

Piotr Skowron, Damian Wach

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

**ZAPOBIEGANIE ZANIECZYSZCZENIOM ZASOBÓW WÓD
PRZEZ NAWOZY WYKORZYSTYWANE W PRAKTYCE ROLNICZEJ***

Słowa kluczowe: plan nawożenia, azot, fosfor, zanieczyszczenie wód, nawozy mineralne, nawozy naturalne

Wstęp

Jednym z założeń zrównoważonego rolnictwa jest racjonalne gospodarowanie nawozami, uwzględniające zarówno odpowiednie zaopatrzenie roślin w składniki pokarmowe, jak i ograniczenie oddziaływania na środowisko. Prawidłowe stosowanie nawozów mineralnych, naturalnych i organicznych jest nieodzowne w celu osiągnięcia wysokich plonów o odpowiednich parametrach jakościowych oraz poprawy żyzności gleby. Niewłaściwe postępowanie z nawozami może powodować rozproszenie wnoszonych wraz z nimi składników pokarmowych do wód gruntowych, powierzchniowych i atmosfery, a także degradację innych parametrów środowiska glebowego, takich jak np. odczyn, zasobność w składniki pokarmowe i materię organiczną czy strukturę. W pracy przedstawiono metody ograniczania zanieczyszczeń wód biogenami pochodzącymi z nawozów stosowanych w produkcji rolnej na różnych etapach zarządzania tymi środkami produkcji, począwszy od zasad sporządzania planu nawożenia, poprzez sposoby ich przechowywania, a do i stosowania.

Plan nawożenia

Plan nawożenia to najważniejsze narzędzie gospodarowania podstawowymi składnikami pokarmowymi NPK w produkcji roślinnej. Opracowany zgodnie z zasadami

*Opracowanie wykonano w ramach zadania I.1. pt. „Nawożenie użytków rolnych” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2023 r.

dobrej praktyki, uwzględnia zarówno plonotwórczy i ekonomiczny aspekt nawożenia (realizacja potencjału plonowania i optymalizacja kosztów), jak i jego oddziaływanie na środowisko (łagodzenie presji). Odpowiednio zbilansowane nawożenie pozwala uzyskać wysokie plony roślin, z czym wiąże się duże pobranie składników pokarmowych, a zatem większe ich wykorzystanie z nawozów (4, 6, 12, 22). Badania prowadzone w IUNG-PIB wskazują, że znaczna część rolników stosuje nawozy bez uwzględniania istotnych informacji mających znaczenie dla potrzeb nawozowych roślin (zasobność gleby, poziom plonowania, stosowanie nawozów organicznych i naturalnych). W takiej sytuacji nawozy są stosowane najczęściej w zbyt wysokich dawkach, wpływając przy tym na zwiększenie nawozochłonności produkcji i strat składników pokarmowych lub w dawkach zbyt niskich, powodując zmniejszenie plonów (9, 10).

Najbardziej korzystnym i efektywnym rozwiązaniem, które bierze pod uwagę interesy ekonomiczne rolnika i chroni środowisko jest plan nawożenia oparty na poprawnie zbilansowanych składnikach pokarmowych NPK. Praktyka ta polega na określeniu wymagań pokarmowych roślin na polu (powierzchni z jedną rośliną uprawną o jednakowym potencjale plonowania) i obliczeniu takiej ilości składników pokarmowych, jaka może być przez rośliny pobrana w ciągu całego okresu wegetacyjnego. W systemie rolnictwa zrównoważonego zakłada się, że wnoszenie składników w nawozach powinno być równe ich pobraniu z plonami roślin, a bilans na powierzchni pola powinien być zbliżony do zera. Nadwyżka składnika w bilansie może ulec rozproszeniu do wód lub atmosfery, natomiast deficyt będzie miał swoje konsekwencje w spadku wielkości i jakości plonu roślin uprawnych. W przypadku gleb o niskiej zawartości P i K dopuszcza się dodatni bilans tych pierwiastków w celu utrzymania optymalnej zasobności, a w przypadku gleb o zawartości wysokiej bilans powinien być ujemny, aby zmniejszyć pulę P i K podatną na wymywanie (21). Na podstawie bilansu składników pokarmowych na powierzchni pola opracowuje się plan nawożenia osobno dla każdego składnika pokarmowego NPK. Plan nawożenia jest przygotowywany osobno dla każdego roślinopola w gospodarstwie (powierzchni z jedną rośliną uprawną o jednakowym potencjale plonowania), gdzie stosowane jest nawożenie, z uwzględnieniem podziału na działki rolne, co pozwala na przejrzyste udokumentowanie działań w gospodarstwie na potrzeby analizy i kontroli.

W bilansie na poziomie pola obliczanym powszechnie rekomendowaną metodą OECD po stronie przychodów bierze się pod uwagę ilość składników pokarmowych wprowadzanych wraz z nawozami mineralnymi, naturalnymi i organicznymi, resztkami poźniwnymi i materiałem siewnym. W przypadku azotu dodatkowo uwzględnia się depozycję atmosferyczną, wiązanie biologiczne i mineralizację glebowej materii organicznej. W przypadku fosforu i potasu dodatkowo uwzględnia się klasę zasobności gleby w dany składnik, która jest określana na podstawie analizy próbek gleby. Dla dokładniejszych obliczeń można uwzględnić również zawartość azotu mineralnego ($N_{\min}$) w warstwie 0–60 cm gleby oraz wykorzystać wyniki analiz zawartości NPK

w nawozach naturalnych zamiast danych tabelarycznych. Po stronie rozchodów znajdują się składniki pokarmowe, które są zabierane z powierzchni pola wraz z plonem głównym i ubocznym. Pobranie składników pokarmowych przez rośliny zależy od ich wymagań pokarmowych, to jest od wielkości uzyskiwanych plonów oraz pobrania jednostkowego. Aby precyzyjnie określić ilość NPK, którą należy wprowadzić w nawozach mineralnych, naturalnych i organicznych, trzeba wziąć pod uwagę, że składniki pokarmowe są w różnym stopniu wykorzystywane przez rośliny z nawozów i zastosować do obliczeń odpowiednie równoważniki nawozowe. Ze względu na wysoką mobilność azotu podział jego dawek powinien uwzględniać dynamikę pobierania tego składnika przez poszczególne gatunki roślin, co znacząco zmniejsza ryzyko wymywania i strat gazowych.

