jest dużo szybsze w porównaniu do działania obornika, ponieważ większość substancji nawozowych znajduje się w formie mineralnej (tab. 2) (1). Azot z tych nawozów jest lepiej wykorzystywany niż z obornika. Jednak należy liczyć się z tym, że podczas stosowania gnojówki i gnojowicy dochodzi do strat azotu. Z tego względu nawozy te należy stosować w bezwietrzne dni, bezpośrednio do gleby, za pomocą węży rozlewowych połączonych z zębami kultywatora, a następnie szybko przykryć glebę. Przy jesiennym wylewaniu gnojówki na pole azot jest wykorzystywany przez rośliny w 50%. Fosfor i potas w gnojowicy są tak samo dostępne dla roślin, jak z nawozów mineralnych (9). Tak też jest w przypadku potasu z gnojówki. W związku z tym te składniki pokarmowe w całości odejmujemy od planowanej dawki nawozów mineralnych stosowanych pod uprawę roślin. Zawartość podstawowych składników mineralnych w gnojowicy (w $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) w zależności od jej gęstości przedstawia tabela poniżej.

Tabela 2

Zawartość podstawowych składników mineralnych w gnojowicy ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) w zależności od jej gęstości

Rodzaj gnojowicy	Gęstość gnojowicy (zawartość procentowa suchej masy)	Azot ogólny	Fosfor (P_2O_5)	Potas (K_2O)
Bydlęca	gęsta (10%)	4,0	2,0	5,0
	rzadka (6%)	3,0	1,2	3,5
	rozcieńczona (2%)	1,5	0,6	2,0
Trzody chlewnej	gęsta (6%)	5,0	3,0	3,0
	rzadka (4%)	4,0	2,0	2,5
	rozcieńczona (2%)	3,0	1,0	2,0

Źródło: Chambers i in., 2001 (1)

Gnojówką można nawozić buraka cukrowego, ziemniaka, kukurydzę oraz zboża, najlepiej przedsięwnie, bez rozcieńczenia. Jednorazowo można wprowadzić do gleby $15\text{--}20 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ tego nawozu. Gnojówkę zaleca się też rozlewać jesienią na przyorywaną słomę oraz pod oziminy. Przy ustalaniu dawki gnojówki należy brać pod uwagę przede wszystkim zawartość potasu i pamiętać o konieczności dodatkowego nawożenia roślin mineralnym fosforem, co najmniej w ilości $60 \text{ kg } \text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$, w czystym składniku (7). Planując nawożenie gnojowicą, należy uwzględnić optymalny udział azotu dopuszczalny dla określonych gatunków roślin, wyznaczony na podstawie wieloletnich doświadczeń polowych. Pod rośliny okopowe, kukurydzę, owoce, jęczmień jary i poplony ścierniskowe cała zalecana dawka azotu może być zastosowana w gnojowicy. Pod zboża ozime azot z gnojowicy może stanowić jedynie

50% wielkości zalecanej dawki, a pod rzepak ozimy tylko 25%. Na stanowiskach, na których regularnie stosuje się gnojowicę i gnojówkę można zrezygnować z nawożenia azotem mineralnym, gdyż gleba jest zasobna w azot. Nawozy mineralne powinny uzupełniać jedynie niewystarczające ilości składników pokarmowych wnoszonych z gnojowicą czy gnojówką, na zasadzie bilansu składników z uwzględnieniem potrzeb pokarmowych roślin oraz faz największego zapotrzebowania na azot. Stosując jesienią płynne nawozy naturalne, należy pamiętać, aby nie przekraczać wielkości ich zalecanych dawek. Przekroczenie norm skutkuje bujnym rozwojem ozimin, co w konsekwencji obniża ich mrozoodporność. Nadmiar gnojowicy może też ograniczać namnażanie się dżdżownic w glebie.

Nawozy organiczne

Nawozy organiczne zgodnie z ustawą o nawozach i nawożeniu z dnia 10 lipca 2007 r. definiowane są jako nawozy wyprodukowane z substancji organicznej lub mieszanin substancji organicznych, w tym komposty, także wyprodukowane przy udziale dżdżownic (17). Oprócz nawozów organicznych będących w obrocie rynkowym ważnym źródłem materii organicznej są resztki poźniwne, produkty uboczne produkcji roślinnej pozostawione na polu, nawozy zielone, komposty produkowane z naturalnych produktów odpadowych w gospodarstwie rolnym (torfowo-obornikowy, torfowo-gnojówkowy, trocinowy), organiczne odpady pochodzące z przetwórstwa płodów rolnych oraz osady ściekowe i komposty pochodzenia nierolniczego (3,4). Próchnicotwórcza wartość nawozów organicznych, jak i naturalnych jest zróżnicowana (tab. 3). W zależności od zawartości w nich C i N stosunek obu pierwiastków do siebie wpływa na przemiany azotu mineralnego w glebie. Jeśli stosunek C:N wynosi od 33,3:1 następuje trwałe unieruchomienie azotu mineralnego w glebie. Z przejściowym unieruchomieniem azotu mamy do czynienia, gdy stosunek ten wynosi 22,33:1, natomiast niższy od 22,2 stosunek C:N zapewnia mineralizację azotu organicznego. Podstawą racjonalnej gospodarki składnikami pokarmowymi z wykorzystaniem nawozów organicznych jest określenie zawartości C i N, stosunku C:N, zawartości składników mineralnych ogółem i zawartości składników labilnych.

Tabela 3

Zawartość $C_{org.}$ oraz wartość próchnicotwórcza nawozów naturalnych i organicznych
(% s.m.)

Nawóz	Zawartość $C_{org.}$	Próchnica w kg z 10 ton s.m.	Stosunek C:N
Obornik mieszany	35,8	2370	16,7
Gnojowica mieszana	36,9	1870	7,4
Słoma zbóż	42,4	1462	75,7
Kompost gospodarski	27,0	1862	17,4

Źródło: zestawiał Mazur wg różnych autorów

W celu zapobiegania unieruchomieniu azotu w glebie należy określić nie tylko aktualną zawartość azotu, ale i również nawozowe potrzeby kompensacji stanu niedoboru tego pierwiastka w nawozie. W celu obliczenia dawki kompensującej azotu należy posłużyć się następującym wzorem:

$$D_{kn} = P_{no} \cdot (12 - N_{no}),$$

gdzie:

D_{kn} – dawka kompensująca azotu ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$),

P_{no} – masa nawozu organicznego ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$),

N_{no} – aktualna zawartość azotu w nawozie ($\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$).

W zrównoważonej gospodarce glebową materią organiczną duże znaczenie odgrywają resztki poźniwne i słoma. Do resztek poźniwnych zalicza się ściern, korzenie, opadłe liście, plewy, łuszczyzny i strąki. Według różnych źródeł udział resztek poźniwnych w masie organicznej wytworzonej przez roślinę waha się od poniżej 10% (ziemniak) do 20–25% (zboża, rzepak) (tab. 4) (4). Masę resztek poźniwnych i korzeniowych głównych roślin uprawnych przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4

Masa resztek poźniwnych głównych roślin uprawnych ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)

Rośliny uprawne	Resztki poźniwne i korzeniowe
Pszenica ozima	3,0-4,0
Żyto ozime	4,0-5,0
Jęczmień jary	2,5-3,0
Kukurydza na ziarno	10,0-15,0*
Kukurydza na kiszonkę	5,0-6,0
Rzepak ozimy	10,0-12,0*
Burak cukrowy	<1,0 do 6,0*
Ziemniak	<1,0
Strączkowe	4,0-5,0
Koniczyna czerwona	3,0-5,0
Lucerna	5,0-7,0

* słoma lub liście

Źródło: wg różnych autorów za Grzebisz, 2009 (4)

Jeśli uwzględnimy również organy generatywne pozostałe na polu po zbiorze roślin, to łączna masa organiczna wszystkich organów roślinnych, z wyłączeniem słomy, może stanowić blisko 33% biomasy wyprodukowanej przez rośliny uprawiane na nasiona lub ziarno (4).

Słoma może spełniać różną rolę w gospodarstwie rolnym w zależności od przeznaczenia. Jeśli następuje jej sprzedaż, to pełni rolę produktu rynkowego, a jeśli jest przeznaczana na paszę – składnika pokarmowego. Wykorzystywana w oborach

jest natomiast źródłem ściółki w gospodarstwach specjalizujących się w produkcji zwierzęcej. Aktualnie zapotrzebowanie na słomę wykorzystywaną bezpośrednio w produkcji zwierzęcej znacznie zmalało. W tym kontekście wzrasta rola słomy: zbóż, strączkowych i rzepaku jako ważnego źródła materii organicznej w glebie, zwłaszcza że w ostatnim 25-leciu zmniejszył się znacznie udział roślin wpływających korzystnie na przyrost próchnicy w glebie (16). Współczynnik reprodukcji materii organicznej dla 1 tony masy słomy wynosi średnio $+0,175-0,210$, dla porównania 1 tony obornika $+0,070$, a dla 1 m^3 gnojowicy wynosi $+0,014-0,028$ (4). Przyorywana słoma oprócz korzyści w postaci przyrostu próchnicy w glebie, ma także wartość nawozową, która zależy od jej składu chemicznego. Korzystne oddziaływanie słomy na właściwości gleby rozkłada się na kilka lat i uwidacznia przez 3–4 lata po jej zastosowaniu.

W gospodarstwach bezinwentarzowych na znaczeniu zyskują komposty gospodarskie. Komponentem materii organicznej, która poddawana jest procesowi kompostowania najczęściej tlenowego są przeważnie: resztki roślinne, chwasty, trawa, liście drzew i pozostałości organiczne z gospodarstwa domowego. Pełen cykl fermentacji odbywa się na tzw. kompostownikach i trwa od 6 do 9 miesięcy. W tym czasie należy kontrolować warunki termiczne kompostu i jego wilgotność. Prawidłowa wilgotność przyzmy nie powinna przekraczać 60%, a temperatura 35°C . Warunki tlenowe przyzmy zapewnia odpowiednie ułożenie kompostowanych materiałów oraz częste ich mieszanie. Produktem finalnym jest szumifikowany materiał roślinny o ziemistym zapachu i barwie.

Obecnie popularną metodą zagospodarowania odpadów gospodarskich, takich jak nawozy zielone, kiszonki, czy nawozy naturalne jest fermentacja metanowa (biogazowa) (tab. 5) (5). Pozostałości po fermentacji metanowej mają dużą wartość nawozową. Wpływ systemu fermentacji na cechy agrochemiczne nawozów organicznych zamieszczono w tabeli poniżej.

Tabela 5

Wpływ systemu fermentacji na podstawowe cechy agrochemiczne nawozów organicznych

Cechy nawozu organicznego	Rodzaj prowadzonej fermentacji	
	tlenowa – kompostowanie	beztlenowa – produkcja biogazu
Sucha masa	spadek	spadek
Stabilność	wzrost	wzrost
Produkcja humusu	wzrost	wzrost
Stosunek C:N	zawężenie	zawężenie
Zawartość N-NH_4	spadek	silny wzrost
Odczyn	wzrost	silny wzrost

Źródło: Gutser i in., 2005 (5)

Wartość nawozowa tzw. nawozów zielonych zależy przede wszystkim od terminu przyorania. Charakteryzują się one wąskim stosunkiem C:N i dużą zawartością azotu. Nawozy zielone uprawia się głównie w celu ograniczenia wymywania składników pokarmowych z gleby, wzbogacenia gleby w materię organiczną, ograniczenia erozji oraz zwiększenia pulchności podglebia (biologiczna melioracja).

Oddziaływanie nawozów organicznych na glebę i rośliny, podobnie jak nawozów naturalnych, należy zawsze rozpatrywać w kontekście środowiskowym i produkcyjnym (6, 11, 16). Działanie plonotwórcze i reprodukcyjne nawozów naturalnych i organicznych zależy od zawartości w nich składników pokarmowych i suchej masy popielnej. W zrównoważonej gospodarce składnikami pokarmowymi i materią organiczną trend wzrostu plonów roślin uprawnych, pod których uprawę stosuje się nawozy naturalne i organiczne wynika ze wzbogacenia gleby w azot i zwiększenie efektywności jego wykorzystania poprzez inne składniki pokarmowe z tych nawozów (11). Na glebach w dobrej kulturze i w warunkach optymalnego przebiegu pogody nawozy organiczne i naturalne zwiększają plony proporcjonalnie do dawki azotu (3, 6, 11). Natomiast na glebach wyczerpanych ze składników pokarmowych mamy do czynienia z plonotwórczym współdziałaniem składników pokarmowych zawartych w nawozach (3, 6, 11).

Podsumowanie

Pogłowie zwierząt gospodarskich w Polsce wynosi ok. $0,44 \text{ DJP} \cdot \text{ha}^{-1}$ i nie zmieni się znacząco do 2015 roku. Można więc założyć, że zarówno produkcja nawozów naturalnych, jak i ilość składników pokarmowych w nich zawartych w najbliższych latach będzie kształtowała się na tym samym poziomie i wyniesie ok. $28 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, $15 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$ i $40 \text{ kg K}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1}$. Zatem zagrożenia nadmiarem składników biogennych pochodzących z nawozów naturalnych w skali obszarowej nie powinny być znaczące.

Literatura

1. Chambers B., Nicholson N., Smith K., Pain B., Cumby T., Scotford I.: Making better use of livestock manures on arable land. IGER.ADAS, Silsoe Res. Institute. ADAS Gleadthorpe Research Centre, 2001, Booklet 1: 1-14.
2. Dyrektywa 91/676/EWG z dnia 12 grudnia 1991r. w sprawie ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego zwana „Dyrektywą Azotanową” (Dz.U. WE L 375, z 31.12.1991, str. 1 artykuły 4 i 5).
3. Gorlach E., Mazur T.: Podstawy żywienia i nawożenia roślin. Chemia Rolna, Wyd. PWN, Warszawa 2001, Roz. V: 141-178.
4. Grzebisz W.: Nawożenie Roślin Uprawnych. 2. Nawozy i Systemy Nawożenia. PWRiL, Warszawa 2009, ss. 375.
5. Gutser R., Ebertseder Th., Weber A., Schramal M., Schmidhalter U.: Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. J. Plant Nutr. Soil Sci., 2005, **168**: 439-446.

6. Filipiak K., Fotyma M.: Wpływ wieloletniego stosowania obornika i nawożenia azotem na plony i pobranie azotu przez rośliny uprawiane w dwóch zmianowaniach. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 2006, **1(26)**: 71-88.
7. Jadczyzyn T.: Doradztwo nawozowe w rolnictwie zrównoważonym. Upowszechnianie zasad dobrej praktyki rolniczej. Materiały szkoleniowe, IUNG-PIB, 2003, **87**: 33-46.
8. Igras J., Kopiński J.: Zużycie nawozów mineralnych i naturalnych w układzie regionalnym. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2007, **5**: 107-117.
9. Maćkowiak C.: Zasady stosowania gnojowicy. Zalecenia nawozowe IUNG, 1994, **IV**: 5-40.
10. Maćkowiak C., Żebrowski J.: Skład chemiczny obornika w Polsce, Nawozy i Nawożenie, Fertilizers and Fertilization, IUNG, 2000, Rok II, **4(5)**: 119.
11. Maćkowiak C.: Wpływ doboru roślin w zmianowaniu, obornika i nawozów mineralnych na zawartość węgla organicznego w glebie i produktywność zmianowań. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 2000A, **4**: 102-109.
12. Maćkowiak C.: Zasady stosowania nawozów naturalnych i organicznych w świetle aktualnych regulacji przepisów. W.: Poprawa efektywności wykorzystania składników nawozowych w gospodarstwach rolnych na Mazowszu, W. Rzepiński (red.). Wyd. ODR, 2004, ss. 27-40.
13. Mazur T., Mazur Z.: Straty składników mineralnych z nawozów naturalnych i ich skutki ekologiczne. Nawozy i Nawożenie, 2006, **29(4)**: 172-185.
14. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 r. w sprawie szczegółowych warunków i trybu udzielania pomocy finansowej na dostosowanie gospodarstw rolnych do standardów UE objętej planem rozwoju obszarów wiejskich (Dz.U. nr 17, poz. 142).
15. Sulewska H.: Kukurydza w monokulturze – zagrożenia. Poradnik Rolnika, Agrotechnika, 2008, **3**: 22-24.
16. Wiatér J.: Wpływ nawożenia organiczno-mineralnego na bilans węgla organicznego. Fol. Univ. Agric. Stetin. 211, Agricultura, 2000, **84**: 515-520.
17. Ustawa o nawozach i nawożeniu z dnia 10 lipca 2007 roku (Dz.U. nr 147, poz. 1033). Rozporządzenie Ministra i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. (Dz.U. z dnia 7 lipca 2008 r.) w sprawie niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu.

Adres do korespondencji

dr inż. Dorota Pikula
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.(81) 886 34 21 w. 258
e-mail: dpikula@iung.pulawy.pl

Alicja Pecio

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

NAWOŻENIE ZBÓŻ OZIMYCH*

Słowa kluczowe: zboża ozime, potrzeby pokarmowe, potrzeby nawozowe, wapnowanie, azot, fosfor, potas, magnez, mikroelementy

Wstęp

Gatunkami zbóż ozimych uprawianymi w Polsce są: pszenica, żyto, pszenżyto i jęczmień. Każdy z wymienionych gatunków charakteryzuje się swoją specyfiką związaną z biologią rośliny, która decyduje o wymaganiach glebowych i zapotrzebowaniu roślin na składniki pokarmowe.

Pszenica ozima jest podstawowym zbożem chlebowym. Ziarno używane jest do wyrobu mąki wypiekowej, w znacznej części zużywanej też do przygotowywania licznych potraw mącznych. Duża część ziarna pszenicy przeznaczana jest również na pasze. W tym przypadku podstawowym parametrem jakościowym ziarna jest zawartość białka i jego skład aminokwasowy. Zarówno wartość wypiekowa, jak i paszowa ziarna mogą być istotnie modyfikowane przez odpowiednie nawożenie.

Pszenica ozima wymaga gleb żyznych, utrzymanych w dobrej strukturze, o odczynie pH 6–7. Najlepiej plonuje na glebach zaliczanych do kompleksu pszennego bardzo dobrego i dobrego. O plonowaniu pszenicy ozimej decydują w dużym stopniu warunki klimatyczne, w tym przebieg zimy i suma opadów atmosferycznych. Pod okrywą śnieżną pszenica nie wymarza nawet przy spadkach temperatury do -30°C , natomiast suche wiatry zimowe przy braku śniegu powodują jej wymarzenie już w temperaturze -5°C . Nowsze odmiany pszenicy charakteryzują się wysoką produktywnością, jednak ich wymagania pokarmowe są duże ze względu na słabszy system korzeniowy w porównaniu do odmian starszych.

Żyto jest zbożem chlebowym, ziarno zużywane jest głównie do wyrobu mąki wypiekowej. Można je uprawiać na najslabszych glebach zaliczanych do kompleksu żytniego słabego i bardzo słabego. Zboże to toleruje odczyn gleby od pH 4,8 do

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.3 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

7,0. Wytrzymuje temperatury zimowe nawet do -35°C i zimuje najlepiej spośród wszystkich zbóż. Żyto wrażliwe jest jednak na zalanie pola wodą w czasie roztopów wiosennych.

Ziarno pszenżyta łączy szereg zalet ziarna pszenicy i żyta. Zawiera więcej białka niż ziarno żyta, przy czym białko to wykazuje też lepszą wartość biologiczną, nadaje się zatem do produkcji mieszanek paszowych. Pszenżyto plonuje najlepiej na glebach kompleksów pszennych i żytnich bardzo dobrych, o odczynie lekko kwaśnym do obojętnego (pH 5,8–7,0). Zboże to dobrze wykorzystuje zimowe zapasy wody, jednak wrażliwe jest na susze wiosenne.

Ziarno jęczmienia ozimego przeznaczone jest na paszę. Powinno ono zatem zawierać jak najwięcej wartościowych dla zwierząt łatwo strawnych organicznych składników pokarmowych. Szczególnie ważna jest zawartość w białku aminokwasów egzogennych, w tym głównie lizyny i metioniny oraz możliwość zwiększenia ich zawartości poprzez prawidłowe nawożenie. Ostatnio wprowadzane są też do uprawy odmiany browarne jęczmienia ozimego, których ziarno powinno zawierać mało białka oraz spełniać inne wymogi przemysłu. Jęczmień ozimy dobrze plonuje na glebach kompleksu żytniego bardzo dobrego i dobrego o odczynie zbliżonym do obojętnego (pH 6,2–7,2). Jest to zboże rejonów o długiej i cieplej jesieni. Bez okrywy śniegowej wytrzymuje zimową temperaturę do -15°C , a pod śniegiem do -25°C .

Potrzeby pokarmowe zbóż ozimych

Do wykształcenia dużego plonu dorodnego ziarna rośliny zbożowe potrzebują odpowiedniej ilości składników pokarmowych. W doradztwie nawozowym pobranie N, P, K, Mg wyznacza się na podstawie prognozowanego plonu i ilości składników pobieranych przez rośliny na wytworzenie jednostki plonu (4) (tab.1).

Tabela 1

Pobranie składników pokarmowych na jednostkę plonu ziarna zbóż ozimych z odpowiednią ilością słomy

Roślina	Pobranie jednostkowe składnika ($\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$)			
	N	P_2O_5	K_2O	MgO
Pszenica	23,7	9,8	15,1	3,7
Żyto	21,6	10,1	21,6	3,5
Pszenżyto	24,1	10,8	21,1	3,5
Jęczmień	22,3	9,8	18,7	3,8

Źródło: Jadczyzyn, 2003 (3)

Potrzeby nawozowe zbóż ozimych

Potrzeby nawozowe odpowiadają ilości składnika, jaką należy zastosować w formie nawozów, aby łan mógł wydać osiągalny w danych warunkach plon ziarna. Można

je zdefiniować jako potrzeby pokarmowe roślin zmodyfikowane w zależności od aktualnej zawartości przyswajalnych form składników w glebie (4). W systemie doradztwa nawozowego potrzeby nawozowe wyznacza się jako iloczyn prognozowanego pobrania składników przez rośliny i odpowiedniego współczynnika korekcyjnego, którego wartość zależy od zasobności gleby.

Prognozowany plon w danym roku w gospodarstwie najczęściej określa się na podstawie plonów uzyskiwanych w kilku ostatnich latach. Można także przyjąć plony oparte o inne źródła, takie jak: przeciętne plony z doświadczeń wdrożeniowych (ODR-y, jednostki naukowo-badawcze), dane odmianowe publikowane przez COBORU, dane literaturowe itp. Najistotniejsze jest to, aby przyjęte wartości plonu były jak najbardziej realne i możliwe do osiągnięcia w warunkach glebowych konkretnego gospodarstwa (8).

Wartości współczynników korekcyjnych w zależności od zasobności gleby w fosfor i potas przedstawiono w tabeli 2. Współczynnik ten ma wartość mniejszą od 1 na glebach o wysokiej i bardzo wysokiej zawartości składników, co oznacza, że potrzeby nawozowe są w tym przypadku mniejsze od potrzeb pokarmowych roślin. Na glebach o niskiej i bardzo niskiej zawartości składników współczynnik korekcyjny jest większy od 1. Na przykład potrzeby nawozowe pszenicy ozimej przy plonie $6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ w warunkach niskiej zasobności gleby w fosfor i potas wynoszą: 142 kg N, 33 kg P ($26 \text{ kg P} \times 1,25$) i 95 kg K ($76 \text{ kg K} \times 1,25$) na 1 ha. W tym przypadku potrzeby nawozowe są większe od potrzeb pokarmowych roślin, ponieważ przewiduje się zastosowanie nadwyżki składników w celu poprawy zasobności gleby. Na glebach średnio zasobnych dopływ składników powinien równoważyć pobranie z plonem, a zatem współczynnik korekcyjny jest równy 1, czyli potrzeby nawozowe są takie same, jak potrzeby pokarmowe roślin.

Tabela 2

Wartości współczynników korekcyjnych w zależności od zasobności gleby w fosfor i potas

Zasobność	Bardzo niska	Niska	Średnia	Wysoka	Bardzo wysoka
Współczynnik	1,5	1,25	1,0	0,75	0,5

Źródło: Jadczyzyn 2006 (4)

Zawartość przyswajalnych form składników pokarmowych, jak również zakwaszenie gleby można oznaczyć w okręgowej stacji chemiczno-rolniczej lub innym specjalistycznym laboratorium. Do oceny potrzeb wapnowania oraz zasobności gleb w fosfor, potas i magnez stosuje się odpowiednie liczby graniczne (9).

Odczyn gleby i jej zasobność w przyswajalne formy składników pokarmowych służą do oszacowania potrzeb nawożenia. W tabeli 3 przedstawiono zalecane dawki nawozów w zależności od poziomu plonowania zbóż ozimych uprawianych na glebach o średniej zawartości składników pokarmowych.

Tabela 3

Zalecane dawki nawozów mineralnych ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) w zależności od prognozowanego plonu zbóż ozimych

Roślina	Plon ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)	Azot (N)	Fosfor (P_2O_5)	Potas (K_2O)	Magnez (MgO)
Pszenica	6	100	55	60	20
	8	120	70	80	25
	9	140	80	90	30
	10	160	90	100	30
Żyto	4	60	35	55	10
	6	100	55	100	20
	8	140	75	110	25
Pszenżyto	6	80	60	85	20
	7	100	70	100	20
	9	120	90	125	25
	10	140	100	120	30
Jęczmień	7	80	70	55	10
	8	100	90	100	20
	9	120	100	110	25

Źródło: Jadczyński i in., 2012 (6)

Wapnowanie gleb

Wapń w porównaniu z innymi kationami w kompleksie sorpcyjnym występuje w największej ilości, stąd też nawet na glebach kwaśnych, zawierających mało wapnia, zapotrzebowanie roślin na ten składnik jest z reguły pokrywane. Dlatego wapnowanie gleb należy traktować nie jako źródło wapnia dla roślin, lecz jako nawóz poprawiający odczyn gleby. Optymalny odczyn gleby jest warunkiem dobrego plonowania roślin i efektywnego wykorzystania składników pokarmowych z nawozów. Zakwaszanie gleb jest procesem ciągłym. Sprzyja mu stosowanie nawozów mineralnych o działaniu zakwaszającym. Dlatego w uprawie roślin zbożowych niezbędne jest systematyczne monitorowanie odczynu gleby, który jest podstawą oceny potrzeb wapnowania. Zabieg wapnowania przeprowadza się na ogół co 4 lata. Zalecane dawki nawozów wapniowych w zależności od potrzeb wapnowania i kategorii agronomicznej gleby podano w tabeli 4.

Tabela 4

Dawki nawozów wapniowych ($\text{t CaO} \cdot \text{ha}^{-1}$)

Kategoria agronomiczna gleb	Potrzeby wapnowania			
	konieczne	potrzebne	wskazane	ograniczone
Bardzo lekkie	3,0	2,0	1,0	-
Lekkie	3,5	2,5	1,5	-
Średnie	4,5	3,0	1,7	1,0
Ciężkie	6,0	3,0	2,0	1,0

Źródło: Jadczyński i in., 2012 (6)

Na glebach średnich i ciężkich można stosować zarówno szybko działające wapno tlenkowe, jak i wolno działające wapno węglanowe. Na glebach lekkich i bardzo lekkich zaleca się wyłącznie wapno węglanowe. W obu rodzajach nawozów zawartość wapnia podawana jest w przeliczeniu na tlenek (CaO), o czym należy pamiętać, obliczając dawkę konkretnego nawozu.

Nawożenie azotem

Azot jest jednym z najważniejszych składników plonotwórczych. Pokrycie zapotrzebowania roślin na azot jest podstawą uzyskania optymalnej struktury plonu oraz uzyskania dużego plonu ziarna o dobrej jakości. Aby te cele osiągnąć, niezbędne jest precyzyjne określenie potrzeb nawożenia. Ma to zasadnicze znaczenie nie tylko ze względu na właściwe odżywienie roślin, ale także na możliwość przenawożenia roślin i niekorzystne skutki środowiskowe.

Podstawowymi wyznacznikami plonu są liczba ziarniaków na jednostce powierzchni i ich masa. W praktyce pierwsza ze składowych plonu obejmuje dwa elementy: liczbę kłosów i liczbę ziaren w kłosie. Każdy z trzech wymienionych elementów struktury plonu kształtuje się w innej fazie rozwoju rośliny, co tym samym warunkuje cel i wybór stosowania nawozów azotowych (12). Istotne znaczenie dla prawidłowego żywienia roślin azotem ma także podział zaplanowanej dawki i ich zastosowanie w optymalnych terminach. Podział dawki azotu z jednej strony umożliwia elastyczne dostosowanie podaży azotu do wymagań rośliny, jej tempa wzrostu i stadiów rozwojowych, a z drugiej strony daje możliwość korygowania dawki i formy nawozu azotowego w trakcie sezonu wegetacyjnego w zależności od potrzeb łanu i przebiegu pogody.

Ważne jest, aby kolejne dawki azotu dostatecznie wyprzedzały okresy największej wrażliwości roślin na odżywienie tym składnikiem, a ilość stosowanego składnika powinna wynikać z zapotrzebowania rośliny na azot w danej fazie rozwoju. Krytyczne fazy zapotrzebowania roślin na azot występują:

- w fazie późnego krzewienia (BBCH 25-29),
- na początku fazy strzelania w źdźbło (BBCH 31-32),
- w okresie od końca strzelania w źdźbło do fazy kłoszenia (BBCH 37-51).

Jesienne nawożenie azotem

Jesienne nawożenie azotem stosuje się tylko w określonych sytuacjach. Umiarkowana dostępność azotu jesienią poprawia zimotrwałość zbóż ozimych oraz pobudza rośliny do wytwarzania silnego systemu korzeniowego. Zapobiega też wypłukiwaniu składnika do wód gruntowych. Dobrze, ale nie nadmiernie rozwinięte łany charakteryzują się dużym potencjałem plonowania i dlatego muszą być właściwie odżywione. Dotyczy to w pierwszym rzędzie zbóż uprawianych po przedplonach zbożowych

i po rzepaku z przyorywaniem słomy roślin przedplonowych. Uwzględniając ujemny równoważnik nawozowy azotu słomy, co oznacza, że słoma unieruchamia azot, należy zastosować odpowiednią do jej dawki ilość azotu w formie płynnych nawozów naturalnych (gnojowica, gnojówka), roztworu saletrzano-mocznikowego RSM lub najtańszych nawozów stałych, jak siarczan amonu (11). Stosowanie nawożenia jesienno zaleca się również przy uprawie zbóż w warunkach bardzo dużych potrzeb nawozowych, nawet jeżeli nie przyoruje się słomy roślin przedplonowych. Dawka azotu nie powinna wówczas przekraczać 10–15% przeciętnej dawki optymalnej podanej w tabeli 7, tj. 20–30 kg N·ha⁻¹. Należy pamiętać, że dawki zastosowanej przed siewem zbóż ozimych nie uwzględnia się przy ustalaniu dawek wnoszonych pogłównie. Azot można zastosować w formie nawozów wieloskładnikowych, wraz z nawożeniem fosforem i potasem, uwzględniając przy doborze nawozu zalecane dawki wszystkich trzech składników. Nawożenie oparte na stosowaniu nawozów wieloskładnikowych jest bardziej efektywne na tych polach, które nie są ubogie w przyswajalne formy fosforu, potasu i magnezu. Wtedy wybieramy nawóz o proporcjach składników pokarmowych odpowiadających wymaganiom pokarmowym danego gatunku roślin. Na polach bardzo ubogich w niektóre składniki pokarmowe należy zastosować nawozy wieloskładnikowe mieszane wykonywane samodzielnie lub zamówić wykonanie odpowiedniego nawozu w wyspecjalizowanej firmie (11, 14).

Nawożenie azotem w okresie ruszenia vegetacji

Pierwszą dawkę azotu pod zboża ozime stosuje się zwykle w okresie wczesnej wiosny, tj. w fazie krzewienia do początku fazy strzelania w źdźbło. Azot w tym okresie stosuje się w celu uzyskania właściwej obsady roślin, dużej powierzchni asymilacyjnej i szybkiego zwarcia łanu roślin. Decyduje ona też o liczbie kłosek w kłosie. Zbyt duża ilość azotu jest niepożądana, ponieważ prowadzi do nadmiernego, nieproduktywnego krzewienia i w konsekwencji do wylegania roślin, a także do nasilenia występowania chorób. Oznacza to, że zagęszczeniem łanu można „sterować” w okresie od marca do maja. Dawka ta powinna stanowić 40–60% przeciętnej optymalnej dawki azotu przedstawionej w tabeli 7. Jeżeli w tej fazie łan jest zbyt gęsty, to można dawkę opóźnić lub zmniejszyć. Jeżeli natomiast łan wydaje się za rzadki, należy możliwie najszybciej zastosować planowaną dawkę azotu.

W celu uściślenia wielkości dawki N w okresie ruszenia vegetacji wskazane jest wykonanie testu glebowego N_{min}. Pozwala to na precyzyjne określenie wielkości dawki N w okresie ruszenia vegetacji, co w przypadku małych i bardzo małych potrzeb nawożenia prowadzi do zmniejszenia dawki nawozów. Oznaczenia przeprowadza się wczesną wiosną w reprezentatywnej próbce gleby pobranej z profilu do głębokości 60 cm przy pomocy specjalnego zestawu lasek glebowych. Analizy wykonywane są w świeżej glebie przez okręgowe stacje chemiczno-rolnicze, a zawartość azotu

mineralnego ($N_{\min}$) podawana jest w $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Przedziały zawartości $N_{\min}$ w zależności od kategorii agronomicznej gleby zamieszczono w tabeli 5.

Tabela 5

Ocena zawartości $N_{\min}$ ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) w glebie do głębokości 60 cm wczesną wiosną

Kategoria agronomiczna gleby	Zawartość $N_{\min}$				
	bardzo niska	niska	średnia	wysoka	bardzo wysoka
Bardzo lekka	≤ 30	31-50	51-70	71-90	> 90
Lekka	≤ 40	41-60	61-80	81-100	> 100
Średnia i ciężka	≤ 50	51-70	71-90	91-100	> 100

Źródło: Jadczyk i in., 2012 (6)

Jeśli wynik testu $N_{\min}$ wykazuje wysoką lub bardzo wysoką zawartość składnika w glebie do głębokości 60 cm, to planowaną dawkę nawozów można zmniejszyć o różnicę pomiędzy zawartością $N_{\min}$ stwierdzoną w glebie pobranej z pola i górną granicą zawartości średniej dla takiej gleby. W przypadku zawartości bardzo niskiej lub niskiej, zalecaną dawkę N należy zwiększyć o różnicę pomiędzy dolną granicą zawartości średniej i oznaczoną ilością $N_{\min}$ w glebie. Jeśli wynik testu mieści się w przedziale zawartości średniej, dawka N pozostaje bez zmian. Przykładowo, za pomocą testu $N_{\min}$ w glebie średniej (do głębokości 60 cm) stwierdzono $50 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Planowaną dawkę azotu należy zwiększyć o: $71 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} - 50 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} = 21 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Gdy zawartość $N_{\min}$ w glebie lekkiej wynosi $110 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, dawkę azotu można zmniejszyć o $110 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} - 80 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} = 30 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Nawożenie azotem w okresie ruszenia wegetacji można zastosować w formie roztworu saletrzano-mocznikowego RSM (oprysk grubokroplisty), nawozu stałego lub płynnych nawozów naturalnych (gnojówka, gnojowica), o ile gospodarstwo dysponuje rozlewaczem z węzami rozlewowymi.

Nawożenie azotem w okresie wegetacji

Drugą dawkę azotu stosuje się od fazy strzelania w źdźbło do początku kłoszenia zbóż. W okresie tym szybko zwiększa się masa roślin zbożowych, które wykazują wtedy największe zapotrzebowanie na składniki pokarmowe i wodę. Dobre zaopatrzenie w azot wpływa na kształtowanie się wielkości plonu, gdyż zapobiega nadmiernej redukcji pędów, kłosek w kłosie i kwiatków w kłosku, co umożliwia uzyskanie dużej liczby ziaren w kłosie. Za wszelką cenę należy unikać przyspieszania i zwiększania skali procesów redukcyjnych po tej fazie. Mogą być one spowodowane niedoborem wody lub składników pokarmowych. Większa redukcja potencjału plonowania oznacza większą redukcję plonu ziarna, tym bardziej, że towarzyszy temu silny przyrost biomasy konkurencyjnej w stosunku do zawiązków kłosa w dostępie do wody i składników pokarmowych (15).

Bardzo silny przyrost biomasy rozpoczyna się od stadium drugiego kolanka (BBCH 32). Wysoko plonująca pszenica od fazy drugiego kolanka do początku kłoszenia pobiera przynajmniej $80 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Tak wysokie zapotrzebowanie w krótkim czasie nie może być pokryte przez N glebowy pochodzący z mineralizacji. Z drugiej jednak strony ryzykowne jest wcześniejsze stosowanie wysokiej dawki N (w fazie krzewienia lub na początku strzelania w źdźbło). Wystąpienie nadmiaru azotu w fazie krzewienia prowadzi do zagęszczenia łanu i wzrost konkurencji wewnątrz niego. Natomiast duża ilość azotu dostępna w początkach fazy strzelania w źdźbło (faza pierwszego kolanka) powoduje, że pozostaje zbyt dużo słabych, ale ciągle odżywianych źdźbeł, które w końcu obumrą lub dadzą mały plon, a zwiększają przy tym ryzyko wylegania i wystąpienia chorób grzybowych. Pierwsze oznaki niedoboru azotu na najsłabszych źdźbłach, przeznaczonych do redukcji, są sygnałem rozpoczęcia tego procesu. Jest to znak do zastosowania drugiej dawki. W łanach, które są dobrze rozkrzewione i w fazie pierwszego kolanka nie wykazują objawów niedoborowych, nie należy stosować nawożenia azotem przed fazą drugiego kolanka, by nie opóźnić procesu redukcji źdźbeł. W słabo rozkrzewionych łanach, gdy objawy redukcji pojawiają się wcześniej (już w fazie pełni krzewienia BBCH 30) lub gdy obejmą już dolne liście silnych źdźbeł, dawkę azotu należy zwiększyć i przyspieszyć jej zastosowanie. Także w stanowiskach, gdzie może wystąpić susza, należy ten termin przesunąć nieco przed fazą drugiego kolanka (BBCH 32). W przypadku ciemnozielonego wyglądu łanu i bujnego wzrostu roślin stosowanie drugiej dawki azotu można opóźnić nawet do początku kłoszenia.

