

Piotr Skowron, Tamara Jadczyzyn

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

PLAN NAWOŻENIA JAKO PRAKTYKA PROMUJĄCA RACJONALNE
ZARZĄDZANIE NAWOZAMI I OGRANICZAJĄCA STRATY
BIOGENÓW*

Słowa kluczowe: plan nawożenia, efektywność wykorzystania azotu, program azotanowy, doradztwo nawozowe

Wstęp

Plan nawożenia jest najważniejszym narzędziem gospodarowania podstawowymi składnikami pokarmowymi NPK w produkcji roślinnej. Opracowany zgodnie z zasadami dobrej praktyki, uwzględnia zarówno plonotwórczy i ekonomiczny aspekt nawożenia (realizacja potencjału plonowania i optymalizacja kosztów), jak i jego oddziaływanie na środowisko (łagodzenie presji). Liczne badania naukowe wskazują, że odpowiednio zbilansowane nawożenie pozwala uzyskać wysokie plony roślin, z czym wiąże się duże pobranie składników pokarmowych, a zatem wysokie ich wykorzystanie z nawozów (4, 9, 15). Nawożenie niezrównoważone, czyli brak lub niedobór któregośkolwiek ze składników NPK lub/i zakwaszenie gleby powodują obniżkę plonów roślin i słabe wykorzystanie składników, co skutkuje ich dużą nadwyżką bilansową. Nadwyżka bilansowa, czyli pula składników pokarmowych niewykorzystanych przez rośliny jest wskaźnikiem potencjalnych strat biogenów z rolnictwa, natomiast deficyt będzie miał swoje konsekwencje w spadku wielkości i jakości plonu roślin uprawnych. W systemie rolnictwa zrównoważonego zakłada się, że wnoszenie składników w nawozach powinno rekompensować ich pobranie z plonami roślin, a bilans na powierzchni pola powinien być zbliżony do zera w warunkach optymalnej zasobności gleby.

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.1 pt. „Nawożenie użytków rolnych” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2022 r.

Najbardziej korzystnym i efektywnym rozwiązaniem, które uwzględnia interesy ekonomiczne rolnika i chroni środowisko jest plan nawożenia oparty na poprawnie zbilansowanych składnikach pokarmowych NPK. Bilansowanie składników polega na określeniu wymagań pokarmowych roślin i wyznaczeniu takiej ilości składników pokarmowych, jaka może być przez rośliny pobrana w ciągu całego okresu wegetacyjnego. Bilans składników pokarmowych na powierzchni pola jest podstawą planu nawożenia dla każdego składnika pokarmowego NPK i dla każdego roślinopola w gospodarstwie (powierzchni z jedną rośliną uprawną o jednakowym potencjale plonowania), gdzie stosowane jest nawożenie.

Stosowanie nawozów zgodne z zasadami zrównoważonego nawożenia nie jest w Polsce powszechne, pomimo że już od lat 90. są dostępne narzędzia informatyczne odpowiednie do opracowywania planu nawożenia (8). Kolejne programy komputerowe (NAW-1, NAW-2, NAW-3, Agronom, Plano RS, NawSald, Macrobil), a także kalkulatory internetowe przygotowane przez IUNG w Puławach umożliwiają opracowanie kompleksowego planu nawożenia podstawowymi składnikami pokarmowymi NPKMg oraz wapnowania gleb. Działanie wszystkich wymienionych programów bazuje na koncepcji zrównoważonego zarządzania składnikami pokarmowymi, zgodnie z którą nawozy mineralne uzupełniają nawożenie nawozami naturalnymi i organicznymi, a w bilansie uwzględnia się także składniki dostępne dla roślin z zasobów glebowych.

Badania prowadzone w IUNG-PIB wskazują, że znaczna część rolników stosuje nawozy według pewnych utartych schematów, nie uwzględniając rzeczywistej sytuacji w gospodarstwie (tj. zasobności gleby, poziomu plonowania, stosowania nawozów organicznych, w tym naturalnych) (7). W efekcie nawozy stosowane są w nadmiarze, co skutkuje niską efektywnością wykorzystania składników lub w ilościach niedostatecznych, co powoduje redukcję plonu. Stwierdzono, że w przypadku zbóż jarych na ok. 40% analizowanych pól stosowano większe od zalecanych według programu doradztwa nawozowego NawSald dawki nawozów azotowych, na 44% pól zawyżono dawki nawozów fosforowych, a na 36% pól stosowano nadmierne dawki potasu. Skutkiem takiego sposobu nawożenia jest zbyt wysoka nawozochłonność produkcji.

Zarządzanie składnikami pokarmowymi zgodnie z planem nawożenia ma kluczowe znaczenie dla realizacji głównych celów Europejskiego Zielonego Ładu (EZŁ) – redukcji strat biogenów i zmniejszenia użycia nawozów. Pozwala na wprowadzanie pożądanych limitów, kontroluje ich realizację, może uwzględniać uzasadnione zmiany strategii oraz bierze pod uwagę specyfikę polskiego rolnictwa. System taki, w połączeniu z optymalnym mechanizmem nadzoru przestrzegania zasad na poziomie krajowym, będzie równoważył potrzeby związane z ochroną środowiska i konieczność zapewnienia bezpieczeństwa żywnościowego państwa.

Celem pracy jest ocena planu nawożenia jako praktyki, która ogranicza starty biogenów do wód i atmosfery, a także realizuje założenia racjonalnego zarządzania nawozami w rolnictwie. Jako elementy analizy szczegółowej wyodrębniono „narzędzie w zakresie zrównoważonego gospodarowania składnikami odżywczymi” i „program azotanowy”.

