



CENTRUM DORADZTWA ROLNICZEGO W BRWINOWIE

ODDZIAŁ W POZNANIU

Efektywne wykorzystanie składników mineralnych z nawozów we współczesnym rolnictwie

Renata Gaj



POZNAŃ 2013

**CENTRUM DORADZTWA ROLNICZEGO W BRWINOWIE
ODDZIAŁ W POZNANIU**

dr hab. Renata Gaj

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

**EFEKTYWNE WYKORZYSTANIE
SKŁADNIKÓW MINERALNYCH Z NAWOZÓW
WE WSPÓŁCZESNYM ROLNICTWIE**

Poznań 2013

**CENTRUM DORADZTWA ROLNICZEGO W BRWINOWIE
ODDZIAŁ W POZNANIU**

dr hab. Renata Gaj

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

**EFEKTYWNE WYKORZYSTANIE
SKŁADNIKÓW MINERALNYCH Z NAWOZÓW
WE WSPÓŁCZESNYM ROLNICTWIE**

Poznań 2013

**CENTRUM DORADZTWA ROLNICZEGO W BRWINOWIE
ODDZIAŁ W POZNANIU**

ISBN: 978-83-60232-52-1

dr hab. Renata Gaj
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Projekt okładki, skład tekstu:
Alicja Zygmanska

Druk:
Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie
Oddział w Poznaniu
61-659 Poznań, ul. Winogrody 63,
tel. 61 823-20-81, fax 61 820-19-71
zlecenie nr 14/2013 nakład 1000 egz.

Spis treści

Wstęp	5
I. Aktualny stan zużycia nawozów w Polsce i na świecie	6
II. Efektywne wykorzystanie składników z nawozów	10
III. Wapnowanie – zabieg agrotechniczny zwiększający wykorzystanie składników z nawozów	13
IV. Azot - wykorzystanie i jego działanie	15
V. Składniki zwiększające wykorzystanie azotu	20
1. Potas	20
2. Magnez	24
3. Siarka	25
4. Mikroskładniki	26
VI. Wykorzystanie fosforu z nawozów	28
VII. Czynniki decydujące o wykorzystaniu fosforu z nawozów	30
VIII. Straty składników z nawozów	32
IX. Bilans składników	36
X. Wnioski	38
XI. Literatura	39

Wstęp

Zrównoważone gospodarowanie składnikami nawozowymi w rolnictwie ma nie tylko znaczenie ekonomiczne, ale również ekologiczne. Nakłady ponoszone na nawożenie są znaczącym udziałem w kosztach produkcji roślinnej, dlatego znajomość stopnia wykorzystania składników z nawozów ma duże znaczenie. Szczególną uwagę w kontekście oddziaływania na środowisko należy zwrócić na dwa składniki azot i fosfor. Stosowanie składników nawozowych w dawkach przewyższających wymagania pokarmowe roślin, może doprowadzić do zmian równowagi jonowej roztworu glebowego i spowodować przemieszczenie składnika do wód podziemnych. Sezonowa zmienność jakości wód jest między innymi wynikiem przemian składników zachodzących w glebie. Wielkość strat składników biogennych może być bardzo różna, co wynika z chemizmu każdego pierwiastka.

Mając na względzie zmiany w systemie produkcji rolnej, które będą obowiązywały w rolnictwie unijnym od 2014 roku, dotyczące integrowanej ochrony roślin, należy większą uwagę zwrócić na efektywność stosowanych nawozów, równowagę żywieniową roślin, strukturę zużycia nawozów oraz ich wpływ na środowisko. Metody integrowane mają za zadanie uzyskanie możliwie wysokich i zdrowych plonów przy ograniczonym wykorzystaniu nawozów i pestycydów oraz ich minimalnym negatywnym wpływie na środowisko przyrodnicze. Efektywna strategia nawożenia mineralnego powinna prowadzić do realizacji potencjału uprawianej rośliny, co oznacza wzrost opłacalności uprawy. Należy podkreślić, że składniki mineralne wprowadzone do gleby w formie nawozów mineralnych i organicznych nie są w pełni wykorzystywane w czasie wegetacji roślin. Zwiększenie poziomu nawożenia i uproszczenia w agrotechnice mogą prowadzić do nierównomiernego wykorzystania składników mineralnych, a w konsekwencji do zanieczyszczenia nimi wód.

Działalność rolnicza powoduje znaczącą ingerencję w naturalny obieg składników pokarmowych, jednak oprócz pozytywnych efektów produkcyjno-ekonomicznych występują też negatywne jej skutki w postaci nadmiarów lub niedoborów składników nawozowych ujawniające się w mierzalny sposób w zmianie wskaźników żyzności gleby oraz w składzie wód gruntowych.

Konieczność ochrony środowiska zmusza do nowego spojrzenia na problematykę nawożenia i wykorzystania składników ze stosowanych nawozów. Procesy związane z integracją polskiego rolnictwa z Unią Europejską spowodowały, że coraz wyraźniej dostrzegane są zagadnienia dotyczące zagrożeń dla środowiska przyrodniczego powodowane intensywną działalnością rolniczą. Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD) szacuje, że rolnictwo europejskie uczestniczy w zanieczyszczeniu wód powierzchniowych azotem w zakresie od 40-80% oraz fosforem od 20-40%. Według danych Komisji Helsińskiej (HELCOM) Polska rocznie emituje do Bałtyku ok. 150 tys. ton azotu i ok. 9 tys. ton fosforu.

I. Aktualny stan zużycia nawozów w Polsce i na świecie

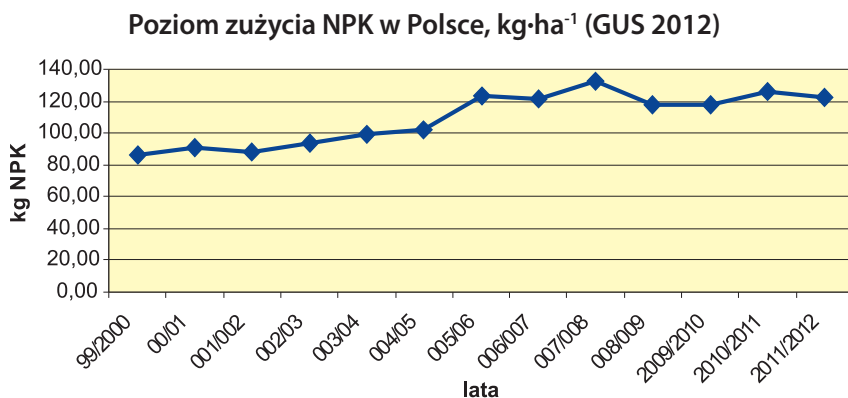
Od 10 lat obserwuje się w naszym kraju tendencję do systematycznego wzrostu zużycia nawozów mineralnych, szczególnie zmiany te uwidoczniły się po wejściu Polski do UE (ryc. 1). Czynnikiem gwarantującym w Polsce umiarkowany poziom zużycia nawozów mineralnych jest system dopłat bezpośrednich. Średnie zużycia NPK w ciągu ostatnich 4 lat wynosiło 122,6 kg NPK/ha, przy znacznym zróżnicowaniu regionalnym wahającym się od 70 kg do prawie 200 kg NPK/ha. Największe ilości nawozów mineralnych zużywa się w regionach o intensywnej produkcji rolnej, w województwach: wielkopolskim, kujawsko-pomorskim, lubuskim, dolnośląskim, opolskim i łódzkim, a najmniejsze w południowo-wschodniej części kraju.

Szczególnie niepokojący jest obecnie spadek zużycia dwóch grup nawozów, tj. potasowych i wapniowych, które w najbliższej perspektywie będą istotnymi czynnikami wpływającymi na brak stabilności plonowania. Poziom zużycia tych dwóch grup nawozów istotnie decyduje o wykorzystaniu głównego składnika plonotwórczego, jakim jest azot. W środowisku kwaśnym nawet bardzo wysokie nawożenie mineralne, nie jest w stanie pokryć potrzeb pokarmowych roślin.

Zużycie nawozów potasowych w naszym kraju kształtuje się na poziomie 392 tys. ton (GUS 2011), co w przeliczeniu na ha użytków rolnych stanowi 27 kg K_2O . Znaczącym źródłem potasu wprowadzanego do gleby są nawozy naturalne, których udział jest 2,5-krotnie większy niż nawozów

mineralnych. W skali kraju należy jednak uwzględnić duże zróżnicowanie regionalne w ilości potasu dostarczanego z obornikiem, gnojowicą, czy nawozami mineralnymi. Z danych statystycznych wynika, że zróżnicowanie zużycia nawozów naturalnych ma ścisły związek z obsadą inwentarza żywego w gospodarstwach. Uwzględniając taki poziom nawożenia, mamy odpowiedź, dlaczego nie możemy uzyskiwać plonów porównywalnych z innymi producentami w Europie. Gospodarowanie z ujemnym bilansem potasu w ostatnich latach może wpływać na zubożenie gleb w przyswajalne formy tego składnika, co powoduje, że jest on najbardziej niedoborowym składnikiem pokarmowym roślin. Aktualnie prowadzona przez rolników gospodarka potasem jest w dużej części niekorzystna zarówno dla samego rolnika, jak i dla środowiska, a stosowane dawki nawozów potasowych nie rekompensują strat. Drastyczny wzrost cen nawozów w 2008 roku wywołał naturalną reakcję rolników przejawiającą się rezygnacją ze stosowania nawozów potasowych, bądź znacznym ograniczeniem ich dawkowania pod rośliny najbardziej wymagające.

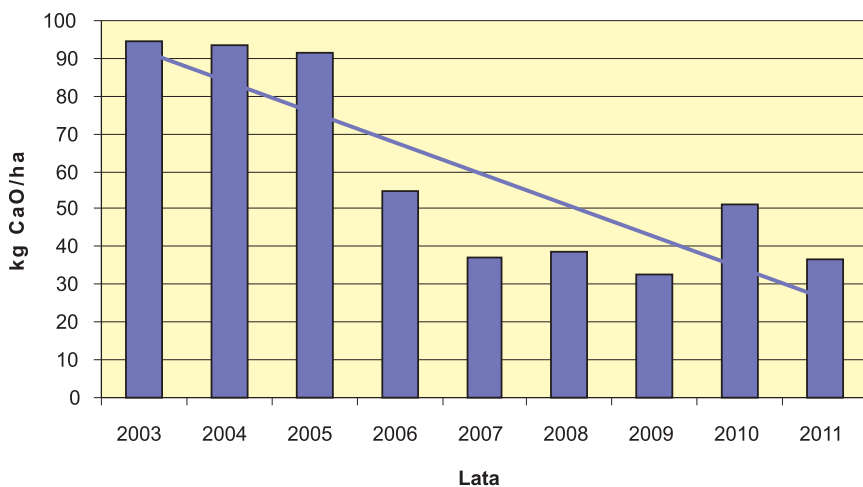
Rycina 1



Kolejna grupa nawozów, których poziom nawożenia znacznie obniżył się w ostatnich latach - to nawozy wapniowe, które stosuje zaledwie 8,3% gospodarstw (ryc. 2). W Polsce zużycie nawozów mineralnych pod zbiory 2011 roku wynosiło 126,4 kg NPK/ha, natomiast wapniowych 36,8 kg CaO/ha (ryc. 3). Obserwując zużycie poszczególnych grup nawozów mineralnych w kraju, dużą uwagę należy skierować na podjęcie działań zwiększających zużycie nawozów wapniowych.