Przy ustalaniu drugiej (i trzeciej) dawki nawozów można posłużyć się wizualną obserwacją stanu zabarwienia łanu, zmniejszając lub zwiększając dawkę ustaloną na podstawie tabeli 7. Dawka ta stanowi najczęściej 40-60% przeciętnej optymalnej dawki azotu, zmodyfikowanej na podstawie testu $N_{\min}$ w okresie ruszenia wegetacji. Ocena wzrokowa jest jednak bardzo zawodna. Dlatego wskazane jest wykonanie jednego z testów stanu odżywienia roślin azotem, np. testu SPAD i dokonanie na tej podstawie modyfikacji wielkości dawek nawozów.

Test SPAD, określane również jako indeks zieloności liścia, opiera się na stwierdzeniu, że zawartość chlorofilu w roślinach jest ściśle dodatnio skorelowana z zawartością azotu. Pomiar SPAD wykonuje się za pomocą aparatu Hydro N-tester. Określenie dawki azotu na podstawie aktualnej wartości SPAD opiera się na porównaniu stanu odżywienia roślin nawożonych i nienawożonych tym składnikiem (2). Przed wysiewem pierwszej dawki azotu należy przykryć folią fragment pola o powierzchni kilku m^2 , dzięki czemu powstanie nienawożone „okno kontrolne”. Przed zastosowaniem drugiej dawki azotu należy zmierzyć wartość SPAD w łanie nawożonym i „oknie kontrolnym”, a następnie określić różnicę pomiędzy obu wartościami. Jeśli stan odżywienia roślin nawożonych przekracza 95% wartości uzyskanej dla roślin kontrolnych, na ogół pomija się lub opóźnia kolejny zabieg nawożenia. W sytuacji, gdy różnice pomiarowe są większe, należy wykonać nawożenie w dawce nieprzekraczającej $30 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ i ponownie wyznaczyć poletka referencyjne.

Nawozy w terminie od fazy strzelania w źdźbło do początku kłoszenia zbóż można stosować w formie stałej, najlepiej saletry amonowej lub wapniowej lub w formie płynnej (gnojówka, gnojowica) za pomocą węży rozlewowych, czy też w formie oprysków roztworami mocznika (1), przestrzegając dopuszczalnych stężeń tego nawozu. Ilość azotu, jaka może być zastosowana w dawce dolistnej wynika z ilości cieczy roboczej na 1 ha oraz z dopuszczalnej koncentracji azotu w roztworze mocznika, która zmienia się w okresie wegetacji zbóż. Na początku fazy strzelania zbóż w źdźbło stosuje się 9% roztwór, a w fazie początku kłoszenia 4-5%. Gdy jest to możliwe, opryski roztworem mocznika łączy się z opryskami środkami ochrony roślin, a gdy jest to konieczne – z opryskami roztworem siarczanu magnezu i wieloskładnikowymi nawozami płynnymi.

Ostatnią dawkę azotu stosuje się w okresie od wykłoszenia do początku kwitnienia w celu poprawy wypełnienia ziarna i zwiększenia zawartości w nim białka. Wpływa ona także na zwiększenie plonu poprzez poprawę dorodności ziarna. Dawka ta zalecana jest praktycznie tylko w uprawie pszenic odmian chlebowych przeznaczonych do przerobu technologicznego. Wielkość tej dawki jest standardowa i wynosi 30–40 kg N·ha. Późną dawkę azotu stosuje się w formie szybko działających nawozów saletranych w formie stałej.

Nawożenie fosforem i potasem

Obecność fosforu jest niezbędna dla wzrostu i rozwoju roślin zbożowych w całym okresie wegetacji. Pierwiastek ten wpływa na prawidłowy wzrost systemu korzeniowego i tkanki mechanicznej, zwiększając tolerancję roślin na różnego rodzaju stresy, takie jak niskie temperatury, niedobory wody czy atak patogenów. Wszystko to wpływa na wzrost plonu i poprawę jego jakości.

Rośliny powinny być zaopatrzone w odpowiednią ilość przyswajalnego fosforu już w pierwszych tygodniach wzrostu, ponieważ jest to tzw. okres krytyczny wzrostu roślin. Późniejsze dokarmianie roślin fosforem nie wyrównuje ujemnych skutków głodu w okresie krytycznym. Konieczne jest zatem przedsięwzięcie nawożenia fosforem w taki sposób, by wymieszać nawóz z wierzchnią warstwą gleby.

Potas pełni w roślinie wiele funkcji fizjologicznych, takich jak regulowanie bilansu wodnego, aktywowanie wielu enzymów, udział w gospodarce węglanowej i azotowej. W przypadku niedoboru potasu zmniejsza się znacznie pobieranie i wykorzystanie azotu, co w konsekwencji obniża wielkość i jakość plonu. Potas, podobnie jak fosfor, zwiększa poziom tolerancji zbóż na suszę, niskie temperatury, wyleganie, jak również zmniejsza podatność roślin na choroby i szkodniki. Największe zapotrzebowanie na potas występuje w czasie intensywnego wzrostu zbóż, tj. w okresie od fazy strzelania w źdźbło do fazy kłoszenia.

Rośliny pobierają potas przez cały okres wegetacji, jednak najwięcej we wczesnych fazach rozwojowych. Brak potasu w tym okresie obniża plonowanie, dlatego

nawozy potasowe należy stosować przedsięwzięcie. Dobre zaopatrzenie roślin w potas zwiększa ich reakcję na nawożenie azotem, a jednocześnie dobre zaopatrzenie roślin w azot zwiększa efektywność nawożenia potasem.

Dawki nawozów podane w tabeli 7 zostały obliczone dla warunków średniej zawartości przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu. Założono przy tym, że produkty uboczne (słoma zbóż, rzepaku i roślin strączkowych, liście buraczane itp.) są pozostawiane na polu, a nagromadzone w nich składniki mineralne wracają do gleby.

W warunkach bardzo wysokiej zawartości składników zalecane dawki nawozów można zmniejszyć o 30–40 kg P_2O_5 lub K_2O , na glebach o wysokiej zawartości – o ok. 20 kg P_2O_5 lub K_2O , a przy niskiej zawartości dawki nawozów fosforowych i potasowych należy zwiększyć o ok. 30 kg P_2O_5 lub K_2O . W warunkach bardzo niskiej zawartości fosforu lub potasu uzyskanie wysokich plonów jest mało prawdopodobne. W takim przypadku dawki nawozów można zwiększyć o 40–60 kg P_2O_5 lub K_2O . Nie gwarantuje to wprowadzie wysokiego plonowania roślin, ale jest to inwestycja w poprawę zasobności gleby.

W gospodarstwach, w których produkty uboczne zbiera się z pola, dawki nawozów fosforowych należy zwiększyć o ok. 20%, a dawki nawozów potasowych o 60–80% w stosunku do wartości tabelarycznych.

Nawożenia fosforem nie należy stosować, jeśli jego zawartość w glebie przekracza 40 mg $P_2O_5 \cdot 100\text{ g}^{-1}$ (80 mg $P_2O_5 \cdot 100\text{ g}^{-1}$ w glebach węglanowych). Dotyczy to stosowania zarówno nawozów mineralnych, jak i organicznych (zwłaszcza gnojowicy) oraz innych substancji użyźniających o dużej zawartości fosforu (np. osady ściekowe). Nawożenia potasem można zaniechać, jeśli zawartość składnika jest większa niż 35 mg $K_2O \cdot 100\text{ g}^{-1}$ w glebach bardzo lekkich, 40 mg $K_2O \cdot 100\text{ g}^{-1}$ w glebach lekkich, 50 mg $K_2O \cdot 100\text{ g}^{-1}$ w glebach średnich i 60 mg $K_2O \cdot 100\text{ g}^{-1}$ w glebach ciężkich.

Nawożenie magnezem

Magnez odgrywa bardzo ważną rolę w produkcji wszystkich roślin zbożowych. Składnik ten poprzez wpływ na przebieg fotosyntezy zwiększa intensywność procesów odpowiedzialnych za syntezę skrobi, białek i tłuszczów, na rozwój systemu korzeniowego – kształtuje dynamikę wzrostu i pobierania składników pokarmowych z gleby oraz na gospodarkę azotem – kontroluje pobieranie i efektywność przetwarzania azotu w białko. Roślina dobrze odżywiona magnezem jest w stanie pobierać więcej azotu, który hipotetycznie nie zostałby pobrany w okresie wegetacji, a w rezultacie byłby stracony. W ten sposób, poprzez proste rozwiązanie technologiczne, można zwiększyć efektywność plonotwórczą azotu. Nawożenie magnezem wczesną wiosną pozwala także częściowo przełamać barierę fizjologiczną związaną z działaniem niskich temperatur, które zmniejszają szybkość pobierania magnezu, a w konsekwencji ograniczają pobieranie fosforu i azotu.

Nawożenie magnezem łączy się najczęściej z zabiegiem wapnowania, ponieważ gleby zakwaszone często charakteryzują się niską lub bardzo niską zawartością magnezu, a w szerokim asortymencie wapna nawozowego duży udział mają nawozy zawierające magnez.

Na glebach o bardzo niskiej zawartości magnezu połowę zalecanej dawki CaO (tab. 8) można zastosować w postaci wapna magnezowego, a na glebach o niskiej zawartości Mg – jedną trzecią zalecanej dawki CaO. Na glebach o uregulowanym odczynie nawożenie magnezem stosuje się w postaci nawozów bezwapniowych. Dawki odpowiednie przy średniej zawartości Mg w glebie podano w tabeli 7. W warunkach wysokiej i bardzo wysokiej zawartości magnezu dawki nawozów można zmniejszyć odpowiednio o 10 i 20 kg MgO. Na glebach o niskiej i bardzo niskiej zawartości składnika dawki nawozów należy zwiększyć odpowiednio o 15 i 30 kg MgO.

Rośliny uprawne pobierają magnez nie tylko przez system korzeniowy, ale również dobrze przyswajają ten składnik przez liście. Niedobory magnezu w okresie wegetacji można uzupełnić, stosując dolistnie wodny roztwór siarczanu magnezowego.

Nawożenie mikroelementami

Pomimo że rośliny potrzebują stosunkowo niewielkich ilości mikroelementów, to są one niezbędne do prawidłowego wzrostu i rozwoju. Mikroelementy, jako składniki lub aktywatory enzymów, uczestniczą w wielu reakcjach metabolicznych oraz spełniają bardzo ważne funkcje fizjologiczne w roślinach, m.in. decydujące o efektywnym wykorzystaniu azotu, potasu, fosforu i innych składników pokarmowych (2, 10). Każdy z mikroelementów ma swoistą funkcję i nie może być zastąpiony innym składnikiem. Rośliny zbożowe wykazują największą wrażliwość na miedź, mangan i cynk. Miedź wpływa na rozwój i budowę tkanek, bierze udział w przemianach azotowych, syntezie białek i witaminy C. Niedobór miedzi uniemożliwia prawidłowy rozwój roślin. Mangan wpływa na podwyższenie intensywności oddychania, asymilacji dwutlenku węgla i syntezy węglowodanów, uczestniczy w redukcji azotanów do azotynów. Niedobór manganu powoduje chlorozę. Cynk bierze udział w przetwarzaniu kwasów organicznych, w syntezie chlorofilu i witamin.

Zalecenia nawozowe odnośnie nawożenia roślin mikroelementami oparte są na rozpoznaniu zasobności gleby w te składniki oraz wiedzy dotyczącej zapotrzebowania gatunku uprawianej rośliny na dany składnik (7). W przypadku stwierdzonych niedoborów, tj. przy zawartości składnika w niskiej klasie zasobności w glebie, zaleca się nawożenie roślin tym mikroelementem w dawce pokrywającej zapotrzebowanie roślin (tab. 6). Mikroelementy w formie nawozu podaje się wówczas doglebowo lub dolistnie, często w połączeniu z innymi nawozami, najczęściej azotem, czy środkami ochrony roślin. Przy ostrych niedoborach mikroskładnika, głównie Cu i Zn, zalecane jest doglebowe nawożenie roślin, które stosuje się raz na kilka lat (13).

Tabela 6

Zalecana średnia dawka mikroelementów, przy niskiej zasobności gleb
(w przeliczeniu na formę pierwiastkową)

Mikroelementy	Dawka doglebowa (kg·ha ⁻¹)	Dawka dolistna (g·ha ⁻¹)
Miedź (Cu)	5-20	300
Cynk (Zn)	4-30	600
Mangan (Mn)	4-6	1200

Źródło: Kocoń, 2013 (7)

Przy niewielkich niedoborach, zwłaszcza w czasie wegetacji roślin, z ekonomicznego punktu widzenia oraz efektywności i szybkości działania składnika preferowane jest dolistne dokarmianie roślin mikroelementami (7, 2). W tym przypadku wykorzystuje się znacznie mniejszą dawkę i ilość składnika niż przy stosowaniu doglebowym (tab. 6). Dolistne dokarmianie mikroelementami zaleca się także w sytuacji utrudnionego pobierania składnika z gleby, nawet przy średniej czy wysokiej zasobności w glebie, m.in. w czasie suszy, czy przy wysokim pH gleby. Zalecane jest również w intensywnych technologiach, przy oczekiwanych dużych plonach, w okresach intensywnego wzrostu roślin, kiedy rośliny wykazują zwiększone zapotrzebowanie na składniki pokarmowe (13). Związki mineralne zawierające mikroelementy stosuje się dolistnie w formie soli nieorganicznych lub chelatów. Te ostatnie aplikowane w warunkach wyższych temperatur działają szybciej, a więc można kilkakrotnie zmniejszyć dawkę składnika (2).

Podsumowanie

Optymalne dawki składników pokarmowych, jakie należy zastosować w formie nawozów wyznacza się na podstawie ilości składników pobieranych przez rośliny oraz aktualnej zawartości przyswajalnych form składników w glebie. Warunkiem dobrego plonowania roślin i efektywnego wykorzystania składników pokarmowych z nawozów jest optymalny odczyn gleby. Z zabiegiem wapnowania często łączy się nawożenie magnezem.

Dobre i wierne plonowanie zbóż wymaga właściwego odżywienia fosforem i potasem. Nawozy fosforowe i potasowe należy stosować przedsięwinnie. Najczęściej stosowanymi formami nawozów fosforowych są superfosfaty, a nawozów potasowych – sole potasowe. Przydatne są też nawozy wieloskładnikowe.

Niezbędne jest również precyzyjne określenie potrzeb nawożenia azotem. Pierwszą jesienną dawkę azotu pod zboża ozime stosuje się po przyoraniu słomy roślin przedplonowych oraz przy uprawie zbóż w warunkach dużych potrzeb nawozowych. Dawka ta nie powinna przekraczać 20–30 kg N·ha⁻². Azot w tym okresie można zastosować w formie płynnych nawozów naturalnych (gnojowica, gnojówka), roztworu saletrzano-

-mocznikowego RSM, siarczanu amonu lub w formie nawozów wieloskładnikowych, wraz z nawożeniem fosforem i potasem. Podstawowa dawka azotu pod zboża ozime w okresie wczesnej wiosny powinna stanowić 40–60% całkowitej dawki azotu. W celu uściślenia wielkości dawki N w okresie ruszenia wegetacji wskazane jest wykonanie testu glebowego $N_{\min}$. Dawkę podstawową nawozów stosuje się w formie roztworu saletrzano-mocznikowego RSM (oprysk grubokroplisty) lub nawozu stałego czy płynnych nawozów naturalnych (gnojówka, gnojowica), o ile gospodarstwo dysponuje rozlewaczem z węzami rozlewowymi. Przy ustalaniu drugiej (i trzeciej) dawki nawozów można posłużyć się wizualną obserwacją stanu zabarwienia łanu. Wskazane jest również wykonanie testu stanu odżywienia roślin azotem i dokonanie na tej podstawie modyfikacji wielkości tych dawek nawozów. Druga dawka N stanowi najczęściej 40–60% przeciętnej optymalnej dawki azotu, zmodyfikowanej na podstawie testu $N_{\min}$ w okresie ruszenia wegetacji. Nawozy w terminie od fazy strzelania źdźbło do początku kłoszenia zbóż można stosować w formie stałej, najlepiej saletry amonowej czy wapniowej lub w formie płynnej (gnojówka, gnojowica) za pomocą węży rozlewowych lub w formie oprysków roztworami mocznika, przestrzegając dopuszczalnych stężeń tego nawozu. Na początku fazy strzelania w źdźbło zbóż stosuje się 9% roztwór, a w fazie początku kłoszenia 4–5%. Ostatnią dawkę azotu stosuje się w okresie od wykłoszenia do początku kwitnienia, praktycznie tylko w uprawie pszenic odmian chlebowych przeznaczonych do przerobu technologicznego. Wielkość tej dawki wynosi ok. 30–40 kg N·ha⁻¹; stosuje się ją w formie szybko działających nawozów saletrzanych w formie stałej.

Mikroelementy spełniają w roślinach bardzo ważne funkcje fizjologiczne, m.in. decydujące o efektywnym wykorzystaniu azotu, potasu, fosforu i innych składników pokarmowych. Rośliny zbożowe wykazują największą wrażliwość na miedź, mangan i cynk. Ostre niedobory mikroelementów w glebach i roślinach należy uzupełnić w drodze nawożenia doglebowego. Przy niewielkich niedoborach preferowane jest dolistne dokarmianie roślin mikroelementami.

Literatura

1. Fotyma M., Mercik S.: *Chemia Rolna*. Wyd. PWN, Warszawa 1995. ss. 336.
2. Grzebisz W.: Nawożenie roślin uprawnych. II. Podstawy nawożenia. PWRiL. 2009, ss. 376.
3. Jadczyzyn T.: Doradztwo nawozowe w rolnictwie zrównoważonym. Upowszechnianie zasad dobrej praktyki rolniczej, cz. 1. Mat.Szkoł., Puławy 2003, **87/03**: 33-46.
4. Jadczyzyn T.: Sporządzanie planu nawożenia z uwzględnieniem wyników badań gleby. Raporty PIB, 2006, **1**: 37-43.
5. Jadczyzyn T.: System doradztwa nawozowego. W: *Chemia rolno. Podstawy teoretyczne i praktyczne*, S. Mercik (red.). SGGW Warszawa, 2004, ss. 246-247.
6. Jadczyzyn T., Kowalczyk J., Lipiński W.: Nawożenie mineralne na gruntach ornych i trwałych użytkach zielonych. Instr. Upowsz. IUNG-PIB, Puławy 2012, **184**: 1-24.
7. Kocół A.: Potrzeby nawożenia mikroelementami. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2013, **34(8)**: 133-144.

8. Ł a b ę t o w i c z J.: Plan nawozowy jako narzędzie gospodarowania składnikami mineralnymi w rolnictwie. W: Produkcja i rynek zbóż, J. Rozbickiego (red.). SGGW, 2002, ss. 187-210.
9. Materiały do opracowywania zaleceń nawozowych. IUNG Puławy, wyd. PWRiL, 1989.
10. M e n g e l K., K i r b y E.: Podstawy żywienia roślin. PWRiL, Warszawa 1983, ss 527.
11. P i e c h o t a T., K o w a l s k i M.: Jesienne nawożenie. Świat zbóż, **23**: 35-36.
12. S p i e r t z J.H.J., V o s N.M.: Agronomical and physiological aspects of the role of nitrogen in yield formation of cereals. Plant Soil, 1983, **75**: 379-391.
13. S t a n i s ł a w s k a - G ł u b i a k E., K o r z e n i o w s k a J.: Zasady nawożenia mikroelementami roślin uprawnych. Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy 2007, **8**: 99-110.
14. S t ę p i ę Ń W.: Nawozy Wieloskładnikowe i zasady mieszania nawozów. W: Chemia Rolna. Podstawy teoretyczne i praktyczne, S. Mercik (red.). SGGW Warszawa, 2004, ss. 113-118.
15. S z c z e p a n i a k W., M u s o l f R., B o c z a r P. Azot: ile, kiedy i w jakiej formie? Jak w praktyce prowadzić łan pszenicy ozimej. Mat. Szkol. IUNG-PIB, Puławy 2006, **92**: 19-29.
16. Z a w a d z k i K., S t r a c h o t a W., S k o m r a M.: Zalety dolistnego nawożenia zbóż koncentratami Insol. Zboża – wszechstronne wykorzystanie, „Sgro Serwis“, 2009, ss. 63-65.

Adres do korespondencji:

dr hab. Alicja Pecio, prof. nadzw.
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. (81) 886 34 21 w. 225
e-mail: alap@iung.pulawy.pl

Alicja Pecio

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

NAWOŻENIE ZBÓŻ JARYCH*

Słowa kluczowe: zboża jare, potrzeby pokarmowe, potrzeby nawozowe, wapnowanie, azot, fosfor, potas, mikroelementy

Wstęp

Gatunkami zbóż jarych najczęściej uprawianymi w Polsce są: pszenica, jęczmień i owies.

Ziarno pszenicy jarej wykorzystywane jest, podobnie jak pszenicy ozimej, do wyrobu mąki wypiekowej, do przygotowywania potraw mącznych oraz na paszę. Wartość wypiekowa ziarna pszenicy jarej jest z reguły lepsza niż ozimej. Pszenica jara uprawiana jest najczęściej w rejonach, w których niepewna jest uprawa pszenicy ozimej z powodu długotrwałej okrywy śnieżnej i niskich temperatur zimowych, a także po późnych przedplonach. W porównaniu z pszenicą ozimą formy jare wytwarzają system korzeniowy w głębszej warstwie gleby, jednak wzrost korzeni jest powolny w początkowym okresie rozwoju, co wpływa na jej dużą wrażliwość na susze wiosenne. Pszenica jara plonuje najwyżej na glebach kompleksu pszennego bardzo dobrego i dobrego oraz kompleksu żytniego bardzo dobrego i dobrego o odczynie lekko kwaśnym do obojętnego (pH 5,6–7,0).

Jęczmień jary jest wykorzystywany głównie do produkcji pasz treściwych (60–70% zebranego ziarna). Około 15% zbiorów wykorzystuje się do produkcji piwa i ponad 10% na cele konsumpcyjne. Ziarno przeznaczone na pasze powinno zawierać dużo białka o korzystnym dla zwierząt składzie aminokwasowym, natomiast ziarno jęczmienia browarnego nie powinno zawierać więcej niż 11,5% białka. Inne pożądane parametry to: masa 1000 ziaren w granicach 40–45 g, jasnożółta barwa ziarna i celność – czyli udział ziaren o średnicy powyżej 2,5 mm co najmniej 95%. Wszystkie podane cechy mogą być w dużym stopniu modyfikowane przez odpowiednie nawo-

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.3 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

zenie. Jęczmień jary ma większe wymagania glebowe od ozimego, najlepiej plonuje na glebach kompleksu pszennego bardzo dobrego i dobrego, a także żytniego bardzo dobrego. Gleba nie może być zakwaszona, optymalny dla jęczmienia odczyn (pH) wynosi 6,5–7,3. Jęczmień jary, szczególnie uprawiany dla browarnictwa, wymaga klimatu cieplejszego niż inne zboża, wrażliwy jest zarówno na suszę, jak i na nadmiar opadów. Słaby system korzeniowy jęczmienia jarego sprawia, że zboże to ma szczególne wymagania odnośnie nawożenia.

Ziarno owsa zużywane jest głównie do celów paszowych, jednakże po pozbawieniu plewek jest także przydatne do celów konsumpcyjnych. Dobra strawność ziarna umożliwia produkcję płatków i kasz. W porównaniu z innymi zbożami jarymi owies odznacza się dłuższym okresem wegetacji i większymi wymaganiami w stosunku do wody, jest natomiast mniej wymagający w stosunku do jakości gleb. Jeśli są one wystarczająco wilgotne, dobrze plonuje na wszystkich glebach, w zakresie pH od 5,5 do 7,0.

Potrzeby pokarmowe

Potrzeby pokarmowe zbóż odpowiadają ilości składników, jakie roślina musi pobrać, aby wydać odpowiednio duży plon organów użytkowych. Można je obliczyć, mnożąc ilość składników potrzebnych na wyprodukowanie jednostki plonu przez wielkość przewidywanego plonu ziarna z hektara. Pobranie jednostkowe składników pokarmowych dla zbóż jarych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Pobranie składników pokarmowych przez wybrane gatunki zbóż jarych na jednostkę plonu głównego z odpowiednią masą plonu ubocznego

Roślina	Pobranie jednostkowe składnika ($\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$)			
	N	P_2O_5	K_2O	MgO
Pszenica	25,1	10,3	16,3	3,7
Jęczmień	21,0	9,6	16,4	3,8
Owies	22,2	10,8	22,0	3,7

Źródło: Jadczyzyn, 2003 (7)

Dla zapewnienia plonu 5 t ziarna z ha pszenica jara pobiera w okresie wegetacji: 126 kg azotu (N), 51 kg fosforu (P_2O_5), 82 kg potasu (K_2O), 19 kg magnezu (MgO). Dla wytworzenia takiego plonu jęczmień potrzebuje odpowiednio: 105 kg azotu (N), 48 kg fosforu (P_2O_5), 82 kg potasu (K_2O) i 19 kg magnezu (MgO), a owies: 111 kg azotu (N), 54 kg fosforu (P_2O_5), 110 kg potasu (K_2O) i 19 kg magnezu (MgO). Owies wymaga zatem szczególnie dobrego zaopatrzenia w potas. Mikroelementy w przeliczeniu na 5 t ziarna pobierane są przez rośliny zbożowe w ilości: 28 g boru (B), 41 g miedzi (Cu), 355 g cynku (Zn), 530 g manganu (Mn), i 3,5 g molibdenu (Mo) (9).

Potrzeby nawozowe

Składniki pokarmowe rośliny pobierają z gleby i nawozów. Ilość składników, jaką należy dostarczyć roślinom w nawozach zależy od potrzeb pokarmowych roślin oraz dostępności składników w glebie (2). Ilość składników pokarmowych w glebie określa się metodami analizy chemicznej. Ocenę zasobności przeprowadza się w oparciu o liczby graniczne (10).

Dawki nawozów w zależności od poziomu plonowania zbóż ozimych uprawianych na glebach o średniej zawartości składników pokarmowych przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Zalecane dawki nawozów mineralnych (kg ha⁻¹) w zależności od prognozowanego plonu zbóż jarych

Roślina	Plon (t·ha ⁻¹)	Azot (N)	Fosfor (P ₂ O ₅)	Potas (K ₂ O)	Magnez (MgO)
Pszenica	5	90	50	60	20
	7	110	65	80	20
	8	120	75	90	25
Jęczmień	6	80	55	65	20
	7	100	60	75	20
	8	120	70	85	25
Owies	4	40	40	45	10
	5	60	50	60	10
	7	120	65	80	15
	8	140	75	95	20

Źródło: Jadczyżyn i in., 2012 (8)

Dawki fosforu, potasu i magnezu proponowane w tabeli 1 należy zmodyfikować w zależności od zasobności gleby. Przyjmuje się, że w warunkach gleb o bardzo niskiej lub niskiej zasobności w P i K dawki tych składników w nawozach należy zwiększyć odpowiednio o 50 i 25%. W przypadku bardzo wysokiej lub wysokiej zawartości fosforu i potasu w glebie, dawki można zmniejszyć odpowiednio o 50 i 25%.

Wapnowanie gleb

Podstawowym warunkiem uzyskania pożądaných plonów roślin jest uregulowany odczyn gleby. Wapnowanie powoduje wzrost plonowania roślin na skutek poprawy właściwości fizycznych, biologicznych i agrochemicznych gleby. Zmiany te umożliwiają lepszy rozwój systemu korzeniowego roślin i większe pobranie wody i składników pokarmowych, szybsze procesy rozkładu materii organicznej, nawozów naturalnych i organicznych oraz uruchomienie składników mineralnych z resztek roślinnych, neutralizację toksycznego glinu i manganu, a także uruchomienie trudno rozpuszczalnych związków fosforu.

Podstawą wyznaczenia dawek nawozów wapniowych jest pomiar stopnia zakwaszenia gleby – oznaczenie pH gleby i wyznaczenie na tej podstawie przedziału potrzeb wapnowania. Przedziały potrzeb wapnowania zależnie od kategorii agronomicznej gleby przedstawiono w rozdziale „Wapnowanie gleb” (w tym zeszycie). Warto zwrócić uwagę, że optymalny poziom zakwaszenia, za który można uznać przedział „ograniczone potrzeby wapnowania” jest zasadniczo inny na glebach lekkich niż na ciężkich. Na podstawie wyników wieloletnich masowych doświadczeń polowych określono zalecane dawki nawozów wapniowych dla gleb zaliczonych do poszczególnych przedziałów potrzeb wapnowania (tab. 3).

Tabela 3

Dawki nawozów wapniowych ($t \text{ CaO} \cdot \text{ha}^{-1}$)

Kategoria agronomiczna	Potrzeby wapnowania			
	konieczne	potrzebne	wskazane	ograniczone
Bardzo lekkie	3,0	2,0	1,0	-
Lekkie	3,5	2,5	1,5	-
Średnie	4,5	3,0	1,7	1,0
Ciężkie	6,0	3,0	2,0	1,0

Źródło: mat. do opracowywania zaleceń nawozowych, 1989 (10)

Po wyznaczeniu zalecanej dawki nawozów wapniowych w przeliczeniu na CaO należy określić dawkę określonego nawozu wapniowego na podstawie zawartości CaO w nawozie wapniowym lub w przypadku nawozów wapniowo-magnezowych CaO i MgO. Na glebach lekkich zaleca się wapno węglanowe, a na gleby ciężkie można stosować zarówno wapno węglanowe, jak i tlenkowe. Na glebach kwaśnych ubogich w magnez należy zastosować wapno magnezowe. Nawożenie magnezem należy bezwzględnie stosować na glebach o bardzo niskiej i niskiej zasobności w magnez przyswajalny:

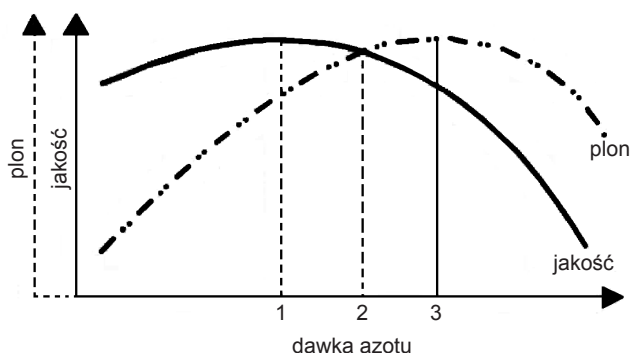
- na glebach wymagających wapnowania zaleca się stosowanie wapna magnezowego węglanowego lub tlenkowego,
- na glebach niewymagających wapnowania zaleca się stosowanie co 2–3 lata nawozu magnezowego w dawkach zapewniających około $100 \text{ kg Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Nawożenie azotem

Azot jest jednym z najważniejszych składników plonotwórczych. Odgrywa kluczową rolę w procesach wzrostu i plonowania roślin uprawnych, rozpatrywanych w ujęciu fizycznej masy plonu ziarna, jak też jego jakości odnoszonej do wartości konsumpcyjnej, paszowej i przemysłowej. Klasycznym sposobem przedstawiania reakcji rośliny na zaopatrzenie w azot są funkcje produkcji. Analiza reakcji roślin zbożowych na nawożenie wzrastającymi dawkami azotu wskazuje na przyrost plo-

nów ziarna proporcjonalny do ilości pobranego przez roślinę składnika, lecz tylko do określonej dawki azotu (ściślej, do ilości azotu pobranego z gleby i nawozów). Powyżej tej krytycznej wartości dochodzi do zmniejszenia plonu ziarna.

W zbożach uprawianych na cele konsumpcyjne liniowy model akumulacji azotu pełni ważną plonotwórczą funkcję, gdyż prowadzi do wzrostu zawartości azotu w ziarnie, co nie zawsze ma związek z wielkością zbieranego plonu ziarna (5). Zakumulowane związki białka, głównie prolaminy (gluten), odgrywają podstawową rolę w jakości konsumpcyjnej tzw. ziarna chlebowego. Model „pełzającej” akumulacji azotu jest niepożądany w uprawie jęczmienia uprawianego na cele browarne, gdyż generalnie pogarsza wartość technologiczną ziarna na skutek zmniejszenia ekstraktywności słoju, spadku liczby Kolbacha, spadku produkcji słoju i ogólnego pogorszenia jakości piwa.



Rys. 1. Stopień odżywienia rośliny uprawnej azotem a plon i jakość technologiczna

Źródło: Grzebisz, 2008 (5)

Relacje zachodzące pomiędzy ilością dostarczonego azotu (dawką) a plonem ogólnym oraz ilością składnika niezbędną do utrzymania pożądanej jakości produktu są złożone. Dawki azotu muszą być precyzyjnie dopasowane do wymagań pokarmowych i warunków wzrostu roślin, aby możliwe było uzyskanie ekonomicznie opłacalnego plonu i odpowiedniej jego jakości. Wysokie dawki azotu maksymalizujące plon mogą być zbyt wysokie dla uzyskania pożądanej jakości technologicznej ziarna.

Najważniejszym źródłem azotu dla rośliny są nawozy mineralne. Azot zawarty w tych nawozach jest łatwo dostępny dla roślin, ale stopień jego wykorzystania przez rośliny zależy od wielu czynników: przede wszystkim od terminu i stosowania nawozów, tempa pobierania azotu, przestrzennego rozmieszczenia nawozów w glebie i systemu korzeniowego roślin. Ilość azotu mineralnego dostarczonego roślinom (z gleby i z nawozów) powinna odpowiadać potrzebom pokarmowym roślin. Zbyt mała ilość azotu ogranicza wzrost i rozwój roślin, co zawsze uwidacznia się w plonie końcowym ziarna i słomy. Zbyt duża ilość składnika stwarza niebezpieczeństwo zwiększenia jego strat i stanowi zagrożenie dla środowiska naturalnego. Obowiązuje

tu zatem znana zasada: „tak dużo azotu mineralnego jak to jest konieczne, tak mało jak to jest możliwe”. Ze względów środowiskowych ważne jest, aby po zbiorze ilość azotu mineralnego pozostającego w glebie była jak najmniejsza (4).

Przygotowując plan nawożenia zbóż, można jako podstawę przyjąć przeciętne dawki azotu, które przedstawiono w tabeli 2. Modyfikacja dawek azotu powinna uwzględniać uwarunkowania organizacyjno-technologiczne i warunki wegetacji oraz rozwoju zbóż.

Istotne znaczenie ma optymalny podział zaplanowanej dawki. Podział taki z jednej strony umożliwia elastyczne dostosowanie się do wymagań rośliny, jej tempa wzrostu i stadiów rozwojowych, z drugiej zaś strony daje możliwość elastycznego korygowania dawki i formy nawozu azotowego w trakcie sezonu wegetacyjnego w zależności od potrzeb ładu i przebiegu pogody. Dlatego terminy nawożenia uprawianej rośliny azotem powinny być tak dobrane, aby istotnie wpływać na kształtowanie plonu użytkowego:

- tworzenie pierwotnych podstaw struktury plonu,
- formowanie elementów struktury plonu – faza ta przypada na okres szybkiego wzrostu rośliny,
- kwitnienie i dojrzewanie.

Rośliny zbożowe akumulują 85–100% pobranego azotu w fazie wzrostu wegetatywnego. Maksymalne zapotrzebowanie przypada na fazę szybkiego wzrostu rośliny. Podczas fazy nalewania ziarna zachodzi proces remobilizacji związków organicznych azotu z zasobów zgromadzonych w fazie wzrostu wegetatywnego i niewielkie pobieranie z zasobów glebowych (5). Fazy krytyczne ujawniają się jednak w każdym okresie tworzenia plonu. Istotą nawożenia azotem jest taki dobór terminów stosowania nawozów, aby dostatecznie wyprzedzić fazę krytyczną, a ilość stosowanego składnika powinna wynikać z zapotrzebowania rośliny na azot w danej fazie rozwoju. Wyróżnia się trzy zasadnicze fazy krytyczne odżywiania azotem zbóż jarych:

- I. Przed wysiewem;
- II. Od strzelania w źdźbło do początku kłoszenia (BBCH 31-50);
- III. Od wykłoszenia do początku kwitnienia (BBCH 56-60).

Małe dawki nawozów azotowych ($30\text{--}50\text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) mogą być stosowane w całości w pierwszym okresie. Większe dawki ($80\text{--}90\text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) powinny być podzielone na dwie części i wnoszone w dwóch pierwszych okresach. Natomiast dawki największe, stosowane na polach o dużych plonach oraz w uprawie pszenic jakościowych, należy dzielić na trzy części.

Nawożenie przedsiewne

Pierwszą, zasadniczą dawkę nawozów stosuje się w okresie bezpośrednio poprzedzającym siew zbóż jarych. Dawka ta powinna stanowić około 60% przeciętnej zalecanej dawki optymalnej podanej w tabeli 4. Podobnie jak w przypadku zbóż

ozimych, bardzo wskazane jest wykonanie testu glebowego $N_{\min}$ i dokonanie na tej podstawie odpowiedniej korekty zaplanowanej dawki azotu.

Tabela 4

Ocena zawartości $N_{\min}$ ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) w glebie do głębokości 60 cm wczesną wiosną

Kategoria agronomiczna gleby	Zawartość $N_{\min}$				
	bardzo niska	niska	średnia	wysoka	bardzo wysoka
Bardzo lekka	≤ 30	31-50	51-70	71-90	> 90
Lekka	≤ 40	41-60	61-80	81-100	> 100
Średnia i ciężka	≤ 50	51-70	71-90	91-100	> 100

Źródło: Jadczyński i in., 2012 (8)

Jeśli wynik testu $N_{\min}$ wykazuje wysoką lub bardzo wysoką zawartość składnika w glebie do głębokości 60 cm, to planowaną dawkę nawozów można zmniejszyć o różnicę pomiędzy zawartością $N_{\min}$ stwierdzoną w glebie pobranej z pola i górną granicą zawartości średniej dla takiej gleby. W przypadku zawartości bardzo niskiej lub niskiej zalecaną dawkę N należy zwiększyć o różnicę pomiędzy dolną granicą zawartości średniej i oznaczoną ilością $N_{\min}$ w glebie. Jeśli wynik testu mieści się w przedziale zawartości średniej, dawka N pozostaje bez zmian.

Na bazie pomiaru zawartości azotu mineralnego w glebie pierwszą dawkę azotu można wyliczyć też z następującego wzoru:

Pierwsza dawka N w nawozach = $0,6 \times$ wymagania pokarmowe rośliny – ilość $N_{\min}$ w glebie.

