

**STUDIA I RAPORTY  
IUNG-PIB**

**65(19)**



**TEORETYCZNE PODSTAWY  
RACJONALNEGO NAWOŻENIA**

DOTACJA CELOWA  
2021

Puławy 2021



INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA  
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

**STUDIA I RAPORTY  
IUNG-PIB**

**65(19)**

**TEORETYCZNE PODSTAWY RACJONALNEGO  
NAWOŻENIA**

DOTACJA CELOWA  
2021

Puławy 2021

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA  
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Dyrektor: *prof. dr hab. Wiesław Oleszek*

Redakcja naukowa:

*dr inż. Piotr Skowron*  
*dr Agnieszka Rutkowska*

Autorzy:

*prof. dr hab. Antoni Faber, dr inż. Tamara Jadczyzyn, dr Zuzanna Jarosz,*  
*dr hab. inż. Krzysztof Jończyk, mgr Beata Jurga, dr hab. inż. Jerzy Kopiński,*  
*prof. dr hab. Jolanta Korzeniowska, prof. dr hab. Stanisław Krasowicz,*  
*mgr inż. Sebastian Kuśmierz, dr inż. Piotr Ochal, prof. dr hab. Alicja Pecio,*  
*dr hab. inż. Dorota Pikula, prof. dr hab. Anna Podleśna, dr Agnieszka Rutkowska,*  
*dr inż. Piotr Skowron, dr hab. Jarosław Stalenga, prof. dr hab. Ewa Stanisławska-Głubiak,*  
*dr Damian Wach, dr Ryszard Winiarski, mgr inż. Aleksandra Zajączkowska*

Recenzenci:

*dr inż. Tamara Jadczyzyn, prof. dr hab. Stanisław Krasowicz,*  
*prof. dr hab. Wojciech Lipiński, prof. dr hab. Mariusz Matyka,*  
*dr inż. Jacek Niedźwiecki, dr inż. Piotr Ochal, prof. dr hab. Alicja Pecio,*  
*dr Agnieszka Rutkowska,*

Opracowanie redakcyjne i techniczne: *mgr Katarzyna Mikulska*

Okładka: krajobraz okolic Rogowa (fot. *dr Anna Nieróbca*)

ISBN 978-83-7562-359-8

*Egzemplarz bezpłatny*

Nakład 1000 egz., B5

Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG-PIB w Puławach

tel. (81) 47 86 720; fax (81) 47 86 721

e-mail: [iung@pulawy.pl](mailto:iung@pulawy.pl); <http://www.iung.pulawy.pl>

STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB

**TEORETYCZNE PODSTAWY RACJONALNEGO  
NAWOŻENIA**



## SPIS TREŚCI

|  |     |
|--|-----|
| Wstęp .....  | 7   |
| 1. Rutkowska A., Winiarski R. – Internetowa baza danych o produktach nawozowych .....  | 9   |
| 2. Skowron P., Wach D., Jadczyzyn T., Kuśmierz S. – Wykorzystanie narzędzi wspomagania decyzji w racjonalnym nawożeniu, na przykładzie systemu FaST, kalkulatora Manure Standards i narzędzia InterNAW ..... | 23  |
| 3. Jurga B., Ochal P., Podleśna A. – Wybrane agrochemiczne wskaźniki żyzności gleby wykorzystywane w racjonalnym nawożeniu .....   | 47  |
| 4. Pikuła D. – Wskaźniki oceny materii organicznej i możliwości wykorzystania ich w praktyce rolniczej .....   | 63  |
| 5. Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J., Zajączkowska A. – Zawartość mikroelementów w glebach Polski w ujęciu regionalnym .....  | 77  |
| 6. Korzeniowska J., Stanisławska-Głubiak E., Jadczyzyn T. – Nowy system nawożenia mikroelementami .....  | 87  |
| 7. Jadczyzyn T. – Nowe zalecenia w zakresie wapnowania gleb .....  | 99  |
| 8. Stalenga J., Jończyk K. – Problemy gospodarki nawozowej w ekologicznych gospodarstwach bezinwentarzowych .....  | 111 |
| 9. Kopiński J., Krasowicz S. – Regionalne zróżnicowanie nawozochłonności produkcji roślinnej w Polsce .....  | 123 |
| 10. Jarosz Z., Faber A. – Wpływ zmian w metodyce szacowania na emisję podtlenku azotu z produkcji rolniczej .....  | 150 |
| 11. Jarosz Z., Faber A. – Wpływ zmian w metodyce szacowania na emisję metanu z rolnictwa w Polsce .....  | 163 |
| 12. Pecio A. – Teoretyczne podstawy określania wymagań pokarmowych roślin i potrzeb nawożenia .....  | 173 |
| 13. Kopiński J., Krasowicz S. – Nawozochłonność produkcji roślinnej w różnych typach gospodarstw rolniczych .....  | 197 |



## Wstęp

Głównym celem Europejskiego Zielonego Ładu (EZŁ) jest wprowadzenie Unii Europejskiej (UE) na drogę zrównoważonego rozwoju i stworzenie sprawiedliwego, sprzyjającego zdrowiu konsumentów i przyjaznego środowisku systemu żywnościowego. Polityka UE ma kluczowe znaczenie dla przejścia do zrównoważonej gospodarki i niezbędne będzie wspólne działanie wielu jej elementów, takich jak, Wspólna Polityka Rolna (WPR), polityka klimatyczna czy polityka gospodarki o obiegu zamkniętym. Szereg działań w decydujący sposób wpływających na środowisko zostało zebranych w ramach EZŁ w jego Strategii „od pola do stołu” i Strategii Bioróżnorodności. Z punktu widzenia produkcji roślinnej i nawożenia najważniejszym celem szczegółowym EZŁ jest zmniejszenie strat składników pokarmowych o co najmniej 50%, co miałyby spowodować ograniczenie stosowania nawozów o co najmniej 20%, przy równoczesnym zachowaniu żyzności gleby.