Aktualnie obowiązujące w Polsce prawo formułuje wymagania co do planu nawożenia azotem tylko dla gospodarstw spełniających określone kryteria. Zasady przygotowania planu i sposoby dokumentowania działań związanych z nawożeniem azotem są zawarte w załącznikach do rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 31 stycznia 2023 r. w sprawie przyjęcia „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych, oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu” (program azotanowy) (20), a także w opracowaniu „Zbiór zaleceń dobrej praktyki rolniczej mających na celu ochronę wód przed zanieczyszczeniem azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych” (27). Plan nawożenia azotem jest obowiązkowy dla podmiotów, które: prowadzą chów lub hodowlę drobiu powyżej 40 000 stanowisk; chów czy hodowlę świń powyżej 2 000 stanowisk dla świń o wadze ponad 30 kg lub 750 stanowisk dla macior; posiadają gospodarstwo rolne o powierzchni powyżej 100 ha użytków rolnych; uprawiają uprawy intensywne na gruntach ornych na powierzchni powyżej 50 ha lub utrzymują obsadę większą niż 60 dużych jednostek przeliczeniowych (DJP) według stanu średniorocznego oraz które nabywają nawóz naturalny lub produkt pofermentacyjny do bezpośredniego rolniczego wykorzystania w celu nawożenia lub poprawy właściwości gleby od innych podmiotów. Gospodarstwa niespełniające tych kryteriów mają obowiązek stosowania nawozów na podstawie opublikowanych w programie azotanowym maksymalnych dawek azotu dla poszczególnych roślin uprawnych, natomiast plan nawożenia azotem jest dla nich dobrowolny. Do planowania nawożenia fosforem mogą posłużyć się najnowszą publikacją z 2023 r. pt.: „Program ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez związki fosforu ze źródeł rolniczych” (program fosforowy), w której zaproponowano szereg praktyk i zaleceń dotyczących racjonalnego zarządzania fosforem w rolnictwie, w tym opracowania planu nawożenia tym składnikiem (16). Działania te są rekomendowane dla rolników do dobrowolnego stosowania.

Od strony formalnej aktualnie obowiązujący system pozwala na działania skierowane na osiąganie celów redukcyjnych azotu i fosforu, pod warunkiem właściwego ich oszacowania. Możliwe jest to poprzez korekty dawek maksymalnych składników i innych parametrów potrzebnych do obliczenia dawek nawozów, które należałoby

opracować z uwzględnieniem czynników ekonomicznych i środowiskowych. Docelowo system ten powinien dotyczyć wszystkich podstawowych składników nawozowych NPKMg i wapnowania. Istotne jest, aby działania dotyczące zarządzania nawożeniem podejmowane były również przez gospodarstwa, które nie są prawnie zobowiązane do opracowania planu nawożenia azotem.

Plan nawożenia może być opracowywany z zastosowaniem różnych sposobów. Powszechny obecnie dostęp do internetu otwiera nowe możliwości upowszechniania narzędzi do zarządzania składnikami pokarmowymi w gospodarstwach rolnych. W ramach realizowanego w IUNG-PIB projektu INTER-NAW „Budowa efektywnego modelu interaktywnego systemu wspierania decyzji agrochemicznych w celu optymalizacji nawożenia i ochrony wód przed zanieczyszczeniami pochodzenia rolniczego” (GOSPOSTRATEG1/389038/8/NCBR/2018) przygotowano narzędzie informatyczne służące do opracowywania kompleksowych planów nawożenia i wapnowania. Narzędzie jest udostępnione nieodpłatnie poprzez stronę internetową Krajowej Stacji Chemiczno-Rolniczej. Jest ono przystosowane do pracy na komputerach stacjonarnych i urządzeniach mobilnych (jako aplikacja internetowa), z możliwością zainstalowania niezależnej aplikacji na urządzeniu z systemem MS Windows. W systemie InterNAW dawki nawozów NPK są zoptymalizowane z uwzględnieniem rzeczywistych warunków produkcji w gospodarstwie. System w obliczeniach bierze pod uwagę wszystkie źródła składników pokarmowych dostępnych dla roślin w warunkach danego siedliska, czyli zawartość składników pokarmowych w glebie, w zastosowanych nawozach naturalnych, organicznych i innych, w resztkach poźniwnych, przyoranych produktach ubocznych i międzyplonach występujących w zmianowaniu. Program oblicza ponadto nadwyżki bilansowe wszystkich składników pokarmowych NPK, co daje możliwość kontrolowania efektów środowiskowych.

Zarządzanie składnikami pokarmowymi na podstawie kompleksowego planu nawożenia opracowanego zgodnie z aktualnymi analizami zasobności gleby jest wspierane przez Wspólną Politykę Rolną (WPR). W przygotowanym przez Polskę Planie Strategicznym dla WPR na lata 2023–2027 zaproponowano ekoschemat „Rolnictwo węglowe i zarządzanie składnikami odżywczymi”, w którym można realizować praktykę „Opracowanie i przestrzeganie planu nawożenia”. Celem tej praktyki jest właściwe zarządzanie nawożeniem dostosowanym do zasobności gleb w azot, fosfor, potas, magnez i wapń oraz potrzeb roślin z wykorzystaniem analizy gleb i systemów wspomagania decyzji w zakresie nawożenia.

Głównym problemem w powszechnym wdrożeniu planu nawożenia jest stopień skomplikowania obliczeń krok po kroku z wykorzystaniem dostępnych tabel i wzorów, konieczność dostarczenia wielu niezbędnych danych, a także wymóg tworzenia i archiwizowania obowiązkowej dokumentacji. Rozwiązaniem tych problemów jest upowszechnienie prostych w obsłudze i wspomagających użytkownika informatycznych narzędzi doradczych, takich jak system INTER-NAW. Konieczne byłoby też wsparcie wdrożenia pełnego planu nawożenia przez system doradztwa rolniczego

i odpowiednio niski koszt analiz zawartości w glebie składników pokarmowych. W niedalekiej przyszłości można się spodziewać wprowadzenia wymagań prawnych do opracowania planu nawożenia fosforem w podobnym zakresie jak obecnie obowiązujący plan nawożenia azotem.

Wykorzystanie planu nawożenia opartego na bilansie składników pokarmowych na powierzchni pola pozwala na optymalizację dawek nawozów stosowanych w gospodarstwie (1). Najczęściej obserwuje się znaczącą redukcję zużycia nawozów, co w pierwszej kolejności przynosi korzyści ekonomiczne, a w dłuższej perspektywie czasowej istotnie zmniejsza rozproszenie pierwiastków biogenych i poprawia jakość środowiska. Efektywność tej praktyki dla ochrony wód wzrasta kiedy plan nawożenia jest stosowany przez znaczącą większość gospodarstw na określonym obszarze hydrologicznym, geograficznym czy administracyjnym (zlewni częstkowej, dziale wodnym, zlewisku, regionie). Ponadto, biorąc pod uwagę wymagania dobrej praktyki rolniczej, które uwzględniają zarówno korzyści ekonomiczne, jak i ochronę środowiska, plan nawożenia wszystkimi podstawowymi składnikami pokarmowymi NPK powinien być narzędziem wykorzystywanym przez wszystkie podmioty stosujące nawozy. Należy podkreślić, że praktyka ta powinna być jednym z elementów szerszej strategii, obejmującej też inne części składowe dobrej praktyki rolniczej, takie jak: prawidłowa agrotechnika, prawidłowe postępowanie z nawozami, działania w krajo-
brazie rolniczym przyczyniające się do ograniczenia rozproszenia biogenów. Niestety aktualnie zalecenia nawozowe nie są stosowane przez wszystkich rolników. Niższe dawki nawozów wynikają zarówno z przyczyn ekonomicznych, jak i świadomych decyzji produkcyjnych, w sytuacji gdy priorytetem są działania prośrodowiskowe, a wynik ekonomiczny jest wspierany np. dopłatami w ramach WPR.