Wymagania pokarmowe = przewidywany plon ziarna $\times$ pobranie jednostkowe.

Pierwsza dawka azotu jest w praktyce jedyną dawką stosowaną pod jęczmień browarny. Przedsiewna dawka azotu pod zboża jare może być stosowana w formie stałej (mocznik, saletrzak, saletra amonowa) lub w formie roztworu saletrzano-mocznikowego, mocznika, saletrzaku czy salmagu. Mniej zalecanie, i tylko pod owies i pszenicę jară, jest nawożenie płynnymi nawozami naturalnymi, o ile gospodarstwo dysponuje rozlewaczem z węzami rozlewowymi. Nawożenie azotem można połączyć z nawożeniem fosforem i potasem, stosując nawóz wieloskładnikowy o odpowiednim składzie.

Właściwe zaopatrzenie zbóż w azot w początkowym okresie wzrostu decyduje o rozkrzewieniu, czyli zwartości łanu, a częściowo również o liczbie kłosek w kłosie. Zbyt duża ilość azotu w tym okresie prowadzi do nadmiernego, niepotrzebnego krzewienia, przedłuża żywotność słabych pędów, które bezproduktywnie wykorzystują asymilaty, co w konsekwencji osłabia żdźbło kłosonośne. Zwiększa to również podatność zbóż na wyleganie i sprzyja nasilonemu występowaniu chorób.

Dawki korekcyjne azotu – nawożenie w okresie wegetacji, II dawka N

Drugą dawkę azotu pod zboża jare stosuje się w okresie od strzelania w źdźbło do kłoszenia. Wielkość tej dawki nie powinna przekraczać 40% przeciętnej dawki optymalnej podanej w tabeli 2, z uwzględnieniem jej modyfikacji o wielkość dawki pierwszej.

Dobre zaopatrzenie zbóż w azot w fazie strzelania w źdźbło zapobiega redukcji źdźbeł kłosonośnych i kłosek, co umożliwia uzyskanie dużej liczby ziaren w kłosie. Termin zastosowania drugiej dawki azotu uzależnia się od obserwacji stanu odżywienia łanu. Przy przeciętnym stanie zasiewów dawkę tą stosuje się na początku fazy strzelania w źdźbło, natomiast przy bujnym wzroście roślin opóźnia się jej wniesienie nawet do początku kłoszenia. Im lepiej odżywiony łan, tym później należy zastosować jego dokarmianie, a w skrajnym przypadku zrezygnować z dokarmiania w ogóle. Wielkość dawki azotu stosowanej w tym okresie można uściślać za pomocą testów roślinnych.

Testy roślinne służą do oceny stanu odżywienia roślin azotem w czasie wegetacji i są metodą pomocniczą w uściśleniu potrzeb nawozowych roślin (4). Pomocnicza funkcja tej metody wynika z trudności przełożenia wyników testu na wielkość dawek azotu. Testy roślinne mają szczególne znaczenie w przypadku, gdy stwierdzone niedobory azotu mogą być uzupełnione nawożeniem pogłównym. Praktyczna możliwość dokarmiania azotem istnieje przede wszystkim w uprawie zbóż z założonymi ścieżkami przejazdowymi, a wyniki testów mogą być wykorzystywane jedynie do uściślenia drugiej wiosennej i ewentualnie kolejnych dawek składnika.

Test barwny

Najstarszym sposobem oceny stanu odżywienia zbóż azotem jest test barwny. Test ten wykonuje się od fazy strzelania w źdźbło do fazy kłoszenia, traktując uzyskany sok roślinny 1% roztworem dwufenyloaminy. Otrzymaną barwę wyciągu ocenia się według skali trzystopniowej, w której stopień 0, czyli brak zabarwienia oznacza bardzo duże zapotrzebowanie na azot, a stopień 3, czyli zabarwienie ciemnoniebieskie – wystarczające lub nadmierne zaopatrzenie rośliny w ten składnik (tab. 5).

Tabela 5

Stan odżywienia zbóż azotem i korekta żywieniowa (test barwny)

Wartości wskaźnikowe testu	Dawki N (kg·ha ⁻¹)	
	faza BBCH 30/31	faza BBCH 50/51
0-0	50-40	90-60
1-2	40-20	60-30
2-3	20-0	30-0

Źródło: Sturm i in., 1994 (14)

Test azotu ogólnego

Podstawową metodą oceny stanu odżywienia roślin jest analiza ich części wskaźnikowych, którymi mogą być liście, źdźbła lub cała masa nadziemna. Najstarszym sprawdzonym testem roślinnym jest test azotu ogólnego polegający na oznaczeniu w laboratorium zawartości azotu ogólnego w całej masie nadziemnej zbóż. Próbkę materiału roślinnego pobiera się w okresie pomiędzy pełnym krzewieniem a początkiem strzelania zbóż w źdźbło. W tabeli 6 przedstawiono możliwość uściślenia drugiej dawki azotu pod zboża na podstawie wyników analizy roślin (cała masa nadziemna).

Tabela 6

Uściślenie drugiej wiosennej dawki azotu pod zboża na podstawie zawartości azotu ogólnego w częściach nadziemnych roślin

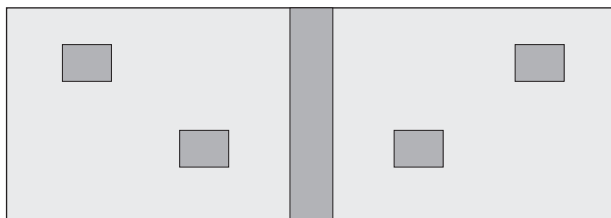
Potrzeby nawożenia	% N w masie nadziemnej zbóż w fazie strzelania w źdźbło			Modyfikacja drugiej dawki azotu
	pszenica	jęczmień	owies	
Bardzo małe i małe	>4,4	>4,0	>4,0	nie stosować
Średnie	4,2-4,4	3,8-4,0	3,8-4,0	zmniejszyć o 25–50%
Duże	3,0-4,2	3,2-3,8	3,0-3,7	utrzymać
Bardzo duże	<3,0	<3,2	<3,0	zwiększyć o 25–50%

Źródło: Fotyma, 2002 (4)

Zawartość azotu ogólnego zmienia się wraz z wiekiem rośliny. Rośliny młode w fazie krzewienia zawierają znacznie więcej azotu niż rośliny starsze w fazie kłoszenia, przy takim samym stanie odżywienia. Prawidłowość ta wynika ze zjawiska „rozcieńczenia azotu” w przyrastającej masie rośliny. Ma to określone konsekwencje praktyczne dla sposobu wykonywania i interpretacji testu. Test azotu ogólnego musi być wykonywany w ściśle określonej fazie rozwojowej, a wynik często jest interpretowany w odniesieniu do faz późniejszych.

Metoda okna nawozowego

Jedną z najprostszych metod kontroli stanu odżywienia roślin, głównie zbóż azotem, jest tzw. metoda okna nawozowego (rys. 2).



Rys. 2. Poletka referencyjne (ciemnoszare) do wyznaczania dawki azotu metodą SPAD lub „okna nawozowego” w łanie rośliny uprawnej (obszar jasnoszary)

Źródło: Grzebisz, 2009 (6)

Okno nawozowe, czyli poletko referencyjne, konstruuje się w czasie przejazdu ciągnika – w kilku miejscach łanu (zależnie od wielkości pola) zamyka się siewnik nawozowy lub zmniejsza ilość wysiewanego nawozu, najlepiej o 50%. Następna dawka azotu stosowana jest w momencie pojawienia się na poletku nienawożonym azotem widocznych objawów niedoboru tego pierwiastka. Stan ten informuje o wyczerpywaniu się zasobów azotu mineralnego w glebie. Metoda okna nawozowego jest znana rolnikom – wystarczy w okresie wegetacji obserwować łąny zbóż z wyraźnie widocznymi „omijkami”. Metoda ta wymaga od rolnika tylko działania celowego, czyli wprowadzenia, w podany wcześniej sposób, poletek referencyjnych. Rolnicy korzystający z tej metody uzyskują stabilniejsze plony, ponieważ kontrolują bieżący stan odżywienia roślin azotem, a liczba zabiegów nawożenia najczęściej wzrasta tylko o jeden. Metodę tą można wykorzystać przy ocenie stanu odżywienia roślin za pomocą testu SPAD.

Test SPAD

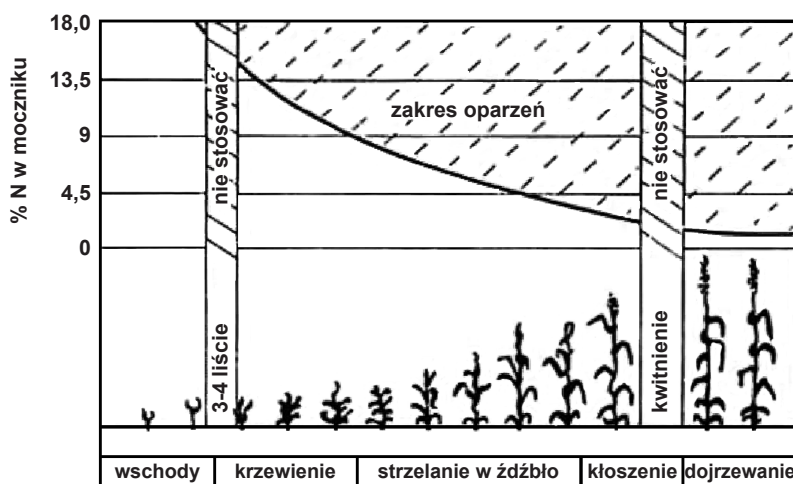
Metoda oceny stanu odżywienia roślin azotem polegająca na pomiarze indeksu zieloności liścia albo zawartości chlorofilu za pomocą specjalnie skonstruowanego przyrządu optycznego zwanego N-testerem. W teście tym dla oceny stanu odżywienia roślin azotem wykorzystuje się udowodnione zależności pomiędzy zawartością N, indeksem zieloności liścia i odczytami N-testera. Pomiary wykonuje się bezpośrednio w łanie roślin „przyżyciowo”. Wynik pomiarów wyświetlany jest na ekranie w postaci tzw. jednostek SPAD. Proponowana metoda określania dawki azotu na podstawie aktualnej wartości SPAD opiera się na porównaniu stanu odżywienia roślin nawożonych i nienawożonych tym składnikiem. Przed wysiewem pierwszej dawki azotu należy przykryć folią fragment pola o powierzchni kilku m², dzięki czemu powstanie nienawożone „okno kontrolne”. Przed zastosowaniem drugiej dawki należy zmierzyć wartość SPAD w łanie nawożonym i w „oknie kontrolnym”, a następnie określić różnicę pomiędzy obu wartościami. Jeśli stan odżywienia roślin nawożonych przekracza 10% wartości uzyskanej dla roślin kontrolnych, na ogół pomija się lub opóźnia kolejny zabieg nawożenia. W sytuacji, gdy różnice pomiarowe są większe, należy wykonać nawożenie w dawce nieprzekraczającej 30 kg N·ha⁻¹ i ponownie wyznaczyć poletka referencyjne.

Nawożenie azotem na kłos, dawka III N

Trzecią dawkę azotu stosuje się tylko na bardzo dobrze zapowiadające się łąny pszenicy jarej. Późne nawożenie azotem stosuje się w okresie od wykłoszenia do początku kwitnienia oraz w fazie początku nalewania ziarna w celu zwiększenia zawartości białka w ziarnie, poprawy właściwości wypiekowych mąki, a także dorodności ziarna. Nawożenie późne N zalecane jest praktycznie tylko w uprawie

pszenic odmian chlebowych przeznaczonych do przerobu technologicznego, w dawce $30\text{--}40 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ i nie mieści się w przeciętnych optymalnych dawkach azotu podanych w tabeli 2.

Późne dawki azotu można stosować w formie szybko działających nawozów saletranych (saletra amonowa lub saletra wapniowa) w formie stałej, a także w formie oprysków roztworami mocznika (3), przestrzegając dopuszczalnych stężeń tego nawozu (rys. 3). Gdy jest to możliwe, opryski roztworem mocznika łączy się z opryskami środkami ochrony roślin (herbicydy, fungicydy, retardanty, insektycydy), a gdy jest to konieczne, z opryskami roztworem siarczanu magnezu i wieloskładnikowymi nawozami płynnymi. W każdym przypadku należy sprawdzić, czy stosowane środki można mieszać z nawozami.



Rys. 3. Zakres bezpiecznego stężenia azotu w roztworze mocznika do dolistnego nawożenia zbóż
Źródło: Czuba, 1996 (1)

Ilość azotu, jaka może być zastosowana w dawce dolistnej wynika z ilości użytej cieczy roboczej na 1 ha (przeciętnie 300 l) oraz dopuszczalnej koncentracji azotu w roztworze mocznika, która zmienia się w okresie wegetacji zbóż. Na początku fazy strzelania w źdźbło bezpieczne dla zbóż stężenie azotu w roztworze mocznika wynosi około 9%, czyli w $300 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ cieczy roboczej można zastosować $27 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, zaś w fazie początku kłoszenia tylko około 4–5%.

Nawożenie fosforem i potasem

Krytyczne okresy pod względem zapotrzebowania na fosfor przypadają u zbóż na fazy krzewienia i nalewania ziarna (wypełniania nasion). W pierwszym krytycznym terminie kształtuje się struktura plonu zbóż. Stan odżywienia fosforem w tym okresie wpływa na liczbę kłosów, a w drugim – na masę ziarniaków. Akumulacja fosforu

w roślinie musi zachodzić progresywnie przez cały okres wegetacji. Korzystny wpływ dobrego odżywienia fosforem wiąże się zwykle z procesami fizjologicznymi, które zwiększając poziom tolerancji roślin na działanie czynników abiotycznych i biotycznych, zmniejszają stopień redukcji plonu i jego jakości. Nawożenie fosforem stymuluje wzrost korzeni. Dobrze rozwinięty i aktywny metabolicznie system korzeniowy, którego wielkość zależy od obecności łatwo dostępnego fosforu we wczesnych fazach rozwoju, jest jednym z istotnych wskaźników odporności roślin na suszę. Zapewniając roślinom dostateczne zaopatrzenie w wodę i składniki pokarmowe, stanowi też skuteczny mechanizm obronny przed chorobami. Działanie fosforu wynika z jego wpływu na metabolizm azotowy – fosfor zmniejsza zawartość niskocząsteczkowych form azotu stanowiących bezpośrednie źródło pożywienia dla chorobotwórczych mikroorganizmów. Dobre odżywienie roślin fosforem prowadzi także do wzrostu zawartości azotu białkowego i azotu aminokwasów egzogennych, a także witamin w ziarnie zbóż (5, 17). Rośliny lepiej odżywione fosforem dostarczają materiału siewnego wyższej jakości. W konsekwencji, większa zawartość fosforu w nasionach oznacza lepszy początkowy wzrost roślin.

Fosfor jest pierwiastkiem mało ruchliwym w glebie, stąd jego straty w wyniku wymywania do podglebia i wód gruntowych są niewielkie (15). Wykorzystanie fosforu z nawozów jest stosunkowo niskie (20–30%), co wynika głównie z jego uwsteczniania się w glebie. Proces ten zależy w dużym stopniu od odczynu gleby. Optymalne pobieranie fosforu zachodzi bowiem w zakresie pH 6,0–7,2. W glebach zakwaszonych, poniżej pH 5,5, ilość przyswajalnego dla roślin fosforu zmniejsza się w wyniku sorbowania lub wytrącania go przez tlenki żelaza i glinu. Z kolei w warunkach zasadowego odczynu gleby (pH > 7,2), pierwiastek ten jest wiązany przez wapń w związki niedostępne dla roślin (1, 6).

Potas jest podstawowym składnikiem mineralnym roślin, pobieranym w największych ilościach. Akumulacja potasu w fazie początkowej jest relatywnie nieduża. Wpływa jednak na pobieranie azotu, który z kolei określa szereg procesów kształtujących plon. Krytyczną fazą pobierania potasu jest faza od strzelania w źdźbło do początku kłoszenia, w której zachodzi intensywny przyrost suchej masy warunkowany zarówno odżywieniem azotem, jak i zaopatrzeniem w wodę. Potrzebne ilości potasu roślina uprawna może pobierać z gleby tylko wówczas, gdy uprzednio wytworzyła głęboki system korzeniowy zdolny do eksploatacji głębszych warstw profilu glebowego. Analogicznie jak dla fosforu, plonotwórczą rolę potasu trzeba rozpatrywać nie tyle w kontekście bezwzględnego wzrostu plonów uprawianych roślin, ile w aspektach minimalizacji działania czynników stresowych wywołujących utratę potencjału plonowania oraz pogorszenie jakości plonu użytkowego. Optymalne odżywienie potasem przynosi roślinie określone korzyści fizjologiczne. Właściwa kontrola gospodarki wodnej zwiększa tolerancję na niedobór wody (suszę), a kontrola produkcji aktywnych rodników tlenowych ogranicza wrażliwość na stres wywołany nadmiernym dopływem światła. Dostateczny udział potasu w budowie tkanki mecha-

nicznej zmniejsza podatność na wyleganie. Możliwość aktywacji H^+ -ATPazy wpływa na zwiększone pobieranie i wzrost efektywności pobranego azotu, przy czym kontrola gospodarki azotowej jest jednym z czynników zmniejszających podatność na atak szkodników i porażenie przez choroby. Niedobór potasu prowadzi do zmniejszenia ilości wyprodukowanego przez roślinę białka i to niezależnie od stopnia odżywienia roślin azotem (5, 13).

Potas, w przeciwieństwie do fosforu, jest pierwiastkiem ruchliwym i dość łatwo przedostaje się w głąb profilu glebowego (11). W warunkach klimatycznych naszego kraju szczególnie duże ilości potasu są wymywane z gleb lekkich wytworzonych z piasków, o małej pojemności sorpcyjnej, jak również z gleb torfowych, wskutek słabego wiązania potasu przez substancję organiczną. Stratom potasu sprzyja kwaśny odczyn gleby, ponieważ w miarę spadku pH maleje siła wiązania tego składnika przez kompleks sorpcyjny (1, 6).

Wśród zbóż jarych pszenica jest średnio wrażliwa na niedobór fosforu i potasu. Prawidłowe nawożenie fosforem i potasem ma duże znaczenie przy produkcji ziarna jęczmienia na cele browarne. Fosfor sprzyja dobremu wykształceniu ziarna i zmniejszeniu procentowego udziału łuski. Potas polepsza zabarwienie ziarna. Spośród jarych roślin zbożowych największą zdolnością pobierania składników pokarmowych z gleby wyróżnia się owies.

Nawozy fosforowe i potasowe pod zboża jare stosuje się jesienią, najlepiej przed wykonaniem orki siewnej lub przedzimowej. Jedynie na glebach lekkich uzasadnione jest przeniesienie tej czynności na okres wiosennego przedsięwzięcia przygotowania pola. Nawozy te powinny być dobrze wymieszane z glebą na głębokość 15–20 cm. Wpływa to korzystnie na rozwój systemu korzeniowego roślin. Gdy wzrasta zapotrzebowanie roślin na składniki pokarmowe mogą one lepiej korzystać z umieszczonych głębiej nawozów. Podstawą ekonomicznie efektywnego nawożenia fosforem i potasem powinien być właściwy odczyn gleby.

Najczęściej stosowanymi formami nawozów fosforowych są superfosfaty (np. superfosfat potrójny zawierający 46% P_2O_5), a nawozów potasowych – sole potasowe (np. sól potasowa zawierająca 60% K_2O). Nawozy te mogą być mieszane i wysiewane łącznie. Stanowi to uproszczenie technologii nawożenia i zmniejsza skutki nierównomiernego rozmieszczenia nawozów. Należy pamiętać jednak, że miesza się nawozy o podobnym uziarnieniu, tzn. granulowane z granulowanymi, a pyliste z pylistymi. Zmieszanie na przykład granulowanego superfosfatu z krystaliczną solą potasową prowadzi do rozwarstwienia mieszanki.

Do przedsięwzięcia nawożenia zbóż jarych przydatne są też nawozy wieloskładnikowe. Duży ich asortyment umożliwia wybór nawozu najlepiej dostosowanego do zasobności gleby i potrzeb pokarmowych rośliny. Są to nawozy zawierające dwa lub więcej podstawowych składników pokarmowych, tj. azot, fosfor, potas, a niekiedy także magnez oraz mikroelementy.

Nawożenie mikroelementami

Spośród mikroelementów zboża są najbardziej wrażliwe na niedobór miedzi, manganu i cynku. Mimo że mikroelementy są potrzebne roślinom w bardzo małych ilościach, to ich niedobór może być czynnikiem ograniczającym plonowanie (9, 13). W roślinie występują w większości enzymów i spełniają rolę ich katalizatorów. Miedź bierze udział w biosyntezie białek oraz w syntezie hormonów wzrostu. Niedobór tego pierwiastka obniża zawartość azotu białkowego, powoduje chlorozę oraz słabe, wiotkie źdźbła zbóż. Mangan wpływa bezpośrednio na proces fotosyntezy, bierze udział w tworzeniu chloroplastów. Niedobór powoduje zahamowanie wzrostu i opadanie liści. Cynk jest aktywatorem enzymów biorących udział w przemianach białek, uczestniczy też w syntezie regulatorów wzrostu. Niedobór cynku sprzyja obniżeniu poziomu auksyn i zahamowanie wzrostu.

Szczegółne zapotrzebowanie roślin na mikroelementy występuje w warunkach intensywnej produkcji roślinnej, przy stosunkowo wysokim nawożeniu. Efekty ich stosowania, zwłaszcza przy dużych niedoborach, dają opłacalną wyżkę plonu i poprawę jego jakości. Przy niskiej zawartości składnika w glebie uzasadnione, a nawet konieczne jest nawożenie mikroelementami w dawce pokrywającej zapotrzebowanie roślin (tab. 7).

Tabela 7

Zalecane dawki mikroelementów w czystym składniku

Mikroelement	Dawka doglebowa ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	Dawka dolistna ($\text{g} \cdot \text{ha}^{-1}$)
Miedź (Cu)	6-10	300
Mangan (Mn)	-	1200
Cynk (Zn)	8-12	600

Źródło: Sienkiewicz-Cholewa i Sekutowski, 2011 (12)

Przy średniej (optymalnej dla roślin) zawartości mikroelementów w glebie można stosować dokarmianie dolistne roślin działające stymulująco na przyrost biomasy i jakość plonów (16). Przy niskiej zawartości mikroelementów w roślinie w czasie wegetacji nawożenie dolistne ma charakter interwencyjny i służy uzupełnieniu niedoborów. Polega ono na opryskach rozworami soli technicznych, chelatów, skoncentrowanych płynnych nawozów mikroelementowych o odpowiednim stężeniu. Do tego celu służą preparaty wieloskładnikowe typu: Insol czy Plonovit, zawierające niewielkie, ale wystarczające ilości mikroelementów. Należy mieć na uwadze fakt, że lepszą przyswajalność i lepsze efekty plonotwórcze zapewni wniesienie tej samej ilości składnika w 2–3 opryskach, a nie w jednej, skoncentrowanej dawce. Istotny jest również termin stosowania nawozów dolistnych. Najlepsze efekty uzyskuje się, dostarczając składniki w fazach intensywnego wzrostu roślin. W przypadku zbóż jest

to okres od ukazania się drugiego kolanka do wykłoszenia. Niektóre opryski można połączyć z zabiegami przeciwko chorobom i szkodnikom.

Podsumowanie

Dawki nawozów mineralnych należy dostosować do potrzeb pokarmowych zbóż oraz zawartości składników w glebie. Nawozy fosforowe i potasowe pod zboża jare stosuje się jesienią. Jedynie na glebach lekkich uzasadnione jest przeniesienie tej czynności na okres wiosennego, przedsięwzięcia przygotowania pola. Najczęściej stosowanymi formami nawozów fosforowych są superfosfaty, a nawozów potasowych – sole potasowe. Przydatne są też nawozy wieloskładnikowe. Plan nawożenia azotem musi mieć charakter otwarty, aby umożliwić modyfikację dawek azotu zależnie od uwarunkowań organizacyjno-technologicznych i przebiegu wegetacji zbóż. Istotne znaczenie ma optymalny podział zaplanowanej dawki. Pierwszą zasadniczą dawkę nawozów stosuje się w okresie bezpośrednio poprzedzającym siew zbóż jarych. Dawka ta powinna stanowić 60% przeciętnej zalecanej dawki optymalnej. Wskazane jest wykonanie testu glebowego $N_{\min}$ i dokonanie na tej podstawie odpowiedniej korekty zaplanowanej dawki azotu. Pierwsza dawka tego składnika jest w praktyce jedyną dawką stosowaną pod jęczmień browarny. Przedsięwzięcia dawkę azotu pod zboża jare można stosować w formie stałej (mocznik, saletrzak, saletra amonowa) lub w formie roztworu saletrzano-mocznikowego (RSM). Nawożenie azotem można połączyć z nawożeniem fosforem i potasem, stosując nawóz wieloskładnikowy o odpowiednim składzie. Drugą dawkę azotu pod zboża jare stosuje się w okresie od strzelania w źdźbło do kłoszenia. Wielkość tej dawki nie powinna przekraczać 40% przeciętnej dawki optymalnej, z uwzględnieniem modyfikacji dawki pierwszej na podstawie testu $N_{\min}$. Wielkość i termin zastosowania drugiej dawki azotu uzależnia się od wyniku testu roślinnego lub obserwacji stanu odżywienia łąnu. Im lepiej odżywiony łąn, tym później należy zastosować jego dokarmianie, a w skrajnym przypadku zrezygnować z dokarmiania w ogóle. Trzecią dawkę azotu stosuje się w okresie od wykłoszenia do początku kwitnienia oraz w fazie początku nalewania ziarna tylko na bardzo dobrze zapowiadające się łąny pszenicy jarej. Późne dawki azotu można stosować w formie szybko działających nawozów saletrzanych (saletra amonowa lub saletra wapniowa) w formie stałej, a także w formie oprysków roztworami mocznika, przestrzegając dopuszczalnych stężeń tego nawozu. Spośród mikroelementów zboża są najbardziej wrażliwe na niedobór miedzi, manganu i cynku. Szczególne zapotrzebowanie roślin na mikroelementy występuje w warunkach intensywnej produkcji roślinnej, przy stosunkowo wysokim nawożeniu. Efekty ich stosowania, zwłaszcza przy dużych niedoborach, dają opłacalną zwyżkę plonu i poprawę jego jakości.

Literatura

1. Czuba R.: Nawożenie mineralne roślin uprawnych. Police 1996, ss.413.
2. Fotyma E., Fotyma M., Pietruch C.: Produkcyjne i środowiskowe skutki nawożenia. Pamiętnik Puławski, zeszyt specjalny – produkcja roślinna w Polsce, 2002, **130/II**: 179-202.
3. Fotyma M., Mercik S.: Chemia Rolna. Wyd. PWN, Warszawa 1995, ss 336.
4. Fotyma E.: Nawożenie zbóż azotem. W: Produkcja i rynek zbóż, J. Rozbicki (red.). „Wiś Jutra”, Warszawa 2002, ss. 210-223.
5. Grzebisz W.: Nawożenie roślin uprawnych. I. Podstawy nawożenia. PWRiL, 2008, ss. 428.
6. Grzebisz W.: Nawożenie roślin uprawnych. II. Podstawy nawożenia. PWRiL, 2009, ss. 376.
7. Jadczyzyn T.: Doradztwo nawozowe w rolnictwie zrównoważonym. Upowszechnianie zasad dobrej praktyki rolniczej, cz. 1. Mat.Szkol., Puławy 2003, **87/03**: 33-46.
8. Jadczyzyn T., Kowalczyk J., Lipiński W.: Nawożenie mineralne na gruntach ornych i trwałych użytkach zielonych. Instr. Upowsz., IUNG-PIB, Puławy 2012, **184**: 1-23.
9. Kocół A.: Potrzeby nawożenia mikroelementami. Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy 2013, **8**: 133-144.
10. Materiały do opracowywania zaleceń nawozowych. IUNG Puławy, wyd. PWRiL, 1989.
11. Murawska B., Sychaj-Fabisia E.: Wpływ właściwości fizykochemicznych gleb na wymywanie potasu. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., PAN, Warszawa 2001, **480**: 113-121.
12. Sienkiewicz-Cholewa U., Sekutowski T.: Czy warto nawozić mikroelementami? Nasza Rola, 2011, **3**: 28-33.
13. Stępień W.: Potas, magnez, wapń i mikroelementy w roślinie. W: Chemia rolna, podstawy teoretyczne i praktyczne, E. Ramus (red.). SGGW Warszawa, 2004, ss. 225-233.
14. Sturm H., Buchner A., Zerulla W.: Gezielter Düngen. Verlags Union Agrar, Frankfurt am Main, Verlags Union Agrar. 1994, ss. 472.
15. Sykut S.: Wymywanie makroelementów z gleb w lizymetrach. Nawozy i Nawożenie, PTN IUNG, Puławy 2000, **4(5)**: 18-26.
16. Szewczuk C.: Dokarmianie dolistne zbóż. Zboża wysokiej jakości, wszechstronne wykorzystanie. „Agro Serwis”, 2013, ss. 62-65.
17. Turmeka E.: Fosfor w roślinie. W: Chemia rolna, podstawy teoretyczne i praktyczne, E. Ramus (red.). SGGW Warszawa, 2004, ss. 219-222.

Adres do korespondencji:

dr hab. Alicja Pecio, prof. nadzw.
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. (81) 886 34 21 w. 225
e-mail: alap@iung.pulawy.pl

Dorota Pikuła

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

NAWOŻENIE KUKURYDZY UPRAWIANEJ NA ZIARNO*

Słowa kluczowe: kukurydza, potrzeby pokarmowe, nawożenie mineralne i naturalne, nawożenie mikroelementami

Wstęp

Kukurydza należy do jednej z najbardziej opłacalnych i przyszłościowych roślin uprawy polowej w Polsce. W latach 90. XX w. rozwój uprawy tej rośliny był spowalniany z powodu niskich cen i importu znacznych ilości ziarna kukurydzy. Obecnie rosnące zainteresowanie rolników uprawą kukurydzy wynika z wysokiej jej wydajności i wszechstronności użytkowania (19). Kukurydza jest nie tylko cenną rośliną pastewną wykorzystywaną w żywieniu wielu gatunków zwierząt hodowlanych, ale także rośliną przemysłową, coraz częściej wykorzystywaną w przemyśle spożywczym oraz jako surowiec energetyczny. Według danych GUS w roku 2012 kukurydzę na ziarno uprawiono w Polsce na powierzchni ponad 544 tys. ha, tj. o 64% większej niż w poprzednim roku, a zbiory osiągnęły poziom 4 mln ton (10).

Wymagania siedliskowe i pokarmowe

Plonowanie kukurydzy, jak również jakość wytworzonego ziarna, zależy od wielu czynników, tj. nawożenia, warunków pogodowych, odmiany, stanowiska w zmianowaniu, rodzaju gleby oraz ochrony roślin. Spośród roślin uprawnych kukurydza reaguje najslabiej na uprawę w monokulturze. Można ją wysiewać w prawie każdym płodozmianie; w sposób intensywny i ekologiczny. Mimo to z doświadczeń prowadzonych z tą rośliną wynika, że kukurydza uprawiana w płodozmianie, nawet uproszczonym, plonuje o 10–20% wyżej niż w monokulturze (23). Na glebach ży-

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.3 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

znych, kompleksów pszennych i żytnich dobrych można z powodzeniem uprawiać ją po zbożach, natomiast na glebach kompleksu żytniego słabego zasiewy powinny poprzedzać rośliny poprawiające stanowisko (okopowe, strączkowe, mieszanki motylkowatych z trawami lub zbożami) (3). Bardzo dobrym rozwiązaniem, zwłaszcza w płodozmianach z przewagą zbóż, jest poprzedzająca kukurydzę uprawa międzyplonu ozimego wyki z żytem i uprawa tej rośliny nawożonej obornikiem. Badania naukowe potwierdzają dużą rolę kukurydzy w zmianowaniu związanej m.in. z ograniczeniem chorób, szkodników, chwastów, jak również polepszeniem jakości siedliska. Uprawa kukurydzy w monokulturze powoduje jednostronne wyczerpywanie się składników pokarmowych (23).

Kukurydza jako roślina pochodząca z klimatu podzwrotnikowego charakteryzuje się dużymi wymaganiami cieplnymi, co wpływa oczywiście ograniczająco na zasięg jej uprawy i wielkość plonów ziarna. Stąd wymaga umiejętnego doboru odmian tolerancyjnych na chłód, które, posiadając cechę wczesnego dojrzewania, gwarantują zbiory ziarna bez ryzyka strat plonu (7, 22). Kukurydza dla prawidłowego rozwoju potrzebuje sumy temperatur efektywnych wynoszących 1700–3120°C. Dzięki prowadzeniu długoletniej pracy hodowlanej udało się poszerzyć ten zakres u odmian wczesnych i kukurydza dojrzewa także w krajach o klimacie umiarkowanym, o mniejszych sumach temperatur efektywnych (tab. 1) (22).

Tabela 1

Suma jednostek cieplnych potrzebnych do osiągnięcia poszczególnych faz rozwojowych roślin kukurydzy

Faza rozwojowa			
kwitnienie		dojrzałość	
wiech	kolb	woskowa	pełna
809,3	907,0	1208,2	1519,4

Źródło: Sulewska, 1997 (22)

Kukurydza mimo oszczędnej gospodarki wodnej, o czym świadczy niski współczynnik transpiracji (1:256), ma duże potrzeby wodne. Ilość wody dostępnej z opadów w okresie wegetacji kukurydzy, od kwietnia do maja, jest w Polsce podstawowym czynnikiem decydującym o wielkości uzyskiwanych plonów, silniej działającym ograniczająco na wielkość plonu niż czynniki termiczne. Gleby bardzo lekkie gromadzą w profilu glebowym do 1m maksymalnie 140 mm wody, lekkie – 210 mm, średnie – 280 mm, a ciężkie – 320 mm. Dlatego też niedobór wody, szczególnie na glebach lżejszych, jest poważnym czynnikiem ograniczającym plonowanie kukurydzy. Ilość akumulowanej wody uzależniona jest nie tylko od rodzaju gleby, ale też od zawartości glebowej materii organicznej. Podniesienie zasobów próchnicy w glebie zawsze poprawia warunki wodne w glebie (6, 22). Obliczono, że gdyby podnieść zawartość próchnicy w polskich glebach o 1%, to rocznie można by zmagazynować 30 mm

opadu więcej. Największe zapotrzebowanie kukurydzy na wodę przypada w fazie kwitnienia, czyli w lipcu i na początku sierpnia. Poza dużymi potrzebami wodnymi kukurydza ma również duże potrzeby pokarmowe, co do podstawowych składników pokarmowych NPK; największe względem potasu, następnie azotu i znacznie mniejsze odnośnie fosforu (7, 8, 11, 14). Na wytworzenie 1 tony ziarna wraz z odpowiednią ilością słomy pobiera średnio 38 kg potasu (K_2O), 32 kg azotu (N) i 14 kg fosforu (P_2O_5) (2, 7, 8). Wykazuje również duże zapotrzebowanie na wapń i magnez.

Dynamika pobierania składników pokarmowych

Rośliny kukurydzy potrzebują do wzrostu i rozwoju oraz wydania dużego plonu wszystkich niezbędnych składników pokarmowych pobieranych w zależności od potrzeb, w odpowiednich ilościach i proporcjach, w kolejnych fazach ich rozwoju. Niedobór któregoś z nich, zwłaszcza w krytycznej fazie wzrostu tej rośliny, wpływa redukująco na plon ziarna (9, 15). Dynamika pobierania składników pokarmowych przez kukurydzę w dużym stopniu zależy od przebiegu pogody (1, 6, 7). W okresie wczesnowiosennym, gdy gleba jest jeszcze niedostatecznie ogrzana, często występują problemy z pobieraniem składników pokarmowych – głównie azotu i fosforu (7, 8, 9). Wpływ warunków pogodowych na koncentrację makroskładników w ziarnie kukurydzy potwierdza K r u c z e k (16). W temperaturze 5–12°C osłabiona jest aktywność młodych korzeni kukurydzy do pobierania jonów, szczególnie fosforu i azotu (14). Ponadto w tych warunkach zmniejsza się tempo procesu mineralizacji materii organicznej oraz rozpuszczalność niektórych form fosforu, to może skutkować zmniejszeniem plonowania kukurydzy, a w konsekwencji ujawnianie się w jej tkankach niedoboru składników mineralnych (1). Potas natomiast jest słabiej pobierany przy niskich temperaturach powietrza i okresowych suszach oraz gdy gleba wykazuje odczyn pH poniżej 5,5 (9). Pobieranie potasu może być utrudnione również na glebach zasobnych w magnez lub ubogich w fosfor oraz na glebach nadmiernie zagęszczonych w strefie ukorzeniania się. Niedostateczne odżywienie kukurydzy azotem, fosforem i potasem wpływa negatywnie na rozwój tej rośliny (6, 7, 8, 16). Kukurydza, mimo dużych całkowitych potrzeb odnośnie azotu, w początkowej fazie rozwoju pobiera niewielkie ilości tego składnika. Potrzeby kukurydzy względem azotu wrastają w miarę postępu wegetacji i szczyt zapotrzebowania na azot osiągają w okresie kwitnienia i na początku formowania ziarna. Charakterystycznymi objawami niedoboru azotu, widocznymi zwłaszcza w późniejszym okresie wegetacji są bladezielone liście, o węższych blaszkach liściowych. Długookresowy niedobór tego składnika u kukurydzy powoduje żółknięcie i zasychanie zwłaszcza dolnych liści. Poza tym rośliny rosną wolniej, dojrzewanie jest opóźnione, co przekłada się na znaczne obniżenie potencjału plonowania kukurydzy.

Fosforu kukurydza potrzebuje najwięcej w fazach: od kiełkowania do 6–8 liści oraz tworzenia ziarna i dojrzewania (6, 7, 9). Niedobór fosforu w pierwszych fazach

rozwojowych kukurydzy może uniemożliwić prawidłowy rozwój systemu korzeniowego, co w efekcie utrudni pobieranie wody oraz pozostałych składników pokarmowych. Charakterystycznym objawem niedoboru fosforu u kukurydzy są antocyjanowe przebarwienia na liściach i zahamowanie wzrostu rośliny.