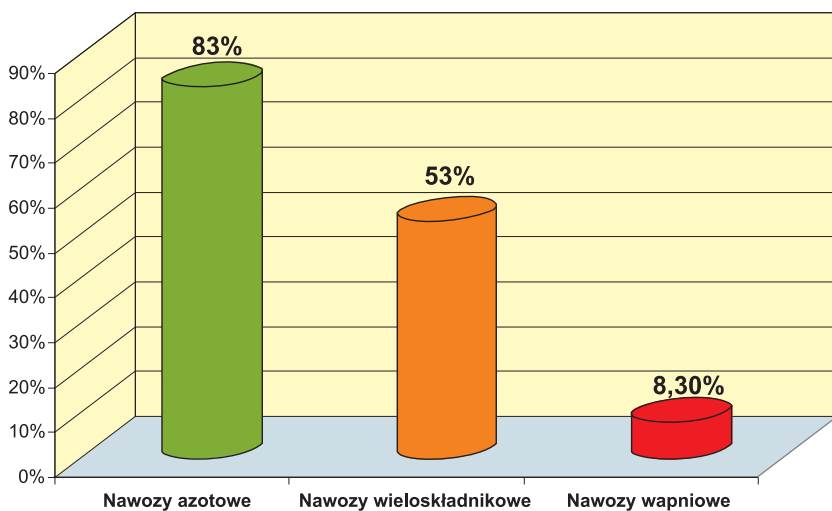
Rycina 2

Zużycie nawozów wapniowych w Polsce w latach 2003-2011, CaO/ha



Rycina 3

Procentowy udział rolników stosujących nawozy wapniowe w Polsce, (GUS 2012)

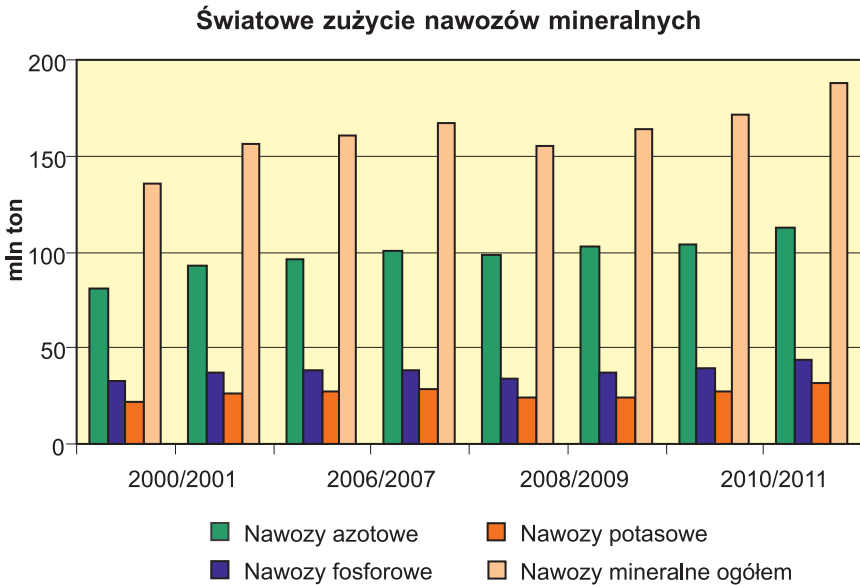


W roku 2010, po pięcioletniej recesji zanotowano tendencję do wzrostu stosowania nawozów wapniowych, ale zmiana ta była krótkotrwała i w znacznym stopniu wynikała z polepszenia relacji cen nawozów wapniowych do cen zbóż. Nie maleje również zróżnicowanie poziomu nawożenia pomiędzy województwami. Ocena Stacji Chemiczno-Rolniczej wskazuje, że prawie połowa użytków rolnych w Polsce charakteryzuje się bardzo wysokimi potrzebami w zakresie wapnowania. Badania przeprowadzone przez IUNG Puławy w 2007 roku wykazały, że 28% gleb polskich użytkowanych rolniczo wykazuje odczyn bardzo kwaśny, a 31% odczyn kwaśny, co stanowi 59% gleb w Polsce. W oparciu o dane Urzędu Statystycznego i Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej w Poznaniu, wielkość użytków rolnych w województwie wielkopolskim, dla których potrzeby wapnowania określa się jako konieczne, potrzebne i wskazane – ocenia się na 883 000 ha, tj. prawie 50% wszystkich użytków rolnych w województwie.

W skali światowej największe zużycie nawozów mineralnych zanotowano w sezonie wegetacyjnym 2010/2011 i wynosiło 171,4 mln ton (ryc. 4). Obecnie największe zużycie nawozów mineralnych na świecie notuje się w Chinach i Indiach, i wynosi odpowiednio 30% i 14%. Udział UE-27 w całkowitym zużyciu nawozów mineralnych stanowi 11,2%, natomiast w pozostałych krajach nie przekracza 3%.

Wśród krajów należących do UE występuje duże zróżnicowanie zużycia nawozów mineralnych. Polska znajduje się w pierwszej dziesiątce krajów o najwyższym poziomie zużycia NPK powyżej 100 kg·ha⁻¹ użytków rolnych. Aktualne prognozy dotyczące zmian zużycia nawozów mineralnych wskazują na wzrost zużycia nawozów azotowych do 110-120 mln ton w 2050 roku. Prognozy pozostałych surowców są mniej optymistyczne. Rezerwy złóż fosforanowych ulegają w dość szybkim tempie zużyciu i w konsekwencji wyczerpują się złoża fosforytów o ekonomicznie opłacalnych kosztach wydobycia. Według prognoza IFA (International Fertilizer Industry Association - Międzynarodowa Organizacja Nawozowa) wzrost zapotrzebowania na żywność oraz silna presja wzrostu plonu przyczyni się do wzrostu zużycia wszystkich grup nawozów, a jednocześnie czynniki te będą stymulowały dalszy wzrost cen nawozów.

Światowe zużycie nawozów mineralnych, mln ton (IFA 2011)



II. Efektywne wykorzystanie składników z nawozów

Z całkowitej masy składnika pokarmowego wprowadzonego do gleby w nawozie mineralnym lub naturalnym, tylko część zostaje wykorzystana przez roślinę uprawną. Związki mineralne podlegają w glebie różnorodnym i złożonym procesom kształtującym ich dostępność dla roślin. Stopień wykorzystania nawozów mineralnych i naturalnych określa procentowy udział składników pokarmowych z nawozów w całkowitym ich pobraniu przez roślinę uprawną. Wykorzystanie składników z nawozów jest zróżnicowane w zależności od pierwiastka. W przypadku azotu stopień wykorzystania składnika szacuje się na poziomie 50%, natomiast wykorzystanie fosforu i potasu przedstawia się odpowiednio 25% i 60%. W ujęciu matematycznym wykorzystanie składników z nawozów (W) określane jest na podstawie algorytmu:

$$W = \frac{U_i - U_k}{D} \times 100\% \quad (\text{równanie 1})$$

gdzie:

U_i – całkowite pobranie składnika z obiektu nawożonego, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$

U_k – pobranie składnika z obiektu bez nawozu, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$

D – dawka składnika w nawozie, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

W ocenie wykorzystania składników z nawozu należy uwzględnić czynnik czasu, który w praktyce rolniczej najlepiej odnieść nie do jednego sezonu wegetacyjnego, ale do całego zmianowania (4 lata). Rolnik stosując nawóz w danym sezonie wegetacyjnym oczekuje przyrostu plonu na jednostkę zastosowanego nawozu. Zależność powyższa określana jest jako efektywność rolnicza (agronomiczna) (ER), która definiowana jest jako przyrost plonu użytkowego w kg na kg składnika zastosowanego w nawozie.

$$ER = \frac{P_i - P_k}{D} \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1} \quad (\text{równanie 2})$$

P_i – plon użytkowy roślin nawożonych

P_k – plon użytkowy roślin nie nawożonych

Zależność między poziomem nawożenia mineralnego a wysokością uzyskanych plonów jest oczywista, gdyż żaden inny czynnik nie wykazuje tak silnej współzależności z plonami. Większą efektywność agronomiczną składników w nawozie można uzyskać w przypadku stosowania nawozów na glebach o niskiej zasobności np. w fosfor i potas – pod warunkiem optymalnej zawartości w pozostałe składniki oraz w warunkach optymalnego układu czynników produkcji. Badania nad efektywnością nawożenia wykazują, że wzrost plonów, co najmniej w 50% zawdzięczamy nawożeniu mineralnemu, natomiast wpływ genetyki i hodowli ocenia się na poziomie 25%, pozostałe czynniki, jak ochrona roślin, melioracje i inne zabiegi agrotechniczne wpływają w nie więcej niż w 20%. Rośliny uprawne różnią się nie tylko wymaganiami ilościowymi względem składników mineralnych niezbędnych do wzrostu, ale wykazują zróżnicowaną reakcję na pokonywanie czynników zakłócających ich pobierane np. za-

gęszczenie gleby. Podstawowym celem zabiegów agrotechnicznych jest poprawienie warunków pobierania składników mineralnych przez uprawne rośliny. Rolnik dysponuje szeroką paletą możliwości agrotechnicznych umożliwiających przeciwdziałanie niekorzystnym warunkom fizycznym i chemicznym wzrostu roślin uprawnych. Zakres warunków naturalnych i agrotechnicznych, jakie muszą być spełnione, aby poniesione nakłady na uprawę roślin zwróciły się, jest bardzo szeroki. Z tej przyczyny pozytywny wynik ekonomiczny jest możliwy tylko w oparciu o dokładnie opracowaną agrotechnikę, gdyż w przeciwnym razie poziom plonów nie zabezpieczy opłacalności produkcji roślinnej.

Czynniki ograniczające efektywność nawożenia, a tym samym plon, dzielą się na naturalne i agrotechniczne. Spośród czynników naturalnych kluczowe znaczenie w warunkach Polski ma woda, czyli nierównomierny rozkład opadów w sezonie wegetacyjnym oraz niska retencja gleb do jej zatrzymywania. Szczególnie niekorzystne działanie niedoboru wody na wzrost roślin uwidacznia się na glebach lekkich o niskiej zawartości składników mineralnych. Warunkiem efektywnej kontroli wodą przez roślinę jest jej dobre odżywienie potasem. W grupie czynników agrotechnicznych istotne znaczenie ma:

- regulacja odczynu gleby,
- dobór roślin,
- wzrost zawartości próchnicy poprzez racjonalne zmianowanie wzbogacające glebę w resztki roślinne,
- uprawa wsiewek poplonowych,
- nawożenie naturalne i ograniczne,
- zwalczanie chwastów oraz ochrona łąnu.