Plan nawożenia/zarządzanie nawozami odgrywa kluczową rolę w zmniejszaniu dodatniego salda bilansu składników pokarmowych w rolnictwie. We wszystkich krajach europejskich, które w różnym czasie i w różnym zakresie wprowadziły tę praktykę jako obowiązkową w przepisach prawnych dotyczących rolnictwa zanotowano znaczące zmniejszenie dodatniego salda bilansu składników pokarmowych (1, 2, 7).

Program azotanowy wprowadza szereg działań mających na celu ograniczenie strat azotu z rolnictwa. Efekty tych działań mogą uwidocznić się na przestrzeni co najmniej kilku lat w postaci zmniejszenia koncentracji azotu w wodach podziemnych i powierzchniowych. Całościowa ocena wpływu wprowadzenia planu nawożenia azotem w Polsce jako praktyki redukcyjnej jest obecnie trudna do przeprowadzenia. Program działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu obowiązuje na terenie całego kraju dopiero od lipca 2018 r. W związku z tym ocena działania całego programu będzie możliwa dopiero za kilka lat i należy się jej spodziewać w 2025 r. (13). Na tę chwilę oszacowanie pojedynczej praktyki w programie wydaje się niemożliwe.

Program fosforowy na dzień dzisiejszy stanowi zbiór rekomendacji do dobrowolnego stosowania, tak więc badanie wpływu tych działań na poprawę gospodarki fosforem i zmniejszenie jego strat do wód będzie wymagało w przyszłości przede wszystkim analizy stopnia ich implementacji. Być może konieczne będzie umocowanie dobrych praktyk zarządzania fosforem w obowiązującym prawie.

Prawidłowe stosowanie nawozów

Stosowanie nawozów zgodnie z przepisami prawa i zasadami dobrej praktyki rolniczej ma na celu efektywne wykorzystanie zawartych w nich składników pokarmowych przez rośliny, przy jak najmniejszym rozproszeniu pierwiastków biogenych oraz zminimalizowaniu innych niekorzystnych oddziaływań na środowisko. Obok nawozów mineralnych w rolnictwie mogą być stosowane do celów nawożenia różnego rodzaju substancje zawierające składniki pokarmowe (produkty nawozowe). Zalicza się do nich nawozy naturalne, nawozy organiczne i organiczno-mineralne, środki poprawiające właściwości gleby oraz różnego rodzaju odpady i produkty uboczne (w tym pofermenty z biogazowni i osady ściekowe), spełniające wymagania stawiane tego typu produktom. Główne akty prawne regulujące stosowanie środków nawozowych to: Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (25), Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu (18), 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 (17), Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 31 stycznia 2023 r. w sprawie przyjęcia „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu” (20), Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (26) i Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (19).

Zgodnie z obowiązującym prawem nawozy naturalne i nawozy zawierające azot można stosować tylko w określonych terminach, które wskazano w tabeli 1. Dokładny termin stosowania zależy od rodzaju nawozu, rodzaju gruntu, lokalizacji (obszarów o różnej długości okresu wegetacyjnego) i może być w pewnym stopniu modyfikowany ze względu na przebieg pogody. Nie wolno ich natomiast stosować w tzw. okresach zakazanych (okresach zwiększonego ryzyka), kiedy to niskie temperatury, opady oraz zamarznięcia i pokryta śniegiem gleba (nawet jeżeli nastąpiło okresowe ocieplenie) drastycznie zwiększają prawdopodobieństwo przedostawania się składników z nawozów bezpośrednio do wód. Nawozów w pewnych sytuacjach nie powinno się stosować także gdy pole nie jest obsiane lub rozwój roślin nie jest dostatecznie zaawansowany oraz gdy spodziewane są większe opady. Odnosi się to przede wszystkim do gleb bardzo lekkich i lekkich o wysokiej przepuszczalności,

zwłaszcza w warunkach ich bardzo dużego uwilgotnienia oraz gleb o zwiększonej podatności na spływ powierzchniowy (15).

Tabela 1

Terminy stosowania nawozów zawierających azot

Rodzaj gruntów	Rodzaj nawozów	
	nawozy azotowe mineralne i nawozy naturalne płynne	nawozy naturalne stałe
Grunty orne	1 marca–20 października	1 marca–31 października
Grunty orne na terenie gmin objętych wykazem stanowiącym załącznik nr 2 do programu azotanowego	1 marca–15 października	
Grunty orne na terenie gmin objętych wykazem stanowiącym załącznik nr 3 do programu azotanowego	1 marca–25 października	
Uprawy trwałe	1 marca–31 października	1 marca–30 listopada
Uprawy wieloletnie		
Trwałe użytki zielone		

Źródło: Rozporządzenie..., 2023 (20)

Nawozów nie można stosować na obszarach w bezpośredniej bliskości cieków naturalnych, jezior i innych zbiorników wodnych, kanałów i rowów oraz ujęć wody, należy zachować ochronny pas gruntu niepoddawanego zabiegom związanym z nawożeniem (tab. 2). Na terenach o dużym nachyleniu stosowanie nawozów wymaga podziału ich dawek, aplikacji bezpośrednio do gleby lub szybkiego wymieszania z glebą, prowadzenia uprawy w kierunku poprzecznym do nachylenia stoku lub stosowania systemów konserwujących. Co więcej, jeśli nachylenie terenu jest skierowane w stronę wód powierzchniowych, pas gruntu nienawożonego należy dodatkowo zwiększyć o 5 m w stosunku do wartości podanych w tabeli 2 (20).