Potas to składnik pokarmowy, który jest pobierany najintensywniej w fazie od 5–6 liści do kwitnienia kukurydzy (6, 7, 8). Pierwiastek ten zwiększa odporność roślin na wyleganie oraz znacznie zmniejsza ryzyko porażenia ich przez choroby grzybowe. Optymalna zawartość potasu w glebie i roślinie pozwala kukurydzy poprawnie gospodarować wodą, wpływa również korzystnie na prawidłowy przebieg fotosyntezy. Niedobór potasu u kukurydzy może powodować łamliwość jej łodyg oraz zmniejszać wypełnienie kolb ziarnem. Obliczono, że kukurydza w ciągu kilku tygodni intensywnego wzrostu może przyswoić średnio $240 \text{ kg K}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1}$ (8). Krytyczne fazy zapotrzebowania kukurydzy na składniki pokarmowe zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 2

Krytyczne fazy zapotrzebowania kukurydzy na składniki pokarmowe

Faza rozwoju	Składniki pokarmowe
5–6 liści	N, P, Zn
Faza szybkiego wzrostu	N, K, Mg, S
Wyrzucanie wiechy – stadium wodne dojrzałości ziarniaka	woda, N, K, B, Zn
Nalewanie ziarna	P, N, Zn, Mg, S

Źródło: Grzebisz, 2012 (7)

Nawożenie mineralne

Wybór technologii nawożenia kukurydzy powinien uwzględniać odmianę i przeznaczenie (ziarno, kiszonka z kolb – CCM, kiszonka z całych roślin), wysokość spodziewanych plonów, potrzeby pokarmowe, krytyczne fazy wzrostu i pobierania składników pokarmowych, odczyn i zasobność gleby w składniki pokarmowe stanowiska, na którym ma być uprawiana kukurydza. Znając wszystkie wyżej wymienione elementy, można precyzyjnie ustalić dawki i rodzaj nawozów mineralnych pod kukurydżę. Dawki nawozów mineralnych pod kukurydżę należy najlepiej wyliczać w oparciu o wyniki analiz próbek glebowych, co pozwala ustalać optymalne nawożenie z uwzględnieniem aktualnego stanu żyzności gleby oraz zapewnić wysoką efektywność stosowanych nawozów mineralnych. Dawki nawozów mineralnych można również ustalać w oparciu o zalecenia IUNG-PIB opracowane na podstawie wieloletnich doświadczeń polowych. Poniżej zamieszczono przykładowe dawki nawozów mineralnych w $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ w zależności od wielkości przewidywanego plonu kukurydzy.

Tabela 3

Zalecane dawki NPK ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) w zależności od prognozowanego plonu

Roślina	Plon ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)	Azot (N)	Fosfor (P_2O_5)	Potas (K_2O)	Magnez (MgO)
Kukurydza na ziarno	5	80	55	70	30
	7	130	75	100	45
	9	180	95	125	55
	10	200	105	140	60
Kukurydza na zieloną masę	50	140	70	150	60
	60	160	80	175	70
	80	190	100	220	95
	100	220	120	240	110

Źródło: Jadczyzyn i in., 2013 (12)

Przy uprawie kukurydzy na ziarno lub CCM znaczna część składników zawartych w resztkach poźniwnych w praktyce pozostaje na polu, więc stanowi źródło składników pokarmowych dla rośliny następcej. W zależności od aktualnej zasobności gleby w przyswajalne składniki pokarmowe pod kukurydzę należy stosować składniki mineralne w postaci nawozów jedno- lub wieloskładnikowych (5, 9). Na gleby charakteryzujące się niską zasobnością w przyswajalne składniki pokarmowe zaleca się stosować nawozy jednoskładnikowe, natomiast na gleby o średniej zasobności – nawozy wieloskładnikowe. Mineralne nawozy fosforowo-potasowe pod kukurydzę zaleca się stosować w całości przedsięwzię, jesienią, po zbiorze przedplonu kukurydzy, pod orkę zimową. Na glebach lżejszych zalecane dawki nawozów PK można podać również przedsięwzię na wiosnę (1, 8). Należy dążyć do takiego zoptymalizowania nawożenia potasem, aby utrzymać średnią jego zawartość w glebie (12). Podobnie postępujemy, by zapewnić kukurydzy optymalną ilość fosforu, zwłaszcza na stanowiskach słabszych. W przypadku, gdy aktualne analizy gleby wykazują bardzo wysoką i wysoką zawartość przyswajalnego fosforu i potasu, proponowane dawki nawozów mineralnych można odpowiednio zmniejszyć o 30–40 $\text{kg P}_2\text{O}_5$ oraz K_2O i 20 $\text{kg P}_2\text{O}_5$ w stosunku do zaleceń. W przypadku niskiej zawartości P lub K dawki nawozów mineralnych należy zwiększyć o 30 $\text{kg P}_2\text{O}_5$ oraz K_2O (12). Jednym ze sposobów zwiększenia dostępności fosforu dla kukurydzy jest utrzymywanie odczynu gleby na pograniczu lekko kwaśnym i obojętnym (najlepiej 6,0–6, 8). W tym zakresie pH fosfor znajduje się w glebie w formie najłatwiej dostępnej dla rośliny i rodzaj nawozu fosforowego nie odgrywa już większej roli (6, 9).

Mimo iż kukurydza jest rośliną mało wrażliwą na nadmiar azotu, to efektywność rolnicza i wykorzystanie azotu przez kukurydzę maleje w miarę wzrostu dawek N. Nadmiar azotu nie powoduje wyraźnych skutków przenawożenia tym składnikiem, ale wywiera jednak negatywny wpływ na jakość plonu oraz stanowi zagrożenie dla środowiska. Nawożenie kukurydzy azotem nie powinno zatem jednorazowo przekraczać 80 kg czystego składnika na hektar. Wyższe dawki azotu należy podzielić na dwie. Połowę dawki należy zastosować przedsięwzię w postaci, np. saletry amonowej,

a drugą część, np. w postaci RSM, pogłównie. Poglówne nawożenie kukurydzy azotem powinno być wykonane, gdy rośliny osiągną wysokość 30–35 cm. W celu uniknięcia poparzenia roślin nawozy należy stosować w bezdeszczowe dni za pomocą rozsiewaczy wyposażonych w aplikatory do wysiewu rzędowego nawozów. Stosując natomiast azot w postaci ciekłej, z wykorzystaniem roztworu saletrzano-mocznikowego (RSM), najlepiej także podzielić dawkę na 2 lub 3 części (2, 5, 9).

Zapotrzebowanie kukurydzy na azot można określić za pomocą szacunkowego bilansu azotu lub wykonując oznaczenia $N_{\min}$ w glebie. Niewielka zawartość $N_{\min}$ w glebie informuje o dużych potrzebach nawożenia N oraz o konieczności zastosowania dużej dawki nawozów. Natomiast duża koncentracja $N_{\min}$ umożliwia ograniczenie nawożenia N. W tabeli 4 przedstawiono potrzeby nawożenia kukurydzy azotem na podstawie $N_{\min}$ oznaczonego wczesną wiosną oraz orientacyjne dawki w zależności od jego zawartości (5, 12).

Tabela 4

Potrzeby nawożenia azotem na podstawie zawartości $N_{\min}$ ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) wczesną wiosną w warstwie gleby 0–60 cm

Kategoria agronomiczna gleby	Potrzeby nawożenia azotem – zawartość $N_{\min}$				
	bardzo duże	duże	średnie	małe	bardzo małe
Lekka	do 40	41-60	61-81	81-100	powyżej 100
Średnia, ciężka	do 50	51-70	71-90	91-120	powyżej 100

Źródło: Fotyma i Maćkowiak, 2002 (4)

Kukurydza nie należy do roślin mających duże zapotrzebowanie na siarkę, ale siarka wpływa korzystnie na jakość jej ziarna. Przy niedoborze siarki obniża się zawartość białka w roślinie, czego wyraźnym symptomem jest zahamowanie wzrostu. Ponadto niedobór siarki prowadzi do obniżenia efektywności i wykorzystania azotu z nawozów azotowych. Każdy brakujący kilogram siarki na hektarze powoduje, że średnio około 15 kg zastosowanego azotu nie zostaje wykorzystane przez rośliny (7, 8). Nawożenie kukurydzy siarką jest szczególnie ważne w przypadku stosowania wysokich dawek azotu. Braki siarki w glebie mogą być uzupełnione przez stosowanie nawozów zawierających siarkę, np. siarczan amonu, siarczan potasu, superfosfat prosty lub regularne stosowanie obornika.

Wapnowanie

Wapnowanie pól jest zabiegiem polepszającym strukturę gleby, zwiększającym aktywność mikrobiologiczną gleby oraz przyswajalność składników pokarmowych, głównie makroelementów (9). Zawartość przyswajalnego wapnia i magnezu w glebie jest ściśle powiązana z jej odczynem. W glebach zakwaszonych zazwyczaj mało jest

wapnia i magnezu, zmniejsza się też pobranie innych składników pokarmowych, co skutkuje niższymi plonami ziarna kukurydzy. Deficyt wapnia może wystąpić również przy stosowaniu wysokich dawek nawozów NPK. Stosowanie nawozów wapniowych pod kukurydzę jest konieczne, jeśli pH gleby wynosi poniżej 5,5. Dawka i forma wapna pod kukurydzę wyznaczana jest na podstawie potrzeb wapnowania, jak i kategorii agronomicznej gleby (2, 6, 7, 12). W zmianowaniu z kukurydzą najlepiej jest stosować nawóz wapniowy po zbiorze jej przedplonu, ponieważ długi okres od zbioru do siewu kukurydzy pozwala doprowadzić glebę do prawidłowego odczynu (pH 6–7,5) (7, 9). Na glebach o niskim pH i niskiej zasobności w przyswajalny magnez zaleca się część nawozu wapniowego zastosować w formie wapna magnezowego. Długotrwałe efekty poprawy kwasowości gleby zapewnia regularne wapnowanie gleby małymi dawkami wapna. Na gleby lekkie zaleca się $1,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ wapna węglanowego (CaO), na średnie – $2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ wapna węglanowego lub tlenkowego (CaO) i $2,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ wapna tlenkowego CaO na gleby ciężkie (12).

Nawożenie naturalne

W Polsce najczęściej stosowanym nawozem naturalnym pod kukurydzę jest obornik. Kukurydza należy do gatunków roślin, które dobrze wykorzystują składniki pokarmowe z tego nawozu. Dla kukurydzy obornik, oprócz makroskładników jest przede wszystkim dobrym i najtańszym źródłem mikroelementów (tab. 5) (18). Ponadto systematycznie stosowany obornik, szczególnie na glebach lżejszych, pozwala utrzymać optymalny poziom próchnicy w warstwie ornej gleby. Obornik to także nawóz, który zaleca się stosować na gleby wyczerpane z potasu. Z toną obornika trzody chlewnej wnosimy przeciętnie ok. 7 kg potasu, a z toną obornika owczego nawet 12 kg potasu (tab. 4.) (18). Pod kukurydzę zaleca się stosować $25\text{--}30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ tego nawozu. W celu optymalizacji nawożenia należy wyliczać dawki składników z nawozów, do czego służą równoważniki nawozowe, które określają ilość składnika działającego w tym nawozie. Równoważnik 1 oznacza takie same działanie składnika w nawozach naturalnych i nawozach mineralnych. Mniejszy od 1 oznacza słabsze działanie składnika w nawozach naturalnych. I tak dla obornika równoważnik azotowy wynosi 0,3 w pierwszym roku po zastosowaniu i 0,1 w drugim. Żeby wyliczyć ilość azotu działającego w tym nawozie, w pierwszym roku po zastosowaniu, mnożymy dawkę nawozu (w $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) $\times$ zawartość azotu ($\text{kg N} \cdot \text{t}^{-1}$ nawozu) $\times$ równoważnik azotowy 0,3 i otrzymujemy ilość azotu działającego w tej dawce nawozu. Składniki pokarmowe z nawozów mineralnych nie są wykorzystywane przez rośliny w 100%, tylko w 70% stąd też wskaźnik wykorzystania dla nawozów mineralnych wynosi 0,7. Przykładowe dane dotyczące wartości nawozowej obornika przedstawiają tabele 5 i 6.

Tabela 5

Zawartość makroskładników pokarmowych w oborniku w zależności od gatunku zwierząt

Składnik % świeżej masy	Gatunek zwierząt lub rodzaj obornika			
	bydło	trzoda	konie	owce
Sucha masa	20,99	21,44	24,71	26,82
Azot (N)	0,47	0,51	0,54	0,75
Fosfor (P_2O_5)	0,28	0,44	0,29	0,38
Potas (K_2O)	0,65	0,68	0,90	1,19
Wapń (CaO)	0,43	0,44	0,43	0,58
Magnez (MgO)	0,15	0,18	0,16	0,19
Sód (Na_2O)	0,10	0,11	0,06	0,12

Źródło: Maćkowiak i Żebrowski, 2000 (18)

Tabela 6

Zawartość mikroskładników pokarmowych w oborniku w zależności od gatunku zwierząt

Składnik mg·kg ⁻¹ s.m.	Gatunek zwierząt lub rodzaj obornika			
	bydło	trzoda	konie	owce
Bor (B)	20,9	15,9	13,6	18,4
Miedź (Cu)	21,5	22,5	12,3	18,4
Mangan (Mn)	345	288	270	290
Molibden (Mo)	1,66	1,57	0,94	1,23
Cynk (Zn)	173	213	94	112
Kobalt (Co)	1,8	1,46	1,02	0,86

Źródło: Maćkowiak i Żebrowski, 2000 (18)

W nawożeniu kukurydzy dużą rolę odgrywają również gnojowica i gnojówka, które znacznie różnią się działaniem od obornika (17). Ich nawozowe działanie jest dużo szybsze niż obornika, ponieważ większość substancji nawozowych znajduje się w formie mineralnej. Wartości równoważników azotu w pierwszym roku stosowania wynoszą dla gnojowicy i gnojówki: 0,5–0,7 (wartości mniejsze przy stosowaniu jesiennym, większe przy wiosennym). Natomiast fosfor i potas wnoszone do gleby z gnojowicą są tak samo dostępne dla roślin, jak z nawozów mineralnych (17). Gnojowicę pod kukurydzę najlepiej stosować w dwóch dawkach dzielonych: 20 m³ należy aplikować przed siewem i drugą taką samą ilość po wschodach kukurydzy, gdy rośliny osiągną około 15 cm wysokości. Pod kukurydzę cała zalecana dawka azotu może być zastosowana w postaci gnojowicy (45 m³·ha⁻¹). Gnojówką nawozimy kukurydzę przedsiewnie, bez rozcieńczenia, stosując 15–20 m³ tego nawozu na hektar. Przy ustalaniu dawki gnojówki pod kukurydzę uwzględniamy przede wszystkim zawartość w niej azotu i potasu oraz pamiętamy o konieczności dodatkowego nawożenia mineralnym fosforem. Przy stosowaniu gnojówki i gnojowicy dochodzi do strat azotu. Starty azotu z tych nawozów można ograniczyć, aplikując je w bezwietrzne dni, a następnie szybko wymieszać z glebą (17).

Nawożenie mikroelementami

Rośliny kukurydzy do prawidłowego wzrostu i rozwoju oprócz makroelementów potrzebują również mikroelementów, pobieranych w ilościach znacznie mniejszych niż te pierwsze. Najtańszym źródłem mikroelementów dla kukurydzy jest obornik (tab. 5) (18). Jeśli kukurydza uprawiana jest w zmianowaniu, w którym regularnie stosowany jest obornik, to nie powinny wystąpić niedobory mikroelementów. W praktyce rzadko kukurydza uprawiana jest w zmianowaniu, dlatego też występujące objawy niedoboru któregoś ze składników pokarmowych stwierdzone w czasie wegetacji można najszybciej uzupełnić poprzez nawożenie dolistne (16). Obecnie na rynku oferowana jest cała gama specjalistycznych, wieloskładnikowych nawozów płynnych przeznaczonych do dolistnego dokarmiania kukurydzy (oznaczonych często literami KU), nawozów uniwersalnych do dokarmiania różnych gatunków roślin, czy też nawozów mikroelementowych w formie schelatyzowanej. Stosowanie dolistnych nawozów mikroelementowych lub nawozów wieloskładnikowych w kukurydzy poprawia jakość ziarna i zapewnia lepsze wyrównanie plonu (15, 16). Pozwala również uzupełnić szybko i efektywnie niedobór nawożenia przedsiewnego.

W uprawie kukurydzy najważniejszą rolę odgrywają następujące mikroelementy: cynk, miedź i mangan. Cynk to przede wszystkim składnik enzymów łańcucha fotosyntezy. Zwiększa odporność roślin na suszę i choroby oraz poprawia efektywność nawożenia azotowego, co korzystnie wpływa na uzyskanie porównywalnych, a nawet większych plonów przy stosowaniu niższych dawek azotu mineralnego (2, 13). Niedobór tego mikroelementu prowadzi do zahamowania wzrostu roślin z powodu małej ilości auksyn – hormonów roślinnych stymulujących wzrost. W efekcie liście rosną, ale są zwykle mniejsze. Kukurydza jest jedną z najbardziej wrażliwych roślin na brak cynku i wykazuje duże zapotrzebowanie na ten składnik pokarmowy. Charakterystycznym symptomem braku cynku u kukurydzy są białe pasy po obu stronach głównego nerwu liścia. Zwykle niedobór cynku pojawia się na glebach świeżo wapnowanych oraz przenawożonych mineralnym fosforem. W praktyce często ze znacznym deficytem cynku spotykamy się na plantacjach kukurydzy uprawianej w monokulturze. Z badań wynika, że kukurydza jest szczególnie wrażliwa na niedobór tego mikroelementu w początkowych okresach wzrostu.

Miedź jest składnikiem m.in. enzymów oddechowych oraz utleniających. Niedostateczne odżywienie kukurydzy miedzią powoduje słabe zapylenie i rozwój ziaren oraz kolb kukurydzy. W naszych glebach stwierdza się dość duży deficyt tego składnika, co wpływa ograniczająco na plonowanie roślin. W dodatku miedź, podobnie jak cynk, jest słabiej przyswajalna z gleb zasobnych w materię organiczną, która silnie ją sorbuje i w efekcie czyni mało dostępną dla roślin. Dostępność miedzi dla roślin rośnie natomiast w miarę wzrostu zakwaszenia gleby, np. po zastosowaniu nawozów fizjologicznie kwaśnych. Charakterystycznym objawem braku miedzi u kukurydzy jest słabe zawiązywanie kolb. Najbardziej wrażliwe na brak miedzi są młode liście, które przy znacznym niedoborze tego składnika więdną i skręcają się. Często pojawiają się

również na nich brązowe plamy. Długotrwały brak miedzi może spowalniać wzrost całej rośliny (2, 13).

Mangan odpowiada za prawidłowy przebieg procesu fotosyntezy. Poza tym jest ważnym czynnikiem biosyntezy kwasów tłuszczowych, aktywuje wzrost rośliny, wiąże wolne rodniki powstające w warunkach stresowych. Brak manganu może nie tylko obniżyć plon, ale przede wszystkim pogarszać jakość ziarna kukurydzy. Długotrwały niedobór manganu u kukurydzy powoduje spadek ogólnej kondycji roślin plantacji, zaburza prawidłowy wzrost i rozwój roślin oraz zwiększa porażenie kukurydzy przez choroby. Objawy niedoboru manganu u kukurydzy mogą być wyraźne, ale często są utajone. Dlatego też zaleca się wykonywać profilaktyczne opryski roślin kukurydzy chelatami manganu. Szacuje się, że 85% gleb wykazuje średnią, a 8% wysoką zasobność w ten pierwiastek, a więc naturalne zasoby manganu, w większości naszych gleb, w porównaniu z innymi mikroelementami, są znaczne, niemniej to właśnie mangan nie zawsze jest dobrze przyswajalny dla roślin. Na glebach zakwaszonych z niedoborami manganu spotykamy się rzadko, gdyż niskie pH stymuluje przyswajalność tego mikroelementu. Natomiast na glebach o pH >7,0 mogą pojawiać się niedobory manganu u roślin.

Zabieg dolistnego dokarmiania kukurydzy można wykonywać w okresie od fazy 6 liścia do fazy, w której rośliny osiągną około 40 cm wzrostu. Maksymalnie można wykonywać trzy opryski w odstępach co 6–10 dni (7, 16). Natomiast w kolejnych fazach rozwojowych, gdy kukurydza jest już wyższa, nie wykonuje się nawożenia nalistnego roślin, ze względu na utrudniony wjazd sprzętu w łan kukurydzy (7, 16).

Podsumowanie

Prognozuje się, że do roku 2050 popyt na kukurydzę ulegnie podwojeniu, a do roku 2025 jej produkcja zdominuje produkcję zbóż (20). Na plonowanie kukurydzy w Polsce największy wpływ będą miały wahania temperatur i opadów. Dalszy rozwój uprawy kukurydzy na ziarno i wzrost plonów ograniczany może być ze względu na presję chorób i szkodników oraz przeznaczanie pod uprawę kukurydzy coraz słabszych gleb (21). Siew kukurydzy na słabszych stanowiskach wymagać będzie opracowania nowych technologii uprawy.

Literatura

1. Baran A., Pińczuk G., Zając T., Jasiewicz C.: Wpływ odmiany i sposobu nawożenia na zawartość i nagromadzenie makroelementów w charakterystycznych fazach rozwojowych kukurydzy (*Zea mays*) Acta Agrophysica, 2011, **17**(2): 255-265.
2. Dubas A. (red.): Technologia produkcji kukurydzy. Wieś Jutra, Warszawa 2004, ss. 7-65.
3. Dubas A., Menzel L.: Uprawa kukurydzy w systemie bezorkowym po różnych przedplonach. Folia Universitatis Sterinensis, 195, Agricultura, 1999, **74**: 147-155.
4. Fotyma E., Maćkowiak C.: Nawożenie kukurydzy. Wieś Jutra, 2002, ss. 36-38.
5. Grzebisz W.: Nawożenie Roślin Uprawnych. Podstawy Nawożenia. Tom 1. PWRiL, Warszawa 2008, ss. 424.

6. Grzebisz W.: Nawożenie Roślin Uprawnych. Tom 2. Nawozy i Systemy Nawożenia. PWRiL, Warszawa 2009, ss. 375.
7. Grzebisz W.: Technologie Nawożenia Roślin Uprawnych. Fizjologia Plonowania. Zboża i Kukurydza. Tom 2. PWRiL, Warszawa 2012, ss. 280.
8. Grzebisz W.: Kukurydza – utrzymać poziom?! Kukurydza roślina przyszłości spełnia oczekiwania. Poradnik dla producentów. Agro Serwis, 2013, ss. 37-41.
9. Grześkowiak A.: System nawożenia „POLICE”. Agencja Reklamowa DCS Sp. z o.o., 2003, ss. 68.
10. GUS: Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2012. Opracowanie „Produkcja upraw rolnych i ogrodnich w 2012 r.” jest tematycznym rozwinięciem publikacji „Wyniki produkcji roślinnej w 2012 r.”, wydanej przez GUS w kwietniu 2013 r., 2012, ss. 124.
11. Kaniuczak Z., Pruszyński S. (red.): Integrowana produkcja kukurydzy. Opracowanie zbiorowe. IOR, Program Wieloletni 2006–2010. 3.1. Integrowane Programy Ochrony Roślin jako podstawa nowoczesnych technologii produkcji roślin rolniczych, 2007, ss. 78.
12. Jadczyśzyn T., Kowalczyk J., Lipiński W.: Nawożenie mineralne na gruntach ornych i użytkach zielonych, 2013, **184**:1-24.
13. Kopeć J., Lewak S.: Fizjologia roślin. Wyd. PWN, Warszawa 2002, ss. 22-88.
14. Kruczek A., Szulc P.: Wpływ wielkości dawki fosforu, rodzaju nawozu i sposobu nawożenia na plonowanie kukurydzy uprawianej na ziarno. Pamiętnik Puławski, 2005, **140**: 150-157.
15. Kruczek G., Bober A.: Wpływ różnych sposobów dokarmiania roślin na zawartość miedzi, cynku, manganu i żelaza w ziarnie kukurydzy. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 2004, **502**: 181-187.
16. Kruczek G., Bober A., Bobrecka-Jamro D.: Wpływ różnych sposobów dokarmiania roślin na plon i zawartość makroelementów w ziarnie kukurydzy. Mat. Konf. „Stan obecny i perspektywy uprawy kukurydzy w Polsce” Puławy, 16–17 listopada 2004, s. 31.
17. Maćkowiak C.: Porównanie działania gnojowicy i nawozów mineralnych. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, IUNG, 2000, **4(5)**: 110-118.
18. Maćkowiak C., Żebrowski J.: Skład chemiczny obornika w Polsce, Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, IUNG, 2000, **4(5)**: 119-130.
19. Michałski T.: Rosnące znaczenie kukurydzy. Kukurydza roślina przyszłości spełnia oczekiwania. Poradnik dla producentów. Agro Serwis, 2013, ss. 3-8.
20. Rosegrant M.R., Ringler C., Sulser T.B., Ewing M., Palazzo A., Zhu T.: Agriculture and food security under global change: Prospects for 2025/2050 (Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute), 2009. Prepared for the Strategy Committee of the CGIAR.
21. Tekieła A.: Najważniejsze choroby kukurydzy. Kukurydza roślina przyszłości. Poradnik dla producentów. Agro Serwis, 2001, ss. 29-31.
22. Sulewska H.: Generative development of maize inbred lines grown on plastic foil mulch and its characterization by number of days and sum of heat units. PTPN.T., 1997, **83**: 115-121.
23. Sulewska H.: Kukurydza w monokulturze – zagrożenia. Poradnik Rolnika, Agrotechnika, 2008, **3**: 22-24.

Adres do korespondencji:

dr inż. Dorota Pikula
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.(81) 886 34 21 w. 258
e-mail: dpikula@iung.pulawy.pl

Anna Podleśna

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

POTRZEBY POKARMOWE I NAWOŻENIE RZEPAKU OZIMEGO*

Słowa kluczowe: rzepak ozimy, potrzeby pokarmowe, nawozy mineralne, nawozy naturalne

Wstęp

Rzepak ozimy jest najważniejszą rośliną przemysłową w Polsce i jednocześnie jedną z najbardziej wymagających roślin uprawnych. Plonowanie rzepaku, jak również jakość wytworzonych nasion zależy od wielu czynników. Należą do nich: warunki pogodowe, kompleks glebowy, stanowisko w zmianowaniu, uprawa roli, gatunek i odmiana rzepaku, ochrona roślin oraz nawożenie. To powoduje, że w praktyce rolnicy zbierają około 50% plonu wyznaczonego potencjałem odmian uprawianych w kraju, co stanowi zaledwie 25% w stosunku do plonu biologicznie potencjalnego (3). Jednakże oczekiwanie wysokich plonów jest uzasadnione tylko w sytuacji, kiedy wszystkie czynniki występują w optimum, co w praktyce zdarza się niezwykle rzadko. Ponieważ na czynniki pogody nie mamy wpływu, więc priorytetem w działaniach rolnika powinna być optymalizacja czynników agrotechnicznych. Bardzo ważnym elementem tych działań jest zbilansowane nawożenie rzepaku.

Wymagania pokarmowe rzepaku

Rzepak ozimy, w porównaniu z innymi roślinami uprawnymi, ma bardzo duże wymagania pokarmowe względem makroelementów, które wynikają głównie z produkcji dużej masy łodyg, liści, korzeni oraz łuszczyń z nasionami (tab. 1). Dodatkowo rzepak potrzebuje 60 g boru, 10–40 g miedzi, 100 g manganu i 60–150 g cynku (1).

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.3 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

Tabela 1

Potrzeby pokarmowe wybranych roślin uprawnych

Roślina	Składnik ($\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$ nasion wraz ze słomą)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Zboża	25	4	20	5	2	4
Rzepak	55	13	52	40	6	16

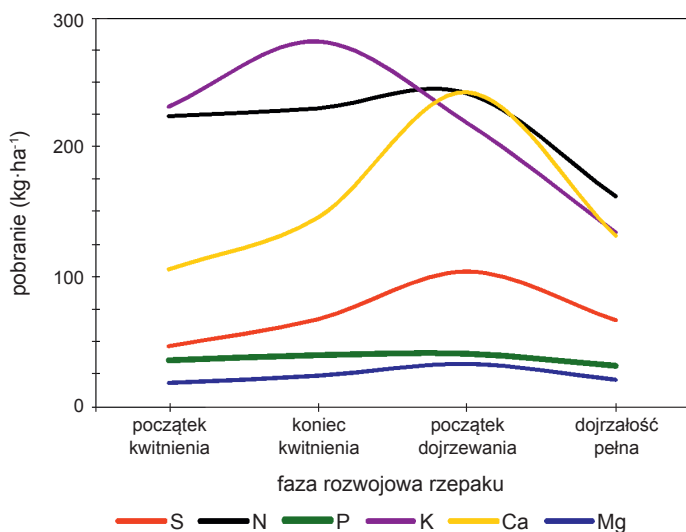
Źródło: Amberger, 1999 (1), zmodyfikowane

Źródłem składników pokarmowych dla rzepaku są zasoby glebowe, resztki poźniwne, opady atmosferyczne oraz nawozy naturalne i mineralne. Chociaż system korzeniowy rzepaku sięga w głąb profilu glebowego, to jednak główne źródło składników pokarmowych stanowi warstwa orna. Dlatego dostępność w niej dostatecznej ilości wody i składników mineralnych warunkuje właściwe odżywienie roślin oraz ich prawidłowy wzrost i rozwój.

Nawożenie mineralne rzepaku powinno być dostosowane do tempa wzrostu oraz dynamiki pobierania składników pokarmowych (rys. 1). Największe pobranie większości składników przypada na początek fazy dojrzewania nasion, a następnie zmniejsza się w miarę postępu procesu dojrzewania roślin rzepaku. Jest to spowodowane dużym udziałem liści, które charakteryzują się najwyższą z pośród organów rzepaku koncentracją potasu (2,7–9%) i wapnia (1,9–9,6%), a także azotu i magnezu (13). Pewna część składników, pobranych przez rzepak, wraca do gleby w wyniku opadania liści oraz jest wycofywana w formie wydzielin korzeniowych. Dane te wskazują, że poziom potrzeb żywieniowych rzepaku powinien być ustalany nie w oparciu o ich akumulację w roślinach dojrzałych, ale o fazę największego pobrania składników. Przyjmuje się zatem, że wymagania pokarmowe rzepaku są wyższe od pobrania końcowego co najmniej o 5–10% dla fosforu, 20–30% dla potasu, 50–70% dla wapnia oraz 35–50% odpowiednio dla siarki i azotu. Przy ustalaniu dawek nawozowych należy także uwzględnić fakt, że tylko część składników pobrana przez rzepak jest wywożona z pola. Wielkość ta jest uzależniona głównie od składnika i miejsca jego gromadzenia w roślinie oraz od wielkości plonu. Bilans pobrania i wykorzystania składników pokarmowych przedstawiono w tabeli 2, zakładając, że plon nasion wynosi 3–3,5 t, a plon łądyg, liści, łuszczyń i korzeni – około 7 t.

Racjonalne nawożenie rzepaku ozimego powinno nie tylko pokryć potrzeby pokarmowe roślin, ale także uwzględnić naddatek składników na poprawę zasobności gleby w celu wyrównania ich ilości wywożonych z plonem nasion oraz rekompensaty strat powstałych przez wymywanie i przechodzenie w związki nieprzyswajalne dla roślin.

Przystępując do ustalenia dawek poszczególnych nawozów, należy wziąć pod uwagę zasobność gleby w przyswajalne składniki i jej aktualny odczyn, a także uwzględnić poziom oczekiwanych plonów. Analizy fizyczno-chemiczne gleb należy wykonywać raz na 3–4 lata, ponieważ są one ważną informacją odnośnie stanu zawartości podstawowych makro- i mikroskładników oraz potrzeb nawożenia.



Rys. 1. Dynamika pobierania składników pokarmowych przez rzepak ozimy

Źródło: Podleśna, 2004 (13), zmodyfikowane

Zalecany obecnie zrównoważony system nawożenia roślin uprawnych opiera się na uwzględnianiu naturalnej zasobności gleby w składniki pokarmowe i resztek pozostałych po przedplonie oraz harmonijnym stosowaniu nawozów naturalnych i mineralnych.

Tabela 2

Bilans pobrania i wykorzystania składników pokarmowych przez rzepak

Makroelementy (kg·ha ⁻¹)				Mikroelementy (g·ha ⁻¹)			
Składnik	pobranie całkowite	powraca do gleby	wywóz z plonem nasion	Składnik	pobranie całkowite	powraca do gleby	wywóz z plonem nasion
Azot (N)	213	102	111	Molibden (Mo)	15	12	3
Fosfor (P ₂ O ₅)	89	39	50	Miedź (Cu)	32	29	9
Potas (K ₂ O)	287	259	29	Mangan (Mn)	654	328	326
Siarka (S)	75	47	28	Cynk (Zn)	488	213	276
Magnez (MgO)	70	50	20	Bor (B)	417	257	60
Wapń (CaO)	157	143	14				

Źródło: Wałkowski i in., 2003 (16), zmodyfikowane

Fazy rozwojowe a etapy działania w systemie nawożenia rzepaku ozimego

Rozwój rzepaku w warunkach Polski trwa 11–12 miesięcy, w czasie których różni się fazę wegetatywną i generatywną (8):

- Pierwszoplanowym celem stawianym jesiennej fazie wegetatywnej jest wytworzenie rozety liściowej złożonej z 6–10 liści, szypki korzeniowej o średnicy większej

niż 8 mm i dużego korzenia palowego. Rozwój liści umożliwia sprawny proces fotosyntezy i jest gwarancją akumulacji związków zapasowych, które koncentrują się głównie w szyjce korzeniowej i korzeniach. Wzrost liści zostaje przerwany przy temperaturze około 5°C, a wzrost korzeni – przy temperaturze gleby około 2°C. Jesień jest uznawana za plonotwórczo ważny okres wegetacji. Wysoko plonujące odmiany rzepaku ozimego muszą jesienią wyprodukować na powierzchni hektara 2–3 t suchej masy, aby zapewnić sobie prawidłowy wzrost w okresie wiosennym. W tym plonie rośliny akumulują: 50–60 kg azotu, 15–20 kg fosforu (P_2O_5), 50–60 kg potasu (K_2O), 30–40 kg wapnia oraz 10–15 kg magnezu i siarki. Etap pierwszy – jesienny dotyczy prac związanych z regulacją odczynu gleby (najlepiej pod przedplon) i uzupełnieniem ewentualnego niedoboru magnezu, stosowaniem nawozów naturalnych, stosowaniem nawozów fosforowo-potasowych oraz podaniem I dawki azotu.

- Etap drugi rozpoczyna się wczesną wiosną i trwa do fazy pąkowania roślin rzepaku. Wiosenne ruszenie wegetacji ma miejsce, gdy średnie temperatury dobowe regularnie przekraczają 5°C, a temperatura gleby osiągnie 2°C. Wówczas na korzeniach pojawiają się włósniki oraz następuje pozimowa regeneracja systemu korzeniowego i aparatu fotosyntetycznego rzepaku (liści). To powoduje, że rośliny zaczynają ponownie pobierać z gleby wodę i składniki pokarmowe, przez co jest to odpowiedni okres do wykonania nawożenia regeneracyjnego. Ważnymi zabiegami w tym czasie są: stosowanie nawozów azotowych, nawozów siarkowych i (ewentualnie) dolistne dokarmianie roślin składnikami, których niedobory będą obserwowane w trakcie wegetacji (makroskładniki oraz bor, mangan, cynk i in.).

Nawożenie mineralne

Wapnowanie i nawożenie magnezem

Rzepak źle znosi kwaśny odczyn gleby dlatego koniecznym zabiegiem w jego uprawie powinno być uregulowanie pH do zakresu 6,0–7,0 (tab. 3). Wapnowanie pola pod rzepak powinno być przeprowadzane regularnie w zmianowaniu, najlepiej pod przedplon, ponieważ jego efekt będzie widoczny w latach następnych. Zabieg ten jest gwarancją efektywnego wykorzystania zastosowanych nawozów mineralnych oraz poprawia właściwości fizyczne, chemiczne, biologiczne i fitosanitarne gleby. Wapnowanie oprócz regulacji pH gleby dostarcza także wapnia (Ca^{2+}), który jest bardzo ważnym składnikiem pokarmowym dla tego gatunku (5). Podstawowym warunkiem powodzenia uprawy rzepaku jest prawidłowe uкорzenie się roślin, które powoduje sprawne pobieranie wody i składników pokarmowych, zapobieganie wyleganiu oraz łatwiejsze znoszenie niekorzystnych warunków pogodowych (np. dotkliwe susze). Jednakże wytworzenie właściwego systemu korzeniowego rzepaku jest możliwe tylko w warunkach optymalnego odczynu gleby.

Tabela 3

Optymalne dawki CaCO_3 na glebach średnich

Odczyn pH w 1 n KCl	Dawka CaCO_3 (t · ha ⁻¹)	Częstotliwość wapnowania w cyklu czteroletnim
Do 5,5	2,2-2,8	2 razy
5,6-6,5	2,0-2,5	1 raz
6,6-7,0	1,7-2,0	1 raz
Powyżej 7,0	-	nie wapnować

Źródło: Wałkowski i in., 2003 (16)

W warunkach zbyt kwaśnego odczynu gleby może wystąpić niedobór magnezu, który, podobnie jak wapń, jest dobrze sorbowany przez glebę. Zatem nie musi być stosowany corocznie, lecz okresowo, przez co problem nawożenia magnezem należy rozpatrywać łącznie z wapnowaniem gleb. Na glebach kwaśnych, o niskiej zawartości magnezu, najbardziej racjonalne jest stosowanie nawozów wapniowo-magnezowych. Na glebach cięższych można stosować wapno magnezowo-tlenkowe, a na lżejszych magnezowo-węglanowe (np. dolomit). W sytuacji niewystarczającej zawartości magnezu w glebie (tj. poniżej 5 mg MgO na 100 g gleby) stosuje się przedsięwzięcie siarczan magnezowy lub kizeryt w dawce około 100 kg · ha⁻¹.

Nawożenie azotem

Azot jest najbardziej plonotwórczym składnikiem pokarmowym, ponieważ ma największy wpływ na wzrost, rozwój i produktywność roślin. Działanie azotu wynika z tego, że jest składnikiem aminokwasów, białek, kwasów nukleinowych, chlorofilu, hormonów, enzymów, nośników energii (np. ATP) i innych związków roślinnych, przez co bierze udział praktycznie we wszystkich reakcjach biochemicznych zachodzących w roślinie. W efekcie silnie oddziałuje na:

- wielkość plonu nasion (poprzez wpływ na liczbę pędów wytworzonych przez roślinę oraz liczbę pąków kwiatowych),
- cechy jakościowe nasion.