Tak ambitne wymagania stawiane przed współczesnym rolnictwem powodują konieczność poszukiwania i wdrażania rozwiązań zwiększających efektywność wykorzystania składników pokarmowych z nawozów przez rośliny oraz zmniejszających ich rozproszenie poza systemy rolnicze. Niezbędne są też zmiany w systemach monitoringu środowiska, oceny wskaźników produkcji roślinnej i zarządzania nawożeniem. Autorzy prac omówili zagadnienia dotyczące racjonalnego nawożenia i ochrony środowiska. Przedstawiono aktualnie wykorzystywane wskaźniki oceny zasobności gleb w składniki pokarmowe i perspektywy wykorzystania nowych. Zaproponowano innowacyjny system nawożenia mikroelementami oraz udoskonalone zalecenia dotyczące wapnowania gleb. Omówiono problemy związane z gospodarką składnikami pokarmowymi w ekologicznych gospodarstwach bezinwentarzowych, oraz dokonano oceny wpływu zmienionych metodyk szacowania emisji gazów cieplarnianych na zwiększenie ich inwentaryzowanych wartości. Zaprezentowano również wybrane narzędzia wspomagania decyzji w nawożeniu i internetową bazę danych IUNG-PIB o produktach nawozowych, dedykowane rolnikom oraz doradcom. W dwóch artykułach oceniono wpływ, jaki będą miały zmienione metodyki szacowania emisji gazowych na zwiększenie ich inwentaryzowanych wartości.

Prace zamieszczone w niniejszym zeszycie Studia i Raporty IUNG-PIB opracowane zostały w ramach realizacji trzech zadań dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi w 2021 roku: 1.1 „Nawożenie użytków rolnych”; 1.3 „Doskonalenie internetowej bazy danych o produktach nawozowych” oraz 1.4 „Identyfikacja problemów oraz doskonalenie płodozmianu i gospodarki nawozowej w gospodarstwach ekologicznych o różnych profilach produkcji”.

Kierownik zadania 1.1

*dr Piotr Skowron*

Kierownik zadania 1.3

*dr Agnieszka Rutkowska*

Kierownik zadania 1.4

*dr hab. Jarosław Stalenga*





**Agnieszka Rutkowska, Ryszard Winiarski**

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

## INTERNETOWA BAZA DANYCH O PRODUKTACH NAWOZOWYCH\*

**Słowa kluczowe:** nawozy, środki poprawiające właściwości gleby, stymulatory, podłoża do upraw, podstawa prawna, wyszukiwarka nawozów

### Wstęp

We współczesnym rolnictwie o wzroście produkcji gwarantującym zachowanie bezpieczeństwa żywnościowego decyduje dostęp do efektywnych i bezpiecznych dla środowiska produktów nawozowych. Spośród tych produktów największe znaczenie mają nawozy, których rola polega na dostarczaniu roślinom składników pokarmowych lub poprawie żyzności gleby, w szczególności poprzez zwiększanie zawartości materii organicznej. Obok nawozów i środków poprawiających właściwości gleby, wpływających korzystnie na wielkość plonów roślin uprawnych i jakość gleb użytkowanych rolniczo, istotne znaczenie mają preparaty stymulujące wzrost i rozwój roślin. Łagodzą one negatywne skutki stresów biotycznych i abiotycznych, a przez poprawę efektywności wykorzystania składników pokarmowych z gleby i zastosowanych nawozów umożliwiają zmniejszenie poziomu nawożenia mineralnego.

Internetowy system informacji o produktach nawozowych utworzony został w 2016 r. w ramach zadania 2.2 „Wspieranie gospodarki nawozowej w Polsce i ocena jej skutków środowiskowych oraz doskonalenie systemów doradztwa nawozowego z uwzględnieniem stosowania produktów pofermentacyjnych z biogazowni” programu wieloletniego IUNG-PIB na lata 2016–2020 r. Prace nad internetową bazą danych w zakresie jej aktualizacji i modyfikacji, stosownie do wymagań użytkowników, kontynuowane są w ramach podzadania 1.3 „Doskonalenie internetowej bazy danych o produktach nawozowych” dotacji z budżetu państwa przyznanej IUNG-PIB na 2021 r. Baza danych o nawozach i środkach wspomagających uprawę roślin dostępna na tronie internetowej IUNG-PIB została utworzona, aby zapewnić rolnikom,

\*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.3 pt. „Doskonalenie internetowej bazy danych o produktach nawozowych” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2021 r.

doradcom rolnym, producentom oraz innym zainteresowanym odbiorcom łatwy dostęp do katalogu produktów nawozowych znajdujących się aktualnie w obrocie krajowym.

W wyszukiwarce zamieszczone zostały produkty nawozowe wprowadzone do obrotu handlowego w Polsce na podstawie ustawy z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (Dz.U. z 2020 r., poz. 76), Rozporządzenia (WE) nr 2003/2003 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 13 października 2003 r. w sprawie nawozów (Dz.U. UE. nr L 304 z dn. 21.11.2003), Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 8 września 2010 r. w sprawie sposobu pakowania nawozów mineralnych, umieszczania informacji o składnikach nawozowych na tych opakowaniach, sposobu badania nawozów mineralnych oraz typów wapna nawozowego (Dz.U. nr 183, poz. 1229) oraz Rozporządzenia Komisji (UE) nr 463/2013 z dnia 17 maja 2013 r. zmieniającego Rozporządzenie (WE) 2003/2003 Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie nawozów w celu dostosowania jego załączników I, II i IV do postępu technicznego (Dz.U. UE.L.2013.134.1). Baza danych obejmuje również nawozy i środki wspomagające uprawę roślin zakwalifikowane przez IUNG-PIB do produkcji ekologicznej. W związku ze zmianą prawodawstwa na poziomie wspólnotowym internetowa aplikacja w formie wyszukiwarki została dostosowana do rozszerzenia o produkty, dla których podstawę wprowadzenia do obrotu będzie stanowić Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/1009 z dnia 5 czerwca 2019 r. ustanawiające przepisy dotyczące udostępniania na rynku produktów nawozowych UE, zmieniającego rozporządzenia (WE) nr 1069/2009 i (WE) nr 1107/2009 oraz uchylającego rozporządzenie (WE) nr 2003/2003 (Dz.U. L 304 z 21.11.2003), wchodzące w życie z dniem 16 lipca 2022 r. (Dz.Urz. UE L 170/1, 25.06.2019).

### Podstawa prawna

Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (8) wprowadza następujące definicje produktów nawozowych:

- **nawozy** – produkty przeznaczone do dostarczania roślinom składników pokarmowych lub zwiększania żyzności gleb albo zwiększania żyzności stawów rybnych, którymi są nawozy mineralne, naturalne, organiczne oraz organiczno-mineralne.
- **środki wspomagające uprawę roślin** – środki poprawiające właściwości gleby, stymulatory wzrostu, podłoża do upraw.
- **środki poprawiające właściwości gleby** – substancje dodawane do gleby w celu poprawy jej właściwości bądź jej parametrów chemicznych, fizycznych, fizykochemicznych lub biologicznych.
- **stymulatory wzrostu** – związki organiczne lub mineralne bądź ich mieszaniny, wpływające korzystnie na rozwój roślin lub inne ich procesy życiowe, z wyłączeniem regulatorów wzrostu będących środkami ochrony roślin w rozumieniu przepisów o ochronie roślin.