Tabela 2

Odległości, w jakich nie stosuje się nawozów w pobliżu wód powierzchniowych

Rodzaj nawozu	Na gruntach rolnych od brzegu:			
	jezior i zbiorników wodnych o powierzchni do 50 ha	cieków naturalnych	rowów z wyłączeniem rowów o szerokości do 5 m liczonej na górnej krawędzi brzegu rowu	kanałów
Nawozy z wyłączeniem gnojowicy	5 m	5 m	5 m	5 m
Gnojowica	10 m	10 m	10 m	10 m
Na gruntach rolnych od:				
Rodzaj nawozu	brzegu jezior i zbiorników wodnych o powierzchni powyżej 50 ha	ujęć wody, jeżeli nie ustanowiono strefy ochronnej na podstawie przepisów ustawy z dnia 20 lipca 2017 r. – Prawo wodne (Dz.U. z 2018 r. poz. 2268, z późn. zm.)	obszarów morskiego pasa nadbrzeżnego	
Wszystkie rodzaje nawozów	20 m	20 m	20 m	

Źródło: Rozporządzenie..., 2023 (20)

Nawozy mineralne

Przy nawożeniu nawozami mineralnymi należy uwzględnić 4 zasady: odpowiednią formę nawozu, odpowiednią dawkę nawozu, odpowiednią technikę aplikacji oraz odpowiedni termin aplikacji. Dopasowanie form i dawek nawozów do okresów zwiększonego zapotrzebowania roślin na składniki pokarmowe skutkuje lepszym ich wykorzystaniem przez rośliny i zmniejsza rozpraszanie biogenów w środowisku. Co więcej, aplikacja przy użyciu odpowiednich i sprawnych narzędzi znacząco wpływa na precyzyjne rozprowadzenie nawozów po całym polu. Nawożenie precyzyjne, zlokalizowany siew nawozów czy stosowanie nowoczesnych form nawozów to tylko niektóre z możliwych rozwiązań mających na celu ograniczenie rozpraszania składników pokarmowych w trakcie aplikacji nawozów mineralnych.

Nawożenie precyzyjne z wykorzystaniem systemu GPS podczas stosowania nawozów mineralnych może zwiększać możliwości kontrolowania pracy sprzętu i wpływać na właściwe rozprowadzenie tych nawozów. Połączenie precyzyjnego odbiornika GPS z systemem automatycznego prowadzenia ciągnika zintegrowanym z systemem rozsiewacza umożliwia wykonanie zabiegu tak, aby nie wystąpiły miejsca bez nawożenia i miejsca nadmiernie nawożone. Używając systemu GPS, można

również odwzorować różne właściwości pola, a następnie wykorzystać te informacje do realizacji precyzyjnego nawożenia mineralnego (nawożenie dostosowane do zasobności gleby w składniki pokarmowe w konkretnym miejscu pola). Stosowanie systemu nawożenia precyzyjnego umożliwia zmniejszenie zużycia nawozów i zwiększenie efektywności wykorzystania nawozów przez rośliny (w wyniku bardziej równomiernego ich rozprowadzenia na polu) (8).

Jednoczesny siew i nawożenie polega na umieszczeniu nasion i nawozów w glebie w trakcie jednego zabiegu. Specjalnie przeznaczony do tego celu siewnik posiada redlice nasienne w normalnej rozstawie oraz jest dodatkowo wyposażony w redlice do aplikacji nawozów mineralnych, które są umieszczone między rzędami redlic nasiennych. Redlice nawozowe umieszczają nawozy o kilka centymetrów głębiej niż nasiona. Wprowadzanie nawozów mineralnych na większą głębokość niż nasiona zapewnia dobre warunki kiełkującym siewkom roślin poprzez aplikacje składników nawozowych bezpośrednio w strefę korzeniową rośliny. Oprócz oszczędności czasu i lepszej efektywności wykorzystania składników nawozowych, jednoczesny siew i nawożenie zmniejsza konkurencję chwastów o składniki pokarmowe i znacząco zmniejsza ryzyko spływu powierzchniowego tych składników (15, 23).

Praktyką, która w przyszłości może mieć coraz większe znaczenie jest stosowanie nawozów z powolnym uwalnianiem składników (ang. *slow release fertilizer* – SRF), kontrolowanym uwalnianiem składników (ang. *controlled release fertilizer* – CRF) oraz nawozów azotowych z inhibitorami nityfikacji. Nawozy te modyfikują tempo dostarczania roślinom składników pokarmowych, co poprawia odpowiednie zaopatrzenie roślin w zależności od fazy rozwojowej i w konsekwencji znacząco zmniejsza straty do wód i atmosfery. Jednym z przykładów nawozów o modyfikowanym uwalnianiu jest mocznik, który zgodnie z ustawą z dnia 7 maja 2020 r. o zmianie ustawy o nawozach i nawożeniu może być obecnie stosowany tylko z dodatkiem inhibitora ureazy lub z powłoką biodegradowalną.

Nawozy naturalne i organiczne

W przypadku nawozów naturalnych duże znaczenie w aspekcie ograniczania wymywania składników do wód ma termin ich stosowania. Aplikacja nawozów naturalnych, szczególnie gnojowicy, późną jesienią może poważnie zwiększyć ryzyko wymycia NPK nawet bezpośrednio do wód gruntowych i powierzchniowych, szczególnie podczas intensywnych opadów. Dlatego przy planowaniu nawożenia należy obowiązkowo uwzględnić terminy stosowania dozwolone przez przepisy prawa i zalecenia. Szczegółowe wytyczne odnośnie terminów stosowania znajdują się w rozdziale 1.3 programu azotanowego oraz w zbiorze zaleceń dobrej praktyki rolniczej mających na celu ochronę wód przed zanieczyszczeniem azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych. Ryzyko wymywania zwiększa się w przypadku stosowania nawozów naturalnych co roku na te same pola, dlatego też wskazane jest, aby nawozy

te były stosowane z jednakową częstotliwością na wszystkich polach na terenie gospodarstwa co 2–3 lata, co również należy uwzględnić w planie nawożenia azotem lub planie nawożenia NPK, jeśli taki jest opracowywany w gospodarstwie (8, 15, 20).

Nawozy naturalne (dotyczy to również nawozów mineralnych i organicznych) powinny być jak najszybciej całkowicie przykryte lub wymieszane z glebą. Do tego celu można wykorzystać narzędzia uprawowe, takie jak pługi lub kultywatory talerzowe czy sprężynowe, w zależności od rodzaju gleby i jej stanu. Przykrywanie nawozów glebą ma na celu zapobiegać stratom składników mineralnych w wyniku wpływu powierzchniowego, erozji lub ulatniania się oraz zachować jak największą część wniesionych składników do wykorzystania przez rośliny uprawne. Dzięki wymieszaniu, zastosowane nawozy ulokowane zostają w wierzchniej warstwie gleby, gdzie zawarte w nich składniki pokarmowe są łatwo dostępne dla systemu korzeniowego roślin uprawnych (11, 24).