Rzepak może korzystać z azotu pochodzącego z różnych źródeł, w tym ważną rolę spełniają zasoby glebowe na które składa się azot obecny w próchnicy, resztkach roślinnych, opadach atmosferycznych, związany symbiotycznie przez bakterie, a także tzw. azot mineralny ($N_{\min}$). Zasoby te są jednak zbyt małe dla prawidłowego rozwoju i plonowania rzepaku, dlatego znaczna część tego składnika musi być dostarczona w nawozach mineralnych.

Przedsięwzięcie, jesienne nawożenie azotem jest uzależnione od przedplonu. Jeżeli rzepak będzie uprawiany po motylkowatych lub mieszkankach motylkowato-zbożowych, nawożenie azotem jest zbędne. W resztkach poźniwnych roślin strączkowych i motylkowatych wieloletnich znajduje się odpowiednio 30–90 i ponad 120 kg N · ha⁻¹. Jeśli w czasie przygotowywania gleby do siewu występują opady, to bardzo szybko następuje rozkład resztek poźniwnych, a uwalniany $N_{\min}$ może stanowić wystarczająco

jące źródło azotu dla roślin w okresie jesieni. Natomiast inaczej wygląda sprawa w przypadku uprawy rzepaku po zbożach, które wyczerpują glebę z azotu i niekorzystnie wpływają na zawartość materii organicznej. Dodatkowo przyorywana jest duża masa ścierni, która powoduje zachwianie stosunku węgla do azotu i azot staje się praktycznie niedostępny dla roślin. Wówczas konieczne jest zastosowanie dawki 20–40 kg N·ha⁻¹, dzięki czemu rośliny wytworzą prawidłowy pokrój i sprawnie wznovią wegetację wiosenną. Jesienią należy unikać zbyt wysokich dawek azotu, ponieważ w warunkach dostępu wilgoci i ciepła może dojść do produkcji nadmiernej masy roślin, co powoduje gorsze ich hartowanie i słabsze zimowanie. Dodatkowo, przy obfitych opadach części azotu może ulec wymyciu do wód gruntowych.

Wiosenne dawki azotu i terminy stosowania nawozów azotowych

Wiosną rzepak wymaga wczesnego zastosowania azotu, aby sprawnie wznović wzrost i rozwój oraz uniknąć obniżenia plonu. Tworzeniu pąków kwiatowych wiosną towarzyszy bardzo intensywny wzrost łodygi i pędów, co powoduje, że w tym okresie pojawia się konkurencja pomiędzy organami wegetatywnymi i generatywnymi rzepaku o wodę, azot oraz produkty fotosyntezy. Jest to zatem bardzo ważny etap plonotwórczy, bo w okresie 1–2 tygodnia po kwitnieniu jest ustalana ostateczna liczba łuszczyń na roślinie i nasion w łuszczyń (8), co obok liczby roślin na 1 m² oraz MTN tworzy ostateczny plon rzepaku.

Ponieważ do wytworzenia 1 dt nasion rzepak zużywa około 6 kg azotu, to chcąc uzyskać plon rzepaku na średnim poziomie (tj. 3,5 t nasion z 1 ha), potrzeby pokarmowe plantacji będą się kształtowały w zakresie 175–210 kg N·ha⁻¹ (tab. 4).

Tabela 4

Zapotrzebowanie rzepaku ozimego na azot wiosną w zależności od przewidywanego plonu nasion

Przewidywane średnie plony nasion (t·ha ⁻¹)	Zapotrzebowanie na azot (kg N·ha ⁻¹)
2,5	125-150
3,0	150-180
3,5	175-210

Źródło: Wałkowski i in., 2007/2008 (17)

Wiosną, azot pod rzepak ozimy stosuje się z reguły w dawce podzielonej. Dawkę pierwszą podaje się tuż po ruszeniu wiosennego wzrostu (BBCH 20), a drugą – w początku fazy wydłużania pędu (BBCH 30). Całkowita wiosenna dawka azotu zależy od: stanu plantacji po zimie (obsada roślin), przewidywanego plonu nasion, stanowiska i przedplonu. Jako dolną granicę obsady rzepaku po zimie przyjmuje się 30 roślin równo rozmieszczonych na 1 m² pola. Przy tak niskiej obsadzie roślin, oprócz dawki uderzeniowej azotu (100–120 kg N·ha⁻¹), powinno być zastosowane dodatkowe nawożenie fosforem w celu pobudzenia wzrostu pędów bocznych rzepaku. Jeśli obsada roślin po zimie jest zadowalająca, a rzepak jest uprawiany po motylko-

watych, po ziemniaku oraz do trzeciego roku po oborniku wówczas wymagane jest podanie 120–140 kg N·ha⁻¹, zaś przy uprawie rzepaku po grochu potrzeba dawki 90–100 kg N·ha⁻¹. Z kolei plantacje usytuowane po zbożach zaleca się nawozić dawką 170–180 kg N·ha⁻¹. Całkowite dawki azotu wynoszące do 120 kg można stosować jednorazowo, tuż po ruszeniu wegetacji, aby wykorzystać wodę z opadów zimowo-wiosennych i zasilić osłabione po zimie rośliny. Dawki wyższe należy podzielić, tak aby tuż po ruszeniu wegetacji podać 50–75% całkowitej dawki N i około 2 tygodnie później (tj. w początku wydłużania pędu) zastosować 25–50% tej dawki. Podział ten zabezpiecza plantację przed stratami azotu w wyniku wymycia oraz przed wytwarzaniem nadmiernej masy wegetatywnej, co prowadzi do wylegania roślin.

Obliczanie dawki N z uwzględnieniem $N_{\min}$ i innych elementów agrotechniki

Jak wspomniano wcześniej, w glebie znajdują się rezerwy azotu dostępnego dla roślin określanego jako azot mineralny ($N_{\min}$), tj. sumy azotu amonowego ($N-NH_4$) i azotanowego ($N-NO_3$). Rzepak uprawia się na glebach średnich i dobrych, które wiosną zawierają od 60 do 100 kg N·ha⁻¹ w formie $N_{\min}$. Ze względu na zróżnicowanie przebiegu procesu mineralizacji azotu w glebie, wywołane głównie przez różne wartości temperatury i wilgotności gleby, analiza gleby na zawartość $N_{\min}$ powinna być wykonywana w każdym roku. Uwzględnianie tej formy azotu jest pomocne w ustaleniu optymalnej dawki azotu pod rzepak na konkretnym polu (4). Aby poznać aktualną zawartość $N_{\min}$ na plantacji rzepaku, należy wczesną wiosną, tuż przed ruszeniem wegetacji, pobrać próbki gleby z głębokości 0–30, 30–60 i 60–90 cm. Następnie trzeba je przekazać do stacji chemiczno-rolniczej w celu oznaczenia $N_{\min}$. Otrzymany wynik wskazuje aktualną zawartość azotu mineralnego w danej glebie, a więc w celu ustalenia dawki N, którą planuje się podać w nawozach mineralnych, całkowitą dawkę azotu pod rzepak należy pomniejszyć o uzyskaną wartość $N_{\min}$.

Dawkę nawozową azotu wylicza się z algorytmu (4):

$$D_N = (P \cdot U_N) - N_{\min}$$

gdzie:

D_N – dawka nawozowa azotu (kg·ha⁻¹),

P – zakładany plon nasion (t·ha⁻¹),

U_N – jednostkowe pobranie azotu (kg N·t⁻¹ nasion),

$N_{\min}$ – zawartość azotu mineralnego w warstwie 0–90 cm gleby (kg·ha⁻¹).

Przykładowe obliczanie dawki N przy zakładanym plonie nasion 4 t·ha⁻¹, jednostkowym pobraniu azotu 60 kg N·t⁻¹ nasion i zawartości $N_{\min} = 70$ kg N·ha⁻¹:

$$D_N = (4,0 \text{ t} \times 60 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}) - 70 \text{ kg N} = 240 - 70 = 170 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$$

Wyznaczoną w ten sposób dawkę azotu należy skorygować w zależności od: przedplonu, systemu nawożenia naturalnego roślin przedplonowych i gęstości roślin w łanie (tab. 5). Ponieważ rośliny motylkowate, ziemniaki i stosowany obornik pozostawiają

więcej azotu w glebie, więc dawka nawozowa azotu powinna być niższa, w przeciwnieństwie do stanowiska po zbożach, kiedy to dawkę N odpowiednio zwiększamy. Jeśli obsada roślin po zimie jest zadawalająca, nawożenie rzepaku azotem powinno uwzględniać korektę wskazaną w tabeli. W terminie pierwszym, który wypada tuż przed ruszeniem wegetacji, stosuje się zwykle 50–75% całkowitej dawki azotu. Resztę podaje się około 2 tygodnie później.

Tabela 5

Korekta dawki nawozowej azotu dla plonu rzepaku na poziomie 3,5–4,0 t·ha⁻¹

Czynnik korekcyjny	Korekta	Całkowita dawka N po korekcie	Wysokość I dawki N (60% dawki nawozowej)
	kg·ha ⁻¹		
Całkowita dawka nawozowa	170	170	102
Rzadki łąn wiosną	+30	200	120
Obornik w zmianowaniu, do 3 roku	-15	155	93
Motylkowate w zmianowaniu	-15	155	93
Zboża w zmianowaniu	+20	190	114

Źródło: Grzebisz i in., 2008 (4), zmodyfikowane

Wybór nawozu azotowego

Jesienią można w zasadzie zastosować każdy nawóz azotowy w formie stałej i płynnej, zwłaszcza gdy wcześniej odczyn gleby został uregulowany poprzez wapnowanie. A więc może to być mocznik, saletra amonowa, siarczan amonu (zawierający także siarkę) oraz RSM. Można też wprowadzić nawozy naturalne. Natomiast wiosną nawożenie N zależy od kilku elementów. Jeśli plantacja jest umiejscowiona na stanowisku o uregulowanym odczynie oraz zasobnym w P i K, pierwszą część wiosennej dawki N najlepiej podać w postaci saletry amonowej lub RSM, natomiast gdy jesienne nawożenie fosforowo-potasowe było niewystarczające, to najlepsze efekty daje zastosowanie nitrofosk. Generalnie obowiązuje zasada, że pierwsza wiosenna dawka azotu powinna być zastosowana w postaci nawozu szybko działającego, tj. saletra amonowa lub siarczan amonu, co jest wskazane, jeśli chcemy zasilić rośliny także siarką. Z kolei wybór najlepszego nawozu do zastosowania jako II wiosenna dawka azotu zależy od sytuacji na plantacji. Jeśli są optymalne warunki wzrostu, można podać saletrę amonową, saletrę wapniową lub mocznik, a gdy liczymy się z możliwością wystąpienia niedoboru magnezu – stosujemy saletrę wapniowo-amonową.

W uprawie rzepaku można również stosować azot w formie dokarmiania dolistnego roślin 12% wodnym roztworem mocznika (46%). Zabieg ten stosuje się na ogół dwukrotnie w okresie wegetacji. Dobre rezultaty daje łączne stosowanie mocznika z siarczanem magnezu lub mikroelementami (16).

Nawożenie fosforem i potasem

Dostępność **fosforu** dla młodych roślin rzepaku jest niezmiernie ważna ze względu na jego wpływ na rozwój systemu korzeniowego (9). Silny rozwój korzeni umożliwia lepsze penetrowanie gleby i sprawniejsze pobieranie wody oraz składników pokarmowych. Przeciwdziała też wyleganiu silnie rozgałęzionych roślin rzepaku. Korzystne oddziaływanie tego składnika polega ponadto na regeneracji uszkodzeń pozimowych, przyspieszeniu rozwoju roślin oraz zwiększeniu odporności na suszę i mróz. Odpowiednie zaopatrzenie w fosfor wpływa na poprawę wartości biologicznej (DNA, RNA, ATP) i technologicznej nasion rzepaku (2).

Potas spełnia w roślinach trzy zasadnicze funkcje: reguluje gospodarkę wodną, aktywuje enzymy i zwiększa odporność roślin. Rośliny rzepaku dobrze zaopatrzone w potas lepiej wykorzystują pobraną wodę, ponieważ mają niższy współczynnik transpiracji, co oznacza, że zużywają mniej wody na wyprodukowanie jednostki suchej masy. Rośliny takie lepiej przetrzymują okresy suszy i wolniej więdną (9). Obecność potasu w rosnących częściach młodych roślin wskazuje na jego niezbędność od początku ich rozwoju. Jon potasowy aktywuje ponad 60 reakcji enzymatycznych przez co ma udział w regulacji procesów nagromadzania, transportu i magazynowania substancji organicznych w roślinie. W szczególności, pod wpływem potasu zwiększa się aktywność fotosyntezy i szybkość odprowadzania asymilatów z liści do innych organów rośliny. Potas zwiększa efektywność działania dużych dawek nawozów azotowych, przez co wpływa na procesy syntezy cukrów oraz białek i tłuszczów, co jest szczególnie ważne w przypadku rzepaku (2). Ponadto rośliny dobrze zaopatrzone w potas wykazują zwiększoną odporność na różnego rodzaju stresy biotyczne i abiotyczne, tj. mróz oraz choroby i szkodniki.

Analizy gospodarki nawozowej wskazują, że w ostatnich latach pojawiają się zagrożenia niedoborów fosforu i potasu w glebach Polski, co znaczy, że systematycznemu zmniejszeniu ulega udział gleb o wysokiej i bardzo wysokiej zawartości tych składników. Zachodzi więc obawa, że przy utrzymaniu się tej tendencji potas, a w przyszłości także i fosfor staną się czynnikami ograniczającymi zarówno poziom plonów, jak również wykorzystanie nawozów azotowych (6, 7). Ze względu na ważną rolę fosforu i potasu w procesie wzrostu i rozwoju rzepaku niezmiernie ważne jest dbanie o zaopatrzenie plantacji w te składniki poprzez odpowiednio dobrane nawożenie.

Przy ustalaniu dawek nawozów fosforowo-potasowych powinno się uwzględnić zasobność gleby w przyswajalne formy tych składników oraz ich pobranie z plonem (tab. 4). Należy też pamiętać o naddatku w wysokości 0–50 kg w celu utrzymania średniej zasobności w ten składnik. W tym przypadku obowiązuje zasada, że im zasobność gleby jest niższa, a oczekiwane plony wyższe, tym dawki tych nawozów wyższe. Nawozy fosforowo-potasowe pod rzepak stosuje się w całej dawce przed siewem nasion, co w praktyce oznacza ich wysiew na ściernisko przed wykonaniem zabiegów uprawowych. Dawki fosforu i potasu aplikowane w postaci mineralnej powinny być skorygowane, jeśli w gospodarstwie stosowane są także nawozy natu-

ralne. Przykładowe dawki fosforu i potasu zalecane pod rzepak ozimy w zależności od stanowiska przedstawia tabela 6.

Tabela 6

Zalecane dawki fosforu i potasu w uprawie rzepaku ozimego (kg/ha)

Zasobność gleby	Kompleks glebowy					
	pszenny bardzo dobry, pszenny dobry, żytni bardzo dobry		zbożowy pastewny mocny, pszenny górski		pszenny wadliwy, żytni dobry	
	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O
Bardzo niska	130	180	130	170	135	180
Niska	95	160	90	150	95	150
Średnia	60	140	50	130	65	120
Wysoka	50	70	45	80	40	70
Bardzo wysoka	40	60	35	30	30	50
Plon nasion (t·ha ⁻¹)	powyżej 3,5		3,0		poniżej 2,5	

Źródło: Wałkowski i in., 2003 (16)

W tabeli 6 przedstawiono przykładowe dawki P i K dla uprawy rzepaku na stanowiskach o bardzo niskiej i niskiej zawartości tych składników. Jednakże rzepak ozimy bardzo reaguje na poziom zasobności gleby zatem stanowiska słabe, o niskiej, a zwłaszcza bardzo niskiej zasobności w te składniki powinny być eliminowane z uprawy. Za optymalny przedział zasobności gleby w przyswajalny potas i fosfor należy przyjąć klasę średnią, a więc działania rolnika powinny prowadzić do uzyskania takiej zasobności gleby.

Do przedsięwzięcia nawożenia rzepaku fosforem zaleca się stosowanie superfosfatu prostego, który zawiera także wapń, siarkę i bor. Można również stosować bogatszy w fosfor superfosfat potrójny. Najlepsze nawozy potasowe pod rzepak to przede wszystkim wysokoprocetowe sole potasowe i siarczan potasu. Zaleca się także stosowanie nawozów wieloskładnikowych, których szeroki asortyment pozwala wybrać odpowiedni nawóz na dane stanowisko. W takim przypadku za podstawę wyliczeń dawki nawozu przyjmuje się ten składnik, którego nawóz zawiera najwięcej.

Nawożenie siarką

W związku z występującymi w kraju niedoborami siarki zwraca się uwagę na stan zaopatrzenia roślin w ten składnik. Dotyczy to zwłaszcza rzepaku i innych roślin z rodziny krzyżowych, które spośród roślin uprawnych mają największe wymagania względem siarki. Nawożenie siarką w warunkach jej niedoboru jest konieczne, ale dawka nie może być zbyt wysoka, ponieważ powoduje spadek plonów nasion oraz pogarsza ich jakość (11, 12, 17). Stosowanie siarki powinno być także zharmonizowane z nawożeniem azotowym, aby stosunek N:S wynosił 5–6:1. Na ogół zaleca się, aby dawka siarki nie przekraczała 1/3–1/4 dawki azotu więc uprawy rzepaku

powinny być nawożone dawką 30–40 kg S·ha⁻¹, a w szczególnych przypadkach można stosować dawkę do 60 kg S·ha⁻¹ (3). Zdaniem Grzebisza i Gaj (3), siarka może być stosowana jesienią wraz z podawaniem fosforu (superfosfat pojedynczy), potasu (siarczan potasu) czy magnezu (kizeryt), w nawozach wieloskładnikowych oraz jako samodzielny składnik pokarmowy (siarka elementarna). Ponieważ jednak jon siarczanowy jest podatny na wymywanie, aplikacja jesienna może prowadzić do strat siarki, szczególnie na glebach słabszych i w rejonach o większych opadach. Biorąc pod uwagę ww. aspekt oraz fakt, że u rzepaku ozimego największe potrzeby względem siarki występują w fazie pąkowania i kwitnienia, lepszym terminem stosowania tego składnika jest wiosna. Wówczas siarka może być podana wraz z pierwszą dawką azotu (siarczan amonu) lub w postaci siarczanu potasu czy siarczanu magnezu. Według Schnuga i Haneklaus (14), tuż przed kwitnieniem roślin wskazane jest wykonanie oceny zawartości siarki w młodych liściach rzepaku zebranych z górnej części łodygi (tab. 7).

Tabela 7

Zawartość siarki a stan odżywienia rzepaku

Zawartość siarki (% s.m.)	Stan odżywienia siarką
< 0,35	niska
0,36-0,55	niedostateczna
0,56-0,65	optymalna
> 0,65	wysoka

Źródło: Schnug i Haneklaus, 1994 (14)

Diagnoza odżywienia rzepaku siarką lub pojawienie się objawów jej niedoboru na plantacjach wskazuje na konieczność wykonania zabiegu dokarmiania dolistnego poprzez oprysk roślin 5% roztworem siedmiowodnego siarczanu magnezu. W warunkach deficytu siarki bardzo skutecznie i szybko działa również siarczan sodu (16).

Nawożenie mikroelementami

Rośliny rzepaku potrzebują także zaopatrzenia w niektóre mikroelementy. Wczesnowiosenne niedobory mikroelementów można określić za pomocą testów roślinnych i na ich podstawie stosować odpowiednie dawki nawozów dolistnych. Do analizy chemicznej pobiera się z 20–25 miejsc całe liście z górnej części roślin, gdy rzepak znajduje się w fazie zielonego pąka (16). Optymalne zawartości głównych mikroelementów wynoszą (mg·kg⁻¹): bor 30–50, mangan 25–40, cynk 25–35 i molibden 0,4–0,6. Jeśli jednak rzepak uprawiany jest w zmianowaniu, w którym systematycznie stosowany jest obornik i odczyn gleby wynosi powyżej 6,5, to nie powinny wystąpić niedobory innych mikroelementów poza borem i manganem (5).

Rzepak ma wysokie wymagania w stosunku do **boru**. Krytyczna faza względem zapotrzebowania na bor u roślin rosnących na glebach ubogich w ten mikrośkładnik rozpoczyna się od zwarcia rzędów, a dla roślin uprawianych na glebach zasobnych – okres kwitnienia. Deficyt boru powoduje zahamowanie tworzenia nasion, w wyniku czego następują obniżki plonu, nawet gdy zaopatrzenie w siarkę jest prawidłowe.

Zaopatrzenie rzepaku w ten mikroelement na około 2 tygodnie przed kwitnieniem powinno być wyższe od $30 \text{ mg B} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ Można wtedy jeszcze dokonać interwencyjnego nawożenia poprzez oprysk nawozem Solubor w dawce $1\text{--}3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ jako 0,5–1,0% jego roztwór lub zastosować Insol, Agrovital R czy Floresol OR. Oprócz możliwości stosowania w fazach krytycznych dolistne dokarmianie borem zwiększa jego wykorzystanie. Przy niskiej zasobności gleby w bor wskazany jest 2-krotny oprysk w fazie zwierania rzędów i powtórny w fazie pąkowania rzepaku. Natomiast w warunkach gleb zasobnych wystarczy jedna dawka boru podana w drugim terminie.

W warunkach znacznego **niedoboru manganu** może wystąpić zmniejszenie liczby łuszczyń i zawartości tłuszczu w nasionach. W przypadku wystąpienia deficytu powinno się zastosować nawozy doglebowe, jak siarczan manganu w ilości $10\text{--}20 \text{ kg Mn} \cdot \text{ha}^{-1}$ lub nawożenie dolistne. Wówczas w zależności od skali niedoboru stosuje się dwa zabiegi: w fazie wzrostu wydłużeniowego i w fazie pąkowania albo jeden oprysk w drugim terminie. Jednokrotna dawka manganu w formie siarczanu wynosi $0,5\text{--}1,0 \text{ kg Mn} \cdot \text{ha}^{-1}$, a w postaci chelatu $0,1\text{--}0,2 \text{ kg Mn} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Rzepak ozimy jest także wrażliwy na **niedobory cynku**. Faza krytyczna przypada na fazę wydłużania pędu głównego. Można zastosować nawożenie dolistne w ilości $0,2\text{--}0,4 \text{ kg Zn} \cdot \text{ha}^{-1}$ w formie siarczanu cynku i czterokrotnie niższe przy użyciu chelatu. Dawka doglebowego nawożenia cynkiem powinna wynosić $2\text{--}4 \text{ kg Zn} \cdot \text{ha}^{-1}$ lub $10\text{--}15 \text{ kg Zn} \cdot \text{ha}^{-1}$, odpowiednio dla stanowisk zasobnych i ubogich w ten mikroelement.

Ważną rolę w uprawie rzepaku spełnia także **molibden**, który bierze udział w przemianach azotu i fosforu w roślinach. Dolistne nawożenie rzepaku ozimego molibdenem powoduje wzrost plonu nasion i biologicznego plonu białka oraz wzrost zawartości Mo w nasionach, co ma szczególne znaczenie, jeśli nasiona będą stanowić materiał siewny lub surowiec paszowy (15). Najlepsze rezultaty uzyskuje się, stosując $60\text{--}120 \text{ g Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$ w opryskach dolistnych wykonywanych od wiosny do początku formowania łodygi.

Nawozy naturalne

Zgodnie z zasadami nawożenia zbilansowanego w prawidłowym zmianowaniu uwzględniającym rzepak powinno znaleźć się stosowanie nawozów mineralnych i naturalnych (10).

Obornik jest podstawowym materiałem tworzącym próchnicę i znaczącym źródłem makro- i mikroelementów. Na ogół rzepak jest uprawiany w trzecim roku po oborniku, ale na glebach słabszych zaleca się stosowanie przefermentowanego

obornika bezpośrednio pod rzepak w ilości $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Ze względu na to, że w pierwszym roku rośliny wykorzystują tylko około 30–40% azotu, 25% fosforu i 50–70% potasu, planowane nawożenie mineralne można zmniejszyć o 30% w przypadku azotu i do 50% w przypadku fosforu i potasu. Bezpośrednio po wywiezieniu na pole obornik powinien być zaorany na głębokość 15–20 cm w celu zmniejszenia strat azotu i usprawnienia jego rozkładu.

Gnojowica jest uważana za wartościowy nawóz dla rzepaku, ponieważ składniki w niej zawarte łatwo przenikają do systemu korzeniowego roślin i są dobrze wykorzystywane przez nie ze względu na wąski stosunek C:N. Chociaż zawiera mniej składników pokarmowych niż obornik, azot z gnojowicy jest znacznie lepiej wykorzystywany przez rośliny niż z obornika i tylko nieco słabiej niż z nawozów mineralnych. Natomiast fosfor i potas są z tego źródła tak samo dostępne dla roślin jak z nawozów mineralnych, przez co składniki te odejmujemy w całości od zaplanowanych ich dawek. Przy stosowaniu gnojowicy przed siewem jest możliwość wymieszania jej z glebą, przez co wzrasta wartość równoważnika nawozowego dla azotu. Dawka gnojowicy podana przed siewem rzepaku nie powinna przekraczać 25% całkowitej, optymalnej dawki azotu.

Nawożenie odmian mieszańcowych rzepaku ozimego

W ostatnich latach wprowadzane są do uprawy odmiany mieszańcowe rzepaku ozimego, które charakteryzują się większym potencjałem plonotwórczym niż odmiany populacyjne. Z badań prowadzonych w IHAR w Poznaniu (5, 18) wynika, że agrotechnika odmian mieszańcowych nie różni się znacznie od agrotechniki odmian populacyjnych. Jednakże stanowiska słabsze, o małej zasobności w składniki pokarmowe nie mogą gwarantować uzyskania opłacalnych plonów tych odmian. Dla wydania wysokiego plonu wymagają one, tak jak odmiany populacyjne, dużej ilości dostępnej wody i składników pokarmowych we wszystkich fazach ich rozwoju. Wyższe plony tych odmian wiążą się z większym wyniesieniem z pola składników pokarmowych, ale nie znaczy to, że ich potrzeby nawozowe są większe niż odmian populacyjnych. Wyniki badań wskazują, że formy mieszańcowe efektywniej pobierają składniki pokarmowe z gleby i nawozów. Bardzo dobrze rozwinięty system korzeniowy form mieszańcowych powoduje, że lepiej też gospodarują wodą, co jest szczególnie ważne w fazach intensywnego przyrostu biomasy. W związku z tym zalecenia nawozowe pod odmiany mieszańcowe nie różnią się od zaleceń dotyczących nawożenia odmian populacyjnych, a stosując takie same dawki nawozów, uzyskuje się wyższe plony. Nawożenie jest uważane za podstawowy czynnik agrotechniczny decydujący o wysokości plonu, bowiem wpływa na główną składową struktury plonu, jaką jest liczba łuszczyń plonujących na jednostce powierzchni. Zatem błędy w nawożeniu i nieuregulowany odczyn gleby są przyczyną obniżonego potencjału plonotwórczego tych odmian. Wiosną w celu zasilenia potasem wysoko plonujących odmian

mieszańcowych zaleca się stosowanie niewielkiej jego dawki tuż przed ruszeniem wegetacji.

Podsumowanie

Rzepak ozimy ma wysokie wymagania żywieniowe zatem prawidłowe nawożenie jest podstawowym czynnikiem decydującym o poziomie i jakości uzyskiwanych plonów. Ten element agrotechniki może także poprawić niedociągnięcia w zakresie słabszego kompleksu glebowego czy przedplonu. Odpowiednie zaopatrzenie rzepaku w składniki pokarmowe wpływa na wigor roślin i ich odporność na czynniki stresowe pojawiające się w czasie wegetacji oraz stwarza warunki do realizacji ich potencjału plonotwórczego.

Literatura

1. Amberger A.: Strategies to increasing N efficiency in modern fertilizer management. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, 1999, **349**: 12-21.
2. Bartkowiak-Broda I., Wałkowski T., Ogrodowczyk M.: Przyrodnicze i agrotechniczne możliwości kształtowania jakości nasion rzepaku. Pam. Puł., 2005, **139**: 7-25.
3. Grzebisz W., Gaj R.: Zbilansowane nawożenia rzepaku ozimego. W: Zbilansowane nawożenie rzepaku. Aktualne problemy, W. Grzebisz (red.). AR Poznań, 2000, ss. 83-98.
4. Grzebisz W., Gaj R., Waszak M.: Zintegrowany system nawożenia rzepaku. W: Integrowana produkcja rzepaku ozimego i jarego, M. Mrówczyński i S. Prószyński (red.). IOR Poznań, 2008, ss. 19-28.
5. Grzebisz W., Podleśna A., Wielebski F.: Potrzeby pokarmowe i nawożenie. W: Technologia produkcji rzepaku, Cz. Muśnicki, I. Bartkowiak-Broda i M. Mrówczyński (red.). Wieś Jutra, Warszawa, 2005, ss. 74-89.
6. Kopiński J., Ochala P., Jadczyżyn T.: Produkcyjne i środowiskowe aspekty gospodarowania fosforem. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2013, **34(8)**: 57-74.
7. Kopiński J., Ochala P.: Gospodarowanie potasem w warunkach zróżnicowanej zasobności gleb. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2013, **34(8)**: 75-90.
8. Kuchtová P., Vašák J.: Wzrost i rozwój rzepaku ozimego. W: Zbilansowane nawożenie rzepaku. Aktualne problemy, W. Grzebisz (red.). AR Poznań, 2000, ss. 73-80.
9. Lityński T., Jurkowska H.: Żyzność gleby i odżywianie się roślin. PWN Warszawa, 1982, s. 147-258.
10. Maćkowiak C.: Zasady stosowania nawozów naturalnych i organicznych. W: Materiały szkoleniowe, G. Hołubowicz-Kliza (red.). IUNG-PIB Puławy, 2004, **90**: 69-84.
11. Malarz W., Kozak M., Kotecki A.: Wpływ wiosennego nawożenia różnymi nawozami siarkowym na wysokość i jakość plonu nasion rzepaku ozimego odmiany ES Saphir. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, 2011, **XXXII**: 107-115.
12. Podleśna A.: Wstępna ocena potrzeb nawożenia siarką rzepaku ozimego. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, 2003, **XXIV (2)**: 641-650.
13. Podleśna A.: Wpływ nawożenia siarką na zawartość i pobieranie składników pokarmowych przez rzepak ozimy. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, 2004, **XXV**: 627-636.
14. Schnug E., Haneke S.: Sulphur deficiency in *Brassica napus*. Landbauforschung Volkenrode, 1994, Sonderheft **144**: 1-31.

-
15. Stanisławska-Głubiak E.: Analiza wybranych czynników determinujących efekty dolistnego nawożenia molibdenem w uprawie rzepaku ozimego. Monografie i Rozprawy Naukowe IUNG-PIB, 2003, 7: 1-72.
 16. Wałkowski T., Bartkowiak-Broda I., Korbas M., Mrówczyński M., Paradowski A.: Rzepak ozimy. Proekologiczna technologia uprawy. IHAR Poznań, 2003, s. 1-29.
 17. Wałkowski T., Bartkowiak-Broda I., Krzymański J., Mrówczyński M., Korbas M., Paradowski A.: Rzepak ozimy. IHAR Poznań, 2007/2008, s. 1-161.
 18. Wielebski F.: Wpływ nawożenia siarką w warunkach stosowania zróżnicowanych dawek azotu na plonowanie różnych typów odmian rzepaku ozimego. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, 2011, XXXII: 61-78.
-

Adres do korespondencji:

dr hab. Anna Podleśna
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. (81) 886 34 21 w. 251
e-mail: ap@iung.pulawy.pl

Anna Kocoń

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

NAWOŻENIE ROŚLIN STRĄCZKOWYCH*

Słowa kluczowe: rośliny strączkowe, potrzeby pokarmowe, symbiotyczne wiązanie N₂, potrzeby nawozowe

Wstęp

Rośliny strączkowe, motylkowate grubonasiennne, stanowią użytkową grupę roślin z rodziny bobowatych (*Fabaceae*); do niedawna zwanych rodziną motylkowatych (*Papilionaceae*). Charakteryzują się dużymi nasionami i uprawiane są na nasiona, paszę oraz na nawóz zielony (11). Dla celów spożywczych uprawia się w Polsce m.in.: bób, fasolę zwykłą, fasolę wielokwiatową, groch siewny – ogólnoużytkowy, groch cukrowy, soję zwyczajną, soczewicę jadalną, lędźwian, a na cele pastewne m.in.: bobik, łubin biały, łubin wąskolistny, łubin żółty, groch siewny pastewny (peluszkę), wykę siewną, wykę kosmatą, soję zwyczajną i lędźwian. Rośliny strączkowe, za wyjątkiem wyki kosmatej, to rośliny jednoroczne, wysokobiałkowe – zawierające od 20 do 45% białka (10, 16).

Znaczenie roślin strączkowych

Znaczenie roślin motylkowatych, w tym również strączkowych, było znane i cenione już w starożytności. Zdawano sobie sprawę, że rośliny te przyczyniają się do użyźniania gleby, choć nie wiadano dlaczego. Dopiero w XIX w. wyjaśniono przyczynę tego zjawiska (10). Wykazano bowiem, że rośliny motylkowate oprócz azotu znajdującego się w glebie w postaci związków mineralnych i organicznych mogą ponadto korzystać z azotu gazowego znajdującego się w atmosferze. Wiązanie N atmosferycznego zachodzi w wyniku symbiozy i przy współudziale roślin motylkowatych oraz specyficznych bakterii znajdujących się w glebie. Jest to zdolność

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.3 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

wyjątkowa w świecie roślin, co sprawia, że rośliny te nie wymagają, na ogół, nawożenia azotem, oprócz dawki startowej, gdyż z żywieniowego punktu widzenia są prawie samowystarczalne, jeśli chodzi o ten składnik (1, 20, 23, 25).

W Polsce średnie ilości azotu związanego przez rośliny strączkowe żyjące w symbiozie z bakteriami są znaczne i zależą przede wszystkim od gatunku rośliny oraz rodzaju szczepu bakteryjnego, i wynoszą od 40–250 kg N ha·rok⁻¹ (1, 10, 13, 26). Warto podkreślić, że azot biologicznie związany wykorzystywany jest przez rośliny aż w 100% (11), podczas gdy z nawozów mineralnych tylko w około 50%. Zatem każde 100 kg azotu związanego biologicznie odpowiada 200 kg azotu mineralnego. Z ekonomicznego punktu widzenia uprawa roślin motylkowatych to nie tylko faktycznie uzyskany plon organów rolniczo użytecznych, ale także wzbogacenie gleby w „tani azot” związany biologicznie, który jest wykorzystywany zarówno przez rośliny aktualnie uprawiane, jak i następne (5). Resztki poźniwe roślin strączkowych wzbogacają glebę w cały zestaw makro- i mikroelementów oraz w cenną materię organiczną, z której tworzy się próchnica. Dla przykładu przyorane resztki poźniwe bobiku średnio wzbogacają glebę w: azot 50–100, potas 80–120, wapń 30–50, fosfor 4–10 kg·ha⁻¹, mikroelementy oraz w substancję organiczną (11). Wskaźnik reprodukcji materii organicznej dla roślin strączkowych jest dodatni (21), co oznacza, że uprawa tych roślin wzbogaca glebę w cenną substancję organiczną. Wzrost substancji organicznej prowadzi do wzrostu żyzności gleby, właściwej jej gruzelkowatości oraz właściwego składu mikroorganizmów w glebie, co w efekcie zmniejsza wymywanie z niej składników pokarmowych (20).

Rośliny strączkowe mają także duże znaczenie żywieniowe nie tylko dla ludzi, ale również zwierząt. Ich walory żywieniowe to przede wszystkim wysoka zawartość dobrej jakości białka roślinnego w nasionach, ale także w częściach nadziemnych (16, 23). Z tego powodu rośliny te są wykorzystywane także w żywieniu zwierząt gospodarskich zarówno przeżuwaczy, jak i zwierząt monogastrycznych. Nasiona strączkowych (np. bobik, groch, łubin, soja) wykorzystuje się w postaci śruty jako surowiec do sporządzania mieszanek treściwych.

Potrzeby pokarmowe i nawożenie roślin strączkowych

Rośliny do wzrostu, rozwoju i wydania odpowiedniego plonu potrzebują składników pokarmowych, pobranych w zależności od gatunku, w odpowiednich ilościach i proporcjach (15). Obecnie zalecany system nawożenia roślin, w tym także roślin strączkowych, to system zrównoważony oparty na bilansie składników pokarmowych uwzględniających ich pobranie przez roślinę oraz dopływ z nawozów i pozostałych źródeł (8). Optymalizacja nawożenia na danym polu możliwa jest dzięki analizie składu chemicznego gleby uwzględniającej zawartość podstawowych makro- i mikroelementów, oraz wartości pH gleby. Analizę gleby wykonuje się m.in. w stacji chemiczno-rolniczej, przynajmniej raz na 3–4 lata. Ze względu na zróżnicowanie warunków naturalnych i agrotechnicznych pomiędzy poszczególnymi polami zagadnienie

zrównoważonego nawożenia rozpatruje się obecnie w odniesieniu do konkretnego pola, jako podstawowej jednostki produkcyjnej (7).

Każdy gatunek ma swoiste wymagania pokarmowe, a co za tym idzie również potrzeby nawozowe. Wymagania pokarmowe odpowiadają ilości składników, jaką roślina musi pobrać w swoim rozwoju ontogenetycznym dla wydania maksymalnego plonu o odpowiedniej jakości (4, 5). Z kolei potrzeby nawozowe odpowiadają ilości składników, jaką należy dostarczyć w formie nawozów, aby zabezpieczyć roślinie jej wymagania pokarmowe, w konkretnych warunkach danego pola (3, 5).