W trakcie trwania sezonu wegetacyjnego rośliny są stale poddawane działaniu czynników abiotycznych i biotycznych. Wśród czynników biotycznych szczególną rolę odgrywają patogeny chorobotwórcze. Wywołany przez nie stres, może być przyczyną spadku plonu roślin do 45%. Choroby są jednym z głównych czynników ograniczających wydajność produkcji roślinnej, redukują dostępność, pobieranie i wykorzystanie składników przez rośliny. Podatność roślin na choroby jest wynikiem działania wielu czynników stymulujących rozwój patogenów, spośród, których stan odżywienia roślin stanowi istotne znaczenie.

III. Wapnowanie – zabieg agrotechniczny zwiększający wykorzystanie składników z nawozów

Rolnik, bez względu na wielkość uprawianego areалу, musi zdawać sobie sprawę, że utrzymanie optymalnego odczynu gleb jest podstawowym warunkiem opłacalnej produkcji roślinnej. Większość roślin uprawnych rozwija się najlepiej przy obojętnym i lekko kwaśnym odczynie gleby. Wapnowanie jest rolniczym sposobem kontroli nadmiaru kwaśnych kationów w glebach uprawnych. Zabieg ten powinien być prowadzony w taki sposób, aby wyeliminować toksyczności glinu, zoptymalizować przyswajalności fosforu i kationów zasadowych (K, Ca, Mg), pod warunkiem zachowania przyswajalności mikroskładników. Niskie zużycie nawozów wapniowych przy jednocześnie wzrastającym zużyciu nawozów azotowych zwiększa stopień zakwaszenia gleb i niekorzystnie wpływa na ich strukturę. Utrzymanie takiego stanu w dłuższym okresie czasu prowadzić będzie do dalszej degradacji gleb. Zakwaszenie gleb uprawnych jest pierwotnym czynnikiem ograniczającym ich produktywność. Skutki zakwaszenia mierzone są wielkością utraconego plonu uprawianej rośliny, niską zawartością składników mineralnych oraz zwiększonym ich wymywaniem. Uwzględniając powyższe zagrożenia, należy systematycznie kontrolować odczyn gleby, który jest podstawą do wyznaczenia potrzeb wapnowania. Uzyskane w następstwie wapnowania przyrosty plonów uprawianych roślin są skutkiem przywrócenia podstawowych funkcji gleb, rozpatrywanych jako jej zdolność do regulacji warunków życia organizmów niższych i wyższych, w tym roślin uprawnych.

Nawozy wapniowe mają do spełnienia zupełnie inną rolę niż nawozy azotowe, fosforowe i potasowe. Konieczność wapnowania gleb wynika z dbałości o odpowiednią strukturę gruzełkową gleby, aerację, właściwe pH i dostępność składników mineralnych dla roślin. Spośród wielu zabiegów uprawowych oddziaływujących na wzrost i plonowanie roślin, wapnowanie określa się jako jeden z najważniejszych. Optymalny odczyn gleby zapewnia warunki dla prawidłowego rozwoju roślin i procesów zachodzących w glebie, a te decydują o szybkości uwalniania składników pokarmowych niezbędnych roślinom uprawnym do prawidłowego wzrostu i plonowania. Przy spadku wartości pH gleby poniżej 5,5 na roślinach pojawiają się objawy wskazujące na niedobór wapnia. Biorąc pod uwagę

wymagania roślin względem wapnia, należy zaznaczyć, że większość gleb uprawnych w Polsce zawiera wystarczającą ilość tego składnika, nawet przy niskim odczynie pozwala na dostateczne ich odżywienie. Problem niedoboru wapnia nie wynika z braku tego składnika w glebie, ale raczej z obecności nadmiaru toksycznych dla roślin związków glinu i manganu, które niekorzystnie wpływają na system korzeniowy roślin (fot.1 - toksyczne działanie glinu na system korzeniowy kukurydzy). Ponadto nadmiar związków glinu i żelaza prowadzi do uwstecznienia fosforu, molibdenu, które zakłócają cały proces pobierania jonów, co w konsekwencji prowadzi do częściowego lub całkowitego zahamowania rozwoju roślin. Wapń najczęściej kojarzy się rolnikowi z wapnem, jednak pojęć tych nie należy stosować zamiennie. Wapń jest składnikiem mineralnego żywienia roślin, a wapno jest grupą związków, które w swoim składzie zawierają wapń. Nadrzędnym celem stosowania wapna jest regulacja odczynu gleby, natomiast drugorzędnym zadaniem jest dostarczenie wapnia.



fot.1 – Toksyczne działanie glinu na system korzeniowy kukurydzy
(fot. R. Gaj).

Ścisły związek z odczynem gleby ma wymywanie składników, które jest jednym z czynników zmniejszenia wykorzystania składników mobilnych, głównie azotu. W glebach kwaśnych o pH poniżej 4,5 ujawniają się jony glinu, które powodują zahamowanie wzrostu korzeni, co ogranicza zdolność rośliny do pobierania wody i składników mineralnych. Przyczyną zahamowania wzrostu korzenia jest także, wywołany zakwaszeniem niedobór wapnia i magnezu. W rezultacie niekorzystnych warunków, system korzeniowy ulega redukcji - roślina nie pobiera składników pokarmowych w dostatecznej ilości i podlega bardzo silnej presji czynników środowiskowych. Słaby system korzeniowy tworzy warunki do wymywania azotanów z gleby, gdyż roślina nie jest w stanie pobrać składników zawartych w głębszych warstwach profilu glebowego, do których przemieściły się wraz z wodą opadową. W konsekwencji wzrasta wymycie azotu azotanowego poza zasięg systemu korzeniowego roślin.

IV. Azot - wykorzystanie i jego działanie

Średnie wykorzystanie azotu z nawozów w produkcji roślinnej w kraju kształtuje się na poziomie 56%, z nadwyżką bilansową ok. 54 kg na ha UR. W ostatnich latach podjęto w Polsce szereg działań mających na celu zwiększenie efektywności wykorzystania składników pokarmowych z nawozów mineralnych i naturalnych. Do podstawowych działań należy zaliczyć wprowadzenie i upowszechnianie programów rolno-środowiskowych, poprawę infrastruktury gospodarstw rolnych w zakresie składowania nawozów naturalnych oraz szerokie wdrażanie i upowszechnianie systemów doradczych wspomaganie decyzji w zakresie nawożenia. Tylko część azotu zastosowanego w formie nawozów zostaje włączona w biomasę rośliny. Pobieranie azotu przez rośliny uprawne przebiega z różną szybkością, wynikającą z odmiennego rytmu ich wegetacji. O wykorzystaniu azotu przez roślinę, tzn. przetworzeniu w plon decydują: warunki naturalne (przebieg pogody), agrotechnika, faza rozwojowa roślin, stan odżywienia innymi składnikami, ilość wnoszonego składnika w nawożeniu oraz technika nawożenia tj. terminy i proporcje podziału dawek nawozów, ich formy oraz sposoby stosowania.

Ustalenie dawki azotu jest znacznie trudniejszym zadaniem niż oszacowanie dawek fosforu i potasu, których celem stosowania oprócz zaspokoje-

nia potrzeb pokarmowych roślin, jest podniesienie poziomu zasobności gleby w te składniki. W przypadku azotu natomiast pożądanym jest, aby pozostałości tego składnika w glebie po zbiorze roślin były jak najmniejsze. Im większa zawartość azotu mineralnego w glebie w okresie jesiennym, tym większe ryzyko strat i zanieczyszczenia wód azotanami. Zawartość azotu w glebie po zbiorze roślin uprawnych jest wypadkową kilku procesów: mineralizacji substancji organicznej, immobilizacji azotu, ułatwienia jego form gazowych i pobierania składnika przez rośliny.

Niezbędnym warunkiem do określenia dawki azotu, którą należy zastosować w formie nawozu mineralnego, jest oznaczenie lub oszacowanie ilości azotu dopływającego z innych poza nawozowych źródeł, głównie z gleby. Szacuje się, że rośliny pobierają 50% azotu dostarczonego do gleby z nawozami, natomiast pozostała część ulega immobilizacji (25%), denitrifikacji (20%) oraz wymyciu (5%). Przestrzeganie prawidłowych zasad agrotechniki pozwala na częściowe ograniczenie strat azotu z gleby. Jednym z podstawowych i powszechnie stosowanych zabiegów jest podział dawki azotu na części. Optymalizacja nawożenia azotem wymaga w pierwszej kolejności realnego oszacowania plonu oraz pomiaru ilości azotu mineralnego w glebie przed ruszeniem wegetacji.

Ustalając poziom nawożenia azotem oraz decydując się na wybór formy nawozu, obok wysokości założonego plonu należy uwzględnić jakość i przeznaczenie rośliny.

Jednym z ważniejszych czynników decydujących o wyborze określonego nawozu azotowego powinna być roślina, z którą ściśle związany jest stosowany azot. Wśród roślin uprawnych jak dotąd nie wykształciły się typowe gatunki, czy też odmiany preferujące tylko jedną formę azotu. Do roślin dodatkowo reagujących na nawożenie formą amonową $N-NH_4$ zalicza się między innymi ziemniaki i kukurydzę, a na azotanową $N-NO_3$ buraki cukrowe.

Kolejnym czynnikiem, który należy uwzględnić przy wyborze nawozu azotowego jest skład chemiczny nawozu, z którym ściśle wiąże się termin stosowania azotu. Dawka azotu wymaga precyzyjnego ustalenia w celu uzyskania ekonomicznie opłacalnego poziomu produkcji, ale przede wszystkim zachowania wartości produktu. Zadanie to jest trudne, gdyż należy uwzględnić:

- ilość azotu mineralnego w glebie w momencie siewu rośliny lub rozpoczęcia wegetacji (wiosna),
- szybkość mineralizacji azotu organicznego w glebie w okresie wzrostu rośliny.