Plan nawożenia w Polsce

Aktualnie obowiązujące w Polsce prawo określa tylko wymagania co do planu nawożenia azotem dla gospodarstw spełniających określone kryteria. Zasady jego przygotowania i sposoby dokumentowania działań związanych z nawożeniem azotem są zawarte w załącznikach do Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 12 lutego 2020 r. w sprawie przyjęcia „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych, oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu” (program azotanowy) (13) oraz w opracowaniu „Zbiór zaleceń dobrej praktyki rolniczej mających na celu ochronę wód przed zanieczyszczeniem azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych” (17). Od strony formalnej aktualnie obowiązujący system pozwala na działania skierowane na osiągnięcie celów redukcyjnych EZŁ dotyczących azotu, pod warunkiem realistycznego ich oszacowania. Możliwe jest to za pomocą korekty dawek maksymalnych składnika i innych parametrów potrzebnych do obliczenia dawek nawozów, które należałoby opracować, biorąc pod uwagę czynniki ekonomiczne, środowiskowe i założenia strategii EZŁ. Aktualnie wskazane byłoby rozszerzenie programu działań, co najmniej o zarządzanie fosforem, i w efekcie wprowadzenie rozwiązań dotyczących ograniczenia zanieczyszczenia wód N i P. Docelowo system ten powinien dotyczyć wszystkich podstawowych składników nawozowych NPKMg i wapnowania. Istotne jest, aby działania związane z zarządzaniem nawożeniem zostały podjęte przez gospodarstwa mniejsze (poniżej 10 ha i/lub 10 DJP).

Powszechny obecnie dostęp do Internetu za pośrednictwem telefonii komórkowej otwiera nowe możliwości upowszechnienia narzędzi do zarządzania składnikami pokarmowymi w gospodarstwach rolnych. W ramach realizowanego w IUNG-PIB projekcie InterNAW „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 opracowania kompleksowych planów nawożenia i wapnowania. Narzędzie jest udostępnione nieodpłatnie poprzez stronę internetową Krajowej Stacji Chemiczno-Rolniczej. Jest przystosowane do pracy na komputerach stacjonarnych, jak i na urządzeniach mobilnych (np. telefony komórkowe, tablety). W systemie InterNAW dawki nawozów NPK są zoptymalizowane z uwzględnieniem rzeczywistych warunków produkcji w indywidualnym gospodarstwie. System uwzględnia w obliczeniach 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. Ponadto program oblicza nadwyżki bilansowe wszystkich składników pokarmowych (NPK), co daje możliwość kontrolowania efektów środowiskowych. Jednym z modułów systemu jest kalkulator dawek wapna nawozowego na glebach kwaśnych.

Zarządzanie składnikami pokarmowymi oparte na kompleksowym planie nawożenia, opracowanym na podstawie aktualnych analiz zasobności gleby, jest wspierane przez Wspólną Politykę Rolną (WPR). W przygotowanym przez Polskę Planie Strategicznym dla WPR na lata 2023–2027 zaproponowano ekoschemat „Opracowanie i przestrzeganie planu nawożenia”. Celem jego jest właściwe zarządzanie nawożeniem dostosowanym do zasobności gleb w azot, fosfor, potas, magnez i wapń oraz potrzeb roślin z wykorzystaniem analizy gleb i systemów wspomaganie decyzji w zakresie nawożenia. Ekoschemat jest w PS WPR działaniem o budżecie UE (1 016,85 mln EUR na 2 740 000 ha) i objętym stosunkowo wysoką stawką płatności (wariant podstawowy ok. 130 zł·ha⁻¹, wariant z wapnowaniem ok. 670 zł·ha⁻¹), co na pewno będzie miało znaczenie przy wyborze tej praktyki przez rolników.

Unia Europejska (UE) dla wsparcia realizacji WPR rekomenduje jako jedną z możliwości tzw. narzędzie FaST, które jest platformą usług cyfrowych skierowaną do rolników, na której udostępniane są informacje o możliwościach i ograniczeniach w zakresie rolnictwa, ochrony środowiska i przepisów administracyjnych obowiązujących na danym obszarze. Platforma FaST ma w założeniach wspomagać w realizacji WPR pojedynczego rolnika, poprzez jednostki administracyjne krajów członkowskich, kończąc na instytucjach UE (3). Pierwotnie narzędzie FaST miało być powiązane z normą GAEC 5 „Stosowanie narzędzia dotyczącego zrównoważonego charakteru gospodarstw rolnych w zakresie składników pokarmowych (FaST)”, w pierwszym filarze WPR, jako element nowej wzmocnionej warunkowości. Jednakże na skutek negocjacji i kompromisu w Radzie ds. Rolnictwa i Rybołówstwa z dnia 21 października i głosowania PE z 23 października 2020 r. norma ta została z obowiązkowej warunkowości wykreślona i przeniesiona do dobrowolnych dla rolnika ekoschematów.

W ramach WPR opracowanie i przestrzeganie planu nawożenia jest również wspierane przez ekoschemat „Prowadzenie produkcji roślinnej w systemie Integrowanej Produkcji Roślin” w zakresie wsparcia racjonalnego nawożenia uzależnionego od faktycznych potrzeb, ograniczającego nadmierne stosowanie nawozów i ich przedostawanie się do cieków wodnych. W przypadku podstawowych wymogów z zakresu zarządzania (Statutory Management Requirements – SMR) takie wsparcie będzie realizowane poprzez opracowywany „Program zapobiegający zanieczyszczeniu wód fosforem z nawożenia” – w zakresie obowiązków wynikających z SMR 1 (plan nawożenia fosforem).