Wapnowanie gleb

Rośliny strączkowe wymagają optymalnego dla danego gatunku pH gleby, co jest podstawowym warunkiem właściwego ich wzrostu i wydania maksymalnego plonu. Optymalne wartości pH są różne dla poszczególnych gatunków i tak dla łąbinu żółtego mieszczą się w przedziale 5,1–5,5; łąbinu białego i lucerny 6,1–6,5; a dla bobiku od 6,1 do 7,0 (5, 11). Łubin żółty ma najmniejsze wymagania glebowe spośród roślin strączkowych i powinien być uprawiany na glebach najsłabszych, lekkich. Pozostałe gatunki wymagają znacznie lepszych gleb (średnich i ciężkich) i nie powinny być uprawiane na glebach lekkich okresowo suchych, czy też zakwaszonych, co jest związane z wymaganiami samej rośliny (groch, bobik, soja), jak też jej bakteryjnego symbionta. Wykazano bowiem, że w próbkach gleb lekkich i zakwaszonych nie występują bakterie symbiotyczne tych roślin (17). W warunkach niskiego odczynu gleby obniża się znacznie liczba i masa brodawek korzeniowych roślin strączkowych. W przypadku gleb kwaśnych konieczne jest ich wapnowanie. Zabieg ten najlepiej wykonać jesienią, w zespole uprawek późniwnych, jesiennych. W zależności od zasobności gleb w wapń oraz potrzeb nawozowych roślin stosuje się nawet do 6 t $\text{CaO} \cdot \text{ha}^{-1}$ w przypadku gleb kwaśnych (8, 9).

Nawożenie azotem

Nawożenie roślin strączkowych azotem jest bardzo ograniczone i sprowadza się najczęściej do podania przedsiewnie 20–30 kg $\text{N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Rośliny bobowate zdolne są, w drodze symbiozy z bakteriami pobierać i wiązać N_2 atmosferyczny i głównie w ten sposób pokrywają swoje potrzeby pokarmowe względem tego składnika (1, 14, 25). Dawka 20–30 kg $\text{N} \cdot \text{ha}^{-1}$, podawana przedsiewnie nazywana jest w nawożeniu roślin motylkowatych dawką startową, z tego względu, iż pokrywa potrzeby pokarmowe względem N w początkowym okresie wzrostu i rozwoju roślin, kiedy to układ symbiotyczny wiążący azot N_2 nie zaczął jeszcze funkcjonować (10, 13). Dzięki procesowi biologicznego wiązania, N_2 atmosferyczny zostaje zredukowany do amoniaku, a następnie w roślinie wbudowany w związki organiczne (11). Ilość związanego tą drogą azotu jest znacząca i zależy głównie od: rodzaju drobnoustroju, jego aktywności fizjologicznej, rośliny gospodarza (fot. 1) oraz warunków środowiskowych, w ja-

kich ten proces zachodzi (13, 26). W Polsce średnie ilości związanego azotu przez bakterie brodawkowe żyjące w symbiozie z roślinami strączkowymi wynoszą od 40 do 250 kg N·ha⁻¹·rok⁻¹, chociaż maksymalne ilości związanego tą drogą azotu mogą być znacznie większe (tab. 1). Symbiotyczne wiązanie azotu atmosferycznego zachodzi najintensywniej w optymalnych warunkach żywienia roślin, optymalnych warunkach siedliskowych dla uprawy rośliny strączkowej (motylkowatej) jako gospodarza, a także odpowiedniego dla niej mikrosymbionta (tab. 1)

Tabela 1

Ilości azotu symbiotycznie wiązanego przez wybrane gatunki roślin strączkowych
(kg N·ha⁻¹·rok⁻¹)

Rodzaj i gatunek rośliny	Rodzaj i gatunek bakterii symbiotycznych	Ilość wiązanego N*
Groch siewny	<i>Rhizobium leguminosarum</i> biotyp <i>vicia</i>	50-100
Bobik		40-600
Wyka		40-600
Fasola	<i>Rhizobium leguminosarum</i> biotyp <i>phaseoli</i>	40-200
Soja	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	50-100
Łubiny	<i>Bradyrhizobium</i> sp. <i>lupini</i>	20-200

* wahania, w zależności od warunków siedliskowych i zastosowanej metodyki

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Strzelec, 1996 (26)



Fot. 1. Korzeń bobiku; widoczne brodawki korzeniowe – pośrednia miara intensywności symbiotycznego wiązania N₂ (fot. A. Kocoń)

Nie wszystkie gleby w Polsce zawierają właściwe, i w odpowiednich ilościach, bakterie symbiotyczne. Stwierdzono, że brak jest w nich mikrosymbionta soi, a bakterie symbiotyczne dla lucerny występują w zbyt niskich liczebnościach (17).

Natomiast znacznie częściej w dostatecznych ilościach obecne są w glebach bakterie brodawkowe symbiotyczne dla grochu, łubinu, bobiku czy fasoli. W celu optymalizacji wiązania N_2 przez dane rośliny zaleca się stosowanie przed wysiewem nasion zabiegu szczepienia ich nitraginą – szczepionką bakteryjną, odpowiednią dla gatunku rośliny.

Obecnie uważa się, że symbiotyczne wiązanie N_2 nie w pełni pokrywa potrzeby pokarmowe niektórych roślin strączkowych, m.in. bobiku i grochu, ponieważ dla wydania wysokiego plonu nasion wymagają one większego nawożenia N, niż może związać ich układ symbiotyczny (11, 13, 14, 29). W związku z tym, szczególnie na glebach mniej zasobnych w ten składnik, zaleca się pogłówne nawożenie grochu i bobiku azotem, w łącznej ilości do $60 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Z badań IUNG wynika, że w przypadku tych roślin bardziej efektywne jest podanie azotu dolistnie niż doglebowo (14, 29). Pod uprawy roślin strączkowych nie należy jednak podawać więcej azotu niż potrzeba z tego względu, iż zbyt duże dawki azotu ograniczają symbiotyczne wiązanie N_2 i tym samym odcinają to źródło taniego azotu dla roślin (10, 14).

Nawożenie potasem i fosforem

Spśród składników mineralnych w żywieniu roślin strączkowych na szczególną uwagę zasługuje potas i fosfor. Potrzeby pokarmowe roślin strączkowych odnośnie tych składników odżywczych są duże, co związane jest nie tylko z wytworzeniem plonu, ale także z dużymi wydatkami energetycznymi rośliny w procesie symbiotycznego wiązania N_2 (20, 26). Niedobór PK w podłożu nie tylko ogranicza biologiczne wiązanie azotu atmosferycznego, ale także plon nasion (6, 10, 12, 23).

Potrzeby pokarmowe roślin strączkowych względem fosforu i potasu są zróżnicowane, dużo większe dla K niż P i zależą od gatunku rośliny oraz wielkości przewidywanego plonu (tab. 2). Przy jednostkowym pobraniu kształtują się od 13,5 do 20,4 kg dla fosforu oraz od 31 do 38,5 kg dla potasu. Odpowiednio niższe potrzeby względem P i K wykazuje groch, a wyższe łubiny.

Tabela 2

Osiągalne plony wybranych roślin strączkowych na kompleksach glebowych oraz jednostkowe pobranie fosforu i potasu (przez 1 tonę plonu głównego z odpowiednią ilością plonu ubocznego)

Roślina	Plony roślin ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) na danych kompleksach przydatności rolniczej							Średnie pobranie składników ($\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$ plonu)	
	1	2	3	4,8,10	5,9,11	6,12	7,13	P_2O_5	K_2O
Bobik	4,4	4,0	3,8	4,0	3,4	2,5	1,5	18,1	37,2
Groch	3,8	3,4	3,2	3,4	2,8	2,3	1,4	13,5	30,8
Łubin żółty	3,5	3,1	2,9	3,1	2,5	2,0	1,0	20,4	38,5
Łubin wąskolistny	3,5	3,1	2,9	3,1	2,5	2,0	1,6	20,4	38,5
Łubin biały	3,5	3,1	2,9	3,1	2,5	2,0	1,6	20,4	38,5

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Jadczyszyn, 2000 (7)

W zależności od przewidywanego plonu możliwego do osiągnięcia w warunkach poszczególnych kompleksów rolniczych (tab. 2) całkowite potrzeby pokarmowe roślin wylicza się, mnożąc jednostkowe pobranie składnika przez oczekiwany plon roślin. Natomiast wielkość dawek nawozów PK pod konkretną roślinę ustala się w oparciu o potrzeby pokarmowe roślin względem tych składników oraz zasobności gleby danego pola w przyswajalne formy tych składników. Zalecane dawki PK dla wybranych roślin strączkowych uprawianych na glebach średnio zasobnych w potas i fosfor przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3

Zalecane dawki nawozów mineralnych P, K, Mg (w $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ P_2O_5 , K_2O oraz MgO), dla wybranych roślin strączkowych uprawianych na glebach średnio zasobnych (w P, K, Mg), przy prognozowanym plonie

Roślina	Plon nasion $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$	Fosfor (P_2O_5)	Potas K_2O	Magnez (MgO)	Mikroelementy przy wyższym plonie*
Bobik	2,0-4,5	35-80	75-185	10-30	+
Groch	1,5-3,5	20-50	45-105	5-15	+
Łubin żółty	1,0-3,0	20-60	40-115	10-20	+
Łubin wąskolistny	2,0-3,5	40-70	75-140	15-30	+
Łubin biały	2,0-3,5	40-70	75-140	15-30	+
Soja	2,0-3,0	50-75	70-105	20-30	+

* mikroelementy podawać w zależności od potrzeb, szczególnie przy planowanych wyższych plonach.
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Jadczyszyn, 2000 (7) oraz Jadczyszyn i in., 2010 (8)

Zawartość w glebach Polski przyswajalnych makroelementów, w tym fosforu i potasu oraz mikroelementów oceniana jest dla potrzeb praktyki rolniczej, w klasach zawartości: bardzo niskiej, niskiej, średniej, wysokiej i bardzo wysokiej (30). Największe niedobory w glebach naszego kraju stwierdza się odnośnie potasu; około 40% gleb jest niedoborowych w ten składnik. W warunkach bardzo wysokiej zawartości PK w glebie (tab. 4) zalecane dawki nawozów (tab. 3) należy zmniejszyć średnio o 30–40 kg, a przy bardzo niskiej zwiększyć o 40–60 kg P_2O_5 lub K_2O .

Tabela 4

Ocena zawartości potasu w glebach mineralnych w przeliczeniu na K_2O ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ gleby)

Kategoria agronomiczna gleby	Klasa zawartości potasu				
	bardzo niska	niska	średnia	wysoka	bardzo wysoka
Bardzo lekka	do 2,5	2,6-7,5	7,6-12,5	12,6-17,5	od 17,6
Lekka	do 5,0	5,1-10,0	10,1-15,0	15,1-20,0	od 20,1
Średnia	do 7,5	7,6-12,5	12,6-20,0	20,1-25,0	od 25,1
Ciężka	do 10,0	10,1-15,0	15,1-25,0	25,1-30,0	od 30,1

Źródło: opracowanie własne na podstawie zaleceń nawozowych, 1990 (30)

Nawozy fosforowo-potasowe pod rośliny strączkowe podaje się na ogół w jednej całkowitej dawce do gleby przedsięwzię. Najlepszym terminem wysiewu nawozów PK pod rośliny strączkowe jest jesień, co w praktyce oznacza ich zastosowanie pod orkę zimową. Na glebach lżejszych zalecane dawki w/w nawozów można podać także na wiosnę.

Nawożenie magnezem

Ważną rolę w kształtowaniu wysokich i odpowiedniej jakości plonów roślin strączkowych odgrywa ich prawidłowe nawożenie magnezem (5, 10). Średnie jednostkowe pobranie Mg przez rośliny strączkowe waha się od 3,3 dla grochu do 4,9 kg Mg dla łubinów, w przeliczeniu na 1 tonę nasion wraz z odpowiednią ilością plonu ubocznego. Pomimo iż potrzeby pokarmowe roślin strączkowych odnośnie magnezu nie są tak duże, jak w przypadku PK, to Mg zaliczany jest do niezbędnych składników odżywczych. Oznacza to, że w przypadku jego niedoboru może stanowić czynnik limitujący wielkość i jakość plonu (11, 25). Magnez w roślinie odgrywa bardzo ważną rolę, m.in. wchodzi w skład chlorofilu oraz bierze udział w wielu procesach fizjologicznych: procesie fotosyntezy, w przemianach tłuszczów, białek i węglowodanów (19, 25). Pierwiastek ten bierze czynny udział także w utrzymaniu prawidłowej równowagi jonowej w roślinie, między jonami Mg a K, Ca, Na (19, 25). Niedobór magnezu, szczególnie przy nadmiarze jonów potasowych, wpływa ujemnie na równowagę jonową w roślinie i stosunek pozostałych jonów. Potas w takich warunkach jest pobierany w nadmiarze, dochodzi często do zakłóceń w proporcjach pobieranych jonów i do rozszerzenia stosunku K:Mg i K:(Mg+Ca), co niekorzystnie odbija się na wielkości i jakości plonu (6, 28).

Na nawożenie magnezem należy zwracać szczególną uwagę na glebach kwaśnych, o niskiej zawartości tego pierwiastka (8). Wówczas najlepiej jest zastosować wapno magnezowe, gdyż w ten sposób uzupełnimy zarówno niedobory wapnia, jak i magnezu. Natomiast na glebach o optymalnym dla roślin pH, można zastosować siarczan magnezu. Dawki magnezu przy średniej zawartości Mg w glebie podano w tabeli 3. W warunkach wysokiej i bardzo wysokiej zawartości tego pierwiastka dawki nawozów można zmniejszyć odpowiednio o 10 i 20 kg MgO. Z kolei na glebach o niskiej i bardzo niskiej zawartości składnika dawki nawozów należy zwiększyć odpowiednio o 15 i 30 kg MgO. W takim przypadku podajemy magnez dogłębowo, w formie siarczanu magnezu, w dawce do 60 kg Mg·ha⁻¹. W przypadku podawania magnezu dolistnie należy odpowiednio zmniejszyć wielkość i ilość podawanego składnika. Dokarmianie dolistne roślin strączkowych należy prowadzić 5% roztworem siedmiowodnego siarczanu magnezu. Aktualne zalecenia wskazują na dobrą efektywność dwukrotnego dokarmiania dolistnego roślin strączkowych tym nawozem, tj. na początku wzrostu wydłużeniowego łodygi i na początku fazy pąkowania roślin.

Nawożenie siarką

Uzyskanie wysokiego i odpowiedniej jakości plonu roślin strączkowych uzależnione jest również od spełnienia wymagań pokarmowych i nawozowych tych roślin względem siarki. W związku z coraz większymi w ostatnich latach niedoborami S w glebach Polski, często rośliny strączkowe potrzebują również nawożenia tym składnikiem pokarmowych (22). W roślinach strączkowych siarka niezbędna jest do przebiegu m.in. dwu ważnych procesów: symbiotycznego wiązania azotu i syntezy białek. Dlatego dobre zaopatrzenie roślin w siarkę warunkuje wysoką zawartość w roślinach azotu całkowitego i białka o odpowiedniej jakości. Natomiast w warunkach jej niedoboru rośliny produkują białko gorszej jakości, o mniejszej ilości aminokwasów egzogennych. Deficyt siarki ogranicza symbiotyczne wiązanie N_2 , ponieważ zarówno ferredoksyna, jak i nitrogenaza – kluczowy enzym wiązania azotu, wymagają obecności tego składnika.

Rośliny strączkowe dobrze reagują na nawożenie siarką, zwłaszcza na glebie deficytowej względem siarki, wydając wyższe plony nasion i słomy (tab. 5). Dogłębne nawożeniem roślin strączkowych siarką w dawce do 60 kg S na hektar czy też dolistna aplikacja tego składnika w formie $MgSO_4 \cdot 7 H_2O$, w postaci dwukrotnego oprysku roślin w trakcie ich wegetacji, prowadzi do zawiązywania większej liczby nasion oraz wzrostu MTN, co w konsekwencji daje wyższy plon nasion tych roślin.

Tabela 5

Plon łubinu wąskolistnego i jego struktura w zależności od nawożenia siarką

Dawka siarki (kg·ha ⁻¹)	Plon (t·ha ⁻¹)			Elementy struktury plonu		
	nasiona	słoma	razem	liczba strąków na roślinie	liczba nasion w strąku	MTN (g)
0	2,37	3,28	5,65	9,4	4,1	111,2
20	2,49	3,90	6,39	9,4	4,3	114,5
40	2,79	4,02	6,81	9,3	4,2	112,7
60	2,67	4,02	6,69	8,9	4,3	114,5
Średnio	2,58	3,81	6,39	9,2	4,2	113,2

Źródło: Podleśna, 2013 (22)

Nawożenie mikroelementami

Rośliny strączkowe są szczególnie wrażliwe na niedobór następujących mikroelementów: boru, molibdenu, manganu, kobaltu i cynku (2, 4, 11, 18, 24, 27). Część ww. mikroelementów, jak Mo czy Co, bierze bezpośrednio udział w symbiotycznym wiązaniu N_2 , natomiast pozostałe są uczestnikami wielu innych procesów fizjologicznych i bezpośrednio lub pośrednio wpływają na wielkość i jakość plonu (19, 25). Wielkość plonu zależy od prawidłowego zaopatrzenia roślin we wszystkie niezbędne składniki pokarmowe i zgodnie z „prawem minimum” uzależniona jest od składnika

pokarmowego, który występuje w ilościach najniższych w stosunku do potrzeb rośliny. Z ekonomicznego punktu widzenia, w przypadku niedoboru mikroelementów w glebie bardziej preferowane jest dolistne dokarmianie roślin tymi składnikami w porównaniu do nawożenia doglebowego (24, 27). Dolistne nawożenie roślin mikroelementami jest efektywniejsze i wymaga zastosowania znacznie mniejszej ilości składnika (tab. 6), a poza tym szybkość działania składników w dolistnym nawożeniu jest znacznie większa w porównaniu do nawożenia doglebowego. Nawożenie takie zalecane jest szczególnie w warunkach niedoboru składnika w glebie, przy wysokim pH gleby a także przy oczekiwaniu wysokich plonów roślin celem pełnego pokrycia ich potrzeb pokarmowych w krytycznych fazach wzrostu (2, 24, 27).

Tabela 6

Zalecana średnia dawka mikroelementu przy niskiej zasobności gleb
(w przeliczeniu na formę pierwiastkową)

Mikroelementy	Dawka doglebowa (kg·ha ⁻¹)	Dawka dolistna (g·ha ⁻¹)
Bor (B)	2-3,5	200-400
Miedź (Cu)	6-10	300
Cynk (Zn)	8-12	600
Mangan (Mn)	-	1200
Molibden (Mo)	-	40-80

Źródło: Stanisławska-Głubiak i Korzeniowska, 2007 (24)

Podsumowanie

Rośliny strączkowe potrzebują do wzrostu, rozwoju i wydania odpowiedniego plonu, wszystkich niezbędnych składników pokarmowych pobranych w odpowiednich ilościach i proporcjach wynikających z potrzeb danego gatunku. Rośliny te wymagają ograniczonego nawożenia N, gdyż dzięki symbiozie z bakteriami brodawkowymi wykorzystują azot atmosferyczny i głównie tą drogą zaopatrują się w ten składnik. Podstawą racjonalnego nawożenia roślin strączkowych pozostałymi składnikami pokarmowymi jest znajomość potrzeb pokarmowych poszczególnych gatunków tych roślin oraz analiza gleby na zawartość dostępnych form składników w glebie. Nawozy mineralne powinny być stosowane według realnych potrzeb i stanowić uzupełnienie składników pokarmowych pochodzących z innych źródeł (gleby, nawozów naturalnych, organicznych, z wiązania symbiotycznego N₂). Ze względu na zróżnicowanie warunków naturalnych i agrotechnicznych pomiędzy poszczególnymi polami zagadnienie zrównoważonego nawożenia roślin strączkowych rozpatruje się obecnie, w odniesieniu do konkretnego pola i jego zasobności w składniki odżywcze.

Literatura

1. Bieniaszewski T.: Niektóre czynniki agrotechniczne warunkujące wzrost, zdrowotność i plonowanie łubinu żółtego. Rozprawy i Monografie, UWM Olsztyn, 2001, **51**: 1-116.
2. Czuba R.: Mikroelementy we współczesnych systemach nawożenia. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **471**: 161-169.
3. Fotyma M., Mercik S.: Chemia Rolna. Wyd. PWN, 1995, ss. 336.
4. Gembarzewski H.: Stan i tendencje zmian zawartości mikroelementów w glebach i roślinach z pól produkcyjnych w Polsce. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **471**: 171-179.
5. Gorlach E., Mazur T.: Chemia Rolna: Podstawy żywienia i zasady nawożenia roślin. Wyd. PWN, 2001, ss. 347.
6. Grzebisz W.: Potas w roślinie. Pierwiastki w środowisku, Potas. J. Element. 2004, **9(4)**: 7-17.
7. Jadczyż T.: Podstawy naukowe doradztwa nawozowego. Nawozy i Nawożenie, 2000, **4**: 185-205.
8. Jadczyż T., Kowalczyk J., Lipiński W.: Zalecenia nawozowe dla roślin uprawy polowej i trwałych użytków zielonych. Materiały szkoleniowe, Puławy 2010, **95**: 1-24.
9. Jadczyż T., Ochala P.: Zakwaszenie gleb i potrzeby wapnowania. Problemy gospodarki nawozowej w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2013, **34(8)**: 9-18.
10. Jasińska Z., Kotecki A.: Rośliny strączkowe. Wyd. PWN, Warszawa 1993, ss. 206.
11. Jasińska Z., Kotecki A.: Szczegółowa uprawa roślin. Rośliny strączkowe. Wrocław 2003, T. II, **V**: 1-140.
12. Jasińska Z., Malarz W.: Wpływ nawożenia fosforowo-potasowego i zagęszczenia roślin na rozwój i plonowanie łubinu białego i bobiku. Zesz. Nauk. AR Wrocław, Rol., 1983, **XL**: 125-134.
13. Kocóń A.: Wskaźniki symbiotycznego wiązania N_2 w zależności od zróżnicowanego żywienia bobiku azotem. Fragm. Agron., 1999, **2**: 50-61.
14. Kocóń A.: Wpływ żywienia azotem na plon nasion i wykorzystanie potencjału plonotwórczego bobiku. Bibiotheca Fragm. Agron., 2000, **8**: 125-134.
15. Kocóń A.: Potrzeby pokarmowe roślin, niedobory składników i metody oceny stanu odżywiania roślin. W: Integrowana produkcja roślinna. Zagadnienia wybrane. Praca zbiorowa pod redakcją J. Podleśnego, Puławy, 2007, ss. 181-186.
16. Matyka S., Burczyńska-Niedziałek A., Korol W.: Skład chemiczny nasion krajowych odmian roślin strączkowych grubonasiennych. Biul. Inf. Przem. Pasz., 1985, **1**: 3-10.
17. Martyniuk S.: Naukowe i praktyczne aspekty symbiozy roślin strączkowych z bakteriami brodawkowymi. Pol. J. Agron., 2012, **9**: 17-22.
18. Mazur T., Mazur Z.: Pobranie przez plon roślin i zawartość w glebach miedzi, manganu i cynku w zależności od systemu nawożenia. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2004, **502**: 229-234.
19. Mengel K., Kirkby E.A.: Podstawy żywienia roślin. PWRiL, Warszawa 1983, ss. 527.
20. Nalborczyk E.: Biologiczne uwarunkowania produktywności roślin strączkowych. Fragm. Agron., 1993, **4**: 147-150.
21. Pikuła D.: Aktualne trendy w gospodarowaniu glebową materią organiczną. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2013, **34(8)**: 91-106.
22. Podleśna A.: Rola siarki w kształtowaniu wielkości i jakości plonu roślin pastewnych. W: Produkcja pasz na gruntach ornych. Mat. Szkol., Puławy 2013, **101**: 49-54.
23. Podleśny J.: Znaczenie roślin strączkowych w integrowanej produkcji roślinnej. W: Integrowana produkcja roślinna. Zagadnienia wybrane. Praca zbiorowa pod redakcją J. Podleśnego, Puławy, 2007, ss. 155-160.
24. Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J.: Zasady nawożenia mikroelementami roślin uprawnych. Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy 2007, **8**: 99-110.

-
25. S t a r c k Z.: Rola składników mineralnych w roślinie. W: Fizjologia roślin, J. Kopcewicz i S. Lewak (red.), 2007, ss. 228-245.
 26. S t r z e l e c A.: Czynniki wpływające na efektywność szczepienia nasion roślin motylkowatych bakteriami wiążącymi azot atmosferyczny. Biuletyn Informacyjny IUNG, Puławy 1996, **4**: 21-23.
 27. S z t u d e r H.: Ocena efektywności dolistnego dokarmiania wybranych gatunków roślin nawozami płynnymi zawierającymi mikroelementy. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2009, **541**: 417-424.
 28. S y k u t S., R u s z k o w s k a M.: Wpływ poziomu nawożenia NPK na zawartość w glebach kationów wymiennych w wieloletnim doświadczeniu lizymetrycznym. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1999, **467**: 317-322.
 29. W o j c i e s k a U., K o c o ń A.: Reaction of faba bean plants to soil and foliar N application and K nutrition. Acta Physiol. Plant., 1997, **19**: 23-28.
 30. Zalecenia nawozowe. Praca zbiorowa.: Liczby graniczne do wyceny zawartości w glebach makro- i mikroelementów. Wyd. II, IUNG Puławy, 1990, **P(44)**: 1-26.
-

Adres do korespondencji:

dr Anna Kocoń
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. (81) 886 34 21 w. 253
e-mail: akocon@iung.pulawy.pl

Ryszard Winiarski

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

RYNEK NAWOZÓW MINERALNYCH W POLSCE*

Słowa kluczowe: rynek nawozów mineralnych, klasyfikacja nawozów, produkcja i zużycie nawozów, asortyment nawozów, wymagania jakościowe, kontrola jakości

Wstęp

Produkcję i stosowanie nawozów aktualnie determinują aspekty agrochemiczne, ekonomiczne i ekologiczne. Ocenia się, że rolnik przeznaczą na nawozy i ich stosowanie do 20% środków zaplanowanych na produkcję rolną. Nawożenie jest podstawowym czynnikiem plonotwórczym, a udział nawozów w przyroście plonów, w zależności od poziomu dawek, wynosi 50–70%. Lokalizację największych fabryk nawozów mineralnych w Polsce przedstawiono na rysunku 1 (1).

Przemysł nawozowy, ze względu na koncentrację produkcji w dużych jednostkach, jest uznawany za uciążliwy dla środowiska. Około 30–40% odpadów produkowanych przez przemysł chemiczny pochodzi z przemysłu nawozowego. Opinie na temat szkodliwego wpływu stosowania nawozów na środowisko są mocno przesadzone. Niemniej z nawozów pochodzą znaczące ilości NH_3 emitowanego do atmosfery oraz N_2O , który może przedostawać się do warstwy ozonowej w stratosferze. W ogólnym bilansie energii wykorzystywanej przez rolnictwo na wytwarzanie nawozów przeznaczona jest 40–60%. Największą energochłonność wykazuje produkcja nawozów azotowych (19).

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 3.1 w programie wieloletnim IUNG-PIB.



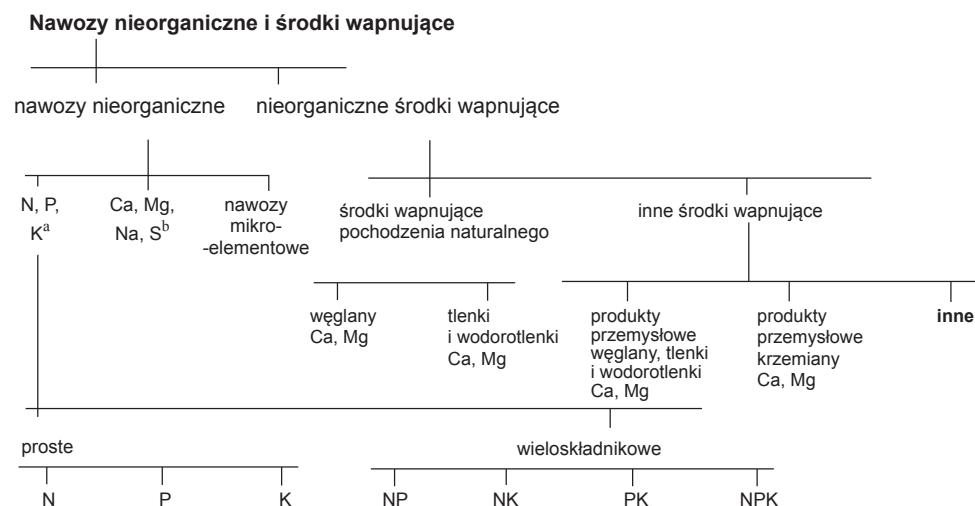
Rys. 1. Producenci nawozów mineralnych w Polsce

Klasyfikacja nawozów

Nawozy nieorganiczne (nawozy mineralne), według klasyfikacji ustanowionej w Polsce w normie europejskiej PN-EN 13535 (4), to „Nawozy – dodawane do gleby specjalnie w celu dokarmiania roślin uprawnych – w których deklarowane składniki pokarmowe są w formie soli nieorganicznych otrzymywanych przez ekstrakcję i/lub w fizycznych i/lub chemicznych procesach przemysłowych”. Preferowana terminologia to „nawóz nieorganiczny”, przy czym azotniak, mocznik i jego pochodne oraz superfosfat kostny mogą być umownie klasyfikowane jako nawozy nieorganiczne (20).

Do grupy nawozów nieorganicznych (nawozów mineralnych) nie zalicza się w Unii Europejskiej środków wapnujących określanych terminem „liming materials”. Definicja środka wapnującego według ustanowionej w Polsce normy europejskiej PN-EN 12944-3 (5) jest następująca: „środek wapnujący (wapno nawozowe) – nieorganiczna substancja zawierająca wapń lub magnez (jeden pierwiastek lub obydwa), głównie w formie tlenku, wodorotlenku, węglanu lub krzemianu przeznaczona przede wszystkim do utrzymania lub podniesienia poziomu pH gleby i wody oraz do polepszenia odżywiania roślin, a także do zmiany właściwości fizycznych gleby”.

Na rysunku 2 przedstawiono schemat klasyfikacji nawozów i środków wapnujących w Unii Europejskiej na podstawie normy PN-EN 13535 – Nawozy i środki wapnujące – Klasyfikacja (4).



^a Produkty klasyfikowane mogą zawierać wapń, magnez, sód, siarkę i mikroelementy. Jeśli jest to dopuszczone przez prawodawstwo krajowe, wówczas klasyfikacja produktów pozostaje taka sama, z zaznaczeniem „z...” lub „z dodatkiem...”.

^b Produkty klasyfikowane mogą zawierać mikroelementy. Jeśli jest to dopuszczone przez prawodawstwo krajowe, wówczas klasyfikacja pozostaje taka sama, z zaznaczeniem „z...” lub „z dodatkiem...”.

Rys. 2. Schemat klasyfikacji nawozów i środków wapnujących

Źródło: PN-EN 13535 (4)

Obszar legislacyjny w Unii Europejskiej obejmuje nawozy nieorganiczne (mineralne) ujęte w podane niżej główne grupy:

- A. Nawozy proste – azotowe, fosforowe, potasowe – zawierające tylko jeden podstawowy składnik nawozowy;
- B. Nawozy wieloskładnikowe – zawierające więcej niż jeden podstawowy składnik nawozowy; nawozy NPK, NP, NK i PK;
- C. Nawozy płynne – proste nawozy płynne i wieloskładnikowe;

- D. Nawozy zawierające drugorzędne składniki nawozowe, takie jak: wapń, magnez, sód, siarkę;
- E. Nawozy mikroelementowe zawierające: bor, kobalt, miedź, żelazo, mangan, molibden, cynk;
- F. Związki chelatujące.

Dla uporządkowania pojęć stosowanych obecnie w Polsce w problematyce nawozowej poniżej podano rozwinięcie kilku terminów zawartych w normie europejskiej ustanowionej w Polsce w 2002 r. PN-EN 12944 (5) „Nawozy i środki wapnujące – Terminologia. Cz. 1: Terminy ogólne” i przywołanych w Rozporządzeniu (WE) nr 2003/2003 Parlamentu Europejskiego i Rady z dn. 13.10.2003.

Podstawowy składnik pokarmowy – tylko pierwiastki: azot, fosfor i potas.

Drugorzędny składnik pokarmowy – pierwiastki: wapń, magnez, sód i siarka.

Mikroskładnik pokarmowy (pierwiastek śladowy) – pierwiastki, takie jak: bor, cynk, kobalt, mangan, miedź, molibden i żelazo.

Nawóz prosty – kwalifikacja ogólna odnosząca się do nawozu azotowego, fosforowego lub potasowego, mającego deklarowaną zawartość tylko jednego podstawowego składnika pokarmowego.

Nawóz wieloskładnikowy – nawóz otrzymywany w wyniku reakcji chemicznej lub w procesie mieszania albo w wyniku obu tych procesów, mający deklarowaną zawartość co najmniej dwóch podstawowych składników pokarmowych. Nawozy mające deklarowaną zawartość dwóch podstawowych składników pokarmowych znane są jako nawozy dwuskładnikowe, zaś nawozy mające deklarowaną zawartość azotu, fosforu i potasu znane są jako nawozy wieloskładnikowe NPK.

Nawóz kompleksowy – nawóz otrzymywany w wyniku reakcji chemicznej, mający deklarowaną zawartość, w formie związku chemicznego, co najmniej dwóch z trzech podstawowych składników pokarmowych.

Nawóz mieszany – nawóz otrzymywany nie w wyniku reakcji chemicznej, ale poprzez zmieszanie na sucho kilku substancji nawozowych.

Nawóz płynny (ciekły) – termin odnoszący się do nawozów w postaci roztworu lub zawiesiny oraz do ciekłego amoniaku.

Roztwór nawozowy – nawóz płynny niezawierający cząstek stałych.

Nawóz zawieszinowy – nawóz dwufazowy, w którym cząstki stałe są utrzymywane w postaci zawiesiny w fazie wodnej.

Rozpuszczalność nawozowego składnika pokarmowego – ilość danego składnika pokarmowego wyekstrahowana w określonych warunkach za pomocą specyficznego odczynnika, wyrażona w odniesieniu do masy nawozu.

Deklaracja – ustalone zawartości składników pokarmowych, obejmujące ich formy i rozpuszczalności gwarantowane w granicach określonych tolerancji.

Zawartość deklarowana – zawartość pierwiastka (lub tlenku), która zgodnie z ustawą może być podana na etykiecie, nadruku na opakowaniu lub w dokumencie towarzyszącym.

Ocena zgodności – ocena przez urzędowe jednostki kontrolne zgodności jakościowej deklaracji producenta ze stanem faktycznym oraz z wymaganiami na nawóz WE.

Poniżej podano również rozwinięcie terminu dotyczące środka wapnującego (PN-EN 12944-3 (5).

Środek wapnujący (wapno nawozowe) – to nieorganiczna substancja zawierająca wapń lub magnez, jeden pierwiastek lub obydwa, głównie w formie tlenku, wodorotlenku, węglanu lub krzemianu, przeznaczona przede wszystkim do utrzymania lub zwiększenia poziomu pH gleby i wody oraz do polepszenia odżywiania roślin, a także do zmiany właściwości fizycznych gleby.

Produkcja i zużycie nawozów mineralnych w Polsce

Polska jest ważnym światowym producentem nawozów mineralnych. Jej udział w światowej produkcji nawozów azotowych wynosi 1,8%, a w produkcji nawozów fosforowych 1,5%. Według danych GUS w 2009 r. wyprodukowano w Polsce 1,9 mln ton NPK, o 24% mniej niż w 2008 r. i o 31% mniej niż w 2007 r. (tab. 1).

Tabela 1

Produkcja nawozów mineralnych ogółem w tys. ton czystego składnika

Rok	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Wartość	2605	2644	2602	2796	2510	1919

Źródło: Zalewski i Zalewski, 2010 (22)

Zużycie nawozów mineralnych (NPK) w roku gospodarczym 2012/13 wyniosło 2003,4 tys. ton i w stosunku do roku poprzedniego było większe o 119,6 tys. ton, tj. o 6,3% (tab. 2).

Tabela 2

Zużycie nawozów mineralnych

Lata gospodarcze	Nawozy mineralne	
	tys. ton cz. skł.	kg NPK · ha ⁻¹ UR
2003/04	1622,1	99,3
2004/05	1628,4	102,4
2005/06	1966,1	123,3
2006/07	1970,7	121,8
2007/08	2142,0	132,6
2008/09	1899,4	117,9
2009/10	1776,9	114,6
2010/11	1954,3	126,6
2011/12	1883,8	125,1
2012/13	2003,4	139,0

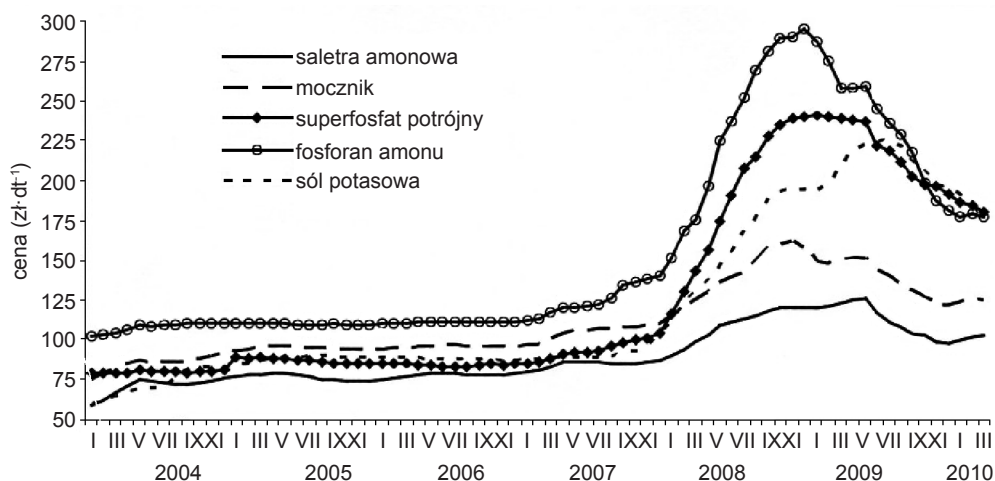
Źródło: Dane GUS 2011–2012, 2014 (14–16)

W Polsce od połowy lat 90. XX w. zużycie nawozów mineralnych wykazywało tendencję wzrostową. Obecnie zużycie nawozów mineralnych ustabilizowało się na poziomie około $120 \text{ kg NPK} \cdot \text{ha}^{-1}$. W sezonie 2012/13 zużycie nawozów mineralnych było rekordowo wysokie i wyniosło $139,0 \text{ kg NPK} \cdot \text{ha}^{-1}$ UR. Wysokie ceny nawozów przy jednoczesnym spadku opłacalności produkcji zbóż spowodowały, że w sezonie 2009/10 jednostkowe zużycie nawozów mineralnych zmniejszyło się do $114,6 \text{ kg}$.