Najlepszym sposobem nawożenia azotem jest ciągle jego dostarczanie roślinie, zgodnie z potrzebami fizjologicznymi. Ograniczeniem takiego założenia są koszty wykonywania zabiegu. Wyliczoną dawkę azotu można zastosować jednorazowo, lecz uzasadniony i bardziej celowy jest podział dawki, gdyż umożliwia to korektę odżywienia roślin w okresie intensywnego ich wzrostu. W zbożach jarych ze względu na krótki okres wegetacji często rezygnuje się z podziału dawki azotu. Najczęściej podział dawki N stosuje się, gdy jest ona wyższa niż 60-70 kg/ha. Zasadniczo stosuje się dwie (czasami trzy) dawki w uprawie zbóż. Postępowanie takie wynika głównie z suszy glebowych, które ograniczają szybkość działania azotu zastosowanego pogłównie. Rozwiązaniem tego problemu jest stosowanie doglebowe azotu w formie płynnej (RSM) lub dolistne w formie wodnego roztworu mocznika. Do roślin szczególnie silnie reagujących na nawożenie azotem należy pszenica. Zależnie od zaopatrzenia i dostępności azotu, roślina buduje różną strukturę. Warunkiem efektywnego działania azotu w pierwszej dawce wiosennej nawożenia pszenicy ozimej jest odpowiednie zaopatrzenie w fosfor i potas. Niedostateczne odżywienie tymi składnikami, czyni jakiegokolwiek rozważania na temat dawki azotu i rodzaju nawozu bezsensownymi. Rezultatem nie zbilansowania dawek azotu jest wzrost wylegania łanu i wzrost podatności roślin na choroby, a skutkiem finalnym relatywnie niski plon ziarna.

Efektywność wykorzystania azotu nawozowego wynika ze stopnia optymalizacji odżywienia rośliny innymi składnikami pokarmowymi. Zgodnie z prawem „minimum” niedobór jednego składnika odżywczego może ograniczyć działanie pozostałych, prowadząc tym samym do utrzymania plonu na poziomie wyznaczonym przez poziom jego dostępności dla uprawianej rośliny.

Azot (N) jest najbardziej plonotwórczym makroskładnikiem w uprawie wszystkich roślin. Niedobór tego składnika w glebie ogranicza plonowanie roślin, natomiast nieumiejętne oszacowanie jego dawki może stanowić zagrożenie dla środowiska naturalnego. Nawożenie samym azotem

nie daje żadnej gwarancji uzyskania dużego plonu o wysokiej jakości. Azot pobierany jest przez rośliny w dużych ilościach, ale nie oznacza to, że w największych. Składnikiem, który znacznie przewyższa poziom pobrania azotu przez wiele roślin uprawnych (np. buraki, rzepak, kukurydza) jest potas. W miarę zwiększenia zaopatrzenia roślin w azot wzrasta w nich zawartość białka. Wytworzone białko powoduje wzrost liści, dzięki czemu zwiększa się proces fotosyntezy, co stymuluje dalszy wzrost roślin. Podstawowe znaczenie azotu w kształtowaniu plonu wynika z faktu, że pierwiastek ten jest niezbędny do asymilacji wielu związków niebiałkowych, między innymi chlorofilu. Chlorofil natomiast odgrywa główną rolę w procesie fotosyntezy, której produkty stanowią ponad 90% suchej masy roślin. Ilość azotu pobrana przez roślinę uprawną koreluje dodatnio z ilością wyprodukowanej suchej masy. Plonotwórcze działanie azotu przejawia się także:

- w zmianach cech morfologicznych i fizjologicznych rośliny,
- w spadku zawartości węglowodanów strukturalnych – celulozy, hemicelulozy oraz ligniny – poprawa strawności pasz zielonych,
- w wydłużeniu generatywnej fazy wegetacji (np. okres nalewania ziarna),
- we wzroście plonu ziarna, nasion, bulw, korzeni.

Rośliny pobierają i odżywiają się przede wszystkim mineralną formą azotu tj. pobierają z roztworu glebowego rozpuszczone w nim jony NH_4^+ , NO_3^- (forma aktywna azotu) oraz wymiennie zaadsorbowane z kompleksem sorpcyjnym jony NH_4^+ (lub NO_3^-). Ilościowe proporcje między poszczególnymi formami azotu w glebie zależą od bardzo wielu czynników, przykładowo: wilgotności i temperatury gleby, odczynu, składu mechanicznego gleby, rodzaju resztek organicznych dostających się do gleby, wymywania azotu, aktywności mikrobiologicznej, itp. Azotany są zazwyczaj głównym źródłem dostępnego dla roślin azotu. Zanim azotan zostanie włączony w procesy metaboliczne, musi ulec redukcji. Rośliny posiadają aktywny mechanizm, dzięki któremu pobrane azotany są redukowane i wykorzystywane do syntezy organicznych związków azotu. Kluczowym enzymem włączającym azot azotanowy w procesy metaboliczne jest reduktaza azotanowa. Enzym ten funkcjonuje zarówno w organach nadziemnych, jak i w korzeniach. Wzrost aktywności reduktazy azotanowej pod wpływem zwiększenia dawki azotu następuje z różną intensywnością w poszczególnych organach rośliny. U młodych roślin

najsilniej aktywność enzymu wzrasta w łodygach, a w późniejszych okresach wegetacji w blaszkach liściowych, które są głównym miejscem redukcji azotanów u zbóż.

Jednym z ważnych czynników decydującym o pobieraniu określonej formy azotu jest odczyn gleby. Pobieranie jonu NH_4^+ zachodzi najlepiej w środowisku obojętnym i maleje ze spadkiem wartości pH. Odwrotna sytuacja występuje przy pobieraniu jonu NO_3^- , im niższa wartość pH, tym szybsze jego pobieranie. Nawozy mineralne zawierają azot w trzech formach, tzn. amonowej, azotanowej i amidowej (N-NH_2). Ostatnia forma występuje w moczniku i może być pobrana przez rośliny dopiero po uprzednim procesie hydrolizy, gdzie forma amidowa przekształcona jest w formę amonową. Głównym czynnikiem decydującym o szybkości przemiany mocznika w glebie jest temperatura, której wzrost zwiększa tempo zachodzenia tego procesu. Oznacza to, że mocznik będzie korzystnie działał w technologii nawożenia roślin o początkowo wolnym wzroście, np. ziemniaki i kukurydza, a niekorzystnie dla roślin o szybkim początkowym wzroście, a do tego preferujących formę saletrzaną np. buraki cukrowe. Istotnym czynnikiem decydującym o wyborze nawozu obok formy azotu, jest termin stosowania nawozu, który powinien być dostosowany do indywidualnych potrzeb rośliny, dynamiki jej wzrostu i pobierania azotu oraz kierunku użytkowania. Nawożenie azotem można połączyć z nawożeniem innymi składnikami, wykorzystując azot w postaci nawozów kompleksowych, typu nitrofoski, które oprócz azotu zawierają jeszcze fosfor i potas. Azot w tej grupie nawozów występuje w dwóch formach azotanowej i amonowej. Agrochemiczna rola azotu azotanowego w tego typu nawozach kompleksowych jest dość specyficzna. W momencie kontaktu granuli nawozu z glebą, jony azotanowe, które są bardzo dobrze rozpuszczalne w wodzie, prowadzą do rozpadu granuli i w ten sposób zwiększają szybkość uwalniania zawartych w niej składników. Ważna jest też obecność drugiej amonowej formy azotu w nawozie, która stymuluje pobieranie fosforanów. Z tej to przyczyny nitrofoski w klasycznej agrotechnice można stosować pogłównie w technologii nawożenia rzepaku i zbóż ozimych. Główną zasadą efektywnego korzystania z grupy nawozów nitrofosek jest zastosowanie ich, co najmniej na dwa tygodnie przed ruszeniem wiosennej wegetacji roślin.

Azot stosowany w nawozach naturalnych i organicznych jest wykorzystywany przez rośliny w małym stopniu, co stwarza duże potencjalne zagrożenie ekologiczne. Rozproszenie azotu z nawozów naturalnych zachodzi poprzez ulatnianie amoniaku i tlenków azotu do atmosfery, przemieszczanie jonów azotanowych do wód gruntowych i włączanie pewnej ilości składnika do glebowej substancji organicznej o dużej podatności na mineralizację.

V. Składniki zwiększające wykorzystanie azotu

1. Potas

Interakcja pomiędzy azotem i potasem sprowadza się do przyrostu plonów pod wpływem nawożenia azotem, a tym samym do większego pobierania potasu przez rośliny. Niedobór potasu drastycznie zmniejsza pobieranie azotu, co zależnie od gatunku rośliny wpływa na realizację jej potencjału plonotwórczego. Odpowiednie zaopatrzenie roślin w potas sprzyja pobieraniu azotu przez rośliny. Rola tego pierwiastka jest znacznie szersza i obejmuje kilka grup czynników odpowiedzialnych za:

1. Procesy fotosyntezy;
2. Przemiany energetyczne;
3. Gospodarkę wodną i procesy osmotyczne;
4. Gospodarkę azotem.

Pierwszym, bezpośrednim objawem niedostatecznego zaopatrzenia rośliny w potas jest zahamowanie jej wzrostu, ściślej zahamowanie wzrostu komórek somatycznych rośliny. Wizualnym przejawem tego procesu jest karlenie rośliny, łanu. Obserwowany stan wynika zarówno z bezpośredniego działania potasu, jak i niedostatecznego zaopatrzenia w azot. Poszczególne gatunki roślin wykazują zróżnicowaną reakcję na nawożenie potasem. Odpowiedź roślin na działanie potasu zależy w znacznym stopniu od zaopatrzenia ich w azot. Dodatkowo reakcji na nawożenie K można spodziewać się w warunkach:

- niskiej zasobności gleb w przyswajalny potas,
- sytuacjach stresowych podczas wegetacji roślin uprawnych,
- plonotwórczego współdziałania potasu i azotu.

Uwzględniając poziom zapotrzebowania roślin uprawnych na potas można wydzielić dwie grupy roślin, o dużej i małej reakcji na nawożenie tym składnikiem.

Do pierwszej grupy zalicza się: ziemniaki, buraki cukrowe, rzepak, kukurydzę, pomidory oraz seler. Optymalny poziom zasobności gleby uprawnej w potas jest zdecydowanie wyższy dla tych roślin i dlatego reagują większym spadkiem plonu przy niskiej jego zawartości w glebie. Natomiast do grupy roślin tolerancyjnych na nawożenie potasem zalicza się zboża, winorośla. Ziemniak jest jednym z gatunków roślin uprawnych, który wykazuje znaczną ilościową i jakościową reakcję na nawożenie potasem. Roślina ta wykazuje istotną reakcją, nie tylko na dawkę potasu, ale i formę chemiczną składnika w nawozie. Ziemniaki preferują potas w formie siarczanowej. Nawożenie potasem wpływa też korzystnie na zawartość suchej masy, białka surowego i witaminy C. Kolejnymi potasolubnymi roślinami uprawianymi są burak cukrowy i rzepak. Jon K^+ stymuluje proces przekształcenia sacharozy w skrobię oraz odgrywa ważną rolę w aktywacji enzymów kontrolujących przekształcanie węglowodanów w tłuszcze. Nie bez znaczenia jest wpływ potasu na pszenicę, gdyż rośliny dobrze odżywione K odznaczają się plonami ziarna o korzystnych cechach jakościowych takich jak:

- wzrost zawartości białka i glutenu,
- wzrost masy tysiąca ziaren,
- poprawa liczby opadania i wyrównania ziarna.