Metodyka

Ocena praktyki została przeprowadzona na czterech poziomach. Po pierwsze dokonano oceny *ex post* z wykorzystaniem opracowań, raportów i publikacji dotyczących Danii, jako państwa, które zaimplementowało plan nawożenia/zarządzanie nawozami jako jedną z praktyk mających na celu zmniejszenie strat składników nawozowych do

wód. Aby odpowiedzieć na pytanie, czy ta praktyka może wpływać na redukcję strat biogenów do wód i zmniejszenie zużycia nawozów, dokonano przeglądu działań, które podjęto w obszarze rolnictwa tego kraju w latach 1990–2000 oraz przeanalizowano dane dotyczące ich efektów.

Skutki środowiskowe podwyższonej efektywności nawożenia, których wskaźnikiem jest nadwyżka bilansowa azotu, oszacowano na podstawie danych zawartych w załącznikach do obowiązującego w Polsce „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych, oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu”.

Uproszczoną ocenę zagadnienia, czy i w jakim zakresie zastosowanie narzędzia w obrębie zrównoważonego gospodarowania składnikami odżywczymi w perspektywie roku 2030 ograniczy stosowanie nawozów, oparto na subiektywnych założeniach, na jakiej powierzchni będzie wykorzystane narzędzie i jakie będą rekomendacje dawek azotu i fosforu.

Do analizy zagadnienia ograniczenia stosowania nawozów w perspektywie roku 2030, w związku z realizacją programu azotanowego, wykorzystano dane uzyskane z Fertilizer Europe (FE). Dla głównych gatunków roślin uprawnych obliczono saldo oraz współczynnik wykorzystania azotu (NUE, ang. *Nitrogen Use Efficiency*), przyjmując wartości pobrania składnika na jednostkę plonu za „Programem działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych, oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu” (18).

Ocena efektywności planu nawożenia na przykładzie Danii

Dania posiada bardzo długą historię regulacji zarządzania składnikami pokarmowymi w rolnictwie, której celem jest ograniczenie ich emisji do środowiska. Aktualne zasady są bardzo szczegółowe, dotyczą zarówno stosowania nawozów, jak i optymalnej agrotechniki czy pozwoleń dotyczących hodowli zwierząt (1). Jako punkt odniesienia dla oceny działań redukcyjnych w latach 1990–2000 przyjęto rok 1987, w którym oszacowano straty N do wód ze źródeł rolniczych na 260 000 t·rok⁻¹. Celem, jaki postawiono dla wprowadzanych stopniowo strategii, było zmniejszenie strat N do wód o 50% w ciągu 10 lat. W ocenie przeprowadzonej w 2003 r. przez Państwowy Instytut Badań nad Środowiskiem i Duński Instytut Nauk Rolniczych wykazano, że wymywanie N spadło do poziomu 168 000 t·rok⁻¹, czyli o ok. 35%. Stwierdzono również zmniejszenie zużycia nawozów azotowych z 406 000 t·rok⁻¹ w roku 1984 do 206 000 t·rok⁻¹ w roku 2002 (redukcja 50%), nawozów naturalnych – z 263 000 t·rok⁻¹ do 234 000 t·rok⁻¹ (redukcja 10%) oraz krajowego salda bilansu N – o 30% (16). Zawężając ocenę do lat 1990–2000, kiedy sukcesywnie wprowadzano plan nawożenia jako kluczową i dominującą w tym okresie praktykę, zmniejszono ilość wprowadzanego N do całego sektora rolniczego o 34%,

głównie poprzez redukcję dawek azotowych nawozów mineralnych, jednocześnie notując zmniejszenie wynoszenia N w produktach rolniczych o 15%. Biorąc pod uwagę tylko samą produkcję roślinną, ten efekt był jeszcze wyraźniejszy, ponieważ ilość wprowadzanego N w postaci nawozów i depozycji atmosferycznej zmniejszyła się prawie o 50%. Spowodowało to zmniejszenie nadwyżki bilansowej N o 45% (z 437 000 t·rok⁻¹ w roku 1990 do 241 000 t·rok⁻¹ w roku 2000). Koszty redukcji oszacowano w tym okresie na 125 milionów EUR·rok⁻¹ (3–4 EUR na każdy kilogram azotu) (2). Potencjał redukcyjny wprowadzenia praktyki planu nawożenia/zarządzania nawozami został w tym okresie oszacowany na 12 800 t N·rok⁻¹. W ocenie OECD taki postęp redukcji należy przypisać głównie środkom regulacyjnym niż zachętom finansowym, które zaczęły odgrywać większą rolę dopiero po roku 2005 (12).

Kluczowym elementem regulującym zasady stosowania nawozów w Danii są konta nawozowe (Gødningeregnskaber) wprowadzane stopniowo w latach 1991, 1993 i 1994. Przypisane do nich kwoty nawozowe wprowadzane były początkowo na zasadzie dobrowolności, a stopniowo jako obowiązujące przepisy, co spowodowało, że praktycznie większość gospodarstw prowadzących uprawę roślin lub/i hodowlę zwierząt (ok. 60 000) jest obecnie zarejestrowana i może podlegać kontroli (ok. 3000 rocznie, w tym 900 jest wizytowanych). Należy zauważyć, że obrót nawozami mineralnymi i naturalnymi jest nadzorowany przez Duńską Agencję Rolnictwa, co daje dodatkowe możliwości kontroli i pozwala na ocenę regulacji. Kwoty nawozowe dla każdego gospodarstwa uwzględniają warunki środowiskowe i agrotechniczne, a w przypadku azotu ekonomicznie optymalne jego dawki dla określonego poziomu plonowania roślin były od roku 1998 zmniejszone o 10% (obecnie obowiązują dawki N zmniejszone o 15%). Takie restrykcyjne podejście wymusza podejmowanie działań w kierunku zwiększenia wykorzystania N z nawozów mineralnych i naturalnych poprzez poprawę agrotechniki (metody aplikacji, terminy stosowania i inne metody zmniejszania strat biogenów). W 2017 r. wprowadzono w Danii regulacje dotyczące limitu stosowania fosforu w rolnictwie, który był również stopniowo zmniejszany, aby osiągnąć poziom od 30 do 35 kg P·ha⁻¹ jako limitu podstawowego, z możliwością jego zwiększenia w przypadku niskich zawartości fosforu przyswajalnego w glebie. Obecnie zasady nawożenia zakładają jako zasadę ujemny bilans P na poziomie pola w całym kraju.