Płynne nawozy naturalne mogą być stosowane na różne sposoby, m.in. poprzez rozlewanie na powierzchni pola lub aplikację doglebową. Najbardziej skuteczną metodą ze względu na ograniczenie strat składników do wód i atmosfery jest bezpośrednie wprowadzenie gnojowicy lub gnojówki do gleby lub ich rozprowadzenie blisko powierzchni gleby za pomocą zespołów rozlewających. Bezpośrednia aplikacja doglebowa zmniejsza straty gazowe (emisję amoniaku), jednocześnie zwiększając dostępność składników pokarmowych w strefie korzeniowej roślin dzięki bezpośredniemu umieszczeniu nawozu w warstwie ornej (24).

Nawozy naturalne i organiczne mają bardzo różną konsystencję i właściwości fizyczne, dlatego odpowiednie rozprowadzenie tego typu nawozów jest istotne ze względu na konieczność uzyskania przez rośliny równomiernego dostępu do składników pokarmowych na wszystkich fragmentach pola. W przypadku płynnych nawozów naturalnych dostępne są już technologie aplikacji oparte na systemie GPS, które podobnie jak w przypadku nawozów mineralnych umożliwiają precyzyjną ich aplikację dostosowaną do map zasobności gleb. Precyzyjną dystrybucję każdego rodzaju obornika (zarówno świeżego, jak i przetworzonego) na powierzchni pola zapewniają odpowiednio dobrane rozrzutniki (11, 24, 27).

Nawozy wapniowe

Prawidłowe stosowanie nawozów wapniowych jest szczegółowo omówione w zbiorze zaleceń dobrej praktyki rolniczej (23). Przestrzeganie przedstawionych tam zaleceń w zakresie dawek, terminów i techniki stosowania nawozów minimalizuje wpływ tego zabiegu na wody gruntowe i powierzchniowe. Należy jednak pamiętać, że wzrost pH gleby zmienia dynamikę odbywających się w niej przemian N i P. Przy regulacji odczynu za pomocą wapnowania może przejściowo zwiększać się ilość wymywanego azotu w formie azotanów (na skutek zwiększenia tempa nitryfikacji) i fosforu w formie fosforanów (na skutek wzrostu rozpuszczalności stabilnych

form P).Jednocześnie jednak wzrasta pobieranie i wykorzystanie składników pokarmowych przez rośliny, co powoduje, że oddziaływanie nawozów wapniowych na zanieczyszczenie wód pierwiastkami biogennymi jest bardzo niewielkie (5).

Osady ściekowe i ścieki

Rolnicze wykorzystanie osadów ściekowych i ścieków do nawożenia regulowane jest przez Ustawę z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach oraz Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych. Osady ściekowe zaliczamy do odpadów, więc ich stosowanie w nawożeniu powinno być wyważone oraz poprzedzone badaniami chemicznymi (pH, zawartość suchej masy i substancji organicznej, zawartość N ogólnego i amonowego, P ogólnego, Ca i Mg, metali ciężkich) i mikrobiologicznymi samego osadu oraz gleb (pH, zawartość P przyswajalnego i metali ciężkich), na których będzie on stosowany. Wykonanie analiz osadów ściekowych leży po stronie wytwórcy, co więcej, zobowiązany jest on do udostępnienia wyników badań oraz informacji o dopuszczalnych dawkach osadu właścicielowi, dzierżawcy lub innej osobie władającej nieruchomością, na której osad ma być stosowany. Osady ściekowe zawierają stosunkowo duże ilości azotu i fosforu, tak więc mogą stanowić znaczące źródło tych pierwiastków biogenicznych, które należy uwzględnić w planie nawożenia. Zgodnie z zapisami prawa osady ściekowe i ścieki traktowane są jako środki nawozowe i w związku z tym podlegają takim samym regulacjom co nawozy zawierające azot. Przy ich stosowaniu należy przestrzegać okresów, w których można je aplikować na pole, zachowywać odległości od wód i ujęć wody oraz uwzględniać je w planie nawożenia azotem. Według prawa wodnego roczne i sezonowe dawki ścieków wykorzystywanych rolniczo powinny być określone w pozwoleniach wodno-prawnych lub pozwoleniach zintegrowanych, nie mogą przekroczyć zapotrzebowania roślin na azot, potas i wodę oraz utrudniać przebiegu procesów samooczyszczania się gleby (19, 20, 26).

Prawidłowe zarządzanie nawozami i kizzonkami w gospodarstwie

Zarządzanie nawozami i kizzonkami w gospodarstwie obejmuje przede wszystkim ich gromadzenie (produkcję), transport na bliskie i dalsze odległości oraz przechowywanie. Na wszystkich tych etapach występuje ryzyko znacznych strat pierwiastków biogennych (przede wszystkim azotu i fosforu) i innych substancji (związków organicznych), które stanowią zagrożenie dla jakości wód gruntowych i powierzchniowych.

Nawozy naturalne

Stosowanie nawozów naturalnych jest ograniczone czasowo, co powoduje duże zapotrzebowanie na bezpieczne miejsca składowania. Nawozy naturalne dzielimy na:

płynne (gnojowica, gnojówka) i stałe (obornik, pomiot ptasi). Rodzaj, jakość i ilość powstających w gospodarstwach nawozów naturalnych zależą od gatunku zwierząt, ich żywienia, systemu utrzymania oraz technologii transportu i przechowywania.

Pierwszym etapem zarządzania nawozami naturalnymi, na którym istnieje możliwość zmniejszenia mobilnej puli azotu i fosforu w całym systemie produkcji zwierzęcej jest żywienie zwierząt. Można to zrealizować, wdrażając zasady żywienia precyzyjnego, na przykład poprzez obniżenie poziomu białka ogólnego w paszy o 15–20%, przy jednoczesnym pokryciu potrzeb żywieniowych dla każdej grupy technologicznej zwierząt. Wymaga to zmiany składu pasz i poprawy ich strawności poprzez dodatek aminokwasów syntetycznych (L-lizyna, metionina, treonina, tryptofan, walina), enzymów rozkładających organiczne związki białkowe (ksylanazy, glukany, proteazy, polisacharydy nieskrobiowe), dodatków fitogenicznych (kwas benzoesowy), taniny, białka chronionego (strawnego jelitowo), fitazy czy nieorganicznych fosforanów o wysokiej strawności. Inną metodą jest tzw. żywienie wielofazowe, które dostosowuje pasze pod względem koncentracji białka i energii do wieku, wagi i fazy wzrostu zwierząt (11, 16). Opis poszczególnych technik można odnaleźć w konkluzjach BAT 3 i 4, które znajdują się w decyzji wykonawczej Komisji (UE) 2017/302 z dnia 15 lutego 2017 r. (3), ustanawiającej konkluzje dotyczące najlepszych dostępnych technik (BAT) w odniesieniu do intensywnego chowu drobiu lub świń zgodnie z dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE. Ilość wydalanego N i P powinna podlegać kontroli z wykorzystaniem obliczeń opartych na równowadze mas i analizie ich zawartości w nawozach (konkluzja BAT 24). Uzupełnieniem tych metod są rozwiązania techniczne, które pozwalają na pełną indywidualizację procesu żywienia, takie jak: automatyczne dozowanie paszy, systemy ważenia, identyfikacji, selekcji i separacji zwierząt, detekcji ich kondycji i aktywności oraz kontroli klimatu w oborze czy śledzenia wzrostu runi na pastwisku. Przy wykorzystaniu metod żywienia precyzyjnego uzyskuje się redukcje zawartości pierwiastków biogennych w odchodach nawet od 30 do 40%.