- **podłoża do upraw** – materiały inne niż gleba, w tym substraty, w których uprawiane są rośliny.

Zgodnie z ww. ustawą, do obrotu w Polsce można wprowadzać nawozy i środki wspomagające uprawę roślin na podstawie:

- pozwolenia ministra właściwego do spraw rolnictwa wydanego w drodze decyzji administracyjnej;
- artykułu 5 ustawy z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (8), który stanowi, że do obrotu można wprowadzać nawozy oraz środki wspomagające uprawę roślin dopuszczone do obrotu w innym państwie członkowskim Unii Europejskiej, Republice Turcji bądź państwie będącym członkiem Europejskiego Stowarzyszenia Wolnego Handlu (EFTA), jeżeli przepisy krajowe, na podstawie których zostały one wprowadzone do obrotu, zapewniają ochronę zdrowia ludzi, zwierząt i środowiska oraz przydatność do stosowania w rolnictwie;
- rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 8 września 2010 r (4) w odniesieniu do wapna nawozowego;
- rozporządzenia 2003/2003 w odniesieniu do typów nawozów oznaczonych znakiem „NAWÓZ WE” (7).

Internetowa baza danych, w formie przystępnej aplikacji służącej do wyszukiwania produktów wprowadzonych do obrotu w Polsce, dostępna na stronie <http://www.ipm.iung.pulawy.pl/fert/fert.aspx?show=true>, pozwala na wyszukiwanie produktów nawozowych zgodnie z następującymi kryteriami:

- podstawa prawna;
- nazwa produktu (nazwa handlowa, pod którą produkt został wprowadzony do obrotu);
- producent (nazwa producenta lub importera wprowadzającego produkt do obrotu);
- rodzaj produktu (nawóz, z podziałem na: nieorganiczny, organiczno-mineralny i organiczny, podłoże do upraw, stymulator wzrostu, środek poprawiający właściwości gleby, środek wapnujący);
- sposób stosowania (doglebowo, doglebowo lub dolistnie, dolistnie);
- składnik produktu (składniki pokarmowe oraz inne parametry, jak: węgiel organiczny, aminokwasy, substancje humusowe, wyciągi roślinne, mikroorganizmy, materiały pochodzenia zwierzęcego);
- grupa upraw (bobowate, okopowe, oleiste, pastewne, strączkowe, włókniste, rośliny ogrodnicze, rośliny specjalne, zboża);
- przeznaczenie do stosowania w rolnictwie ekologicznym.

Baza zawiera następujące informacje przypisane wszystkim kategoriom produktów nawozowych:

- nazwa handlowa produktu;
- nazwa i adres producenta;
- numer decyzji Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi zezwalającej na wprowadzenie do obrotu w Polsce lub przywołanie innej podstawy prawnej;

- skład (zawartość deklarowanych składników pokarmowych), rozpuszczalność, uziarnienie (w przypadku nawozów mineralnych, szczególnie wapna nawozowego);
- wartości minimalnych, deklarowanych zawartości składników pokarmowych, zawartych w decyzji ministra właściwego do spraw rolnictwa, a w przypadku produktów wprowadzonych do obrotu na mocy art. 5 ustawy o nawozach i nawożeniu – na podstawie deklaracji dobrowolnej;
- rodzaj upraw, pod które nawóz jest przeznaczony;
- informacje dodatkowe (informacje o składzie surowcowym lub dotyczące kwalifikacji nawozu bądź środka poprawiającego właściwości gleby do stosowania w rolnictwie ekologicznym).

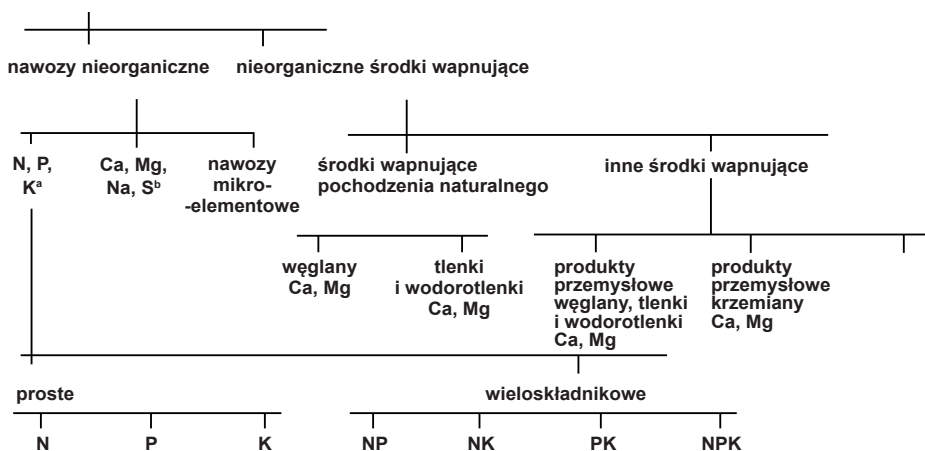
Aplikacja umożliwia wyszukiwanie produktów według pojedynczych lub kilku zadanych kryteriów, np. nawozów organicznych, zawierających azot, stosowanych dolistnie, przeznaczonych do roślin zbożowych czy posiadających w składzie aminokwasy.

## **Parametry charakteryzujące poszczególne kategorie produktów nawozowych**

### **Nawozy nieorganiczne**

Nawozy nieorganiczne, inaczej nawozy mineralne, produkowane na drodze przemian chemicznych, fizycznych lub przerobu surowców mineralnych. Według klasyfikacji normy europejskiej PN-EN 13535 (1), w nawozach mineralnych deklarowane składniki pokarmowe występują w formie soli nieorganicznych otrzymywanych przez ekstrakcję i/lub w fizycznych i/lub chemicznych procesach przemysłowych. Zgodnie z prawem krajowym do nawozów nieorganicznych zalicza się środki wapnujące, w tym wapno nawozowe. Schemat klasyfikacji nawozów nieorganicznych, zgodnie z przywołaną wyżej normą, przedstawiono na rysunku 1.

Spośród 283 nawozów nieorganicznych zamieszczonych w internetowej bazie danych IUNG-PIB (stan na 30 czerwca 2021 r.), 130 produktów odpowiada określonym typom NAWOZÓW WE, według rozporządzenia 2003/2003 (7). Zgodnie z tym rozporządzeniem nawozy zawierające azot muszą spełniać wymagania jakościowe określone z tabelach 1 i 2, nawozy fosforowe – wymagania wyszczególnione w tabeli 3, a nawozy potasowe – w tabeli 4.