Niestety w Polsce taka próba oceny wpływu wprowadzenia planu nawożenia jako praktyki redukcyjnej jest obecnie bardzo 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 od lipca 2018 r. W związku z tym ocena działania całego programu będzie możliwa dopiero za kilka lat, a biorąc pod uwagę okresy obejmujące wcześniejsze raporty, należy się jej spodziewać w 2025 r. (10). Na tę chwilę oszacowanie pojedynczej praktyki w programie nie wydaje się możliwe.

Ocena możliwości ograniczenia zużycia nawozów na skutek zwiększenia efektywności wykorzystania azotu

Zgodnie z obowiązującym aktualnie „Programem działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu” przy opracowaniu planu nawożenia azotem przyjmuje się wskaźnik wykorzystania składnika z nawozów mineralnych równy 70%. Na potrzeby tej analizy założono, że wdrożenie kompleksowego planu wapnowania gleb kwaśnych i nawożenia wszystkimi makroskładnikami (NPKMgS), opracowanego na podstawie rzeczywistej zasobności gleby w składniki pokarmowe i uwzględniającego dopływ składników w nawozach naturalnych i organicznych, może spowodować zwiększenie efektywności wykorzystania azotu do 80% w stosunku do przyjętego. Obliczono dawki nawozów azotowych pod główne gatunki roślin uprawnych według metody wskazanej w programie azotanowym dla założonego poziomu plonów: pszenica – $7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, kukurydza – $8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, rzepak – $3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, burak cukrowy – $60 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, ziemniak – $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Dla uproszczenia założono, że jedynym źródłem azotu dla roślin są nawozy mineralne i gleba. Do obliczeń przyjęto aktualnie obowiązującą wartość wskaźnika wykorzystania azotu równą 70% (wariant A) i 80% (wariant B). Następnie obliczono wielkość nadwyżki bilansowej azotu jako różnicę pomiędzy ilością składnika wnoszonego w nawozach i pobranego przez rośliny, dla zalecanej dawki nawozów azotowych i dla dawki zredukowanej. Nadwyżki azotu obliczono w dwóch wariantach: i) produkty uboczne są zbierane z pola; ii) produkty uboczne są pozostawione na przyoranie.

Wyniki obliczeń przedstawiono w tabelach 1 i 2. Efektem zwiększenia wykorzystania azotu do 80% jest zmniejszenie zalecanej dawki nawozów pod poszczególne gatunki roślin uprawnych o 13%. W przypadku pszenicy, której słoma jest zabierana z pola nadwyżka bilansowa ma wartość ujemną i zmniejszenie dawki nawozów azotowych o $23 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ spowoduje pogłębienie ujemnego salda składnika, co może skutkować obniżeniem żyzności gleby. Jeśli słoma byłaby przyorwana na polu, to w wariantcie A nadwyżka bilansowa wyniosłaby $34 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, a po zastosowaniu mniejszej dawki azotu w wariantcie B – tylko $11 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (redukcja o 68%). W przypadku kukurydzy zwiększenie efektywności nawożenia spowodowałoby obniżenie zalecanej dawki nawozów azotowych o $30 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. W praktyce słoma kukurydzana najczęściej jest pozostawiana na polu. W takiej sytuacji nadwyżka bilansowa azotu jest dosyć wysoka i wynosi $95 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ w przypadku zalecanej dawki N, a $65 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ w przypadku zastosowania mniejszej dawki nawozów (redukcja nadwyżki bilansowej o 32%). Gdyby słoma kukurydzy została zabrana z pola, to nawet po zastosowaniu wysokiej dawki nawozów azotowych saldo składnika kształtowałoby się na niskim poziomie ($33 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$), a zmniejszenie dawki nawozów spowodowałoby jego obniżenie do wartości bliskiej zero lub ujemnej.

W uprawie rzepaku nadwyżka bilansowa azotu wynosi $33 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ po zastosowaniu zalecanej dawki nawozów oraz $17 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ po zastosowaniu dawki pomniejszonej. Uzyskana redukcja nadwyżki bilansowej wynosi 49%. Gdyby słomę rzepaku zebrano z pola, saldo azotu byłoby ujemne niezależnie od wielkości dawki nawozów. Burak cukrowy akumuluje duże ilości azotu w liściach i efektem pozostawienia ich na polu jest wysokie saldo składnika wynoszące $138 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. W tym przypadku zmniejszenie dawki nawozów o $30 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ powoduje obniżenie salda składnika do $108 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, tj. o 22%. W przypadku ziemniaka saldo azotu w warunkach stosowania zalecanej dawki nawozów jest bliskie zeru. Zmniejszenie dawki składnika powoduje obniżenie nadwyżki bilansowej do wartości ujemnych.