Następnym etapem w produkcji zwierzęcej, który powinien być objęty metodami redukcyjnymi jest system utrzymania zwierząt i transportu odchodów/nawozów naturalnych do miejsc składowania. Dostępnych jest szereg technik zmniejszających emisję substancji wydzielanych do środowiska, których głównym założeniem jest zachowanie czystości (zwierząt, powierzchni i wyposażenia obory) poprzez szybkie usunięcie odchodów z przestrzeni zajmowanej przez zwierzęta i gromadzenie ich w odpowiednich bezpiecznych miejscach składowania. Należy tu wymienić między innymi techniki polegające na grawitacyjnym lub podciśnieniowym odprowadzaniu gnojowicy w systemach rusztowych oraz za pomocą rur i rynien, regularnym i częstym zgarnianiu obornika przez odpowiednie urządzenia lub maszyny, splukiwaniu odchodów i ściółki za pomocą wody, separacji kału i moczu. W przypadku hodowli drobiu wykorzystuje się szereg metod suszenia pomiotu na taśmach lub w specjalnej

suszarni oraz suszenia obornika za pomocą systemów podłogowych. Jeżeli do zarządzania odchodami stosuje się urządzenia mobilne (ładowarki, zgarniarki), niezbędne jest zachowanie odpowiednich zasad staranności i bezpieczeństwa pracy mających na celu minimalizowanie niezamierzonego rozproszenia pierwiastków biogenicznych na przestrzeni pomiędzy miejscem powstawania odchodów a miejscem ich składowania. W systemie utrzymania zwierząt futerkowych w klatkach i bateriach klatek z ażurową podłogą należy zabezpieczyć znajdujący się pod nimi grunt szczelną i litą, odporną na mechaniczne uszkodzenia powierzchnią (11, 16, 20, 27).

Wszystkie produkowane, przyjmowane i stosowane w gospodarstwie nawozy naturalne należy przechowywać w specjalnie przygotowanych w tym celu miejscach, które muszą znajdować się w odpowiedniej lokalizacji, bezpiecznej odległości od zabudowań i granic gospodarstwa, zgodnie z wymaganiami prawa budowlanego, oraz odpowiedniej odległości od studni stanowiącej źródło zaopatrzenia w wodę dla ludzi i zwierząt. Ich pojemność musi pozwalać na przechowywanie wszystkich wyprodukowanych w gospodarstwie nawozów wraz z odciekami i wodami opadowymi przez cały okres, kiedy ich stosowanie na polach jest zakazane. Pojemność zbiorników na nawozy naturalne płynne powinna umożliwiać ich przechowywanie przez okres co najmniej 6 miesięcy, natomiast miejsca przechowywania nawozów naturalnych stałych powinny pozwalać na ich składowanie przez okres minimum 5 miesięcy. Gnojownie powinny posiadać właściwie zaprojektowaną konstrukcję ze szczelnymi bokami, dnem, systemem odprowadzania i magazynowania odcieków. Powinny być zbudowane z materiałów odpornych na naciski i uderzenia, związane z gromadzeniem i usuwaniem nawozów oraz umożliwiać działania związane z załadunkiem i opróżnianiem za pomocą odpowiedniego sprzętu. Wysokość ścian powinna uniemożliwiać niezamierzone przemieszczanie się gromadzonych nawozów poza gnojownie. Zbiorniki na nawozy naturalne płynne powinny posiadać przykrycie (osłony stałe, pływające, jednolite zbiorniki elastyczne), aby zredukować emisję do atmosfery związków N i odorów oraz zwiększanie się ich objętości pod wpływem opadów. Konieczną praktyką jest również przykrywanie miejsc składowania nawozów stałych osłonami elastycznymi, aby zapobiegać intensywnej migracji wód opadowych (3, 11, 20, 27).

Szczegółowy opis technik zapobiegających emisjom biogenów i innych zanieczyszczeń do gleby i wody zachodzącym podczas gromadzenia, transportowania oraz przechowywania nawozów naturalnych znajduje się w „Zbiorze zaleceń dobrej praktyki rolniczej mającym na celu ochronę wód przed zanieczyszczeniem azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych”, „Kodeksie dobrej praktyki rolniczej w zakresie ograniczania emisji amoniaku” oraz konkluzjach BAT 15 i 18 (3, 11, 23). W przypadku gdy intensywność produkcji zwierzęcej jest wysoka i ilość wyprodukowanych nawozów naturalnych przekracza możliwości wykorzystania ich do nawożenia na polach należących do gospodarstwa (zgodnie z dyrektywą azotanową można za-

stosować w postaci nawozów naturalnych, również w formie przetworzonej, tylko $170 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$), istnieje możliwość przekazania tych nawozów na cele rolnicze do innych gospodarstw lub pozarolnicze, np. do biogazowni. Przekazywanie nadwyżki nawozów naturalnych powinno odbywać się bezpośrednio przed terminem aplikacji, by uniknąć ponownego składowania w gospodarstwie odbiorcy. W przypadku gdy nawozy nie są bezpośrednio wykorzystywane po przekazaniu, podmiot przyjmujący, zgodnie z obowiązującymi przepisami, ma obowiązek posiadania odpowiednio przygotowanych miejsc ich składowania, gdzie będą gromadzone w sposób bezpieczny dla środowiska. Wymogi jakie należy spełnić przy przekazywaniu nawozów naturalnych, znajdują się w programie azotanowym (20, 27).