Potas jest jednym z najważniejszych składników pokarmowych dla wszystkich organizmów. Działanie tego pierwiastka określane jest jako specyficzne, tzn., że nie może być zastąpiony przez inny kation. Potas jest składnikiem niezbędnym roślinie od początku wegetacji, gdyż decyduje o szybkości wzrostu organów wegetatywnych. Szczególna rola potasu w fizjologii roślin wynika z jego dużej zawartości w tkankach oraz ważnej funkcji fizjologicznej i biochemicznej. Potas oddziałuje na produkcję rolną nie tylko poprzez wpływ na wzrost i rozwój roślin, ale także poprzez zwiększenie odporności na choroby. Czynnikiem podstawowym wyznaczającym wielkość potrzeb pokarmowych rośliny względem potasu, jest wielkość plonu użytkowego (nasiona, ziarno, bulwy, korzenie, masa zielonki, masa siana) oraz zasobność gleby w ten pierwiastek.

Potas, spośród wszystkich kationów jest pobierany przez rośliny w największych ilościach.

Dynamika pobierania składnika przez rośliny zależy od gatunku, odmiany, szybkości przyrostu biomasy w sezonie wegetacyjnym, zaopatrzenia ładu w inne składniki pokarmowe.

Potrzeby pokarmowe roślin względem potasu uzależnione są także od długości okresu wegetacji. Rośliny pobierające taką samą ilość potasu jak np. buraki cukrowe i trzcina cukrowa różnią się znacznie długością okresów wegetacji, który w przypadku pierwszej grupy roślin trwa zaledwie 120 dni, natomiast trzcina rośnie praktycznie przez cały rok. Zróznicowanie długości okresu wegetacji wskazuje także na różne wymagania nawozowe wymienionych roślin i dynamikę pobierania składnika. Potrzeby pokarmowe są również zróżnicowane w ciągu okresu wegetacji i generalnie największe w fazie wzrostu wegetatywnego. Zarówno w zbożach, jak i w rzepaku stadium wzrostu wydłużeniowego cechuje się największym pobieraniem potasu. W fazie intensywnego pobierania składnika, dzienne zapotrzebowanie plantacji na potas waha się od kilku do kilkunastu kilogramów. W sezonie wegetacyjnym pobieranie potasu może być zakłócone poprzez wpływ czynników naturalnych, jak: niskie temperatury, suche glebowe, nadmierne zagęszczenie gleby w strefie ukorzenienia roślin, zbyt niski lub zbyt wysoki odczyn gleby. Nadmierna wilgotność gleby prowadzi do niedoboru tlenu, a w konsekwencji do zmniejszonego pobrania potasu. Niedobór tlenu w glebie wynika nie tylko z nadmiaru wody, lecz także z nadmiernego zagęszczenia gleby oraz z aktywności samej rośliny, która zużywa tlen do procesów oddychania. Wzrost temperatury gleby zwiększa szybkość reakcji chemicznych w glebie, aktywność korzeni, a zwłaszcza szybkość reakcji biochemicznych w roślinie. Wszystkie te procesy prowadzą do szybszego pobierania potasu.

Niedobór potasu w glebach na terenie kraju jest w większości na tyle duży, że nie gwarantuje efektywnego przetworzenia stosowanego azotu w plon i jednocześnie nie zapewnia odpowiedniej jakości. Zawartość potasu w glebie jest tym niższa im gleba jest lżejsza. Małe ilości potasu zawierają gleby organiczne, w tym głównie torfowe. Mimo, że zawartość potasu ogólnego w glebach ciężkich jest często duża, to występuje on w formach nieprzyswajalnych dla roślin, ponieważ wietrzenie minera-

łów mogących spowodować jego uwolnienie jest procesem bardzo powolnym. W odróżnieniu od fosforu większość gleb Wielkopolski, charakteryzuje się niską i średnią zasobnością w potas. Dane Stacji Chemiczno Rolniczej donoszą, że udział potasu o bardzo niskiej i niskiej zasobności wynosi aż w 53% przebadanego arealu w województwie. W wielu regionach kraju, niedobór składnika w glebie silnie ogranicza plonowanie roślin uprawnych. Najwięcej gleb o niskiej i bardzo niskiej zasobności w potas (ponad 65%) występuje w centralnej części kraju w województwach mazowieckim i łódzkim. Należy jednak pamiętać, że nie zawsze nawożenie potasem prowadzi do wzrostu plonów roślinnych uprawnych. Cały szereg czynników, jak: odmiana, wysokość plonu, gęstość łanu, temperatura, stosunki powietrzno-wodne gleby, mają duży wpływ na ilość pobieranego pierwiastka. Kolejnym czynnikiem decydującym o pobieraniu potasu jest budowa i zasięg systemu korzeniowego. Lepiej wykształcony system korzeniowy roślin pozwala efektywniej korzystać z zastosowanych nawozów oraz rezerw składnika w glebie. Rośliny uprawne w większym stopniu pobierają potas z rezerw zakumulowanych w całej strefie ukorzenienia niż z bieżącego stosowania nawozu. Właściwe rozpoznanie czynnika ograniczającego plon, którym bardzo często jest niedobór potasu, stanowi podstawę sukcesu każdego rolnika. Prawidłowe zdiagnozowanie pozwala na opracowanie odpowiedniej agrotechniki dostosowanej także do możliwości finansowych gospodarstwa. Skutkiem zmniejszonego zużycia nawozów i nadmiernej eksploatacji zasobów glebowych potasu w kraju jest wzrost zależności plonów od przebiegu pogody, przykładowo większa wrażliwość roślin na susze (sytuacja obserwowana w lipcu 2009), wymarzenie, większa podatność roślin na stropy biotyczne.

Warunkiem efektywnej kontroli wodą przez roślinę jest jej dobre odżywienie potasem oraz fosforem. Stosując odpowiednie nawożenie można przynajmniej częściowo ograniczyć roślinie skutki stresów zarówno abiotycznych, jak i biotycznych. Skutki niezbilansowanego nawożenia potasem przejawiają się wzrostem podatności roślin na działanie czynników abiotycznych i biotycznych. Składnikami kontrolującymi metabolizm N rośliny uprawnej jest nie tylko potas, ale także magnez, siarka i szereg mikroskładników. Pierwiastki te zwiększając szybkość procesów transformacji pobranego przez roślinę azotu w białko, zmniejszają tym samym zawartość niskocząsteczkowych związków azotu w cytoplazmie i wolnych, niskocząsteczkowych związków cukrów.

2. Magnez

Efektywność nawożenia magnezem, czyli uzyskiwana dzięki niemu zwyczajka plonów zależy od całokształtu warunków glebowo-klimatycznych i agrotechnicznych, w jakich stosowano nawozy. W przeciwieństwie do działania azotu, który w określonych dawkach na większości gleb wywołuje przeważnie proporcjonalny wzrost plonu, działanie magnezu jest specyficzne. Specyficzny charakter działania magnezu powoduje, że w zbliżonych warunkach glebowych, efektywność nawożenia magnezem może być bardzo wysoka bądź zupełnie znikoma. Gleby piaszczyste i kwaśne wymagają wyższego poziomu nawożenia Mg i wynika to z ryzyka większego wymycia składnika oraz konkurencji pomiędzy glinem a magnezem. Obecna praktyka nawożenia roślin uprawnych nie traktuje istotności magnezu w takim stopniu, jaki wynika z pełnionych funkcji w roślinie. Wyjątkowość tego pierwiastka sprowadza się między innymi do ilości aktywowanych enzymów (ok. 300), dzięki którym przebiegają podstawowe procesy metaboliczne w roślinie. Gleby polskie są naturalnie ubogie w magnez i stan ten wynika z genezy ich powstania. Większość gleb powstała z ubogich skał polodowcowych. Do czynników istotnie kształtujących zawartość przyswajalnego magnezu w glebie należy zaliczyć:

- zakwaszenie gleb uprawnych,
- niski poziom zasobności składnika,
- przebieg warunków meteorologicznych w sezonie wegetacyjnym,
- zróżnicowana zawartości materii organicznej,
- poziom nawożenia mineralnego i organicznego,
- przewapnowanie oraz zmianowanie roślin.

Następstwo roślin z dużym udziałem gatunków o podobnym systemie korzeniowym prowadzi do wyczerpania składnika w danej warstwie gleby. Dlatego zaleca się dobór roślin o różnym zasięgu rozrastania korzeni w glebie. Niedobór Mg może być dodatkowo pogłębiany poprzez wysokie nawożenie potasem oraz azotem szczególnie w formie amonowej. Wymienione składniki działają antagonistycznie w stosunku do jonów magnezu.

Deficyt magnezowy oddziałuje na jakość produktów roślinnych poprzez wpływ na gospodarkę azotem, co wiąże się z redukcją włączania azotu mineralnego w struktury białkowe organizmu. W roślinach ro-

snących w warunkach niedoboru magnezu niekorzystny jest skład substancji azotowych. W wyniku zakłócania biosyntezy białek gromadzą się w roślinach, w nadmiernych ilościach wolne aminokwasy, czyli zmniejsza się udział azotu białkowego, a wzrasta udział frakcji niebiałkowej. Niedostateczne zaopatrzenie w Mg powoduje zmniejszenie szybkości redukcji azotanów w roślinach. Przyczyną tego procesu jest zahamowanie syntezy białka enzymu - reduktazy azotanowej. Magnez jest też niezbędny dla roślin motylkowatych żyjących w symbiozie z bakteriami glebowymi z rodzaju *Rhizobium*. W warunkach niedoboru Mg wiązanie azotu atmosferycznego ulega znacznemu ograniczeniu, prawdopodobnie wynika to z mechanizmu oddziaływania Mg na powstawanie i przemiany węglowodanów, które są źródłem energii wiązania azotu atmosferycznego. Dobre zaopatrzenie w magnez jest szczególnie ważne dla roślin obficie nawożonych azotem, które przekształcają go w związki organiczne.

3. Siarka

Działanie siarki w roślinie jest wielostronne i wynika z dużego wpływu tego pierwiastka na metabolizm azotowy. Wpływ siarki na gospodarkę azotem można rozpatrywać na kilku płaszczyznach:

- bezpośredniego oddziaływania na plon i jakość,
- wzrostu odporności na działanie patogenów oraz
- oddziaływania na środowisko.