Tabela 1

Plony wybranych gatunków roślin i dawki nawozów azotowych mineralnych

Roślina	Plon ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Dawka N ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)		Zmniejszenie dawki N ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)
		wariant A	wariant B	A – B
Pszennica	7	185	162	23
Kukurydza na ziarno	8	241	211	30
Rzepak	3	129	113	16
Burak cukrowy	60	243	213	30
Ziemniak	30	123	108	15

Źródło: obliczenia własne

Tabela 2

Nadwyżka bilansowa azotu

Roślina	Zagospodarowanie produktów ubocznych	Nadwyżka bilansowa N ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)		Redukcja nadwyżki N A – B	
		wariant A	wariant B	($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	%
Pszennica	zebrane	-4	-27	23	-
	przyorane	34	11	23	68
Kukurydza na ziarno	zebrane	33	3	30	91
	przyorane	95	65	30	32
Rzepak	zebrane	-21	-37	16	-
	przyorane	33	17	16	49
Burak cukrowy	zebrane	33	3	30	91
	przyorane	138	108	30	22
Ziemniak	przyorane	3	-12	15	-

Źródło: obliczenia własne

Rozważając możliwość ograniczenia nawożenia fosforem w ramach planu nawożenia, należy zauważyć, że ponad 44% gleb w Polsce charakteryzuje się bardzo wysoką i wysoką zawartością fosforu przyswajalnego (11). Zmiany zawartości tego pierwiastka w glebach zachodzą bardzo powoli, co powoduje, że nawet w sytuacji zaprzestania nawożenia P zasobność gleb nie ulega znacznemu pogorszeniu. Sugeruje to możliwość zmniejszenia dawek nawozów fosforowych przez pewien czas bez ryzyka spadku plonów (5, 14).

Narzędzie wspierania decyzji w zakresie zrównoważonego gospodarowania składnikami pokarmowymi

Aby dokonać uproszczonej oceny efektów wdrożenia systemu wspierania decyzji w zakresie zrównoważonego gospodarowania składnikami pokarmowymi, przyjęto następujące założenia: narzędzie zostanie wprowadzone w roku 2023 i wykorzystywane na powierzchni 2 740 tys. ha (ok. 19% z szacowanej w 2020 r. powierzchni 14 475 tys. ha UR w dkr) – wariant realistyczny. Przyjęto też, że w podstawowej funkcjonalności narzędzia obliczane dawki mineralnych nawozów azotowych będą mniejsze o 5% od dawek zgodnych z aktualnymi zaleceniami programu azotanowego, natomiast dawki fosforu ustalane tak, aby średni bilans P na powierzchni pola w zależności od zasobności gleby był w przybliżeniu równy 0. W takich warunkach dawki mineralnych nawozów azotowych zostaną zmniejszone z 73 kg N·ha⁻¹ UR w dkr (prognoza na 2020 r.) do 69,4 kg N·ha⁻¹ UR w dkr na powierzchni podlegającej płatności (redukcja 3,6 kg N·ha⁻¹, -4,93%). Średnia dawka na całej powierzchni UR w dkr wyniesie 72,3 kg N·ha⁻¹ (redukcja o 0,7 kg N·ha⁻¹, tj. 0,93%). Hipotetycznie spowodowałyby to zmniejszenie całkowitego zużycia azotu w nawozach mineralnych o 9,864 tys. t N rocznie. Mineralne nawożenie fosforowe w tym wariantcie zostanie zmniejszone średnio z 10,5 kg P·ha⁻¹ UR w dkr (prognoza na 2020 r.) do 7,4 kg P·ha⁻¹ UR w dkr (-29,52%) rocznie. Daje to w przeliczeniu średnią dawkę 9,9 kg P·ha⁻¹ na całości UR w dkr (redukcja 0,6 kg P·ha⁻¹, -5,59% rocznie). Spowodowałyby to zmniejszenie całkowitego zużycia fosforu w nawozach mineralnych o 8,494 tys. t P rocznie.

W ocenie maksymalnych możliwości praktyki założono, że z narzędzia wspomaganego zrównoważonego nawożenia będą korzystały głównie gospodarstwa powyżej 10 ha UR, które gospodarują na powierzchni ok. 10 438 tys. ha (stan na rok 2016). Średnia dawka na całej powierzchni UR w dkr wyniosłaby w takim przypadku 70,4 kg N·ha⁻¹ (redukcja o 2,6 kg N·ha⁻¹, -3,56%). Spowodowałyby to zmniejszenie całkowitego zużycia azotu w nawozach mineralnych o 37,577 tys. t N rocznie. Podobnie średnia dawka P w nawozach mineralnych wyniosłaby 8,3 kg P·ha⁻¹ UR w dkr (redukcja o 2,2 kg P·ha⁻¹, tj. 21,29%), a zmniejszenie zużycia P w mineralnych nawozach fosforowych wyniosłoby 32,358 tys. t P rocznie (tab. 3).

Tabela 3

Szacunkowa ocena możliwości redukcji dawek składników pokarmowych w wyniku realizacji ekoschematu „Opracowanie i przestrzeganie planu nawożenia”

Składnik pokarmowy /wariant	Powierzchnia ekoschematu (tys. ha UR w dkr) 2023	Dawka składnika (kg·ha ⁻¹ UR w dkr) 2020	Dawka składnika (kg·ha ⁻¹ UR w dkr) ekoschemat 2023	Dawka składnika (kg·ha ⁻¹ UR w dkr) 2023	Redukcja dawki składnika 2023	Zmniejszenie zużycia (tys. t·rok ⁻¹)
N/realistyczny	2740	73	69,4 (-3,6)	72,3 (-0,7)	0,93%	9,864
P/realistyczny	2740	10,5	7,4 (-3,1)	9,9 (-0,6)	5,59%	8,494
N/maksymalny	10 438	73	69,4 (-3,6)	70,4 (2,6)	3,56%	37,577
P/maksymalny	10 438	10,5	7,4 (-3,1)	8,3 (-2,2)	21,29%	32,358

Źródło: opracowanie własne

Program azotanowy

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. Elementem programu działań decydującym o zużyciu nawozów jest plan nawożenia. Ocena wpływu tego działania na wielkość dawek nawozów wymagałaby danych dotyczących aktualnego zużycia nawozów azotowych. Szczegółowe informacje o wielkości stosowanych pod poszczególne gatunki roślin dawek nawozów w gospodarstwach o powierzchni powyżej 100 ha UR (których dotyczy obecnie obowiązek planowania nawożenia) nie są dostępne.