Innym działaniem prowadzącym do ograniczenia emisji pierwiastków biogenych do wód może być przetwarzanie nawozów naturalnych w miejscach składowania. Najczęściej stosowanymi metodami są: mechaniczna separacja obornika płynnego i gnojowicy, kompostowanie obornika stałego, zakwaszanie gnojowicy i obornika płynnego, rozkład beztlenowy w biogazowni, stosowanie dodatków obniżających zawartość substancji organicznej, granulowanie obornika. Celem tych działań jest zwiększenie przyswajalności N i P oraz innych składników pokarmowych dla roślin i zmniejszenie ich puli podatnej na wymywanie, redukcja objętości składowanego nawozu, inne niż nawozowe wykorzystanie oddzielonych frakcji. Nawozy naturalne mogą być też modyfikowane na etapie pomiędzy oborą a miejscem składowania, na przykład poprzez separację gnojowicy, co zmniejsza jej ilość w zbiornikach o 15–20%. Odseparowana faza stała może być wykorzystywana jako ściółka dla bydła lub materiał do produkcji peletów na cele energetyczne (14). Kwestia przetwarzania nawozów naturalnych w gospodarstwie w celu ograniczenia emisji do środowiska omówiona jest w konkluzji BAT 19 (3).

Kiszonki

Procesowi przygotowywania kiszonek towarzyszy powstawanie soków kiszonkowych. Ich ilość jest uzależniona od zawartości suchej masy w zakiszanych materiałach roślinnych, takich jak ruń łąkowa, kukurydza czy inne zielonki. Zawarte w nich pierwiastki biogenne i związki organiczne mogą być potencjalnym źródłem zanieczyszczeń wód, jeżeli odcieki będą wydostawać się poza miejsca składowania kiszonki.

Kiszonki należy sporządzać z materiałów roślinnych o podwyższonej zawartości suchej masy (powyżej 30–35% suchej masy), co w znacznym stopniu zapobiega powstawaniu dużych ilości wycieków kiszonkowych. Miejsca ich składowania muszą znajdować się w odpowiedniej lokalizacji, bezpiecznej odległości od zabudowań i granic gospodarstwa, zgodnie z wymaganiami prawa budowlanego. Optymalnym z punktu widzenia ochrony wód sposobem przechowywania kiszonek jest stały silos pozwalający na zmechanizowany załadunek i rozładunek. Trwałe ściany boczne zbudowane z odpornych na uszkodzenia mechaniczne materiałów ułatwiają ugnia-

tanie masy za pomocą maszyn, a elastyczne przykrycie lub dach zabezpieczają paszę przed dostępem powietrza, wodą opadową i przed działaniem promieni słonecznych. Pojemność silosów powinna być dostosowana do zapotrzebowania gospodarstwa na paszę. Soki kiszonkowe muszą być odprowadzane do specjalnie przystosowanych do tego celu bezpiecznych zbiorników, stanowiących integralną część składową silosów. Zbiorniki te powinny być szczelne, aby uniemożliwić przedostawanie się soków do wód gruntowych, a ich pojemność dostosowana do ilości powstających soków kiszonkowych przez okres co najmniej pierwszych 20 dni fermentacji, kiedy ta ilość jest największa. Bele sianokiszonki owinięte folią należy składować na zabezpieczonym warstwą nieprzepuszczalną gruncie w maksymalnie trzech warstwach i nie dłużej niż jeden rok. Podczas całego procesu zarządzania sianokiszonkami należy mieć na uwadze ryzyko uszkodzenia folii (16, 27).

Opis technik zapobiegających emisjom biogenów i innych zanieczyszczeń do gleby i wody zachodzącym podczas gromadzenia, transportowania oraz przechowywania kiszonek znajduje się w „Zbiorze zaleceń dobrej praktyki rolniczej mających na celu ochronę wód przed zanieczyszczeniem azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych” (23).

Nawozy mineralne

Nawozy mineralne, które są przechowywane lub transportowane w obrębie gospodarstwa w niewłaściwy sposób stanowią potencjalne źródło zanieczyszczeń wód, na skutek niezamierzonego ich rozproszenia. Aby ograniczyć związane z tym negatywne skutki, należy stosować się do zaleceń producentów nawozów i przestrzegać zasad dobrej praktyki i bezpieczeństwa i higieny pracy.

Nawozy mineralne znajdujące się w obrocie występują w oryginalnych opakowaniach lub luzem (nawozy wapniowe, nawozy wieloskładnikowe mieszane w gospodarstwie). Warunki składowania mają na celu przede wszystkim zabezpieczenie nawozu przed niekorzystnym wpływem czynników zewnętrznych powodujących zmiany jakościowe i ilościowe oraz zminimalizowanie zagrożenia dla zdrowia ludzi, zwierząt i środowiska związanego z rozproszeniem nawozu. W gospodarstwach rolnych zakupione nawozy powinny być przechowywane w specjalnych magazynach nawozowych w opakowaniach jednostkowych (kontenery elastyczne i worki w stosach) lub w przypadku nawozów wapniowych – luzem na pryzmach, przykryte materiałem nieprzepuszczalnym zabezpieczającym przed rozsypaniem, pyleniem i zmoknięciem. Zasady składowania powinny być zgodne z zaleceniami producenta i zasadami BHP (liczba warstw składowania, ochrona przeciwpożarowa) (25). Nawozy mineralne pakowane są w różnej wielkości opakowania – worki 25 kg, 50 kg oraz kontenery elastyczne od 500 do 5000 kg (jedno- i wielokrotnego użytku), co wymusza odpowiednie zasady postępowania. Należy pamiętać, że również zużyte opakowania po nawozach wymagają odpowiedniego sposobu przechowywania i utylizacji w celu ograniczenia przedostawania się pozostałości nawozów do śro-

dowiska. Transport i przeładunek nawozów w obrębie gospodarstwa, jak również z gospodarstwa na pole, stanowią kolejne ogniwo, w którym można ograniczyć straty składników nawozowych do środowiska, poprzez wykorzystanie sprawnego sprzętu oraz staranność w wykonywaniu prac związanych z tymi czynnościami, aby zapobiec uszkodzeniu opakowań i rozsypywaniu nawozów. Dobrą praktyką, która może pomóc w zmniejszeniu zagrożeń związanych ze składowaniem nawozów mineralnych jest dokładne określenie aktualnego zapotrzebowania na te nawozy w gospodarstwie i ograniczenie ich długoterminowego magazynowania.

Podsumowanie

Zasady postępowania z nawozami są w Polsce objęte przepisami prawa i zaleceniami dobrej praktyki rolniczej. Ochrona środowiska i ograniczanie presji nawożenia, szczególnie na wody, jest kluczowym obszarem, który jest uwzględniany podczas procesów legislacyjnych i tworzenia rekomendacji dla rolnictwa. Krajowe rozwiązania w tym zakresie uwzględniają najnowsze wyniki badań naukowych, postęp technologiczny, a także prawo i strategię Unii Europejskiej. Ogromną rolę w skutecznej ochronie zasobów wodnych odgrywa przestrzeganie prawa przez wszystkich interesariuszy oraz wdrażanie dobrych praktyk, z których wiele ma charakter dobrowolny, wymagają dodatkowego zaangażowania czasu i środków, ale ich skuteczność jest udowodniona.