Ceny nawozów mineralnych w Polsce

W ciągu 12 miesięcy (grudzień 2008 r.–grudzień 2009 r.) nawozy mineralne potaniały średnio o 19,3%. Duże obniżki, szczególnie w drugiej połowie 2009 r. (sierpień–październik), wynikały z wprowadzonych przez producentów przecen nawozów. W ciągu 12 miesięcy najbardziej potaniał fosforan amonu – o 38,5% oraz polifoska – o 28,1%. Nawozy azotowe potaniały o 17,8–22,9%, a fosforowe o 9,9–20,2%. Z grupy analizowanych nawozów mineralnych podrożała jedynie sól potasowa – o 1,0%. Jej ceny w I półroczu 2009 r. jeszcze wzrastały (podążając z kilkumiesięcznym opóźnieniem za tendencjami światowymi), a wyraźny spadek rozpoczął się w II półroczu 2009 r.

W okresie styczeń–marzec 2010 r. zaznaczył się trend obniżki cen nawozów mineralnych. W marcu, licząc od początku 2010 r., nawozy potaniały średnio o 2,5%, natomiast w stosunku do marca 2009 r. ceny zostały obniżone o 21,6%. W pierwszym kwartale 2010 r. najbardziej podrożała saletra amonowa – o 4,5% oraz saletrzak – o 3,1%, a potaniał superfosfat prosty – o 10,4% i sól potasowa – o 9,1%. Natomiast w ciągu 12 miesięcy (marzec 2009 r.–marzec 2010 r.) najbardziej potaniał fosforan amonu – o 31,2%, a najmniej sól potasowa – o 15,1% (rys. 3).



Rys. 3. Ceny nawozów mineralnych w latach 2004–2010

Źródło: Zalewski i Zalewski, 2010 (22)

Nawozy azotowe

Zmiany w asortymencie nawozów azotowych i wymagania jakościowe

W grupie nawozów azotowych pojawił się roztwór saletrzano-mocznikowy (RSM), którego produkcja stanowiła 6% globalnej produkcji azotu w 2002 r. (tab. 3), a obecnie ok. 20%. Produkcja RSM spowodowała obniżenie dostaw na rynek saletry amonowej. Natomiast pozytywnym objawem jest zwiększenie produkcji saletrzaku w związku z uruchomieniem wytwórni tego nawozu w Zakładach „Anwil” we Włocławku.

Tabela 3

Zmiany w asortymencie nawozów azotowych w Polsce w latach 1989, 1994, 2002

Asortyment	1989	1994	2002
Saletra amonowa	44	33	22,2
Saletrzak	12	13	23,2
Mocznik	29	25	13,3
Siarczan amonu	7	8	11,1
Fosforan amonowy	5	1	9,1
Nawozy wieloskładnikowe NPK	3	6	15,4
Roztwór azotowy RSM	-	14	5,7

Źródło: Paprocki i in., 2003; Winiarski i Sas, 1995 (7, 18)

W związku z wysokimi nakładami energii w procesie wytwarzania nawozów azotowych i stosunkowo małym wykorzystaniem rolniczym składnika trwają poszukiwania dodatków i formuł nawozów, które po zastosowaniu pozwoliłyby na ograniczenie strat gazowych oraz zmniejszenie wymywania składników pokarmowych w głąb profilu glebowego.

Azot jest głównym czynnikiem plonotwórczym, szczególnie istotnym we wczesnych fazach wzrostu i rozwoju roślin. Azot związany przemysłowo jest produkowany w świecie w ilości $92,10^6 \text{ t} \cdot \text{N}^{-1}$, co wynosi 60% puli azotu związanego biologicznie (3). Przetworzenie azotu atmosferycznego w formie związanej w nawozach mineralnych wymaga dużych nakładów energetycznych. Na energochłonność produkcji nawozów azotowych w decydującym stopniu wpływa energochłonność produkcji amoniaku.

Nakłady energetyczne na 1 t NH_3 wynoszą obecnie w polskich wytwórniach 33–38 GJ (13). Przetworzenie amoniaku na mocznik wymaga dodatkowego nakładu energetycznego rzędu 15%, a na saletrę amonową rzędu 10%.

Postęp w sferze produkcyjnej nawozów azotowych zaznaczył się w trzech obszarach:

- obniżenie nakładów energetycznych na produkcję amoniaku,
- poprawę własności fizycznych nawozów z granulacji wieżowej przez zwiększenie rozmiarów granul, ich wytrzymałości oraz obniżenie podatności na zbrylanie,
- poprawę bezpieczeństwa w obrocie saletry amonowej oraz nawozów zawierających ponad 28% N w formie NH_4NO_3 .

To ostatnie zagadnienie rozwiązano przez wprowadzenie ostrych wymagań obowiązujących w Unii Europejskiej od 1980 r.

W tabeli 4 przedstawiono zróżnicowanie wymagań jakościowych do deklarowania form azotu, jakie są stawiane wobec wybranych typów nawozów azotowych. Należy podkreślić, że poza saletrą amonową w wymaganiach nie jest określone uziarnienie nawozu. Ponadto dla wszystkich typów nawozów azotowych nie obowiązuje graniczna zawartość wody. Ze względów bezpieczeństwa saletra amonowa oprócz testu odporności na detonację ma postawione wymagania odnośnie porowatości (retencja oleju), zawartości składników palnych, pH około 10% roztworu wodnego, zawartości frakcji ziarnowych poniżej 1 mm, zawartości chloru i miedzi (tab. 5) (19).

Tabela 4

Nawozy azotowe – wartości minimalne, składniki deklarowane

Typ	Minimalna zawartość N ogólnego (% m/m)	Deklarowane formy azotu i inne wymagania
Mocznik	min. 44	biuret max. 1,2%
Saletrzak (azotan amonu z wypełniaczem)	min. 20 max. 28	N – całkowity N – NH_4 N – NO_3 min. zawartość węglanów Ca i Mg – 20%
Roztwór saletrzano-mocznikowy (RSM)	min. 26	N – całkowity N – NH_4 N – NO_3 N – NH_2 biuret – max. 0,5%
Roztwór nawozu azotowego	min. 15	N – całkowity: N – NH_4 N – NO_3 N – NH_2 oraz N powyżej 1% m/m

Tabela 5

Wymagania dla saletry amonowej i nawozów azotowych zawierających powyżej 28% N w formie azotanu amonu

Lp.	Wymagania	Wymagania wynikające z Rozp. UE 2003/2003
1.	Zawartość N – całkowitego (%) w granicach	powyżej 28% N
2.	Zawartość frakcji poniżej 1 mm (%), max.	5
3.	Zawartość frakcji poniżej 0,5 mm (%), max.	3
4.	Zawartość składników palnych w przeliczeniu na C (%), max.	0,2* 0,4**
5.	Retencja oleju po dwóch cyklach termicznych (%), max.	4

cd. tab. 5

Lp.	Wymagania	Wymagania wynikające z Rozp. UE 2003/2003
6.	pH roztworu wodnego 10 g/100 ml, min.	4,5
7.	Zawartość Cu mg·kg ⁻¹ , max.	10
8.	Zawartość chloru (%), max.	0,02

* dla nawozów o zawartości azotu co najmniej 31,5% N m/m

** dla nawozów o zawartości azotu w zakresie 28–31,5% N m/m

Źródło: Regulation (EC) No 2003/2003 (9)

Produkcja, zużycie oraz ceny nawozów azotowych

W 2009 r. produkcję nawozów azotowych zmniejszono o 11%. Spadek produkcji był spowodowany spadkiem zużycia nawozów w przeliczeniu na 1 ha użytków rolnych (UR) oraz zmniejszonym eksportem (tab. 6) (22).

Tabela 6

Produkcja nawozów azotowych w tys. ton czystego składnika

Rok	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Wartość	1503	1735	1714	1818	1692	1503	1638

Źródło: Zalewski i Zalewski, 2010 (22)

W strukturze produkcji nawozów azotowych dominują saletra amonowa i mocznik, czyli najbardziej popularne i najchętniej kupowane nawozy azotowe (tab. 7). Coraz większym zainteresowaniem cieszy się także RSM, którego produkcja w ostatnich latach wzrosła kilkakrotnie. Największym producentem i eksporterem RSM są Zakłady Azotowe Puławy (1).

Tabela 7

Struktura produkcji nawozów azotowych w Polsce w 2004 r.

Typ nawozu	Produkcja (w masie nawozu)		Produkcja (w czystym składniku)	
	(t·10 ⁻³)	(%)	(t·10 ⁻³)	(%)
Saletrzak	1122	21	303	19
Saletra amonowa	1438	27	460	28
Mocznik	725	14	334	21
Siarczan amonu	954	18	200	12
RSM	1007	19	322	20
Razem	5246	100	1619	100

Źródło: Dane Polskiej Izby Przemysłu Chemicznego, 2005 (8)

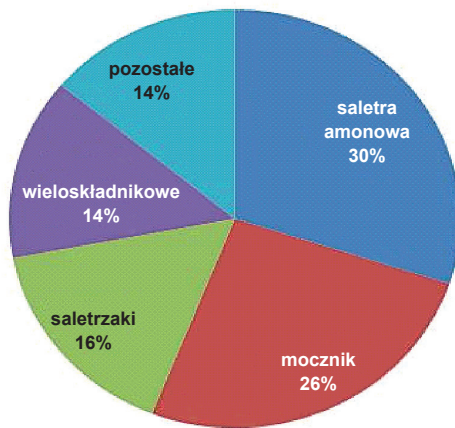
Zużycie nawozów azotowych (N) w roku gospodarczym 2012/13 wyniosło 1202 tys. ton i było 9,8% większe niż przed rokiem (tab. 8).

Tabela 8

Zużycie nawozów azotowych w Polsce w tys. ton czystego składnika

Lata gospodarcze	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13
Wartość	997	1056	1142	1095	1028	1091	1095	1202

W strukturze zużycia nawozów azotowych w sezonie wegetacyjnym 2007/08 przeważały nawozy saletrzane oraz mocznik (Rys. 4).



Rys. 4. Struktura zużycia nawozów azotowych w sezonie 2007/08

Źródło: Zalewski, Zalewski, 2010 (22)

Spadek cen nawozów mineralnych w 2009 r. nie poprawił relacji cen nawozów do cen zbóż, co wynika z tab. 9.

Tabela 9

Relacje cenowe 1 kg N w nawozach azotowych do n kg ziarna pszenicy (zł)

Nawóz	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Saletrzak	4,3	6,7	5,1	4,0	5,1	7,6
Saletra amonowa	3,9	6,1	4,7	3,7	4,9	6,9
Mocznik	3,4	5,6	4,3	3,4	4,7	6,3

Źródło: Zalewski i Zalewski, 2010 (22)

Nawozy fosforowe

Zmiany w asortymencie nawozów fosforowych i wymagania jakościowe

W latach 1989–2002 ilość P_2O_5 dostarczanego polskiemu rolnictwu w formie superfosfatów zmniejszyła się z 60% puli P_2O_5 dostarczanej rolnictwu na 20%. W nawozach fosforowych zwiększył się znacznie udział nawozów kompleksowych mieszanych i granulowanych w fabrykach, kosztem superfosfatu pojedynczego. Jest

to wynik przestawienia części produkcji fosforowej w wytwórniach superfosfatu na nawozy wieloskładnikowe (Tarnobrzeg, Luboń, Gdańsk, Szczecin i Ubocz). Nawozy kompleksowe i mieszane NP i NPK stanowią obecnie 80% globalnej produkcji P_2O_5 w Polsce (tab. 10.)

Tabela 10

Zmiany w asortymencie nawozów fosforowych w Polsce w latach 1989, 1994, 2002

Asortyment	1989	1994	2002
Superfosfat prosty	46	20	8,0
Superfosfat potrójny	14	13	11,8
Fosforan amonowy	23	13	11,7
Nawozy kompleksowe NPK	15	45	41,3
Nawozy wieloskładnikowe mieszane granulowane NPK	-	7	27,2
Inne	2	2	-

Źródło: Paprocki i in., 2003; Winiarski i Sas, 1995 (7, 18)

W zależności od typu nawozu wymagane jest deklarowanie przez producenta określonej formy rozpuszczalności fosforu w powiązaniu z wartościami granicznymi dla poszczególnych form. Dla nawozów fosforowych jednoskładnikowych typu superfosfat prosty i potrójny istotna jest forma rozpuszczalności P_2O_5 , a dla nawozów z fosforytem wymagane jest dodatkowo deklarowanie uziarnienia tego składnika (fosforyt częściowo rozłożony) (tab. 11).

Tabela 11

Nawozy fosforowe – składniki deklarowane i wartości minimalne

Lp.	Rozpuszczalność P_2O_5 (%)	Nazwa nawozu			
		superfosfat prosty	superfosfat potrójny	fosforyt częściowo rozłożony	fosforyt miękki
1.	P_2O_5 rozp. w cytrynianie amonu	min. 16 (100%)	min. 38 (100%)	-	-
	– w tym rozpuszczalne w wodzie	min. 93%	min. 93%	-	-
2.	P_2O_5 rozp. w kwasach mineralnych	-	-	min. 20 (100%)	min. 25 (100%)
	– w tym w wodzie	-	-	min. 40%	-
	– w tym w 2% kwasie mrówkowym	-	-	-	min. 55%
3.	Przesiew przez sito o wymiarach boku oczka:	-	-	-	-
	– 0,63 mm	-	-	min. 98%	-
	– 0,16 mm	-	-	min. 90%	-
	– 0,125 mm	-	-	-	min. 99%
	– 0,063 mm	-	-	-	min. 90%

Źródło: Regulation (EC) No 2003/2003 (9)

Produkcja i zużycie nawozów fosforowych

W 2009 r. produkcję nawozów azotowych zmniejszono o 54%. Spadek produkcji był, podobnie jak w przypadku nawozów azotowych, spowodowany spadkiem zużycia nawozów w przeliczeniu na 1 ha użytków rolnych (UR) oraz zmniejszonym eksportem (tab. 12) (22).

Tabela 12

Produkcja nawozów fosforowych w tys. ton czystego składnika

Rok	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Wartość	595	596	595	650	525	243	486

Źródło: Zalewski i Zalewski, 2010 (22)

W strukturze produkcji nawozów fosforowych dominują nawozy kompleksowe i mieszane NP i NPK, które stanowią obecnie 85% globalnej produkcji P_2O_5 w Polsce (tab. 13).

Tabela 13

Struktura produkcji nawozów fosforowych w Polsce

Asortyment	% masy nawozu	
	2008*	2013**
Wieloskładnikowe	85	85
Superfosfat potrójny, 46% P_2O_5	8	-
Superfosfat prosty, 18–20% P_2O_5	7	3,5
Superfosfat wzbogacony	-	11,5

Źródło: * Igras 2009 (2), ** dane niepublikowane GZNF „Fosfory” (Gdańsk), 2013

W sezonie 2008/09 jednostkowe zużycie nawozów fosforowych zmniejszyło się o 18,5% – do 23,3 kg $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ UR. Zużycie nawozów fosforowych (P_2O_5) w roku gospodarczym 2012/13 wyniosło 387 tys. ton i było 4,3% wyższe niż w roku poprzednim (tab. 14).

Tabela 14

Zużycie nawozów fosforowych w Polsce w tys. ton czystego składnika (P_2O_5)

Lata gospodarcze	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13
Wartość	442	412	462	375	353	408	371	387

Źródło: Dane GUS 2011–2012, 2014 (14–16)

Nawozy potasowe

Asortyment nawozów potasowych i wymagania jakościowe

W strukturze produkowanych nawozów potasowych wieloskładnikowych przeważają nawozy trójskładnikowe (tab. 15).

Tabela 15

Struktura asortymentu produkowanych nawozów potasowych w % (w masie nawozu)

Asortyment	%
NPK	49
KCl	43
PK	8

Źródło: Igras, 2009 (2)

Produkcja nawozów potasowych odgrywa marginalną rolę, ponieważ opiera się w całości na surowcach importowanych (22).

Poniżej podano wymagania jakościowe odnośnie nawozów potasowych; są one zróżnicowane pod względem zawartości głównego pierwiastka, tj. potasu (tab. 16).

Tabela 16

Nawozy potasowe – składniki deklarowane i wartości minimalne

Lp.	Typ nawozu	Zawartość K_2O rozp. w H_2O % m/m	MgO % m/m
1.	Sól potasowa surowa (kainit)	min. 10	min. 5
2.	Chlorek potasu	min. 37	-
3.	Siarczan potasu	min. 47	-
4.	Siarczan potasu zawierający sole magnezu	min. 22	min. 8

Źródło: Regulation (EC) No 2003/2003 (9)

Produkcja i zużycie nawozów potasowych

W 2009 r. produkcję nawozów potasowych zmniejszono o 41%. Wynikało to ze spadku popytu będącego efektem niekorzystnych relacji cenowych (tab. 17) (22).

Tabela 17

Produkcja nawozów potasowych w tys. ton czystego składnika

Rok	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Wartość	366	313	292	328	293	173	330

Źródło: Zalewski i Zalewski, 2010 (22)

Zużycie nawozów potasowych (K_2O) w roku gospodarczym 2012/13 wyniosło 415 tys. ton i było 0,8% niższe niż w roku ubiegłym (tab. 18).

Tabela 18

Zużycie nawozów potasowych w Polsce w tys. ton czystego składnika (K_2O)

Lata gospodarcze	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13
Wartość	528	503	537	429	397	455	418	415

Źródło: Dane GUS 2011–2012, 2014 (14–16)

W zużyciu nawozów potasowych przeważają nawozy wieloskładnikowe z zawartością potasu, ale znaczący jest również udział soli potasowej (22). Mimo tego zużycie soli potasowej wykazuje tendencję malejącą (tab. 19).

Tabela 19

Struktura zużycia nawozów potasowych (%)

Asortyment	2007/08*	2011/12**
Wieloskładnikowe	59	65
Sól potasowa	41	35

Źródło: * Zalewski i Zalewski, 2010 (22); ** niepublikowane dane IERiGŻ, 2012

Nawozy wieloskładnikowe

Asortyment nawozów wieloskładnikowych

Ocenia się, że 27% P_2O_5 wytwarzanego uprzednio w formie superfosfatu pojedynczego zastąpiono nawozami wieloskładnikowymi typu NPK i PK (19). Najbardziej popularne formuły nawozów wieloskładnikowych zostały podane w tabeli 20.

Tabela 20

Nawozy NPK – najbardziej popularne formuły

	% N	% P_2O_5	% K_2O
Nawozy NPK	5-25	5-24	5-24
Nawozy NP	20-26	6-34	-
Fosforan 2-amonowy	16-18	42-48	-
Fosforan 1-amonowy	11	52	-
Nawozy NK	13-26	-	15-46
Nawozy PK	-	5-30	5-30

Źródło: Fertil. Int., 2001 (6)

W Polsce typowe nawozy kompleksowe są produkowane przez Zakłady Chemiczne „Police”. Są to nawozy wytwarzane na bazie fosforanu amonowego z dodatkiem soli potasowej, siarczanu amonu i mocznika. W przypadku tych nawozów w przyjętym procesie technologicznym opartym na wytwarzaniu nawozów typu amofoska w chwili uruchomienia produkcji nawozów wieloskładnikowych w Policach charakterystyczne były dwie formuły NPK: jesienna 1:3:3 i wiosenna 1:1:1. W chwili obecnej na rynku polskim mamy szeroką gamę nawozów o formule NPK jak 1:3:3 w postaci Polifoski 8 NPKS 8-24-24-4 z Polic, Unifoski 02 NPK(CaS) 4-12-12-(12,5-12) z Tarnobrzega czy Lubofoski 4-12-12 z Luveny, zaledwie jeden nawóz o formule NPK jak 1:1:1 w postaci polickiej Polifoski 12 NPKMgS 12-12-12-2-11 oraz szereg nawozów wieloskładnikowych o odmiennych formułach NPK. Nawozy wieloskładnikowe z obniżoną zawartością azotu typu jesiennego NPK 1:3:3 są zalecane do nawożenia roślin ozimych, natomiast z podwyższoną zawartością azotu typu wiosennego NPK 1:1:1 oraz ze zwiększonym udziałem potasu w nawozie – do nawożenia roślin jarych (21).

Szeroka gama nawozów wieloskładnikowych granulowanych z mieszanin jest wytwarzana w wytwórniach superfosfatu. Są to nawozy, w których składnik fosforowy stanowi superfosfat prosty i mączka fosforytowa, składnik azotowy to przede wszystkim siarczan amonowy, a potasowy – sól potasowa.

Zauważa się tendencję do stosowania w nawozach wieloskładnikowych znacznej ilości fosforu nieprzyswajalnego w postaci mączek fosforytowych zamiast fosforanu amonu (Grupa Azoty ZCh „Police” S.A.), bądź amonizowanego superfosfatu, których dostępność dla roślin jest dużo większa.

Obecnie w wytwórniach bazujących na produkcji nawozów wieloskładnikowych opartych na amonizowanym superfosfacie względy technologiczne nie pozwalają na wprowadzenie do nawozów wieloskładnikowych dużej ilości potasu. Istnieje potrzeba opracowania nowych technologii wytwarzania nawozów wieloskładnikowych odpowiadających aktualnym tendencjom w nawożeniu przedsięwzięciu i pogłównym roślin uprawnych opartym o pobranie składników pokarmowych.

Z rolniczego punktu widzenia wskazane jest, aby magnez w nawozach wieloskładnikowych występował w formie soli rozpuszczalnych w wodzie (siarczanu magnezu). Dlatego też zastosowanie węglanu magnezu w nawozach wieloskładnikowych w postaci dolomitu lub magnezytu zmniejsza przyswajalność magnezu dla roślin.

Najbardziej przyswajalną formą siarki w nawozach wieloskładnikowych jest siarczan amonu, natomiast najmniej przyswajalną – siarczan wapnia, stąd amonowa forma siarki powinna być preferowana.

W niewielkim zakresie wytwarzane są workowane mieszanki nawozów granulowanych. Mieszanki nawozów pylistych są wytwarzane głównie dla celów ogrodniczych.

Do tej pory nie przyjął się w Polsce typowy system „bulk blending” polegający na transporcie luzem surowców nawozowych (głównie granulowanych) do mieszalni, mieszania w terenowych mieszalnikach i transporcie bezpośrednio na pole (19).

Wymagania jakościowe dla nawozów wieloskładnikowych

W tabeli 21 zostały określone wartości graniczne dla deklarowanych form rozpuszczalności fosforu. Zostały tam przedstawione wymagania w tym zakresie dla stałych typów nawozów wieloskładnikowych WE wytwarzanych w kraju. Są to nawozy produkowane na bazie fosforanu amonowego oraz superfosfatów, jak też na bazie fosforytu miękkiego lub fosforytu częściowo rozłożonego.

Przedstawione wymagania dla nawozów wieloskładnikowych wskazują na możliwość zastosowania przez producentów wielu wariantów technologicznych, co do stopnia rozkładu fosforytów na rozpuszczalne i przyswajalne formy fosforu w nawozie. Ponadto w tabeli 21 przedstawiono minimalne i maksymalne wymagania jakościowe stawiane stałym nawozom wieloskładnikowym.

Tabela 21

Nawozy wieloskładnikowe stałe – deklarowane formy fosforu oraz wartości minimalne i maksymalne (nawozy WE)

Rozpuszczalność fosforu	Zawartość minimalna, maksymalna P_2O_5 (%)	Forma deklarowana
1. Nawozy na bazie fosforanu amonowego oraz superfosfatów – P_2O_5 rozp. w H_2O – P_2O_5 rozp. w H_2O – P_2O_5 rozp. wyłącznie w kwasach mineralnych	< 2% min. 2% max. 2%	P_2O_5 rozp. w r-rze cytrynianu amonu – rc P_2O_5 rozp. w r-rze cytrynianu amonu i w wodzie – rc, rw -
2. Nawozy zawierające fosforyt miękkie lub fosforyt częściowo rozłożony – P_2O_5 rozp. w H_2O – P_2O_5 rozp. w H_2O i r-rze cytrynianu amonu – P_2O_5 rozp. wyłącznie w kwasach mineralnych	Nawóz powinien zawierać min. 2,5% min. 5% min. 2%	P_2O_5 rozp. w wodzie – rw P_2O_5 rozp. w r-rze cytrynianu amonu i w wodzie – rc, rw P_2O_5 rozp. w kwasach
3. Nawozy na bazie fosforytu miękkiego – P_2O_5 rozp. w kwasach mineralnych – P_2O_5 rozp. w kwasie mrówkowym	100% 55%	P_2O_5 rozp. w kwasach min. P_2O_5 rozp. w kwasie mrówkowym

Źródło: Regulation (EC) No 2003/2003 (9)

Dla nawozów wieloskładnikowych wartością nadrzędną w klasyfikacji jest suma składników podstawowych oraz minimalne zawartości składników podstawowych w nawozie (tab. 22).

Tabela 22

Minimalne zawartości pierwiastków podstawowych w nawozach wieloskładnikowych (w % m/m)
(nawozy WE)

Typ nawozu	Składnik nawozowy	Nawozy stałe (%)	Nawozy płynne	
			roztwory (%)	zawiesinowe (%)
NPK	NPK	20	15	20
	N	3	2	3
	P ₂ O ₅	5	3	4
	K ₂ O	5	3	4
NP	NP	18	18	18
	N	3	3	3
	P ₂ O ₅	5	5	5
NK	NK	18	15	18
	N	3	3	3
	K ₂ O	5	5	5
PK	PK	18	18	18
	P ₂ O ₅	5	5	5
	K ₂ O	5	5	5

Źródło: Regulation (EC) No 2003/2003 (9)

Z technologicznego i agrochemicznego punktu widzenia różnice w rozpuszczalności fosforu pomiędzy wyżej omawianymi typami deklaracji są zasadnicze. Skutki dwuznaczności obu zapisów są niebezpieczne ze względu na tendencję wprowadzania przez producentów do nawozów wieloskładnikowych dużych ilości fosforu nieprzetworzonego chemicznie, w formie fosforytów. Jest to szczególnie istotne w sytuacji, kiedy odbiorca nawozu nie posiada specjalistycznej wiedzy pozwalającej mu określić jakość nawozu na zasadzie deklarowanych przez producenta form rozpuszczalności fosforu.

Produkcja nawozów wieloskładnikowych

W strukturze produkowanych nawozów wieloskładnikowych przeważają nawozy trójskładnikowe (tab. 23).

Tabela 23

Struktura produkcji nawozów wieloskładnikowych w % (w masie nawozu)

Asortyment	%
NPK	67
NP	26
PK	7

Źródło: Igras, 2009 (2)

Ocenia się, że 54% nawozów jest stosowanych w formie pojedynczej, a 38% w formie różnego typu nawozów wieloskładnikowych. Wybór typu nawozu jest uzależniony od kosztów wytwarzania, w których najbardziej istotną rolę odgrywają koszty stałe, koszty surowcowe i stosowana technologia granulacji czy mieszania.

Koszty surowców stanowią na ogół 60–70% kosztów produkcji. Kiedy są one wysokie, występują niekorzystne warunki dla wydawałoby się bardzo atrakcyjnego ekonomicznie systemu mieszania terenowego „bulk blending”. Terenowe mieszanie nawozów jest wtedy kosztowo bardzo zbliżone do granulowania nawozów z mieszanek wytwarzanych w fabrykach z zastosowaniem granulacji parą wodną.

Nawozy wieloskładnikowe są wytwarzane głównie jako nawozy kompleksowe lub nawozy wieloskładnikowe mieszane zawierające w każdej granuli stałe proporcje podstawowych składników nawozowych. Skład tych nawozów jest dostosowany przede wszystkim do wymogów agrotechnicznych roślin (19).

Nawozy zawierające mikroskładniki pokarmowe (mikronawozy)

Wymagania jakościowe dla mikronawozów

Mikronawozy będące solami technicznymi względnie chalatami mikroelementowymi znajdują się w obrocie handlowym jako mikronawozy pojedyncze lub mieszaniny, w formie stałej lub płynnej. Wymagania dla pojedynczych mikronawozów w formie soli technicznych to deklarowanie całkowitej zawartości mikroskładnika rozpuszczalnej w wodzie. Producent, deklarując typ nawozu jako „chelat metalu” lub związek chelatujący mikroskładniki w nawozach płynnych wieloskładnikowych, jest obowiązany do podania nazwy czynnika chelatującego, zawartości rozpuszczalnej w wodzie, zawartości formy schelatowanej oraz zakresu pH gwarantującego akceptowalną stabilność frakcji schelatowanej. Zawartość schelatowanej formy mikroelementu dla mikronawozów pojedynczych nie powinna być mniejsza niż 80%. Wartości minimalne dla mieszanin mikronawozów dotyczą sumy mikroskładników. Dla formy stałej nawozu wynosi ona min. 5%, a dla płynnej min. 2% (20).

Producenci i rynek nawozów mikroskładnikowych

Zastosowanie praktyczne znajdują nawozy z mikroelementami oraz mikronawozy. Te ostatnie lansowane są ostatnio w formie preparatów do stosowania dolistnego.

Produkcja nawozów dolistnych rozwinęła się intensywnie na przestrzeni ostatnich 20 lat, w tym przede wszystkim w Polsce z ukierunkowaniem na stosowanie mikroskładników nawozowych. Lokalizacja ważniejszych producentów mikronawozów w Polsce skupionych w mniejszych przedsiębiorstwach, głównie prywatnych, została przedstawiona na rys. 5 (1).

Nowością ostatnich lat jest zdefiniowanie związków chelatujących, jakie mogą być stosowane i deklarowane przez producentów nawozów.



Opracowanie: J. Igras, E. Wysocka IUNG Puławy 2006 r.

Rys. 5. Ważniejsi producenci mikronawozów w Polsce

Według Igrasa (2), rynek mikronawozów dolistnych dotyczy:

- w większości firm prywatnych;
- ok. 5–10% wartości rynku wszystkich nawozów;
- płynnych nawozów dolistnych i doglebowych;
- w ponad 95% nawozów mineralnych NPK + mikro;
- w ok. 5% nawozów organicznych i organiczno-mineralnych;
- upraw polowych, ogrodniczych, sadowniczych, trawników i ogródków przydomowych.

Środki wapnujące

Wymagania jakościowe dla środków wapnujących

Klasyfikacja ustanowiona w Polsce w normie europejskiej PN-EN 13535 (4) dzieli środki wapnujące na dwie grupy: pochodzenia naturalnego i produkty przemysłowe.

Do środków wapnujących pochodzenia naturalnego wpisano węglany wapnia i magnezu oraz tlenki i wodorotlenki wapnia i magnezu, natomiast do środków wapnujących będących produktami przemysłowymi zostały zakwalifikowane węglany, tlenki i wodorotlenki wapnia i magnezu oraz krzemiany wapnia i magnezu.

Według obowiązującego w kraju Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 8 września 2010 r. w sprawie sposobu pakowania nawozów mineralnych, umieszczania informacji o składnikach nawozowych na tych opakowaniach, sposobu badania nawozów mineralnych oraz typów wapna nawozowego (Dz.U. z 2010 r., nr 183, poz. 1229) (11) środki wapnujące podzielone zostały na dwie grupy: niezawierające magnezu (3 typy, 13 odmian) oraz zawierające magnez (2 typy, 7 odmian). W rozporządzeniu zostały określone wymagania jakościowe stawiane środkom wapnującym odnośnie minimalnej zawartości składników nawozowych wyrażonych w procentach CaO dla typu wapna niezawierającego magnez oraz procentach CaO + MgO i w tym MgO dla typu wapna zawierającego magnez. Dodatkowo Rozporządzenie określa wymagania jakościowe stawiane wapnu nawozowemu odnośnie zawartości wody, chlorków, siarczków oraz odsiewu na sicie o określonym wymiarze boku oczek.

Wymagania jakościowe stawiane środkom wapnującym wprowadzanym na rynek europejski, obowiązujące od 7.06.2014 r., określa Rozporządzenie Komisji (UE) 463/2013 z dnia 17.05.2013 r. (Dz.U.UE.L.2013.134.1) (10) zmieniające Rozporządzenie (WE) 2003/2003 Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie nawozów w celu dostosowania jego załączników I, II i IV do postępu technicznego.

W Rozporządzeniu UE, w rubryce dotyczącej minimalnej zawartości składników pokarmowych wprowadzono minimalną liczbę zubożniania oraz odmienne do wymagań krajowych normy w stosunku do przesiewu uwzględniające odsiew na mokro i sucho. W normach europejskich, w porównaniu do norm krajowych, brakuje informacji dotyczącej minimalnej procentowej zawartości składników nawozowych (CaO, CaO + MgO), które według wymogów unijnych deklaruje sam producent, włącznie z podaniem ich formy i rozpuszczalności.

Rozporządzenie UE określa dopuszczalne tolerancje w odniesieniu do deklarowanej zawartości wapnia i magnezu (Dz.U.UE.L.2013.134.1), zał. II, pkt. 2. (10):

tlenek magnezu:

- do 8% MgO włącznie – 1
- od 8% do 16% MgO – 2
- powyżej 16% MgO – 3

tlenek wapnia – 3

dopuszczalna tolerancja w odniesieniu do deklarowanej liczby zubożniania:

liczba zubożniania – 3

tolerancja w odniesieniu do deklarowanej ilości materiału przechodzącego przez określone sito:

uziarnienie – 10

W Rozporządzeniu UE nie zostały zdefiniowane minimalne zawartości metali ciężkich oraz metody poboru prób do analiz chemicznych.

Według wymagań europejskich granulowane środki wapnujące produkowane w drodze łączenia mniejszych cząsteczek podstawowych muszą po rozmieszaniu w wodzie ulec rozkładowi na cząsteczki o rozdrobnieniu określonym w opisach typu i zamierzonym metodą 14.9 „Oznaczanie rozkładu granulek” (norma EN 15704 poddana badaniu laboratoryjnemu).

Ponadto rozporządzenie unijne uwzględnia nieobowiązkowo określenie reaktywności, którą należy rozumieć jako szybkość działania nawozu i metod jej oznaczania oraz podanie nazwy handlowej środka wapnującego odnoszącej się do wybranego typu wapna nawozowego.

Zużycie wapna nawozowego

Z chwilą wycofania dopłat dla producentów wapna nawozowego niepokojącym zjawiskiem było systematyczne zmniejszanie się jego stosowania. Wapnowanie utrzymywało się od wielu lat na bardzo niskim poziomie, co sprzyjało nadmiernemu zakwaszeniu gleb i przekładało się na niższe plony. W sezonie 2008/09 jednostkowe zużycie $\text{CaO} \cdot \text{ha}^{-1}$ UR zmniejszyło się o 15% w porównaniu do sezonu poprzedniego i wyniosło niespełna 33 kg. Był to zarazem najniższy dotychczas notowany poziom wapnowania (tab. 24).

Pozytywny symptom zanotowano natomiast w roku gospodarczym 2012/13, w którym zużycie wapna nawozowego wyniosło 754,6 tys. ton i było aż o 48,6% wyższe niż w roku poprzednim.

Tabela 24

Zużycie wapna nawozowego

Lata gospodarcze	Wapno nawozowe	
	tys. ton cz. skł.	kg $\text{CaO} \cdot \text{ha}^{-1}$ UR
2003/04	1525,9	93,5
2004/05	1455,6	91,5
2005/06	873,7	54,8
2006/07	604,9	37,4
2007/08	622,4	38,5
2008/09	529,8	32,9
2009/10	591,4	39,8
2010/11	568,3	37,6
2011/12	507,8	33,9
2012/13	754,6	52,4

Źródło: Dane GUS 2011–2012, 2014 (14–16)

Dopuszczalne zawartości metali ciężkich w nawozach mineralnych i środkach wapnujących

W Rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu

(Dz.U. z 2008 r., nr 119, poz. 765, § 4.4) (12) określone zostały dopuszczalne wartości zanieczyszczeń dla nawozów mineralnych i środków wapnujących, których nie można przekraczać.

W przypadku nawozów mineralnych dopuszczonych do obrotu krajowego wartości te na kg masy nawozu nie mogą być większe niż::

- arsenu (As) – 50 mg,
- kadmu (Cd) – 50 mg,
- ołowiu (Pb) – 140 mg,
- rtęci (Hg) – 2 mg.

W przypadku środków wapnujących dopuszczalna wartość zanieczyszczeń nie może przekraczać:

1) w wapnie nawozowym:

- kadmu (Cd) – 2 mg,
- ołowiu (Pb) – 200 mg,

– na kg tlenku wapnia (CaO);

2) w wapnie nawozowym zawierającym magnez:

- kadmu (Cd) – 15 mg,
- ołowiu (Pb) – 600 mg

– na kg sumy tlenku wapnia i tlenku magnezu (CaO + MgO).

Deklarowanie poziomu metali ciężkich w nawozach i środkach wapnujących na obszarze WE nie jest wymagane i dotyczy tylko nawozów krajowych. Dla porównania, w świetle obowiązujących aktualnie przepisów krajowych wartość graniczna dla kadmu w nawozach mineralnych wynosi 50 mg Cd·kg⁻¹ masy nawozu i stanowi wartość 2–5 razy większą od projektów unijnych (20).

Kontrola jakości nawozów na rynku

Dopuszczenie do obrotu

Nawozy spełniające wymagania unijne – nawozy WE

- na zasadzie deklaracji producenta i oceny zgodności z wymaganiami dla typów nawozów zawartych w Rozp. WE nr 2003/2003, zał. 1 (9) (ocenia sam producent).

Deklaracja – ustalone zawartości składników pokarmowych, obejmujące ich formy i rozpuszczalności, gwarantowane w granicach określonych tolerancji.

Zawartość deklarowana – zawartość pierwiastka (lub tlenku), która zgodnie z ustawą może być podana na etykiecie, nadruku na opakowaniu lub w dokumencie towarzyszącym.

Ocena zgodności – ocena przez urzędowe jednostki kontrolne zgodności jakościowej deklaracji producenta ze stanem faktycznym oraz z wymaganiami na nawóz WE.

Nawozy z krajów spoza UE oraz krajowe zgłaszane do dopuszczenia krajowego

Wymagane opinie jednostek badawczych wydane przez (Dz.U. z 2008 r., nr 119, poz. 765) (12):

- Instytut Nawozów Sztucznych – właściwości chemiczne, pierwiastki toksyczne (As, Cd, Hg, Pb);
- Instytuty rolnicze w tym Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa (ocena przydatności do nawożenia).