Rys. 1. Klasyfikacja nawozów mineralnych, w tym środków wapnujących

Źródło: Nawozy..., 2003 (1)

Tabela 1

Wymagania jakościowe dla nawozów azotowych zgodnie z rozporządzeniem nr 2003/2003

| Typ                                     | Minimalna zawartość N ogólnego (%), m/m) | Deklarowane formy azotu i inne wymagania   |                             |
|---|--|--|-----------------------------|
| Mocznik                                 | min. 44                                  | biuret max. 1,2%   |                             |
| Saletrzak (azotan amonu z wypełniaczem) | min. 20<br>max. 28                       | N-całkowity<br>N-NH <sub>4</sub><br>N-NO <sub>3</sub><br>min. zawartość węglanów Ca i Mg – 20% |                             |
| Roztwór saletrzano-mocznikowy (RSM)     | min. 26                                  | N-całkowity<br>N-NH <sub>4</sub><br>N-NO <sub>3</sub><br>biuret max. 0,5%                      |                             |
| Roztwór nawozu azotowego                | min. 15                                  | N-całkowity<br>N-NH <sub>4</sub><br>N-NO <sub>3</sub>  | oraz<br>N powyżej<br>1% m/m |

Źródło: Dz.Urz. WE L 304 z 21.11.2003 r. z późn. zm. (7)

Tabela 2

Wybrane wymagania dla saletry amonowej i nawozów azotowych zawierających powyżej 28% N w formie azotanu amonu zgodnie z rozporządzeniem nr 2003/2003 (7)

| Wymagania  | Wymagania wynikające z rozporządzenia nr 2003/2003 |
|--|--|
| Zawartość N-całkowitego (%) w granicach                    | powyżej 28   |
| Zawartość frakcji poniżej 1 mm (%), max.                   | 5  |
| Zawartość frakcji poniżej 0,5 mm (%), max.                 | 3  |
| Zawartość składników palnych w przeliczeniu na C (%), max. | 0,2*<br>0,4**                                      |

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

Źródło: Dz.Urz. WE L 304 z 21.11.2003 r. z późn. zm. (7)

Tabela 3

Składniki deklarowane i wartości minimalne dla nawozów fosforowych zgodnie z rozporządzeniem nr 2003/2003

| Rozpuszczalność P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)         | Nazwa nawozu       |                      |                              |                 |
|---|--------------------|----------------------|------------------------------|-----------------|
|   | superfosfat prosty | superfosfat potrójny | fosforyt częściowo rozłożony | fosforyt miękki |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> rozp. w cytrynianie amonu   | min. 16 (100%)     | min. 38 (100%)       | -                            | -               |
| - w tym rozpuszczalne w wodzie                            | min. 93%           | min. 93%             | -                            | -               |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> rozp. w kwasach mineralnych | -                  | -                    | min. 20 (100%)               | min. 25 (100%)  |
| - w tym w wodzie  |                    |                      | min. 40                      | -               |
| - w tym w 2% kwasie mrówkowym                             | -                  | -                    | -                            | min. 55%        |
| Przesiew przez sito o wymiarach boku oczka:               |                    |                      |                              |                 |
| - 0,63 mm   | -                  | -                    | min. 98%                     | -               |
| - 0,16 mm   |                    |                      | min. 90%                     |                 |
| - 0,63 mm   | -                  | -                    | -                            | min. 99%        |
| - 0,16 mm   |                    |                      | -                            | min. 90%        |

Źródło: Dz.Urz. WE L 304 z 21.11.2003 r. z późn. zm. (7)

Tabela 4

Składniki deklarowane i wartości minimalne dla nawozów potasowych zgodnie z rozporządzeniem nr 2003/2003

| Typ nawozu                               | Zawartość K <sub>2</sub> O rozp. w H <sub>2</sub> O (% m/m) | MgO (% m/m) |
|--|---|-------------|
| Sól potasowa surowa (kainit)             | min. 10   | min. 5      |
| Chlorek potasu                           | min. 37   | -           |
| Siarczan magnezu                         | min. 47   | -           |
| Siarczan potasu zawierający sole magnezu | min. 22   | min. 8      |

Źródło: Dz.Urz. WE L 304 z 21.11.2003 r. z późn. zm. (7)

Znaczną część nawozów mineralnych stanowią mikronawozy, tj. nawozy zawierające mikroskładniki pokarmowe. W obrocie handlowym znajdują się mikronawozy pojedyncze lub mieszaniny, w formie stałej lub płynnej. W przypadku pojedynczych mikronawozów w formie soli technicznych deklarowana jest całkowita zawartość mikroskładnika rozpuszczalnego w wodzie. Przy deklaracji typu nawozu jako chelat metalu lub związek chelatujący podawana jest nazwa czynnika chelatującego oraz informacja o zawartości rozpuszczalnej w wodzie, zawartości formy schelatowanej oraz zakresu pH gwarantującego akceptowalną stabilność frakcji schelatowanej (9).

Nawozy mineralne wprowadzane do obrotu na podstawie prawa krajowego muszą spełniać następujące wymagania jakościowe w odniesieniu do minimalnej, deklaro-

wanej zawartości składników pokarmowych, zgodnie z rozporządzeniem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. (5) (tab. 5).

Tabela 5

Wymagania jakościowe odnośnie deklarowanych, minimalnych zawartości składników pokarmowych w nawozach wprowadzanych do obrotu na podstawie przepisów krajowych

| Typ nawozu            | Azot (N)<br>%, m/m |        | Fosfor (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )<br>%, m/m |        | Potas (K <sub>2</sub> O)<br>%, m/m |        |
|-----------------------|--------------------|--------|---|--------|------------------------------------|--------|
|                       | postać             |        |   |        |                                    |        |
|                       | stały              | płynny | stały   | płynny | stały                              | płynny |
| Mineralny             | 2,0                | 1,0    | 2,0   | 1,0    | 2,0                                | 1,0    |
| Organiczno-mineralny* | 1,0                | 0,5    | 0,5   | 0,2    | 1,0                                | 0,5    |
| Organiczny**          | 0,3                | 0,08   | 0,2   | 0,05   | 0,2                                | 0,12   |

\* nawozy organiczne w postaci stałej powinny zawierać co najmniej 20% substancji organicznej w suchej masie; \*\* nawozy organiczno-mineralne powinny zawierać co najmniej 30% substancji organicznej w suchej masie

Źródło: Dz.U. nr 119, poz. 765 z 2008 r. (5)