W przypadku większości gatunków roślin uzyskano ujemne saldo bilansu azotu, z wyjątkiem rzepaku o zrównoważonym bilansie składnika (tab. 4). Wartość NUE jest bardzo wysoka i we wszystkich przypadkach przekracza wartość 90%, która jest uznawana za graniczną z uwagi na stan żyzności gleby. Uważa się, że wartości NUE powyżej 90% wskazują na „rabunkową” gospodarkę składnikiem prowadzącą do mineralizacji glebowej materii organicznej i obniżenia poziomu żyzności gleby. Z uwagi na wydajność produkcji roślinnej i oddziaływanie na środowisko za optymalną przyjmuje się wartość NUE w przedziale 50–90%.

Tabela 4

Wskaźniki intensywności nawożenia azotem w Polsce dla głównych gatunków roślin wyznaczone na podstawie danych FE

Gatunek	Plon (dt·ha ⁻¹)	Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Pobranie N (kg·ha ⁻¹)	Saldo N (kg·ha ⁻¹)	NUE (%)
Pszenica	43,6	82	118	-36	144
Kukurydza ziarnowa	62,3	140	162	-22	116
Rzepak	27,2	137	136	1	99
Burak cukrowy	593	158	208	-50	131
Ziemniak	235,1	57	98,7	-42	173

Źródło: obliczenia własne

Dla aktualnego (wg FE) poziomu plonów obliczono dawki nawozów azotowych zgodnie z zaleceniami programu azotanowego, a następnie określono saldo składnika i wartość NUE (tab. 5). Obliczając dawki nawozów pod burak cukrowy, ziemniak i kukurydzę, założono zastosowanie nawozów naturalnych w dawce 93 kg N·ha⁻¹. Dawka azotu wyznaczona zgodnie z programem azotanowym pod pszenicę była zbliżona do obecnie stosowanej, saldo składnika pozostało nadal ujemne, a wartość NUE na poziomie znacznie powyżej bezpiecznego dla środowiska. W przypadku kukurydzy efektem nawożenia zgodnie z programem azotanowym byłoby dodatnie saldo azotu i bezpieczna wartość NUE. Za optymalny ze względu na żyzność gleby uznaje się przedział wartości NUE od 50 do 90% (15). Dawka azotu pod rzepak obliczona według programu azotanowego wynosi 115 kg N·ha⁻¹ i jest o 16% mniejsza od aktualnie stosowanej. Efektem zmniejszenia dawki nawozów byłoby ujemne saldo składnika przy nadal zbyt wysokim wskaźniku NUE. Nawożenie buraka cukrowego zgodnie z programem azotanowym zwiększyłoby saldo N do poziomu zerowego, jednak wskaźnik NUE nadal pozostałby na zbyt wysokim poziomie (100%). Dawka nawozów zalecana według programu azotanowego pod ziemniak jest o ok. 40% niższa od aktualnie stosowanej, ale z uwagi na nawożenie organiczne saldo azotu wynosi 30 kg N·ha⁻¹, a wskaźnik NUE – 77% i mieści się w przedziale wartości optymalnych.

Tabela 5

Wskaźniki intensywności nawożenia azotem dla głównych gatunków roślin wyznaczone na podstawie zaleceń programu azotanowego

Gatunek	Plon (dt·ha ⁻¹)	Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Pobranie N (kg·ha ⁻¹)	Saldo N (kg·ha ⁻¹)	NUE (%)
Pszenica	43,6	86	118	-30	137
Kukurydza ziarnowa	62,3	125	162	56	74
Rzepak	27,2	115	136	-21	118
Burak cukrowy	593,3	115	208	0	100
Ziemniak	235,1	35	98,7	30	77

Źródło: obliczenia własne

Przedstawione obliczenia wskazują, że nawożenie według przyjętych w programie azotanowym zasad nie musi jednoznacznie prowadzić do redukcji dawek nawozów azotowych, które już obecnie są niskie, o czym świadczy wartość NUE przewyższająca 90%. Zalecana dawka azotu pod pszenicę obliczona zgodnie z programem azotanowym jest nieco większa (o niespełna 5%) w porównaniu ze stosowaną według danych FE. Wynika to z faktu, że plan nawożenia obowiązujący zgodnie z programem azotanowym jest opracowywany metodą bilansu azotu, zgodnie z zasadą rolnictwa zrównoważonego, według której nawożenie powinno umożliwić realizację celów produkcyjnych i środowiskowych, do których należy utrzymanie odpowiedniego poziomu żyzności gleby.

Przeprowadzono symulację zużycia nawozów dla aktualnego poziomu plonów (lata 2017–2020) i powierzchni zasiewów, raportowanych przez Fertilizer Europe. Wyniki wskazują (tab. 6), że w efekcie stosowania nawozów azotowych zgodnie z założeniami programu azotanowego zużycie nawozów pod główne gatunki roślin uprawnych byłoby o 9% mniejsze w stosunku do aktualnego (raportowanego przez Fertilizer Europe w latach 2017–2020).