Prawidłowe odżywienie roślin siarką prowadzi do większego pobrania azotu, a tym samym zwiększa jego wykorzystanie z nawozów, w konsekwencji zmniejsza ryzyko wymywania azotanów do wód gruntowych. Rośliny dobrze odżywione azotem i siarką zwiększają ilość azotu wbudowanego w struktury organiczne. Ujemne skutki niedożywienia siarką prowadzą do zmniejszenia wydajności fotosyntetycznej, syntezy węglowodanów i białek oraz znacznej redukcji plonu. Wzrost plonu pod wpływem nawożenia siarką jest wynikiem zbilansowania azotu pobieranego przez roślinę. Wzrost zawartości siarki w roślinie zwiększa produkcję białek właściwych, a tym samym zmniejsza zawartość związków azotowych niebiałkowych. Efektem takiego działania siarki jest znaczny wzrost masy rośliny. O przemianach S w roślinie decyduje właściwa relacja N:S. Zawężenie relacji N:S w roślinie prowadzi do akumulacji nieorganicznych związków siarki,

natomiast rozszerzenie stosunku N:S zwiększa akumulację niebiałkowych form azotu (amidów, aminokwasów czy nawet azotanów). Siarka zmniejsza zawartość niskocząsteczkowych form azotu, które stanowią bezpośrednie źródło pożywienia dla mikroorganizmów chorobotwórczych. Niskocząsteczkowe związki azotu są bezpośrednio włączane przez pasożyty w ich struktury metaboliczne. Mineralne żywienie jest uważane za jedną z podstawowych barier w ograniczeniu rozwoju infekcji chorobowych. Stan odżywienia roślin istotnie decyduje o fizjologicznych predyspozycjach rośliny do zwalczania infekcji chorobotwórczych. Liczne badania polowe przeprowadzone w Niemczech wykazały, że zaopatrzenie roślin w siarkę ma szczególne znaczenie w początkowym stadium patogenezy (choroby). Przydatność testu oceny odżywienia maleje, gdy występuje współdziałanie kilku czynników stresogennych. Taka ocena jest niezbędna do określenia wpływu stanu odżywienia roślin na podatność patogenów. Badania wykazały, że w warunkach stałego dopływu siarki nasilenie chorób, takich jak cylindrosporioza liści rzepaku czy mącznik prawdziwy w zbożach występuje w mniejszej skali.

4. Mikroskładniki

Funkcje mikroskładników w roślinie są bardzo złożone, lecz generalnie ta grupa składników mineralnych decyduje o wykorzystaniu azotu w warunkach intensywnej uprawy roślin. Efekty stosowania mikroskładników nie zawsze są widoczne w postaci opłacalnej zwwyżki plonów. Nie wchodzi one w skład związków budulcowych w odróżnieniu od makroskładników, lecz pełnią funkcje w procesach metabolicznych w roślinie, w każdej fazie jej rozwoju. Mikroskładniki są na ogół katalizatorami wielu procesów enzymatycznych. Do grupy enzymów włączonych w metabolizm azotowy zalicza się nitrogenazę (Fe, Mo), reduktazę azotanową (Mo) oraz koenzym dezoksyadenozylkobalaminę (Co). Działanie określonego mikroskładnika w wymienionych przypadkach jest specyficzne i nie da się go zastąpić żadnym innym składnikiem. Warunkiem prawidłowego oddziaływania mikroelementów na metabolizm rośliny jest odpowiednia ich zawartość w komórkach i tkankach. Jednak pierwszorzędną rolę w metabolizmie roślin odgrywa nie bezwzględna zawartość, a wzajemne proporcje poszczególnych składników m.in. makro i mikroelementów.

Plonotwórcze działanie mikrośkładników ujawnia się w sytuacji skrajnego ich niedoboru oraz wysokiego poziomu produkcji. Jednym z wielu pierwiastków, który nie tylko uczestniczy w przemianach związków azotowych, lecz bierze udział w pozostałych reakcjach obronnych roślin jest mangan. Do roślin szczególnie wrażliwych na niedobór manganu zalicza się pszenicę ozimą. Wynika to zarówno z określonych potrzeb fizjologicznych rośliny, jak i uprawy jej na stanowiskach o potencjalnie małej dostępności manganu – pH gleby powyżej 6.

Rośliny uprawne bardzo często doświadczają stanu niedoboru mikrośkładników, co wynika z bardzo ograniczonej ich ruchliwości w glebie, będącej pod kontrolą szeregu składników gleby (materia organiczna, związki żelaza i glinu, węglany), lecz zasadniczo kontrolowana jest przez odczyn gleby. Wzrost pH powyżej 5,0 prowadzi do silnego spadku zawartości ilości manganu i cynku. Zawartość boru a zwłaszcza chloru w małym stopniu zmienia się pod wpływem pH.

Aktualna praktyka nawożenia mikroelementami opiera się w większości na dolistnym odżywianiu. Stopień wykorzystania mikroelementów przez rośliny uprawne, jest ogólnie niski i kształtuje się w przedziale 1-20%.

Rynek oferuje rolnikowi szeroką gamę nawozów zawierających mikroelementy, zarówno w formie stałej, jak i skoncentrowanych płynów. Decydując się na wybór nawozu mikroelementowego w technologii nawożenia np.: buraków cukrowych, czy innych roślin uprawnych należy zwrócić uwagę na rozpuszczalność związków, koncentrację składników, konsystencję roztworów i unikać produktów zmętnionych lub z wyraźnymi osadami na dnie lub ścianach naczyn. Wytrącanie osadów wskazuje na niewłaściwą kompozycję składników. Generalnie stężenie jonów w przygotowanym oprysku musi być niskie, gdyż możliwości pobierania składników z liścia są ograniczone. Formy tlenkowe charakteryzują się niską dostępnością i rozpuszczalnością w wodzie, dlatego decydując się na wybór tej formy nawozu należy zwiększyć dawkę składnika. W odróżnieniu od form tlenkowych znacznie większą rozpuszczalnością i dostępnością dla roślin wyróżniają się mikroelementy stosowane w formie soli technicznych i chelatów. Chelaty charakteryzują się dużą dostępnością, ich cząsteczki są obojętne chemicznie, dlatego nie ulegają uwstecznieniu w tkankach przewodzących liścia. Zaleca się stosowanie chelatów niskocząsteczkowych, gdyż łatwiej

wnikają do rośliny. Rośliny mogą pobierać mikroelementy z chelatów nie tylko w postaci uwalnianego jonu, ale w formie cząsteczki chelatu. Dolistna aplikacja mikroskładników znacznie zwiększa ich wykorzystanie, a ponadto dany pierwiastek może być zastosowany w fazach krytycznych roślin. Niezwykle istotnym warunkiem dobrego wykorzystania mikroelementów dostarczanych dolistnie są warunki meteorologiczne w czasie wykonywania zabiegu. Zabieg powinien być wykonywany w warunkach bezwietrznych i w temperaturze 10-20°C.

VI. Wykorzystanie fosforu z nawozów

Ze względu na zagrożenia środowiska spowodowane nadmiernym przedostawaniem się związków fosforu do cieków wodnych, wykorzystanie fosforu z nawozów będzie omówione szerzej z wyjaśnieniem procesów odpowiedzialnych za taki stan.

Efektywność wykorzystania fosforu w gospodarstwie rolnym jest jedną z miar oceny jakości gospodarowania. Problemu efektywności wykorzystania fosforu z nawozów nie można ograniczyć do jednego roku, gdyż w przypadku tego składnika istotne jest następcze działanie fosforu z nawozów w kolejnych latach.

Jednym ze sposobów zwiększania wykorzystania fosforu jest minimalizowanie akumulacji P w glebie w formach związków organicznych i mineralnych. Z tej przyczyny dla praktyki rolniczej niezbędne jest rozpoznanie możliwości stopnia wykorzystania fosforu przez roślinę, który w przeszłości uległ nagromadzeniu. Poprzez właściwy dobór gatunków roślin możliwe jest utrzymanie żyzności gleby i ograniczenie strat składnika. Główna idea uprawy roślin nastawiona jest na zwiększenie udziału roślin motylkowatych w procesie efektywniejszego wykorzystania fosforu.

Poprawne wyznaczenie wskaźnika wykorzystania P wymaga ścisłego zdefiniowania źródeł fosforu pobieranego przez roślinę. Całkowita ilość składnika pobranego przez roślinę jest sumą wartości cząstkowych, których źródłem są: fosfor pochodzący z zastosowanego nawozu, fosfor stosowany w nawozach w latach poprzednich, P zapasowy oraz P glebowy, który tylko umownie można określić jako naturalny. Prowadząc rozważania nad agronomiczną efektywnością nawozów fosforowych należy rozróżnić

tw. *rzeczywiste* i *pozorne* wykorzystanie składnika z nawozów. Schnug niemiecki badacz zdefiniował wykorzystanie *rzeczywiste* jako współczynnik odniesiony do wykorzystania składnika z nawozu w roku zastosowania a *pozorne* jako współczynnik odniesiony do efektu kumulatywnego działania składnika z nawozów stosowanych w długim przedziale czasu.

Istnieją trzy metody oceny efektywności wykorzystania fosforu: bezpośrednia polega na wykorzystaniu izotopów (rzadko stosowana), różnicowa i bilansowa. W praktyce rolniczej najczęściej jest wykorzystywana **metoda różnicowa**, którą przedstawia równanie poniżej.

$$\% PR = \frac{P_N - P_0}{D} \times 100\%$$

PR – efektywność wykorzystania P,

P_N - pobranie P przez rośliny nawożone fosforem

P_0 - pobranie P przez rośliny nie nawożone

D – dawka P, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Wskaźnik wykorzystania fosforu w pierwszym roku po zastosowaniu, obliczony metodą różnicową kształtuje się do 20% i zmniejsza się w kolejnych latach. Niskie wykorzystanie fosforu z nawozów oznacza, że pozostała część składnika pobranego przez rośliny pochodzi z rezerw fosforu zgromadzonych głównie w warstwie ornej gleby. Wyniki otrzymywane metodą różnicową charakteryzują się dużą zmiennością, która wynika z kombinacji wielu nakładających się czynników, wśród których najczęściej wymienia się różnice w plonach spowodowane warunkami pogodowymi, dostępnością innych składników, fizycznymi warunkami glebowymi, zasięgiem strefy wymieszania P z glebą, dawką stosowanego fosforu, aktywnością oddziaływania systemu korzeniowego.

Trzecia metoda określana terminem bilansowej, wyraża stosunek ilości składnika pobranego przez roślinę do dawki składnika wprowadzonego z nawozem. Efektywność wykorzystania P obliczona metodą bilansową również zależy od wielkości plonu, pobrania składnika, dawki P. Dla obu metod wykorzystanie składnika zmniejsza się wraz ze wzrostem stosowanej dawki P. Niższy stopień wykorzystania fosforu z nawozów w roku zastosowania wskazuje, że rośliny pokrywają zapotrzebowanie na fosfor

w dużej mierze z rezerw glebowych. Prawie cały nie pobrany przez rośliny fosfor pozostaje w glebie. Przemiany fosforu z nawozów osiągają w stosunkowo krótkim czasie równowagę, ale proces krystalizacji form amorficznych stanowiących produkty przemian P przebiega powoli. Straty fosforu z gleby i uwstecznianie składnika powodują, że wieloletnie wykorzystanie nie jest pełne. Składniki pochodzące z nawozów, które obciążają środowisko i nie dają zwwyżki plonów, przy aktualnych relacjach cen w rolnictwie mogą wskazywać na pewnego rodzaju niegospodarność.