### Nawozy organiczne i organiczno-mineralne

Zgodnie z ustawą o nawozach i nawożeniu (8) za nawozy organiczne uznaje się produkty wytworzone z substancji organicznej. Do nawozów organicznych zaliczane są komposty, w tym wyprodukowane z wykorzystaniem dżdżownic (wermikomposty). Nawozy organiczno-mineralne ustawa definiuje jako mieszaniny nawozów mineralnych i organicznych. W przeważającej części źródło substancji organicznej do produkcji nawozów organicznych i organiczno-mineralnych stanowią: odpady zielone, poferment z biogazowni rolniczych, komunalne osady ściekowe oraz nawozy naturalne. Odpady roślinne wykorzystywane do produkcji nawozów pochodzą głównie z pielęgnacji publicznych i prywatnych terenów zieleni, targowisk oraz z przemysłu rolno-spożywczego. Poferment z biogazowni rolniczych powstaje w procesie fermentacji metanowej materii organicznej, głównie kiszzonek roślinnych (z kukurydzy bądź zbóż), nawozów naturalnych (obornik, gnojowica) oraz produktów odpadowych z przemysłu rolno-spożywczego (odpady owocowo-warzywne, wywar gorzelniany, serwatka). Komunalne osady ściekowe poddawane są procesowi kompostowania, często z dodatkiem zrębków drewna, słomy, trocin czy odpadów roślinnych bądź stabilizowane i higienizowane za pomocą wapna nawozowego. Wśród odpadów pochodzenia zwierzęcego przeważają obornik od zwierząt kopytnych i obornik ptasi, poddawane procesom suszenia i granulacji czy peletowania bądź kompostowania.



## Środki poprawiające właściwości gleby

Przeważającą część środków poprawiających właściwości gleby stanowią produkty pochodzenia organicznego, wykazujące działanie nawozowe, wzbogacające równocześnie glebę w substancję organiczną. Skład surowcowy nawozów i środków poprawiających właściwości gleby pochodzenia organicznego i organiczno-mineralnego jest zbliżony. Z reguły środki poprawiające właściwości gleby charakteryzują się niższą niż nawozy zawartością składników pokarmowych bądź mniejszą ich dostępnością dla roślin. Wśród środków pochodzenia mineralnego, które stanowią nieznaczny procent wszystkich produktów ujętych w internetowej bazie danych, największy udział mają mączki bazaltowe.

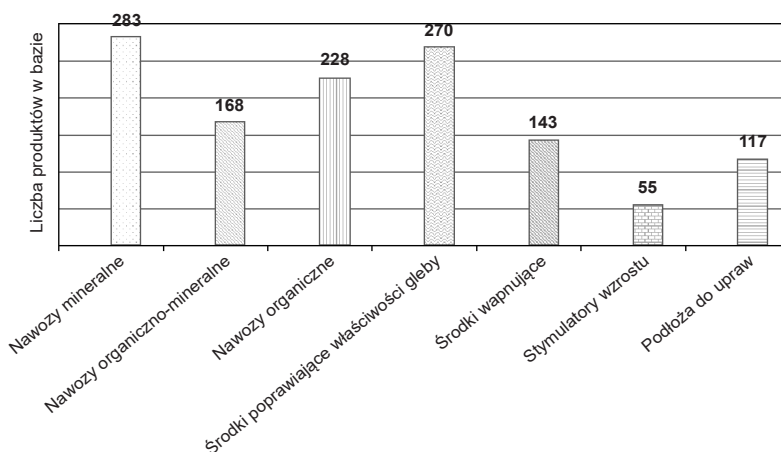
## Środki wapnujące

Osobną grupę produktów nawozowych zamieszczonych w internetowej wyszukiwarce stanowią środki wapnujące znajdujące się w obrocie na podstawie rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 8 września 2010 r. (4), rozporządzenia Komisji (UE) nr 463/2013 z dnia 17 maja 2013 r. (2) albo ustawy z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (8). Środki wapnujące służą przede wszystkim do regulacji odczynu gleby oraz poprawy jej właściwości fizycznych, pośrednio wpływają również na poprawę odżywiania roślin wapniem. Zgodnie z obowiązującym w kraju rozporządzeniem Ministra Gospodarki (4) środki wapnujące dzieli się na dwie grupy: niezawierające magnezu (3 typy, 13 odmian) oraz zawierające magnez (2 typy, 7 odmian). Większość środków wapnujących ujętych w internetowej bazie danych IUNG-PIB spełnia wymagania stawiane produktom przeznaczonym do stosowania w rolnictwie ekologicznym.

## Stymulatory wzrostu

Do najbardziej znanych substancji stymulujących wzrost i rozwój roślin należą: związki humusowe, wyciągi roślinne i wolne aminokwasy. Większość wprowadzonych do obrotu w Polsce stymulatorów zawiera w składzie kwasy huminowe i fulwowe, ekstrahowane z węgla brunatnego, leonardytów bądź torfu. Substancje te wpływają korzystnie na rozwój systemu korzeniowego, umożliwiając lepsze wykorzystanie składników pokarmowych z gleby i nawozów oraz zwiększając efektywność pobierania wody z gleby. Produkty stymulujące wzrost i rozwój roślin usprawniają procesy metaboliczne zachodzące w komórkach roślinnych, zwiększają ich odporność na niekorzystne warunki środowiskowe, przyczyniając się tym samym do lepszego plonowania roślin uprawnych. W Polsce stymulatory wzrostu, których skład ogranicza się wyłącznie do mikroorganizmów nie podlegają przepisom o nawozach i nawożeniu.

Na dzień 30 czerwca 2021 r. w internetowej bazie danych zamieszczone zostały 1264 produkty (rys. 2).