Literatura

1. Baaner L., Anker H.T.: Danish Law on Controlling Emissions of Nutrients in the Baltic Sea Region. Country study report of the research project "Legal Approaches to Controlling Emissions of Nutrients in the Baltic Sea Region – a Comparative Study of National Laws", 2013. https://www.su.se/polopoly_fs/1.173828.1396887254!/menu/standard/file/DK%20country%20study%20for%20publishing.pdf (dostęp 25.07.2023).
2. Dalgaard T., Hansen B., Hasler B., Hertel O., Hutchings N.J., Jacobsen B.H., Jensen L.S., Kronvang B., Olesen J.E., Schjørring J.K., Kristensen I.B., Graversgaard M., Termansen M., Vejre H.: Policies for agricultural N management—trends, challenges and prospects for improved efficiency in Denmark. *Environmental Research Letters*, 2014, **9**: 115002, 1-16. doi: 10.1088/1748-9326/9/11/115002.
3. Decyzja wykonawcza Komisji (UE) 2017/302 z dnia 15 lutego 2017 r. ustanawiająca konkluzje dotyczące najlepszych dostępnych technik (BAT) w odniesieniu do intensywnego chowu drobiu lub świń zgodnie z dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE.
4. Foty ma E.: Interakcja potasu i azotu w nawożeniu roślin uprawy polowej. *Nawozy i Nawożenie*, 2010, **3(24)**: 319-327.
5. Filipek T., Badora A., Lipiński W., Brodowska M.S., Domańska J., Harasim P., Kozłowska-Strawska J., Skowron P., Skowrońska M., Tkaczyk P.: Zakwaszenie i wapnowanie gleb. *Fundacja Programów Pomocy dla Rolnictwa FAPA*, 2015, ss. 236.
6. Goulding K., Jarvis S., Whitmore A.: Optimizing nutrient management for farm systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 2008, **363**: 667-680.

7. Grinsven H. J. M. van., ten Berge H. F. M., Dalgaard T., Fraters B., Durand P., Hart A., Hofman G., Jacobsen B. H., Lalor S. T. J., Lesschen, J. P., Osterburg B., Richards K. G., Techen A. K., Vert'ès F., Webb J., Willems W. J.: Management, regulation and environmental impacts of nitrogen fertilization in northwestern Europe under the Nitrates Directive; a benchmark study. *Biogeosciences*, 2012, **9**: 5143-5160. doi:10.5194/bg-9-5143-2012
8. Igras J., Jadczyński T., Lipiński W., Pudełko R.: Dobre praktyki rolnicze w nawożeniu użytków rolnych. Wydawnictwo CDR w Brwinowie Oddział Radom, 2013, ss. 67.
9. Kęsik K., Zarychta M.: Zalecenia i praktyka w nawożeniu. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2013, **34(8)**: 173-191.
10. Kęsik K., Krasowicz S., Zarychta M.: Dawki NPK stosowane w praktyce rolniczej pod zboża jare na tle zaleceń nawozowych. *Nawozy i Nawożenie*, 2010, **41**: 51-97.
11. Kodeks doradczy dobrej praktyki rolniczej dotyczący ograniczenia emisji amoniaku. Opracowany pod redakcją w Falentach przez: IERGiŻ-PIB, ITP., IUNG-PIB, IŻ-PIB, Warszawa, 2019, ss. 80.
12. Kopyński J., Nieróbca A., Ochala P.: Ocena wpływu warunków pogodowych i zakwaszenia gleb w Polsce na kształtowanie produktywności roślinnej. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 2013, **13**, **2(42)**: 53-63.
13. Lewicki Z., Lewicki P., Lewicki S., Sobocińska D., Fiałkiewicz W., Kruszyński W., Kulczycki G., Minta S.: Sprawozdanie z realizacji dyrektywy 91/676/EWG (azotanowej) w latach 2016–2020. Ministerstwo Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej, Wrocław 2020, ss. 135.
14. Luostarinen S., Tampio E., Laakso J., Sarvi M., Ylivainio K., Riiko K., Kuka K., Bloem E., Sindhøj E.: Przetwarzanie odchodów zwierzęcych jako droga do lepszego recyklingu składników odżywczych. Raport platformy SuMaNu. Fiński Instytut Zasobów Naturalnych, Helsinki, 2020, ss. 77.
15. Pietrzak S.: Priorytetowe środki zaradcze w zakresie ograniczania strat azotu i fosforu z rolnictwa w aspekcie ochrony jakości wody. Wydawnictwo ITP w Falentach, 2012, ss. 34.
16. Program ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez związki fosforu ze źródeł rolniczych. Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – PIB, Puławy, 2023. https://www.iung.pl/publikacje/2023/program_fosforowy.pdf (dostęp 25.07.2023).
17. 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 (Dz.U. 2008 nr 80 poz. 479 z póź. zm.).
18. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu (Dz.U. 2008 nr 119 poz. 765 z póź. zm.).
19. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz.U. 2015 poz. 257 z póź. zm.).
20. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 31 stycznia 2023 r. w sprawie „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu” (Dz.U. z 2023 r. poz. 244).
21. Rutkowska A., Skowron P.: Productive and environmental consequences of sixteen years of unbalanced fertilization with nitrogen and phosphorus – trials in Poland with oilseed rape, wheat, maize and barley. *Agronomy*, 2020, **10**: 1747.
22. Stępień W.: Bezpośrednie i następne działanie potasu w doświadczeniach wieloletnich. Wydawnictwo SGGW, 2012, ss. 91.
23. Zbiór zaleceń dobrej praktyki rolniczej mających na celu ochronę wód przed zanieczyszczeniem azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych. Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Warszawa 2019. <https://www.gov.pl/attachment/bdcce0a1-6e61-4dd3-b3c9-5bf083a413a3> (dostęp 25.07.2023).

24. Ulen B., Pietrzak S., Tonderski K.S. (red.): Samoocena gospodarstw w zakresie zarządzania składnikami nawozowymi i oceny warunków środowiskowych. Wydawnictwo ITP w Falentach, 2013, ss. 102.
 25. UNECE: Framework Code for Good Agricultural Practice for Reducing Ammonia Emissions. Published by the European Commission, Directorate-General Environment on behalf of the Task Force on Reactive Nitrogen of the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, 2015, <http://www.unece.org/index.php?id=41358>.
 26. Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (Dz.U. 2007 nr 147 poz. 1033 z póź. zm.).
 27. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz.U. 2013 poz. 21 z póź. zm.).
-

Adres do korespondencji:

dr inż. Piotr Skowron; dr Damian Wach
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.: 81 4786 835
e-mail: Piotr.Skowron@iung.pulawy.pl

AUTOR	ORCID
Piotr Skowron	0000-0001-5092-1447
Damian Wach	0000-0002-5857-5654