Tabela 6

Zużycie nawozów w uprawie głównych gatunków roślin

Gatunek	Areał uprawy* (tys. ha)	Plon* (dt·ha ⁻¹)	Dawka N** (kg·ha ⁻¹)	Zużycie N** (tys. t)	Dawka N* (kg·ha ⁻¹)	Zużycie N* (tys. t)
Pszennica	2467	43,6	86	212	82	202
Kukurydza ziarnowa	661	62,3	125	83	140	93
Rzepak	870	27,2	115	100	137	119
Burak cukrowy	237	593,3	115	27	158	38
Ziemniak	301	235,1	35	11	57	17
Razem				433	-	469

*wg Fertilizer Europe

**wg programu azotanowego

Podsumownie

Wykorzystanie planu nawożenia opartego na bilansie składników pokarmowych na powierzchni pola pozwala na optymalizację dawek nawozów stosowanych w gospodarstwie. Najczęściej obserwuje się redukcję zużycia nawozów, co w pierwszej kolejności przynosi korzyści ekonomiczne, a w dłuższej perspektywie czasowej istotnie zmniejsza rozproszenie pierwiastków biogennych i poprawę jakości środowiska. Efektywność tej praktyki dla ochrony wód wzrasta, kiedy plan nawożenia jest stosowany przez znaczącą większość gospodarstw na określonym obszarze hydrolo-

gicznym, geograficznym czy administracyjnym (zlewni cząstkowej, dziale wodnym, zlewisku, regionie). 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 plan nawożenia powinien być jednym z elementów szerszej strategii obejmującej też inne elementy dobrej praktyki rolniczej, takie jak: optymalna agrotechnika, prawidłowe postępowanie z nawozami, działania w krajobrazie rolniczym przyczyniające się do ograniczenia rozproszenia biogenów. Kolejnym ograniczeniem oceny jest fakt, że aktualnie zalecenia nawozowe nie są stosowane przez wszystkich rolników. Obniżenie dawek nawozów wynika zarówno z przyczyn ekonomicznych, jak i świadomych decyzji produkcyjnych.

Zarządzanie nawozami zgodnie z planem nawożenia odgrywa kluczową rolę w zmniejszeniu dodatniego salda bilansu składników pokarmowych w rolnictwie. Nie tylko w przypadku Danii, ale we wszystkich krajach europejskich, które w różnym czasie wprowadziły tę praktykę, w różnym zakresie jako obligatoryjną w przepisach prawnych dotyczących rolnictwa, zanotowano znaczące zmniejszenie dodatniego salda bilansu składników pokarmowych (6).

Ocena praktyki na podstawie doświadczenia innego kraju i stosowanej w innej przestrzeni czasowej nie pozwala na wiarygodne ilościowe określenie pożądanych wskaźników. Można jednak na tej podstawie wnioskować co do jej obiektywnej wartości jako najlepszej dostępnej technologii (BAT) oraz subiektywnego jej wyboru jako narzędzia do realizacji określonych celów.

Głównym problemem w powszechnym wdrożeniu tej praktyki jest poziom komplikacji obliczeń dawek nawozów z wykorzystaniem dostępnych tabel i wzorów, konieczność dostarczenia wielu niezbędnych danych, a także wymóg tworzenia i archiwizowania obowiązkowej dokumentacji. Częściowym rozwiązaniem tego problemu (co zostało potwierdzone na przykładzie innych krajów europejskich) jest uruchomienie powszechnie dostępnego, prostego w obsłudze informatycznego narzędzia doradczego (instalowanego na urządzeniach stacjonarnych, mobilnych i jako aplikacja w przeglądarce internetowej). Ważnym elementem jest także możliwość wykonania w przystępnych cenach analiz zawartości w glebie składników pokarmowych. W niedalekiej przyszłości można spodziewać się wprowadzenia w Polsce przepisów prawnych wymagających opracowania planu nawożenia fosforem w zakresie podobnym jak obecnie obowiązujący plan nawożenia azotem. Rozwój nowych narzędzi informatycznych wspierających doradztwo nawozowe obejmuje obecnie bilans dla wszystkich składników pokarmowych NPKMg, co i tak pozwoli na stosowanie pełnego planu nawożenia na zasadzie dobrowolności.

Narzędzie wspierające decyzje w zakresie zrównoważonego gospodarowania składnikami odżywczymi nie jest czynnikiem redukcyjnym samym w sobie, ale strategię ograniczające straty składników pokarmowych i zmniejszające zużycie nawozów

można realizować za jego pomocą, projektując optymalne zalecenia oparte na bilansach składników pokarmowych, skorygowane w celu osiągnięcia zakładanych celów produkcyjnych i środowiskowych. Decyzje o takich redukcjach powinny wynikać z podstaw naukowych i starań o zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego państwa. Wprowadzenie narzędzia w zakresie zrównoważonego gospodarowania składnikami odżywczymi będzie odpowiedzią na potrzeby rolników, którzy oczekują systemowego wsparcia w podejmowaniu decyzji agrotechnicznych. Dla jego wdrożenia potrzebne jest wsparcie ze strony doradztwa rolniczego, aby zmniejszyć opór społeczny do nowych rozwiązań od strony logistycznej i organizacyjnej. Urzeczywistnienie zakładanych redukcji dawek nawozów i zwiększenie efektywności wykorzystania składników pokarmowych będzie wymagać systemowych rozwiązań edukacyjnych promujących określone rozwiązania i pomocnych we wdrażaniu lepszych praktyk rolniczych, korzystnych dla rolnictwa i środowiska.