VII. Czynniki decydujące o wykorzystaniu fosforu z nawozów

Podstawą efektywnego wykorzystania fosforu z nawozów jest przestrzeganie zasad zrównoważonego nawożenia, które zabezpieczają zarówno wielkość, jak i jakość plonów uprawianych roślin, a z drugiej strony nie prowadzą do zanieczyszczenia wód fosforem. Wskaźnikiem oceny plonotwórczego działania nawozu jest współczynnik wykorzystania składnika z nawozu. Dostępność fosforu glebowego jest determinowana przez dwie grupy czynników tj. formę chemiczną oraz mobilność pierwiastka. Fosfor absorbowany jest przez korzenie roślin w formie anionów H_2PO_4^- (lub HPO_4^{2-}), a następnie włączany w cykl metaboliczny. Ilość fosforu pobieranego przez rośliny jest uzależniona od równowagi pomiędzy wieloma związkami zawierających fosfor, a różną zdolnością roślin do modyfikowania ich środowiska korzeniowego.

Ruchliwość fosforu w glebie w porównaniu do innych składników mineralnych jest bardzo mała, gdyż związki P są silnie wiązane przez glebę. Tempo uwalniania składnika do roztworu glebowego, który wcześniej uległ adsorpcji zależy od siły wiązania na powierzchni cząstek glebowych. Zawartość fosforu w roztworze glebowym jest kontrolowana przez dwie grupy procesów: adsorpcji-desorpcji oraz rozpuszczania-strącania.

Pomimo spadku zużycia nawozów fosforowych w ostatnim dziesięcioleciu nie zaobserwowano istotnych zmian w poziomie plonów. Poziom zużycia nawozów fosforowych w kraju kształtuje się w dolnym zakresie w porównaniu do innych krajów europejskich i wynosi średnio $26 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$, natomiast ilość fosforu wnoszona z nawozami naturalnymi jest zróżnicowa-

na regionalnie. Bilans fosforu dla Polski jest dodatni, a średnia nadwyżka wynosi ok. 3 kg P·ha⁻¹. Dawki fosforu wprowadzane do gleby powyżej potrzeb pokarmowych roślin mogą być uzasadnione tylko w warunkach prowadzenia produkcji na glebach o niskiej zasobności, w przeciwnym razie powodują stopniowy, lecz środowiskowo niepożądany wzrost akumulacji P w glebie. Opracowując strategię nawożenia fosforem, należy uwzględnić fazę krytyczną roślin na działanie fosforu, termin i rodzaj aplikowanego nawozu. O wartości rolniczej nawozu fosforowego decydować może nie tyle zdolność do pokrycia potrzeb pokarmowych roślin w sezonie wegetacyjnym, co dostarczenie odpowiedniej ilości składnika w terminie umożliwiającym pokrycie potrzeb w fazie maksymalnego zapotrzebowania. Takie podejście zakłada różnicowanie terminu i dawek stosowania P w uprawie danej rośliny. Rolnik decydując się na wybór nawozu powinien uwzględnić takie aspekty jak: roślinę i jej specyficzne wymagania, termin stosowania, technikę stosowania oraz relacje zachodzące między zasobnością gleby w P i K.

Pierwszym etapem prawidłowego wyboru nawozu jest określenie relacji zachodzącej pomiędzy zasobnością gleby w fosfor i potas. Okazuje się, że w ok. 60% przypadków bardziej racjonalnym rozwiązaniem z punktu widzenia potrzeb pokarmowych rośliny jest stosowanie nawozów pojedynczych lub łącznie ich z kompleksowymi.

Istnieją znaczne różnice gatunkowe w szybkości pobierania fosforu przez rośliny z gleby. Gatunki wolno rosnące i o niewielkim zapotrzebowaniu na fosfor wykorzystują dobrze składnik ze słabo dostępnych źródeł. Natomiast gatunki szybko rosnące o dużym zapotrzebowaniu na fosfor reagują odwrotnie i widocznym objawem jest zmniejszenie szybkości ich wzrostu. Rośliny wykazują także dużą aktywność w uwalnianiu fosforu z nawozów zawierających składnik w formie związków trudno rozpuszczalnych, przykładowo z fosforytów.

W odniesieniu do fosforu, który jest składnikiem mało ruchliwym w glebie, o zaopatrzeniu rośliny przy założeniu optymalnych warunków wodnych decyduje zawartość składnika w glebie. Im jest ona mniejsza, tym większy system korzeniowy roślina musi wytworzyć, aby pokryć swoje potrzeby metaboliczne. Zatem im mniejszy system korzeniowy rośliny, tym większe wymagania względem stężenia P w roztworze glebowym. Wielkość

systemu korzeniowego można uznać za kryterium podziału roślin uprawnych na wrażliwe i mało wrażliwe na zaopatrzenie w P. Rośliny tworzące duży, ekstensywny system korzeniowy, a do takich zalicza się przykładowo trawy, pobierają intensywnie fosfor z gleby. Z drugiej strony, to trawy uznawane są za grupę roślin słabo korzystających z fosforu z fosforytów, ponieważ nie zakwaszają rizosfery.

VIII. Straty składników z nawozów

Straty składników z nawozów mogą być spowodowane wymywaniem, procesami denitryfikacji oraz ulatniania się amoniaku. Przyczyną największych strat jest wymywanie jonów azotanowych. Ubytki azotu wywołane ulatnianiem się amoniaku z gleby wstępują wówczas, gdy nawozy azotowe w formie amonowej stosowane są na glebach zasadowych.

Wymywanie – przyczyna spadku wykorzystania składników z gleby i nawozów

Odpływ składników biogennych z pól uprawnych do wód jest kształtowany przez wiele czynników, z których najważniejsze to: ilość opadów, fizjografia terenu, zwięzłość i żyzność gleby oraz sposób gospodarowania. Ustalenie skali zagrożenia wymycia składników mineralnych z gleby wymaga wiedzy w zakresie rozpoznania czynników odpowiedzialnych za wystąpienie tego zjawiska. Punktem wyjścia w tego typu rozważaniach jest gleba i jej właściwości fizyko-chemiczne oraz ilość opadów i ich rozkład w sezonie wegetacyjnym. Największe straty mogą dotyczyć składników o dużej podatności na wymywanie tj. azotanów, siarczanów, chlorków, boranów i magnezu. Ryzyko wymycia wiąże się z kategorią agronomiczną gleby i dotyczy głównie gleb lekkich o podłożu piaszczystym.

Straty azotu w wyniku wymywania z gleby zależą nie tylko od zawartości azotu w profilu glebowym, ale od ilości opadów atmosferycznych, zwięzłości gleby oraz okrywy roślinnej. Straty azotu poprzez wymywanie można oszacować w doświadczeniach lizymetrycznych. Z doświadczeń tych wynika, że N w przeciętnych warunkach glebowych jest wymywany przede wszystkim w postaci azotanów, gdyż wynika to z ujemnego wypadkowego ładunku gleby. Forma azotanowa ($N-NO_3^-$) w glebie nie jest wiązana fizycznie ani chemicznie, podlega jedynie wiązaniu biologicznemu. Ochro-

na gleb przed utratą formy azotanowej w kontekście oddziaływania na środowisko wymaga rozpoznania warunków sprzyjających stratom oraz sposobów ich ograniczenia. Podstawowymi warunkami wystąpienia strat są obecność azotu w formie azotanowej oraz zawartość wody prowadząca do swobodnego transportu N do wód gruntowych. Wymywanie azotu z gleby zależy między innymi od:

- dawki i rodzaju nawozu azotowego,
- od rodzaju gleby (skład granulometryczny, typ gleby, pH),
- wielkości opadów atmosferycznych,
- agrotechniki i rodzaju użytkowania gleby,
- gatunku uprawianych roślin.

Zagrożenie wymywaniem azotanów występuje w większości w półroczu zimowym. W okresie letnim, dominuje proces parowania (z gleby, rośliny) i woda podsiąka z głębszych warstw ku powierzchni, stąd utrata N jest minimalna. Straty azotu w wyniku wymywania występują tylko w sytuacji nawalnych deszczów lub długotrwałych opadów. Wymywanie azotanów w większym stopniu związane jest z gospodarką azotem na polu i przebiegiem warunków pogodowych w okresie półrocza zimowego niż z innymi czynnikami.

W ogólnej ilości całego wymytego azotu z gleby, azot z nawozów mineralnych stanowi 15%, a na resztę przypada na azot glebowy. Oznacza to, że więcej N może być wymyte z gleby o naturalnie większej zawartości tego składnika, czyli gleb bogatych w próchnicę. Zagrożony wymyciem jest, przede wszystkim azot mineralny pozostały w glebie jesienią po zbiorze roślin uprawnych (brak roślin na polu). Wymywanie azotu z gleby zależy również od wpływu innych czynników, jak: wprowadzenie zbyt dużych dawek, nieodpowiednia agrotechnika i terminy stosowania nawozów, dawka i rodzaj nawozu azotowego, gatunek uprawianej rośliny czy niekorzystny przebieg warunków agrometeorologicznych. W większości przypadków wymywanie N ma charakter lokalny i wykazuje bezpośredni związek z ilością opadów na danym terenie. Zwiększenie poziomu nawożenia i uproszczenia w agrotechnice mogą prowadzić do nierównomiernego wykorzystania N, a w konsekwencji do zanieczyszczenia nim wód. Średni opad wynoszący na przeważającym obszarze kraju 500-600 mm, jest na glebach mineralnych w 20-30% przemieszczany w głąb gleby lub

stanowi spływ powierzchniowy. Zwiększone wymycie azotanów można obserwować w stanowiskach po wcześnie zebranych burakach, których liście zostały przyorane. W wilgotnej glebie, przy dobrym rozdrobnieniu liści i sprzyjających warunkach meteorologicznych, procesy mineralizacji zachodzą szybko. Uwolniony azot podlega biologicznemu utlenieniu do formy azotanowej, która ulega wymyciu. Aby uniknąć takich sytuacji, należy opóźnić termin wykonywanej orki zimowej. Niskie temperatury nie sprzyjają procesowi mineralizacji, a tym samym starty składników z przyoranych nawozów organicznych bądź naturalnych są ograniczone. W przypadku późnego zbioru buraków, procesy mineralizacji przyoranej masy liściowej rozpoczynają się w okresie wiosennym, a największa ich kumulacja przypada na okres letni.

Najważniejszym sposobem ograniczenia strat azotu mineralnego z gleb uprawnych w okresie jesienno-zimowym jest utrzymanie minimalnej zawartości azotu w glebie po zbiorze roślin uprawnych. Innym rozwiązaniem jest uwstecznienie azotu mineralnego poprzez wprowadzenie do gleby resztek roślinnych o szerokim stosunku węgla do azotu. Rozwiązaniem ochraniającym gleby przed nadmierną utratą azotu do cieków wodnych są również rośliny poplonowe. Poplony wysiane i pozostawione przez okres zimowy mogą nie tylko przeciwdziałać erozji glebowej, ale stanowić pewnego rodzaju sorbent zapobiegający wymywaniu składników pokarmowych do głębszych warstw gleby i wód gruntowych, co ma istotne znaczenie w ochronie środowiska przyrodniczego.