Rys. 2. Kategorie produktów nawozowych zamieszczonych w internetowej bazie danych IUNG-PIB  
 Źródło: opracowanie własne

### Rozporządzenie nr 2019/1009

Internetowa baza danych o produktach nawozowych została dostosowana do poszerzenia o katalog produktów nawozowych, dla których podstawą wprowadzenia do obrotu będzie prawo zharmonizowane, które wejdzie w życie 16 lipca 2022 r. W dniu 25 czerwca 2019 r. opublikowane zostało Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/1009 z dnia 5 czerwca 2019 r. ustanawiające przepisy dotyczące udostępniania na rynku produktów nawozowych UE, zmieniające rozporządzenia (WE) nr 1069/2009 i (WE) nr 1107/2009 oraz uchylające rozporządzenie (WE) nr 2003/2003 (6). Nowa regulacja zastępuje rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) o nawozach z 2003 r. (7) i obejmuje wszystkie rodzaje produktów nawozowych nieujętych w ww. rozporządzeniu, w tym pochodzenia organicznego i organiczno-mineralnego. Rozporządzenie jest częścią unijnego planu działania na rzecz gospodarki o obiegu zamkniętym, który zakłada, że dzięki recyklingowi zostaną maksymalnie wykorzystane wszystkie surowce, produkty i odpady, co przyczyni się do ochrony zasobów nieodnawialnych, zmniejszenia zużycia energii i redukcji emisji gazów cieplarnianych. Rozporządzenie 2019/1009 harmonizuje normy dotyczące nawozów wytwarzanych z surowców organicznych, umożliwiając równocześnie ich produkcję i sprzedaż na całym obszarze UE. Wprowadza pojęcia kategorii funkcji produktów (PFC) dla produktów nawozowych oraz kategorii materiałów składowych (CMC), z których wytwarzane są poszczególne produkty nawozowe.

Na rynku wspólnotowym będą mogły znaleźć się produkty przyporządkowane do następujących kategorii, zgodnie z pełnioną przez nie funkcją:

- **PFC 1. NAWÓZ** – dostarczanie składników pokarmowych roślinom lub grzybom;
- **PFC 2. ŚRODEK WAPNUJĄCY** – korygowanie kwasowości gleby;

- **PFC 3. POLEPSZACZ GLEBY** – utrzymanie, poprawa lub ochrona właściwości fizycznych bądź chemicznych, struktury lub aktywności biologicznej gleby, do której jest dodawany;
- **PFC 4. PODŁOŻE DO UPRAW** – stanowi materiał, w którym rosną grzyby lub rośliny;
- **PFC 5. INHIBITOR** – poprawa mechanizmów uwalniania składników pokarmowych z produktu dostarczającego roślinom składników pokarmowych dzięki temu, że opóźnia lub zatrzymuje działanie określonych grup mikroorganizmów lub enzymów;
- **PFC 6. BIOSTYMULATOR** – stymulowanie procesów odżywiania roślin niezależnie od zawartości składników pokarmowych w produkcie; jego wyłącznym celem jest poprawa co najmniej jednej z następujących cech rośliny lub ryzosfery rośliny: efektywność wykorzystania składników pokarmowych, odporność na stres abiotyczny, cechy jakościowe lub przyswajalność składników pokarmowych z form trudno dostępnych w glebie lub ryzosferze;
- **PFC 7. MIESZANINA PRODUKTÓW NAWOZOWYCH** – produkt składający się z co najmniej dwóch produktów nawozowych UE PFC 1–PFC 6, przy czym dla każdego składowego produktu nawozowego UE w danej mieszance wykazano zgodność z wymogami niniejszego rozporządzenia.

Co ważne, produkty nawozowe UE mogą składać się wyłącznie z materiałów składowych spełniających wymogi co najmniej jednej kategorii CMC wymienionej w rozporządzeniu:

- **CMC 1:** Pierwotne surowce i mieszaniny;
- **CMC 2:** Rośliny, części roślin lub wyciągi z roślin;
- **CMC 3:** Kompost;
- **CMC 4:** Produkt pofermentacyjny świeżych roślin;
- **CMC 5:** Produkt pofermentacyjny inny niż produkt pofermentacyjny świeżych roślin;
- **CMC 6:** Produkty uboczne przemysłu spożywczego;
- **CMC 7:** Mikroorganizmy;
- **CMC 8:** Polimerowe składniki pokarmowe;
- **CMC 9:** Polimery inne niż polimerowe składniki pokarmowe;
- **CMC 10:** Produkty pochodne w rozumieniu rozporządzenia (WE) nr 1069/2009,
- **CMC 11:** Produkty uboczne w rozumieniu dyrektywy 2008/98/WE.

Rozporządzenie ustanawia szczegółowe zasady produkcji dla każdej kategorii materiałów składowych, dotyczące między innymi materiałów wsadowych lub metod przetwarzania. Wprowadza ściśle określone wymogi odnośnie sposobu wytwarzania, parametrów jakościowych oraz kryteriów oceny bezpieczeństwa stosowania produktów nawozowych oraz ich przydatności w rolnictwie. Precyzuje również moduły, zgodnie z którymi producenci mogą wprowadzać produkty nawozowe do obrotu na rynek wspólnotowy.

Należy nadmienić, że niezależnie od zharmonizowanego prawa państwa członkowskie zachowają legislację krajową, zgodnie z którą w poszczególnych państwach

członkowskich UE będą wprowadzane do obrotu produkty niespełniające wymagań określonych w rozporządzeniu nr 2019/1009 bądź przeznaczone wyłącznie na rynek wewnętrzny.

## Podsumowanie

Internetowa baza danych o produktach nawozowych, utworzona w ramach realizacji zadania 2.2 programu wieloletniego IUNG-PIB na lata 2016–2020 oraz podzadania 1.3 dotacji celowej przyznanej z budżetu państwa na 2021 r., obejmuje nawozy i środki wspomagające uprawę roślin wprowadzone do obrotu w Polsce zgodnie z obowiązującym prawem krajowym i wspólnotowym. Baza jest dostępna dla użytkowników w formie internetowej wyszukiwarki; daje możliwość uzyskania informacji o nawozach, środkach poprawiających właściwości gleby, środkach wapnujących, stymulatorach wzrostu i podłożach do upraw, dostępnych na rynku krajowym. Zawiera niezbędne informacje dotyczące parametrów jakościowych poszczególnych produktów nawozowych (np. zawartości składników pokarmowych w nawozach i środkach poprawiających właściwości gleby) oraz ich przeznaczeniu. Wyszukiwarka umożliwia wybór nawozów i środków wspomagających uprawę roślin, dedykowanych poszczególnym uprawom, zależnie od aktualnych potrzeb nawozowych. Internetowa baza danych uwzględnia również nawozy i środki poprawiające właściwości gleby, przeznaczone do produkcji ekologicznej. Stanowi proste narzędzie informacyjne dla rolników, doradców rolnych, jednostek certyfikujących gospodarstwa ekologiczne oraz producentów.