Zarządzanie azotem powinno mieć na względzie cele produkcyjne, tj. uzyskanie plonów gwarantujących dochodowość gospodarstwa, jak i cele środowiskowe, czyli zachowanie odpowiedniego poziomu żyzności gleby i ograniczenie do minimum rozpraszania azotu do wód i powietrza. Przedstawiona analiza wskazuje, że znaczne nadwyżki azotu występują w uprawie tych gatunków roślin, które pozostawiają na polach dużą masę produktów ubocznych, takich jak: kukurydza na ziarno, burak cukrowy, rzepak. W tym przypadku zmniejszenie dawki nawozów przynosi w efekcie znaczącą redukcję salda azotu, jest korzystne z uwagi na potencjalne straty składnika i nie zagraża utratą żyzności gleby. W przypadku pszenicy i ziemniaka redukcja dawki nawozów azotowych może mieć niekorzystny wpływ na stan gleby. W warunkach stosowania zmniejszonych dawek azotu pod pszenicę, w celu uniknięcia pogorszenia jakości gleby, słoma powinna pozostawać na polu do przyorania. Obniżenie dawek nawozów dzięki zwiększeniu efektywności wykorzystania azotu w istotny sposób obniża saldo składnika. Warunkiem wysokiej efektywności nawożenia azotem na glebach o uregulowanym odczynie jest zbilansowane nawożenie wszystkimi składnikami pokarmowymi (NPK).

Rekomendacje nawozowe zawarte w systemach doradczych dają możliwość stosowania krajowych strategii dotyczących przeciwdziałania stratom składników pokarmowych, tak jak można zaobserwować to w Danii. Jednak najbardziej istotna jest odpowiedź na pytanie, jaki poziom redukcji dawek nawozów jest uzasadniony pod względem środowiskowym i ekonomicznym. Wydaje się, że w warunkach Polski pod rozważę można wziąć jedynie poziom redukcji dawek N nie więcej niż 5–10% w stosunku do aktualnie stosowanych, przy jednoczesnym zwiększeniu efektywności wykorzystania tego pierwiastka przez rośliny, czego warunkiem jest optymalizacja agrotechniki, w tym stosowanie niskoemisyjnych metod nawożenia.

W przypadku fosforu brak jest obecnie w Polsce obowiązujących uregulowań. Podstawą systemu doradztwa nawozowego (NawSald, INTER-NAW) jest bilans składnika na powierzchni pola, który powinien być ujemny dla gleb o wysokiej

zawartości P przyswajalnego i równy 0 dla gleb o zawartości średniej, a dodatni jedynie w przypadku zawartości niskiej i bardzo niskiej. Otwarta pozostaje kwestia, czy bardziej restrykcyjne zasady (większe redukcje dawek nawozów) powinny dotyczyć obszaru całego kraju, czy obszarów podwyższonego ryzyka związanego z zanieczyszczeniem wód.

Literatura

1. B a a n e r 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 01.07.2022)
2. D a l g a a r d 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. Feasibility study for joint space-agriculture solutions on nutrient management. Final report, N° ENTR/341/PP/2013/FC – Framework Contract for Expert Advisory Support to the European Space Policy and Programmes, DG AGRI, EU 2019, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/fd112dfa-09ba-11ea-8c1f-01aa75ed71a1/language-en> (dostęp 01.07.2022)
4. F o t y m a E.: Interakcja potasu i azotu w nawożeniu roślin uprawy polowej. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers And Fertilization*, 2010, **3(24)**: 319-327.
5. G o u l d i n g K., Jarvis S., Whitmore A.: Optimizing nutrient management for farm systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 2008, **363**: 667-680.
6. G r i n s v e n H.J.M. v a n ., 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’ es 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
7. K ę s i k K., Zarychta M.: Zalecenia i praktyka w nawożeniu. *Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy* 2013, **34(8)**: 173-191.
8. K ę s i k K., Krasowicz S., Zarychta M.: Dawki NPK stosowane w praktyce rolniczej pod zboża jare na tle zaleceń nawozowych. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers And Fertilization*, 2010, **41**: 51-97.
9. K o p i ń s k i J., Nieróbca A., Ochal P.: Ocena wpływu warunków pogodowych i zakwaszenia gleb w Polsce na kształtowanie produktywności roślinnej. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 2013, **13**, **2(42)**: 53-63.
10. L e w i c k i 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.
11. L i p i ń s k i W.: Agrochemiczne właściwości gleb użytkowanych rolniczo. *Inżynieria Ekologiczna*, 2019, **20(1)**: 1-12.

12. OECD: OECD Environmental Performance Reviews – Denmark. Organisation for Economic Cooperation and Development, 2007, pp. 256. https://www.oecd-ilibrary.org/environment/oecd-environmental-performance-reviews-denmark-2007_9789264039582-en; doi:10.1787/19900090 (dostęp 01.07.2022)
13. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 12 lutego 2020 r. w sprawie przyjęcia „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu” (Dz.U. 2020 poz. 243). <http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20200000243/O/D20200243.pdf> (dostęp 01.07.2022)
14. 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.
15. Stępień W.: Bezpośrednie i następcze działanie potasu w doświadczeniach wieloletnich. Wydawnictwo SGGW, 2012, ss. 91.
16. Tan A.R., Mudgal S.: DYNAMIX policy mix evaluation – Reducing fertiliser use in Denmark, 2013. https://dynamix-project.eu/sites/default/files/Fertilisers_Denmark.pdf (dostęp 01.07.2022)
17. 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> (01.07.2022)
18. EU Nitrogen Expert Panel, Nitrogen Use Efficiency (NUE) an indicator for the utilization of nitrogen in food systems. Wageningen University, Alterra, Wageningen, Netherlands, 2015.

Adres do korespondencji:

dr inż. Piotr Skowron
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.: 81 4786 836, 516 203 554
e-mail: Piotr.Skowron@iung.pulawy.pl

AUTOR	ORCID
Piotr Skowron	0000-0001-5092-1447
Tamara Jadczyzyn	0000-0002-4755-6992