Uwzględniając glebę, należy zwrócić uwagę na takie cechy jak szybkość wchłaniania wody opadowej oraz ilość wody, którą gleba zatrzymuje w strefie ukorzenia. Zła struktura gleby ogranicza infiltrację, czyli przesiąkanie wód powierzchniowych oraz wód pochodzących z opadów atmosferycznych i w konsekwencji obserwujemy na polu zastoiska wodne (fot. 2). Ilość wody opadowej przekraczająca jej zdolność do zatrzymywania zwiększa wymywanie składników mineralnych.

Szybkość przemieszczania się składników w glebie zależy od właściwości jonów oraz środowiska transportu. Przemieszczanie się pierwiastka w glebie (ruchliwość) jest specyficzną cechą danego jonu. Uwzględniając kryterium mobilności pierwiastków w glebie wyróżnia się trzy grupy składników mineralnych:

1. rozpuszczalne i mobilne: azotany, (NO_3^{-1}), chlorki (Cl^-), siarczany SO_4^{2-} , borany;
2. rozpuszczalne i mało mobilne: K^+ , NH_4^+ , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} ;
3. słabo rozpuszczalne i mało mobilne: H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} .

O zagrożeniu spowodowanym wymywaniem mówimy wtedy, gdy suma opadów w porze roku o temperaturach powyżej 5°C przekracza potencjał gleby do zatrzymywania wody opadowej. Określenie strat składników z gleby na drodze wymywania jest nie tylko istotne dla zapewnienia optymalnego poziomu zawartości składników dla roślin, ale może być istotnym czynnikiem obciążającym środowisko naturalne, a szczególnie zasoby wodne.



fot. 2 – Zastoiska wodne (fot. R. Gaj).

W większości przypadków wymywanie składników ma charakter lokalny i wykazuje bezpośredni związek z ilością opadów na danym terenie. Jesień 2012 roku charakteryzowała się dość dużym zróżnicowaniem regionalnym w odniesieniu do przebiegu temperatur oraz ilości opadów. We wrześniu na terenie większości kraju było ciepło, co sprzyjało procesom minerali-

zacji, a tym samym ilości uwalnianych składników mineralnych w glebie. W odróżnieniu od temperatur zdecydowanie większe zróżnicowanie w skali kraju zaznaczyło się w stosunku do ilości występujących opadów. Skrajnie suchy był rejon wschodniej Polski, natomiast w centralnej i zachodniej części kraju opady kształtowały się w normie. Jeszcze większe zróżnicowanie opadów wystąpiło w październiku. Sucho i bardzo sucho było na obszarze Wielkopolski, Kujawach, Ziemi Lubuskiej oraz przeważającym obszarze Dolnego Śląska, natomiast wilgotno, a miejscami skrajnie bardzo wilgotno było w Polsce południowej, wschodniej i częściowo w centralnej. Różnice w opadach wskazują na obszary potencjalnych strat składników spowodowanych wymyciem.

Denitryfikacja

Znaczne starty azotu zachodzą w formie gazowych produktów utlenionych: tlenków azotu N_2O i NO i azotu elementarnego N_2 . Produkty te powstają w procesach chemicznej i biologicznej denitryfikacji azotu w glebach i w wodach glebowo-gruntowych. Pierwszym etapem denitryfikacji jest redukcja azotanów do azotynów, natomiast dalsze etapy mogą mieć różny przebieg w zależności od warunków, dlatego ostateczne produkty są również zróżnicowane. Azotyny mogą być zredukowane do amoniaku (NH_3), czyli podlegają procesowi o przeciwnym kierunku przebiegu w stosunku do nityfikacji, większość powstałego wówczas NH_3 zużywają bakterie do budowy własnego białka. W wyniku rozkładu azotynów mogą uwalniać się tlenki azotu (N_2O i NO) lub wolny azot cząsteczkowy, powodując straty azotu z gleby wskutek jego dyfuzji do atmosfery. Denitryfikacja jest procesem beztlenowym, sprzyja jej stan nadmiernego uwilgotnienia gleby. W glebach utrzymywanych w dobrej kulturze denitryfikacja raczej nie zachodzi, zwłaszcza w powierzchniowych warstwach.

IX. Bilans składników

Podstawowym narzędziem zarządzania składnikami w glebie, w celu ich efektywniejszego wykorzystania i poprawnego opracowania planu nawozowego jest bilans składników. Ilość składników z nawozów powinna równoważyć pobranie przez roślinę. Spełnienie tej zasady wymaga prze-

prowadzenia bilansu składników dla założonego plonu oraz określenie czynników ograniczających ich wykorzystanie. Uważa się, że ocena wykorzystania składników z nawozów mineralnych powinna obejmować całą rotację roślin w zmianowaniu i uwzględniać ilość składnika, która pozostaje w glebie w danym roku. Testy glebowe są podstawą do prawidłowego określenia dawek składników. Główną ich zaletą jest możliwość skorygowania niedoborów składników przed siewem roślin i dodatkowo ich uzupełnienia w przypadku kolejnych roślin w zmianowaniu. Analiza gleby stanowi także istotne narzędzie oceny potencjalnych zagrożeń wynikających np. z nadmiaru fosforu rozpraszanego do środowiska naturalnego. Bilanse składników mogą być sporządzane na różnych poziomach (pola, gospodarstwa, rejonu, kraju) i różnymi metodami. Jedną z powszechnie uznawanych metod strat i przepływu składników nawozowych w środowisku są bilanse sporządzane według metody zaproponowanej przez OECD „na powierzchni pola”. Polska jako członek OECD od 1996 roku jest zobowiązana wykonywać corocznie bilans azotu, a od 2002 roku także bilans fosforu (również na poziomie regionalnym).

Dodatnie saldo bilansu określane jako nadwyżka, nadmiar albo straty stanowi niewykorzystany w produkcji rolnej ładunek składników, który ulega kumulacji w glebie albo przemieszcza się do wód powierzchniowych i podziemnych bądź do atmosfery. Straty składników mineralnych powodują ujemne skutki gospodarcze (obniżenie poziomu produkcji, większe nakłady na środki produkcji) oraz stwarzają zagrożenie dla środowiska naturalnego, zwłaszcza dla jakości wód. Szczególne niebezpieczeństwo w tym zakresie stwarzają rozpraszane z produkcji rolnej związki azotu i fosforu.

Ujemny bilans składników będzie nasilał się w gospodarstwach, w których prowadzona jest intensywna produkcja, z dużym udziałem upraw roślin liściastych (rzepak, burak cukrowy, kukurydza), praktykujących uproszczone systemy uprawy oraz pozbawionych produkcji zwierzęcej.

X. Wnioski

1. W zrównoważonym rolnictwie każde postępowanie agrotechniczne, w tym nawożenie szczególnie azotem, powinno być oceniane pod względem skutków produkcyjnych i środowiskowych.
2. Nadmiar azotu przy niedoborze pozostałych składników pokarmowych stanowi nie tylko znaczący problem ekonomiczny, lecz także narastający problem ekologiczny.
3. Niezbilansowanie składników mineralnych z nawozów oraz niewłaściwy sposób ich stosowania może spowodować spadek efektywności nawożenia od 25 do 60%.
4. Wapnowanie gleb decyduje o warunkach wzrostu roślin uprawnych zwiększając efektywność działania podstawowych nawozów mineralnych, herbicydów poprzez regulację odczynu i dostarczenie roślinom niezbędnego wapnia i magnezu.
5. Prawidłowe zmianowanie roślin zwiększa efektywność plonotwórczą nawożenia. Należy unikać uprawy roślin w monokulturze, gdyż prowadzi ona do kompensacji chorób, chwastów i szkodników, a w konsekwencji do spadku plonu.
6. Bilans składników w zmianowaniu jest skutecznym narzędziem kontroli gospodarki składnikami w glebie i jest dobrym wskaźnikiem oceny ich wykorzystania z nawozów.
7. Roślina dobrze odżywiona lepiej wykorzystuje składniki z nawozów i jest mniej podatna na infekcje chorobotwórcze, a tym samym pozwala zmniejszyć koszty ponoszone na fungicydy.

XI. Literatura

1. Fotyma M., Kęsik K. 1984. Stan i perspektywy badań dotyczących przemian fosforu w glebie i nawożenia tym składnikiem. *Prace Naukowe AE Wrocław, Chemia*. 267:67-89.
2. Gaj R. 2008. Zrównoważona gospodarka fosforem w glebie i roślinie w warunkach intensywnej produkcji roślinnej. *Nawozy i Nawożenie, Fertilizers and Fertilization Z.* 33.143ss.
3. Gaj R. Klikocka H. 2011. Wielofunkcyjne działanie siarki w roślinie: od żywienia do ochrony. *Progres in Plant Protection. Postępy w Ochronie Roślin* 51(1):1-12.
4. Grzebisz W. 2008. Nawożenie roślin uprawnych. Cz. 1. Podstawy nawożenia, PWRiL, Poznań, 428 ss.
5. Grzebisz W. 2009. Produkcja roślinna. Cz.III; Technologie produkcji roślinnej. Wyd. Hortpress Sp. z o.o.
6. Grzebisz W. 2009. Nawożenie roślin uprawnych. Cz.2 Nawozy i Systemy Nawożenia. PWRiL, 375ss.
7. Grzebisz W., Gaj R., Przygodzka-Cyna K. 2010. Rola składników pokarmowych w budowaniu mechanizmów odpornościowych roślin uprawnych na presje patogenów. *Progres Plant Prot.* 50(2): 517-532.
8. Grzebisz W., Barłóg P., Waszak M., Łukowiak R. 2007. Homeostaza żywienia a odporność roślin uprawnych na stresy biotyczne. *Frag. Agron.* XXIV, 3(95): 136-143.
9. Grzebisz W. Szczepaniak. 2003. Systemy nawożenia. Pierwiastki w środowisku. Fosfor (ed. Grzebisz W.). *J. Elementol.* V.8(3): 95-107.
10. Grzebisz W., Potarzycki J. 2003. Czynniki kontrolujące pobieranie fosforu przez rośliny. Pierwiastki w środowisku (ed. Grzebisz W.). *J. Elementol.* V.8(3): 33-46.
11. Kopiński J., 2007: Bilans azotu brutto dla Polski i województw w latach 2002-2005. *Studia i raporty IUNG-PIB, Puławy*, 5: 117-131.
12. Lipiński W., 2001. Odczyn i zasobność gleb w świetle badań stacji chemiczno-rolniczych. *Nawozy i nawożenie, Puławy*, 3a (4): 89-105.
13. Potarzycki J. 2003. Rola siarki z superfosfatu prostego w nawożeniu jęczmienia jarego. I Plon i jakość ziarna. *Nawozy i Nawożenie*, 4(17):180-192.



ISBN 978-83-60232-52-1