## Literatura

1. Nawozy i środki wapnujące – Klasyfikacja. PN-EN 13535. PKN, 2003, s. 7.
2. Rozporządzenie Komisji (UE) nr 463/2013 z dnia 17 maja 2013 r. zmieniające Rozporządzenie (WE) 2003/2003 Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie nawozów w celu dostosowania jego załączników I, II i IV do postępu technicznego (Dz.U. UE.L.2013.134.1).
3. Rozporządzenie (WE) nr 2003/2003 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 13 października 2003 r. w sprawie nawozów (Dz.U. L 304 z 21.11.2003).
4. Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 8 września 2010 r. w sprawie sposobu pakowania nawozów mineralnych, umieszczania informacji o składnikach nawozowych na tych opakowaniach, sposobu badania nawozów mineralnych oraz typów wapna nawozowego (Dz.U. z 2010 r., nr 183, poz. 1229).
5. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu (Dz.U. z 2008 r., nr 119, poz. 765).
6. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2009/2019 z dnia 5 czerwca 2019 r. ustanawiające przepisy dotyczące udostępniania na rynku produktów nawozowych UE, zmieniające rozporządzenia (WE) nr 1069/2009 i (WE) nr 1107/2009 oraz uchylające rozporządzenie (WE) nr 2003/2003 (Dz. Urz. UE L 170/1, 25.06.2019).
7. Rozporządzenie (WE) nr 2003/2003 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 13 października 2003 r. w sprawie nawozów (Dz.Urz. WE L 304 z 21.11.2003 r. z późn. zm).
8. Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (Dz.U. z 2007 r., nr 147, poz. 1033).
9. W i n i a r s k i A.: Klasyfikacja i wymagania jakościowe dla nawozów WE. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2006, 2: 25.

## Załącznik 1

Prezentacja graficzna wybranych funkcji internetowej wyszukiwarki produktów nawozowych, opracowanej przez IUNG-PIB

| IUNG Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa   |  |                   |            |         |        |                   |            |                         |  |           |  |
|--|--|-------------------|------------|---------|--------|-------------------|------------|-------------------------|--|-----------|--|
| <p><b>ENTEK 25-15</b><br/>Nawóz nieorganiczny<br/><b>Producent</b><br/>K+S Polska Sp. z o.o.<br/>ul. 28 czerwca 1968; nr 404, 61-831 Poznań</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Decyzja</th> <th>Postać</th> <th>Sposób stosowania</th> <th>Opakowania</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15406 z dnia 2006-03-28</td> <td>Stęły, granulowany</td> <td>Doglebowo</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Skład, rozpuszczalność, uziarnienie</b><br/>N - 24,8%, N-NO<sub>3</sub> - 10,9%, N-NH<sub>4</sub> - 13,9%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> rozp. w obojętnym ocytlaniu amoniu i wodzie - 15,5%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> rozp. w wodzie - 12,9%<br/>Zawartość minimalna (postaw kursor)</p> <p>N - 25,0%, N-NO<sub>3</sub> - 11,0%, N-NH<sub>4</sub> - 14,0%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> rozp. w obojętnym cytrynianie amoniu i wodzie - 15,0%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> rozp. w wodzie - 11,0%, uziarnienie: frakcja 2-5mm - mł. 90%</p> |  |                   |            | Decyzja | Postać | Sposób stosowania | Opakowania | 15406 z dnia 2006-03-28 | Stęły, granulowany                               | Doglebowo |  |
| Decyzja  | Postać   | Sposób stosowania | Opakowania |         |        |                   |            |                         |  |           |  |
| 15406 z dnia 2006-03-28  | Stęły, granulowany                               | Doglebowo         |            |         |        |                   |            |                         |  |           |  |
| <p><b>NTS</b><br/>Nawóz nieorganiczny<br/><b>Producent</b><br/>Beiselen-ATR Sp. z o.o.<br/>ul. Monte Cassino 24, 70-467 Szczecin</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Decyzja</th> <th>Postać</th> <th>Sposób stosowania</th> <th>Opakowania</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>17306 z dnia 2006-12-13</td> <td>Płynny, rozwór, gęstość: 1,30 g cm<sup>-3</sup></td> <td>Doglebowo</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Skład, rozpuszczalność, uziarnienie</b><br/>N - 27,3%, N-NH<sub>4</sub> - 8%, N-NO<sub>3</sub> - 5,9%, N-NH<sub>2</sub> - 13,4%, S-SO<sub>3</sub> - 3,4%<br/>Zawartość minimalna (postaw kursor)</p> <p>N - 27,0%, N-NH<sub>4</sub> - 8,0%, N-NO<sub>3</sub> - 5,0%, N-NH<sub>2</sub> - 13,0%, S-SO<sub>3</sub> - 3,0%<br/>[Okopowe, oleiste (zepak), rośliny ogrodnicze (rośliny warzywne), strączkowe, zboża</p> <p><b>Dodatkowe informacje</b><br/>Nawóz NS, rozwór saletrzano-mocznikowy z siarką</p>              |  |                   |            | Decyzja | Postać | Sposób stosowania | Opakowania | 17306 z dnia 2006-12-13 | Płynny, rozwór, gęstość: 1,30 g cm <sup>-3</sup> | Doglebowo |  |
| Decyzja  | Postać   | Sposób stosowania | Opakowania |         |        |                   |            |                         |  |           |  |
| 17306 z dnia 2006-12-13  | Płynny, rozwór, gęstość: 1,30 g cm <sup>-3</sup> | Doglebowo         |            |         |        |                   |            |                         |  |           |  |



Instytut Uprawy  
Nawożenia i Gleboznawstwa

### ECO GROW PLUS

Nawóz organiczno-mineralny

#### Producent

CALDEMA Sp. z o.o.  
ul. Mikolaja z Ryńska 28A, 87-200 Włajbrzeźno

| Decyzja                  | Postać             | Sposób stosowania | Opakowania     |
|--------------------------|--------------------|-------------------|----------------|
| 255/11 z dnia 2011-01-13 | Stały, granulowany |                   | 2 kg Doglebowo |

#### Skład

N - 0,57%, P2O5 - 0,85%, K2O - 9,52%, CaO - 5,75%, MgO - 2,78%, S - 4,52%, zaw. subst. org. - 34,0%  
Zawartość minimalna (postaw kursów)

min.: P2O5 - 0,6%, K2O - 8,5%, CaO - 5,0%, MgO - 2,0%, zaw. subst. org. - 20,0%

Rosliny ogrodnicze (rosliny ozdobne, rośliny warzywne, trawniki), uprawy polowe

#### Dodatkowe informacje

Polemnet z dodatkiem nawozów WE.