Dla nawozów m.in. dopuszczanych do obrotu zasygnalizowano w krajowych dokumentach konieczność uzyskania:

KARTY CHARAKTERYSTYKI SUBSTANCJI NIEBEZPIECZNEJ
LUB KARTY CHARAKTERYSTYKI W SYSTEMIE REACH

**Kontrola nawozów mineralnych w obrocie towarowym
(Dz.U. z 2007 r., nr 147, poz. 1033) (17)**

W Polsce kontrolę sprawuje Główny Inspektorat Jakości Handlowej Artykułów Rolno-Spożywczych współpracujący z wytypowanymi laboratoriami akredytowanymi.

Dla oceny zgodności nawozów oznaczonych znakiem WE wymagane jest akredytowanie w zakresie badań jakości nawozów i poboru prób (około 10 laboratoriów, m.in. INS i IUNG, w tym dwa z badaniami na wybuchowość saletry amonowej).

Kontrole u producenta ustala inspekcja, częstotliwość około 1–2 x na rok.

Literatura

1. I g r a s J.: Potencjał polskiego przemysłu nawozowego na tle Unii Europejskiej. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2006, 2: 9.
2. I g r a s J.: Stan aktualny i perspektywy nawożenia roślin w Polsce. W: Stan obecny i perspektywy nawożenia roślin w Polsce w aspekcie regulacji prawnych. Mat. Konf. IUNG-PIB, Puławy 2009, ss. 17-32.
3. M e n g e l K.: Impacts of intensive plant nutrient management on crop production and environment 14-th Int. Congress of Soil Science, 12-18.08.1990.
4. Nawozy i środki wapnujące – Klasyfikacja. PN-EN 13535. PKN, 2003, s. 7.
5. Nawozy i środki wapnujące – Terminologia. PN-EN 12944-1 (3-8), -2 (4). PKN, 2002.
6. NPK Fertilizers meet many needs, Fertil. Int., 2001, 385: 32.
7. P a p r o c k i J., B i s k u p s k i A., G ó r e c k i H., H o f f m a n J., M a l i n o w s k i P.: Nitrogen and phosphate fertilizer industries in Poland. Prac. Int. Fertil. Soc., 2003, 512: 1-36.
8. Przemysł chemiczny w Polsce. Raport roczny 2005. Polska Izba Przemysłu Chemicznego, 2005, ss. 1-88.
9. Regulation (EC) No 2003/2003 of the European Parliament and of the Council, of 13 october 2003, relating to fertilisers. OJ L 304, 21.11.2003.
10. Rozporządzenie Komisji (UE) Nr 463/2013 z dnia 17 maja 2013 r. zmieniające Rozporządzenie (WE) 2003/2003 Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie nawozów w celu dostosowania jego załączników I, II i IV do postępu technicznego (Dz.U. UE.L.2013.134.1).

11. Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 8 września 2010 r. w sprawie sposobu pakowania nawozów mineralnych, umieszczania informacji o składnikach nawozowych na tych opakowaniach, sposobu badania nawozów mineralnych oraz typów wapna nawozowego (Dz.U. z 2010 r., nr 183, poz. 1229).
12. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu (Dz.U. z 2008 r., nr 119, poz. 765).
13. Skowroński B.: Potencjał i poziom nowoczesności polskiego przemysłu nawozowego, Mat. Konf. Stan i perspektywy przemysłu nawozowego w Polsce, Kazimierz Dolny, 28-29.09.1993.
14. Środki produkcji w rolnictwie w roku gospodarczym 2010/11. GUS, Warszawa 2011, s. 19-20.
15. Środki produkcji w rolnictwie w roku gospodarczym 2011/12. GUS, Warszawa 2012, s. 22-23.
16. Środki produkcji w rolnictwie w roku gospodarczym 2012/13. GUS, Warszawa 2014, s. 56.
17. Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (Dz.U. z 2007 r., nr 147, poz. 1033).
18. Winiarski A., Sas J.: Aktualne technologie w produkcji i stosowaniu nawozów w świecie i Polsce, Mat. II Sem. Ekologiczne aspekty mechanizacji nawożenia, ochrony roślin i uprawy gleby, IBMER, 1995, ss. 103-112.
19. Winiarski A.: Nowe kierunki w produkcji i stosowaniu nawozów. XII Krajowe Seminarium „Stosowanie ciekłych agrochemikaliów”, Puławy, 2004, ss. 23-45.
20. Winiarski A.: Klasyfikacja i wymagania jakościowe dla nawozów WE. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2006, 2: 25.
21. Winiarski R.: Wstępne określenie formuł nawozów wieloskładnikowych o wysokiej zawartości azotu wytworzonych na bazie azotanu amonu oraz innych surowców dostępnych w GK Azoty wraz z określeniem ich atrakcyjności rynkowej. Sprawozdanie wykonane na zlecenie ZA Kędzierzyn, 2013, s. 12-13.
22. Zalewski A., Zalewski A.: Rynek nawozów mineralnych w Polsce. Opinie i ekspertyzy OE-133, 2010, s. 8-17.

Adres do korespondencji:

dr Ryszard Winiarski
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. (81) 886 34 21 w. 252
e-mail: rwin@iung.pulawy.pl

Agnieszka Rutkowska

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

REGULACJE PRAWNE DOTYCZĄCE NAWOŻENIA*

Słowa kluczowe: stosowanie nawozów, Dyrektywa Azotanowa, Konwencja Helsińska, ustawa o nawozach i nawożeniu, Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej

Wstęp

Stawiane przed rolnictwem wymagania w zakresie ochrony środowiska związane z prowadzeniem produkcji rolnej wymagają ciągłego doskonalenia przepisów prawnych. Zagadnienia związane z dbałością o stan środowiska naturalnego nabrały szczególnego znaczenia po przystąpieniu Polski do Unii Europejskiej, co wiązało się z podpisaniem przez rząd aktów prawnych regulujących zasady zrównoważonego rozwoju i gospodarowania, szczególne w odniesieniu do jakości wód. Dyrektywa Rady 91/676/EWG z dnia 12 grudnia 1991 r., zwana Dyrektywą Azotanową obli-guje wszystkie państwa członkowskie do podejmowania szeregu działań służących ochronie jakości wód poprzez zapobieganie przedostawaniu się azotanów pochodzenia rolniczego do wód gruntowych i powierzchniowych i zachęcaniu do stosowania zasad dobrej praktyki rolniczej. Dyrektywa nakłada na państwa członkowskie obowiązek ustanowienia zbioru zasad dobrej praktyki rolniczej dla dobrowolnego stosowania na terytorium całego państwa oraz opracowania konkretnych programów działań, które rolnicy i hodowcy mają wdrażać obowiązkowo w strefach zagrożenia zanieczysz-czeniem azotanami. Polska jest również stroną Konwencji Helsińskiej z 9 kwietnia 1992 r. o ochronie środowiska morskiego obszaru Morza Bałtyckiego (12), która w stosownych załącznikach określa procedury i środki służące ograniczeniu dopływu substancji biogenicznych do wód Bałtyku. Szczegółowe regulacje w zakresie nawoże-nia, zgodne z postanowieniami prawodawstwa UE, zostały zawarte w ustawie z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu oraz przepisach wykonawczych do tej ustawy.

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 3.1 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

Regulacje UE podstawą legislacji krajowej w zakresie nawożenia

Z dniem akcesji Polski do Unii Europejskiej zakończono formalno-prawne wdrażanie Dyrektywy Rady 91/676/EWG z dnia 12 grudnia 1991 r. w sprawie ochrony wód przed zanieczyszczeniem powodowanym przez azotany pochodzące ze źródeł rolniczych, zwanej Dyrektywą Azotanową (13). Wprowadzenie Dyrektywy wynikało m.in. ze wzrostu zużycia mineralnych nawozów azotowych oraz nawozów naturalnych, a tym samym zwiększenia zawartości azotanów w wodach przeznaczonych do celów konsumpcyjnych na obszarach niektórych państw członkowskich, przekraczającej standardy określone w dyrektywach odnoszących się do jakości wody ujmowanej dla celów zaopatrzenia ludności w wodę do spożycia. Uznano również, że nadmierne zużycie nawozów sprzyja wzrostowi koncentracji azotanów w wodach przeznaczonych do celów konsumpcyjnych, z czego wynika konieczność ochrony zdrowia ludzi oraz ekosystemów wodnych poprzez właściwe składowanie nawozów i ich racjonalne rolnicze wykorzystanie.

Dyrektywa Azotanowa została przetransportowana do polskiego prawa poprzez następujące akty prawne:

- Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne (Dz.U. nr 115, poz. 1229 z późn. zm.);
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2002 r. w sprawie kryteriów wyznaczania wód wrażliwych na zanieczyszczenie związkami azotu ze źródeł rolniczych (Dz.U. nr 241, poz. 2093);
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2002 r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinny odpowiadać programy działań mających na celu ograniczenie odpływu azotu ze źródeł rolniczych (Dz.U. z 2003 r., nr 4, poz. 44);
- 11 rozporządzeń dyrektorów RZGW w sprawie określenia wód wrażliwych na zanieczyszczenia związkami azotu ze źródeł rolniczych oraz obszarów szczególnie narażonych, z których odpływ azotu ze źródeł rolniczych do tych wód należy ograniczyć;
- 21 rozporządzeń dyrektorów RZGW w sprawie wprowadzenia programu działań mających na celu ograniczenie odpływu azotu ze źródeł rolniczych dla obszaru szczególnie narażonego;
- Ustawa z dnia 26 lipca 2000 r. o nawozach i nawożeniu (Dz.U. nr 91, poz. 991);
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 1 czerwca 2001 r. w sprawie szczegółowego sposobu stosowania nawozów oraz prowadzenia szkoleń z zakresu ich stosowania (Dz.U. nr 60, poz. 616).

Polska jest stroną Konwencji Helsińskiej o ochronie środowiska Morza Bałtyckiego z 9 kwietnia 1992 r., do której przystąpiły wszystkie kraje nadbałtyckie (2, 13). Organem wykonawczym Konwencji jest Komisja Helsińska (HELCOM), którą

tworzą odpowiednie grupy robocze. Ich zadaniem jest opracowanie odpowiednich działań zmierzających do ograniczenia emisji zanieczyszczeń oraz poprawy jakości ekosystemu Bałtyku. W dniu 15 listopada 2007 r., biorąc pod uwagę procedury wprowadzania zmian do załączników Konwencji Helsińskiej, zgodnie z artykułem 32 tejże Konwencji, Komisja Europejska podjęła decyzję o zmianie załącznika III „Kryteria i środki dotyczące zapobiegania zanieczyszczeniu ze źródeł pochodzenia lądowego”. Komisja zobowiązała wszystkie Państwa – Strony do stosowania Najlepszej Praktyki Ekologicznej (NPE) oraz Najlepszej Dostępnej Technologii (NDT) celem zredukowania zanieczyszczenia pochodzącego z działalności rolniczej. W części II wymienionego załącznika „Zapobieganie zanieczyszczeniu pochodzącemu z rolnictwa” znalazły się ogólne zalecenia dotyczące zarówno hodowli zwierząt i uprawy roślin, jak również stosowania nawozów naturalnych w aspekcie strat składników biogenicznych. Zgodnie z załącznikiem produkcja nawozów naturalnych powinna być dostosowana do wielkości gruntów ornych, na których nawozy miałyby być stosowane, co oznacza konieczność zachowania równowagi pomiędzy ilością pogłowia zwierząt hodowlanych w gospodarstwie a wielkością gruntu rolnego wyrażoną w zagęszczeniu pogłowia zwierząt. Maksymalne zagęszczenie pogłowia powinno być doprecyzowane ze względu na wielkości ładunków fosforu i azotu w nawozach naturalnych, które wynoszą odpowiednio $25 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ i $170 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ rocznie oraz potrzeb pokarmowych uprawianych roślin. Wymagane jest, aby budynki i zagrody przeznaczone dla zwierząt były usytuowane i zaprojektowane w taki sposób, aby chronić przed zanieczyszczeniem wody gruntowe i powierzchniowe. Wyprodukowane w gospodarstwie nawozy naturalne należy przechowywać w sposób zapobiegający ich stratom. Odnosi się to do pojemności składowania, umożliwiającej stosowanie nawozów w terminach dostosowanych do potrzeb pokarmowych roślin oraz zapewnienie wysokiej efektywności działania zawartych w nich składników pokarmowych. Wskazuje to również na konieczność określenia terminów, kiedy niedopuszczalne jest stosowanie nawozów naturalnych, ze względu na zamrażanie gleby, jej pokrycie śniegiem lub nadmierne wysycenie wodą. W każdym państwie członkowskim powinny ponadto zostać opracowane szczegółowe wytyczne wraz z zaleceniami dotyczącymi nawożenia uwzględniające:

- warunki glebowe, zasobność gleby w składniki pokarmowe, rodzaj gleby oraz nachylenie terenu,
- warunki klimatyczne oraz system irygacji,
- wykorzystanie terenu oraz kierunek działalności rolniczej z uwzględnieniem płodozmianu,
- wszystkie potencjalne zewnętrzne źródła składników pokarmowych.

W odniesieniu do krajowych regulacji prawnych ogólne zasady stosowania i przechowywania nawozów określone w ww. załączniku zostały rozszerzone i doprecyzowane w ustawie o nawozach i nawożeniu z dnia 10 lipca 2007 roku (5), jak również w rozporządzeniach Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi: z dnia 16 kwietnia

2008 roku w sprawie szczegółowego sposobu stosowania nawozów oraz prowadzenia szkoleń z zakresu ich stosowania (7, 10, 11) oraz z dnia 18 czerwca 2008 roku w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu (8).

Zgodnie z zapisami ustawy o nawozach i nawożeniu dozwolone jest stosowanie jedynie tych nawozów oraz środków wspomagających uprawę roślin, które zostały wprowadzone do obrotu na terenie Rzeczypospolitej Polskiej na mocy zezwolenia Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi lub na mocy artykułu 5 niniejszej ustawy. Zgodnie z artykułem 5 ustawy o nawozach i nawożeniu, do obrotu w Polsce można wprowadzić nawozy i środki wspomagające uprawę roślin dopuszczone do obrotu w innym państwie członkowskim Unii Europejskiej, Republice Turcji lub w państwie będącym członkiem Europejskiego Stowarzyszenia Wolnego Handlu (EFTA) – stronie umowy o Europejskim Obszarze Gospodarczym, o ile przepisy krajowe na podstawie których są one produkowane i wprowadzane do obrotu, zapewniają ochronę zdrowia ludzi, zwierząt i środowiska oraz gwarantują przydatność do stosowania w uprawie roślin, zwiększania żyzności gleby lub stawów rybnych oraz rekultywacji gleb. Do obrotu na terenie Rzeczypospolitej Polskiej można również wprowadzać nawozy mineralne ujęte Rozporządzeniem 2003/2003. Rozporządzenie to precyzuje zasady wprowadzania do obrotu na terenie Unii Europejskiej nawozów mineralnych, oznakowanych znakiem „NAWÓZ WE” (14).

Nawozy należy stosować w sposób niezagrożający zdrowiu ludzi, zwierząt i środowisku.

Plan nawożenia oraz zasady zbywania nawozów naturalnych

Ze względu na aspekt środowiskowy ustawa obliguje podmioty, które prowadzą hodowlę lub chów drobiu powyżej 40 tys. stanowisk lub świń powyżej 2 tys. stanowisk, dla świń o wadze 30 kg lub 750 stanowisk dla macior, do opracowania planu nawożenia zgodnie z zasadami dobrej praktyki rolniczej (art. 18). Plan nawożenia przygotowuje się w oparciu o skład chemiczny nawozu, potrzeby pokarmowe roślin, zasobność gleby (pH gleby, zawartość przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu, zawartość mineralnych form azotu), uwzględniając wszystkie odpady i środki wspomagające uprawę roślin stosowane w gospodarstwie. Plan nawożenia musi być zaopiniowany przez okręgową stację chemiczno-rolniczą. Na podstawie rozporządzenia Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 30 stycznia 2008 r. w sprawie wysokości i sposobu uiszczania opłat za zadania wykonywane przez okręgowe stacje chemiczno-rolnicze (6) opłata za opiniowanie lub sporządzenie planu nawożenia wynosi 6,30 zł za gatunek rośliny na powierzchni do 4 ha.

Ponadto podmiot, który prowadzi intensywną hodowlę lub chów zwierząt, zobowiązany jest do zagospodarowania co najmniej 70% gnojówki i gnojowicy na użytkach rolnych, których jest posiadaczem i na których prowadzi uprawę roślin, pozostałe 30% może zbyć na odrębnych zasadach określonych ustawą. Reguły te nie

dotyczą podmiotów, które nawozy naturalne zbywają w całości. Zarówno podmiot produkujący nawozy naturalne we własnym gospodarstwie, jak również ten, który nawozy nabywa, zobowiązani są do przekazania planu nawożenia wraz z opinią okręgową stacji chemiczno-rolniczej do wójta (burmistrza lub prezydenta miasta) oraz do wojewódzkiego inspektora ochrony środowiska, właściwych miejscu prowadzenia działalności gospodarczej.

Nawozy naturalne mogą być zbywane do bezpośredniego rolniczego wykorzystania na podstawie umowy zawartej w formie pisemnej pod rygorem nieważności, którą obie strony przechowują przez okres co najmniej 8 lat od dnia jej zawarcia.

Ogólne zasady stosowania nawozów

Nawozy należy stosować w dawkach dostosowanych do potrzeb pokarmowych roślin, aby zapewnić największą efektywność ich wykorzystania. Dawki nawozów powinno ustalać się w oparciu o aktualną analizę zasobności gleby w składniki pokarmowe, a w przypadku stosowania odpadów, w rozumieniu przepisów o odpadach, środków wspomagających uprawę roślin i dodatków do wzbogacania gleby – uwzględniając ładunki składników pokarmowych wnoszone do gleby w tych produktach. Nawozy przeznaczone do stosowania dogłębowego powinny być rozprowadzone równomiernie na powierzchni gleby, zapobiegając nawożeniu pól do tego nieprzeznaczonych.

Nawozy mineralne w postaci stałej powinno się stosować za pomocą rozsiewaczy i siewników nawozowych lub ręcznie. W odległości do 20 m od strefy ochronnej źródeł i ujęć wody oraz od brzegu zbiorników i cieków wodnych nawozy mineralne mogą być stosowane wyłącznie ręcznie. Do stosowania nawozów mineralnych, w tym nawozów oznaczonych znakiem „NAWÓZ WE”, może być używany sprzęt agrolotniczy, o ile zaopatrzone jest w urządzenia służące do tego celu. Sprzęt taki może być zastosowany pod warunkiem, że prędkość wiatru nie przekracza 3 m/s, a wilgotność względna powietrza wynosi co najmniej 60%. Powierzchnia upraw, do nawożenia których stosuje się sprzęt agrolotniczy powinna wynosić co najmniej 30 ha, przy czym nawożone pola muszą być położone w odległości nie mniejszej niż 500 m od dróg publicznych, budynków, obiektów, w których są utrzymywane zwierzęta, pasiek, upraw zielarskich, ogrodów działkowych, cieków, zbiorników wodnych, rezerwatów przyrody, parków narodowych, uzdrowisk oraz obszarów ochrony uzdrowiskowej, a także innych obiektów i obszarów chronionych na podstawie odrębnych przepisów.

Nawozy, z wyjątkiem gnojowicy, na gruntach rolnych stosuje się w odległości co najmniej 5 m od brzegu:

- jezior i zbiorników wodnych o powierzchni do 50 ha,
- cieków wodnych,
- rowów, z wyłączeniem rowów o szerokości do 5 m liczonej na wysokości górnej krawędzi brzegu rowu,

- kanałów w rozumieniu ustawy z dnia 18 lipca 2001 roku – Prawo wodne (9).

Ponadto nawozy na gruntach rolnych należy stosować w odległości co najmniej 20 m od:

- brzegu jezior i zbiorników wodnych o powierzchni powyżej 50 ha,
- stref ochronnych ujęć wody,
- obszarów morskiego pasa nadbrzeżnego.

Nawozy mineralne w postaci płynnej stosuje się przy użyciu specjalnych rozlewaczy lub opryskiwaczy wyposażonych w belki polowe z końcówkami lub węzami rozlewowymi.

Nawozy mineralne azotowe należy stosować w okresach bezpośrednio poprzedzających maksymalne zapotrzebowanie roślin na azot. Całkowita dawka nawozów powinna być dzielona na dawki cząstkowe, z których większość stosuje się pogłównie, podczas wegetacji roślin. Stosowanie tzw. późnych dawek azotu wiąże się z ryzykiem gromadzenia azotanów w glebie, a następnie ich wymywania do wód gruntowych, dlatego nawożenie takie uzasadnione jest tylko w uprawie roślin, które ze względów technologicznych powinny zawierać dużo białka (np. pszenice jakościowe) (1).

Nawozów nie wolno stosować:

- na glebach zalanych wodą, przykrytych śniegiem, zamarzniętych do głębokości 30 cm oraz podczas opadów deszczu,
- nawozów naturalnych w postaci płynnej oraz azotowych – na glebach bez okrywy roślinnej, położonych na stokach o nachyleniu większym niż 10%,
- nawozów naturalnych w postaci płynnej – podczas wegetacji roślin przeznaczonych do bezpośredniego spożycia przez ludzi.

Stosowanie nawozów naturalnych i organicznych

Nawozy naturalne powinny być stosowane pod rośliny o długim okresie wegetacji, ponieważ najlepiej wykorzystują zawarte w nich składniki pokarmowe, głównie azot. Dawki nawozów naturalnych należy wyliczać na podstawie zawartego w nich tzw. azotu działającego, który wykazuje takie samo działanie, jak azot w nawozach mineralnych. Dopuszczalna dawka azotu całkowitego w nawozach naturalnych wynosi 170 kg·ha⁻¹ użytków rolnych.

Nawozy naturalne i organiczne w postaci stałej mogą być stosowane podczas wegetacji roślin tylko na użytkach zielonych i na wieloletnich uprawach polowych roślin nieprzeznaczonych do bezpośredniego spożycia przez ludzi.

Nawozy naturalne i organiczne w postaci płynnej stosuje się za pomocą rozlewaczy, aplikatorów doglebowych, deszczowni lub wozów asenizacyjnych wyposażonych w płytki rozbryzgowo lub węże rozlewowe.

Nawozy naturalne należy przykryć lub wymieszać z glebą nie później niż następnego dnia po ich zastosowaniu. Wyjątek stanowią nawozy naturalne stosowane w lasach i na użytkach zielonych.

Gnojowicę na gruntach rolnych należy stosować w odległości co najmniej 10 m od:

- brzegu jezior i zbiorników wodnych o powierzchni do 50 ha,
- cieków wodnych,
- rowów, z wyłączeniem rowów o szerokości do 5 m liczonej na wysokości górnej krawędzi brzegu rowu,
- kanałów, w rozumieniu przepisów ustawy z dnia 18 lipca 2001 r. – Prawo wodne (3).

Nawozy naturalne i organiczne w postaci stałej lub płynnej stosuje się w okresie od 1 marca do 30 listopada, z wyjątkiem nawozów stosowanych pod osłonami (szklarnie, inspekty, namioty foliowe).

Zasady przechowywania nawozów

Wszystkie produkowane w gospodarstwie nawozy naturalne powinny być przechowywane w specjalnych, szczelnych zbiornikach lub na płytach usytuowanych w odpowiedniej odległości od zabudowań i granic zagrody wiejskiej, zgodnie z wymaganiami prawa budowlanego. Gnojówkę i gnojowicę należy przechowywać wyłącznie w szczelnych zbiornikach o pojemności umożliwiającej gromadzenie co najmniej 4-miesięcznej produkcji tego nawozu. Zbiorniki do gromadzenia gnojowicy powinny być zamknięte, w rozumieniu przepisów wydanych na podstawie art. 7 ust. 2 pkt 2 ustawy z dnia 7 lipca 2004 r. – Prawo budowlane (4) dotyczących warunków technicznych, jakim powinny podlegać budowle rolnicze i ich usytuowanie. Podmioty prowadzące intensywną hodowlę lub chów zwierząt, o których wspomniano w części opracowania dotyczącej planu nawożenia i zbywania nawozów naturalnych, produkujące nawozy inne niż gnojówka lub gnojowica, zobowiązane są do ich przechowywania na nieprzepuszczalnych płytach, zabezpieczonych w taki sposób, aby wycieki nie przedostawały się do gruntu.

Nawozy mineralne, w tym nawozy oznaczone znakiem „NAWÓZ WE” oraz środki wspomagające uprawę roślin w postaci stałej, które przewozi się luzem, powinny być przechowywane w sposób chroniący je przed rozsypaniem się, pyleniem i zmoknięciem. Wspomniane nawozy i środki wspomagające uprawę roślin, w postaci płynnej, należy przewozić w zamkniętych i szczelnych opakowaniach, zbiornikach lub cysternach.

Nawozy mineralne, w tym oznaczone znakiem „NAWÓZ WE”, nawozy organiczne, organiczno-mineralne, środki poprawiające właściwości gleby i stymulatory wzrostu w postaci stałej należy przechowywać w opakowaniach jednostkowych, zgodnie z instrukcją ich stosowania i przechowywania. Wymienione nawozy i środki wspomagające uprawę roślin mogą być również przechowywane luzem, w pryzmach formowanych na utwardzonym, nieprzepuszczalnym podłożu, po ich przykryciu materiałem wodoszczelnym. Przepisy te nie dotyczą saletry amonowej oraz innych nawozów zawierających azot w ilości powyżej 28% w przeliczeniu na azot całkowity.

Nawozy mineralne, w tym nawozy oznaczone znakiem „NAWÓZ WE”, organiczne, organiczno-mineralne oraz środki poprawiające właściwości gleby i stymulatory wzrostu w postaci płynnej należy przechowywać w zamkniętych opakowaniach lub w szczelnych, przystosowanych do tego celu zbiornikach.

Zgodnie z wytycznymi Dyrektywy Azotanowej w Polsce opracowano Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej, który przedstawia w krótkiej formie ogóle zalecenia dla gospodarstw o danym kierunku produkcji oraz ważniejsze wymagania, do których rolnik musi lub powinien dostosować swoje gospodarstwo zgodnie z regulacjami prawnymi zgodnymi z obowiązującymi w Unii Europejskiej. Standardy nakreślone w Kodeksie dotyczą przede wszystkim wymogów związanych z racjonalną gospodarką nawozami, ochroną wód oraz gleb, które podjęte zostały w opisanych powyżej krajowych aktach prawnych.

Podsumowanie

Rolnictwo, które użytkuje około 60% ogólnej powierzchni kraju poprzez swoją działalność produkcyjną wywiera presję na stan gleb, wód oraz powietrza. Ochrona środowiska przyrodniczego w tym obszarze regulowana jest zarówno konwencjami międzynarodowymi, jak i ustawodawstwem krajowym. Postanowienia Dyrektywy Azotanowej i Konwencji Helsińskiej odnoszące się do ochrony wód gruntowych i powierzchniowych oraz środowiska morskiego Morza Bałtyckiego znalazły odzwierciedlenie w ustawie z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu oraz przepisach wykonawczych do tej ustawy. Ustawa o nawozach i nawożeniu reguluje kwestie wprowadzania do obrotu nawozów i środków wspomagających uprawę roślin, zapobiegania zagrożeniom dla środowiska, zwłaszcza dla jakości wód, jakie może stwarzać niewłaściwy transport i przechowywanie nawozów. Wymienione krajowe akty prawne wprowadzają wynikające z regulacji międzynarodowych ograniczenia, co do stosowania i przechowywania nawozów, zwłaszcza naturalnych. Do najważniejszych z nich należą: limit $170 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ w przeliczeniu na azot całkowity na jeden hektar użytków rolnych rocznie w nawozach naturalnych, obowiązek przechowywania nawozów naturalnych na nieprzepuszczalnych płytach, zabezpieczających przed przenikaniem wycieku do gruntu bądź w szczelnych zbiornikach oraz zakaz stosowania nawozów na zamarzniętą, przykrytą śniegiem lub wysyconą wodą glebę.

Zgodnie z założeniami Dyrektywy Azotanowej podstawową metodą ograniczania zanieczyszczania wód azotanami pochodzącymi z rolnictwa jest przestrzeganie przez rolników zasad dobrej praktyki rolniczej. W związku z tym Dyrektywa Azotanowa zaleca państwom członkowskim opracowanie i wdrożenie kodeksu, którego zasady powinny być przyswojone przez każdego rolnika i uznane jako obowiązujące normy etycznego postępowania względem środowiska. Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej, jako zbiór zasad, porad i zaleceń, został opracowany w oparciu o aktualnie obowiązujące przepisy prawa w zakresie ochrony środowiska, szczególnie wód.

Literatura

1. D u e r I., F o t y m a M., M a d e j A.: Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Ministerstwo Środowiska, Fundacja Programów Pomocy dla Rolnictwa, Warszawa 2002.
2. Dz.U. nr 28, poz. 347, 2000: Oświadczenie Rządowe z dnia 29 grudnia 1999 r. w sprawie ratyfikacji przez Rzeczpospolitą Polską Konwencji o ochronie środowiska morskiego obszaru Morza Bałtyckiego, sporządzonej w Helsinkach dnia 9 kwietnia.
3. Dz.U. nr 115, poz. 1229, 2001 z późn. zm.: Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne.
4. Dz.U. nr 156, poz. 1118, 2006: Ustawa z dnia 7 lipca 2004 r. – Prawo budowlane.
5. Dz.U. nr 147, poz. 1033, 2007: Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu.
6. Dz. U. nr 29, poz. 174, 2008: Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju wsi z dnia 30 stycznia 2008 roku w sprawie wysokości i sposobu uiszczania opłat za zadania wykonywane przez okręgowe stacje chemiczno-rolnicze.
7. Dz.U. nr 80, poz. 479, 2008: Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 16 kwietnia 2008 r. w sprawie szczegółowego sposobu stosowania nawozów oraz prowadzenia szkoleń z zakresu ich stosowania.
8. Dz.U. nr 117, poz. 765, 2008: Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu.
9. Dz.U. z 2012 r., poz. 145: Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 10 stycznia 2012 r. w sprawie jednolitego tekstu ustawy – Prawo wodne.
10. Dz.U. z 2012, poz. 745: Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 25 czerwca 2012 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowego stosowania nawozów oraz prowadzenia szkoleń z zakresu ich stosowania.
11. Dz.U. z 2013, poz. 1039: Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowego sposobu stosowania nawozów oraz prowadzenia szkoleń z zakresu ich stosowania.
12. Dz.Urz. WE, 16.3.1992: Konwencja o ochronie środowiska morskiego Morza Bałtyckiego.
13. Dz.Urz. WE L, 327/1, 22.12.2000: Dyrektywa Rady z dnia 12 grudnia 1991 r. dotycząca ochrony wód przez zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego (91/676/EWG).
14. Dz.Urz. WE L 304 z 21.11.2003 r. z późn.zm.: Rozporządzenie (WE) Nr 2003/2003 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 13 października 2003 r. w sprawie nawozów.

Adres do korespondencji:

dr Agnieszka Rutkowska
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. (81) 886 34 21 w. 231
e-mail: agrut@iung.pulawy.pl

W serii wydawniczej „RAPORTY PIB”, a od 2007 r. „STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB” ukazały się następujące pozycje:

1. *Wybrane aspekty agrochemicznych badań gleby*. Puławy, 2006.
2. *Zasady wprowadzania nawozów do obrotu*. Puławy, 2006.
3. *Regionalne zróżnicowanie produkcji rolniczej w Polsce*. Puławy, 2006.
4. *Monitoring skutków środowiskowych planu rozwoju obszarów wiejskich*. Puławy, 2007.
5. *Sprawdzenie przydatności wskaźników do oceny zrównoważonego gospodarowania zasobami środowiska rolniczego w wybranych gospodarstwach, gminach i województwach*. Puławy, 2007.
6. *Możliwości rozwoju rolnictwa ekologicznego w Polsce*. Puławy, 2007.
7. *Współczesne uwarunkowania organizacji produkcji w gospodarstwach rolniczych*. Puławy, 2007.
8. *Efektywne i bezpieczne metody regulacji zachwaszczenia, nawożenia i uprawy roli*. Puławy, 2007.
9. *Wybrane elementy technologii produkcji roślinnej*. Puławy, 2007.
10. *Problem erozji gleb w procesie przemian strukturalnych na obszarach wiejskich*. Puławy, 2008.
11. *Uprawa roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce*. Puławy, 2008.
12. *Wybrane zagadnienia systemów informacji przestrzennej i obszarów problemowych rolnictwa w Polsce*. Puławy, 2008.
13. *Tworzenie postępu biologicznego w hodowli tytoniu i chmielu*. Puławy, 2008.
14. *Kierunki zmian w produkcji roślinnej w Polsce do roku 2020*. Puławy, 2009.
15. *Wybrane elementy regionalnego zróżnicowania rolnictwa w Polsce*. Puławy, 2009.
16. *Systemy wspomagania decyzji w zrównoważonej produkcji roślinnej*. Puławy, 2009.
17. *Stan i kierunki zmian w produkcji rolniczej (wybrane zagadnienia)*. Puławy, 2009.
18. *Produkcyjne i środowiskowe aspekty współczesnych metod nawożenia i regulacji zachwaszczenia*. Puławy, 2009.
19. *Oddziaływanie rolnictwa na środowisko przyrodnicze w warunkach zmian klimatu*. Puławy, 2010.
20. *Ocena zrównoważenia gospodarowania zasobami środowiska rolniczego w wybranych gospodarstwach, gminach, powiatach i województwach*. Puławy, 2010.
21. *Możliwości rozwoju obszarów problemowych rolnictwa (OPR) w świetle PROW 2007–2013*. Puławy, 2010.
22. *Możliwości rozwoju gospodarstw o różnych kierunkach produkcji rolniczej w Polsce*. Puławy, 2010.
23. *Związki fitogeniczne jako naturalna alternatywa antybiotykowych promotorów wzrostu*. Puławy, 2010.
24. *Wybrane aspekty przemian strukturalnych na obszarach wiejskich*. Puławy, 2010.
25. *Stan obecny i perspektywy nawożenia roślin w Polsce w aspekcie regulacji prawnych*. Puławy, 2010.
26. *Stan obecny i perspektywy rozwoju rolnictwa ekologicznego w Polsce*. Puławy, 2010.
- 27(1). *Środowiskowe skutki działalności rolniczej i wdrażania PROW na obszarach problemowych rolnictwa*. Puławy, 2011.
- 28(2). *Techniki i technologie stosowane w produkcji roślinnej a środowisko przyrodnicze*. Puławy, 2012.
- 29(3). *Problemy zrównoważonego gospodarowania w produkcji rolniczej*. Puławy, 2012.
- 30(4). *Doskonalenie integrowanych technologii produkcji zbóż jarych i roślin pastewnych ze szczególnym uwzględnieniem początkowych elementów agrotechniki*. Puławy, 2012.
- 31(5). *Rola badań naukowych w kształtowaniu postępu w produkcji chmielu i tytoniu*. Puławy, 2012.
- 32(6). *Wybrane aspekty zrównoważonego rozwoju i specjalizacji gospodarstw rolniczych*. Puławy, 2013.
- 33(7). *Działalność Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa-PIB w Puławach w zakresie wspierania doradztwa i praktyki rolniczej*. Puławy, 2013.
- 34(8). *Problemy gospodarki nawozowej w Polsce*. Puławy, 2013.
- 35(9). *Zagrożenia dla prawidłowego funkcjonowania gleb użytkowanych rolniczo – wybrane zagadnienia*. Puławy, 2013.
- 36(10). *Zmiany w technologiach produkcji roślinnej – oceny i wpływ na środowisko rolnicze*. Puławy, 2014.

WSKAZÓWKI DLA AUTORÓW

W serii wydawniczej „**STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB**” publikowane są recenzowane prace z zakresu agronomii oraz ochrony i kształtowania środowiska rolniczego, wykonane w ramach zadań programów wieloletnich pn. „Kształtowanie środowiska rolniczego Polski oraz zrównoważony rozwój produkcji rolniczej” (2005-2010) oraz „Wspieranie działań w zakresie kształtowania środowiska rolniczego i zrównoważonego rozwoju produkcji rolniczej w Polsce” (2011-2015). W zeszytach problemowych o charakterze monografii, wydawanych w ramach tej serii, mogą być zamieszczane również prace autorów spoza IUNG-PIB, które merytorycznie mieszczą się w tematyce zadań programu wieloletniego. **Publikowane są prace problemowe, głównie mające charakter przeglądowy, z podkreśleniem znaczenia omawianych zagadnień dla rolnictwa polskiego.**

Wydruk tekstu do recenzji:

czcionka 12 p., z odstępem 1,5-wierszowym.

Przygotowanie do druku:

- tekst i tabele w programie Word, wersja 6.0 lub wyższa
- czcionka – Times New Roman
- układ pracy: słowa kluczowe, wstęp, wyniki i dyskusja bądź omówienie wyników, podsumowanie lub wnioski, literatura

tekst

- czcionka – 11 p. (spis pozycji literatury – 9 p.)
- wcięcie akapitowe – 0,5 cm

tabele

- podział na wiersze i kolumny (z funkcji tworzenia tabel)
- szerokość dokładnie 13 cm (tabele w pionie) lub 19 cm (tabele w poziomie)
- czcionka 9 p., pojedyncze odstępy międzywierszowe
- pod tabelą przypis ze wskazaniem źródła danych (autorstwa)

rysunki

- czarno-białe
- wykresy w programie Word lub Excel
- wymiar w zakresie 13 cm × 19 cm
- w podpisach czcionka 9 p.
- na płycie lub innym nośniku w oddzielnych plikach
- pod rysunkiem przypis ze wskazaniem źródła danych (autorstwa)

jednostki miary

- system SI
- jednostki zapisywać potęgowo (np. t·ha⁻¹)

literatura

- spis literatury na końcu pracy w układzie alfabetycznym wg nazwisk autorów, w kolejności: nazwisko (pismo rozstrzelone), pierwsza litera imienia, tytuł pracy, miejsce publikacji: tytuł wydawnictwa (wg ogólnie przyjętych skrótów tytułów czasopism), rok, numer (pismo pogrubione), strony,
- cytowanie w tekście – jako numer pozycji ze spisu literatury (w nawiasach okrągłych) lub dodatkowo z nazwiskiem autora (pismo rozstrzelone).

Pracę do recenzji należy złożyć w 1 egzemplarzu. Po recenzji oryginalny egzemplarz recenzowany złożyć/przesłać do Redakcji, a ostateczną wersję pracy, uwzględniającą uwagi recenzenta i redaktora, przesłać e-mailem.

Dane kontaktowe:

mgr Katarzyna Mikulska

Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG-PIB

ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy

e-mail: kmikulska@iung.pulawy.pl