### GRAMED

Nawóz organiczno-mineralny

#### Producent

BIO-MED Sp. z o.o.  
ul. Dłiszewskiego 6, 25-603 Kielce

| Decyzja                  | Postać             | Sposób stosowania | Opakowania     |
|--------------------------|--------------------|-------------------|----------------|
| 280/11 z dnia 2011-06-21 | Stały, granulowany |                   | 2 kg Doglebowo |

#### Skład

min.: N - 8,0%, P2O5 - 2,0%, K2O - 5,0%, CaO - 8,0%, zaw. subst. org. - 35,0%  
Zawartość minimalna (postaw kursów)

#### Uprawy

min.: N - 6,0%, P2O5 - 2,0%, K2O - 5,0%, CaO - 8,0%, zaw. subst. org. - 35,0%

#### Dodatkowe informacje

Nawóz wytworzony na bazie osadu ściekowego z dodatkiem wapna magnezowego, wchłonięciu, mocznika, superfosfatu pokrojonego i soli potasowej. Zastosowanie: uprawy polowe z wyjątkiem warzyw i owoców przeznaczonych do bezpośredniego spożycia.



Instytut Uprawy  
Nawożenia i Gleboznawstwa

### KOMPOSTON

Nawóz organiczny

#### Producent

Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji "Wodnik" Sp. z o.o.

Pl. Piastowski 21, 58-560 Jelenia Góra

| Decyzja                  | Postać | Sposób stosowania | Opakowania |
|--------------------------|--------|-------------------|------------|
| 285/11 z dnia 2011-08-19 | Stały  |                   | Doglebowo  |

#### Skład

N - 0,65%, P2O5 - 0,63%, zaw. subst. org. - 59,2%  
Zawartość minimalna (postaw kursów)

Uprawy min.: N - 0,5%, P2O5 - 0,3%, zaw. subst. org. - 40,0%

Oleiste (rzepak), pastewne, zboża

#### Dodatkowe informacje

Kompost wytworzony na bazie osadów ściekowych

### EON P

Nawóz organiczny

#### Producent

BIOELEKTROWNIA Sp. z o.o.  
ul. Żytnia 18A, 01-014 Warszawa

| Decyzja                  | Postać             | Sposób stosowania | Opakowania |
|--------------------------|--------------------|-------------------|------------|
| 325/13 z dnia 2013-08-22 | Płynny, zawieszina |                   | Doglebowo  |

#### Skład

N - 0,37%, N-NH4 - 0,26%, P2O5 - 0,07%, K2O - 0,55%

#### Uprawy

Oleiste (rzepak), pastewne, zboża

#### Dodatkowe informacje

Odłek polementacyjny poddany separacji mechanicznej, pochodzący z procesu metanowej fermentacji (mezofilnej), kiszonka kukurydzy, zbóż, ław, odpady przetwórstwa owocowo-warzywnego, odpady roślinne, niejadalne produkty zwierzęce kat. 3


 Instytut Uprawy  
 Nawożenia i Gleboznawstwa

---

**CONDIT®**  
 Środek poprawiający właściwości gleby

**Producent**  
 BIO-CONCEPT Bogusław Bednarz  
 ul. Kwiatowa 2, 37-220 Kańczuga

| Decyzja                   | Postać             | Sposób stosowania | Opakowania |
|---------------------------|--------------------|-------------------|------------|
| G-33/08 z dnia 2008-09-04 | Stały, granulowany | Doglebowo         |            |

**Skład**  
 N - 7,07%, P2O5 - 0,33%, K2O - 1,13%

**Uprawy**  
 Uprawy polowe: zboża, oleiste (rzepak), okopowe; rośliny ogrodnicze (drzewa i krzewy owocowe, rośliny warzywne, rośliny ozdobne, trawniki)

**Dodatkowe informacje**  
 Zhydrolizowana serwatka z sera podpuszczkowego, otręby pszenne, węgiel brunatny, zeolit, trociny drzew iglastych

**KOMPOZUM**  
 Środek poprawiający właściwości gleby

**Producent**  
 Zakład Usług Miejskich Sp. z o.o. w Chełmie  
 ul. Przemysłowa 8, 86-200 Chełmno

| Decyzja                    | Postać | Sposób stosowania | Opakowania |
|----------------------------|--------|-------------------|------------|
| G-814/16 z dnia 2016-10-05 | Stały  | Doglebowo         |            |

**Skład**  
 N - 1,28%, P2O5 - 0,80%, K2O - 1,41%, zaw. subst. org. - 24,0%

**Uprawy**  
 Uprawy polowe, rośliny ogrodnicze (drzewa i krzewy owocowe, rośliny ozdobne, rośliny warzywne, trawniki)

**Dodatkowe informacje**  
 Kompostowane selektywnie zbierane odpady zielone i odpady roślinne ulegające biodegradacji

---


 Instytut Uprawy  
 Nawożenia i Gleboznawstwa

---

**Kreda z Dwikóz**  
 Środek wapniący

**Producent**  
 Zakład Obrótu Towarami Sp. z o.o.  
 ul. Nadwiślańska 1, 27-620 Dwikózy

| Decyzja                  | Postać             | Sposób stosowania | Opakowania |
|--------------------------|--------------------|-------------------|------------|
| 304/12 z dnia 2012-08-13 | Stały, granulowany | Doglebowo         |            |

**Skład, rozpuszczalność, uziarnienie**  
 Zawartość minimalna (postaw kursor)

|   |
|---|
| CaO - min. 40,0%, uziarnienie: sło 0,5mm - pon. 20,0%, sło 0,3mm - pon. 10,0%, frakcja 0,5-0,3mm - min. 70,0% |
|---|

**Dodatkowe informacje**  
 Wapno nawozowe węglanowe nie zaw. Mg, pod wszystkie uprawy wymagające wapnowania

**WSPOMAG**  
 Stymulator wzrostu

**Producent**  
 Host International Sp. z o.o. Przedsiębiorstwo Rolno-Ekologiczne  
 ul. Długa 10, Cedry Małe Kolonia, 83-020 Cedry Wielkie

| Decyzja                   | Postać                                   | Sposób stosowania      | Opakowania |
|---------------------------|--|------------------------|------------|
| S-65/10 z dnia 2010-06-21 | Płynny, gęstość: 1,02 g cm <sup>-3</sup> | Doglebowo lub doleśnie | 5 l        |

**Skład**  
 min.: N - 0,01%, P2O5 - 0,01%, K2O - 0,01%, zaw. subst. org. - 30,0%, zawiera produkty uboczne pochodzenia zwierzęcego

**Uprawy**

**Dodatkowe informacje**  
 Organiczny, biohumus, wyciąg z wermikompostu przerabianego przez dżdżownicę *Esenia feida*, do oprysku bądź podlewania

Źródło: <http://www.ipm.iung.pulawy.pl/fert/fert.aspx?show=true>

Adres do korespondencji:

*dr Agnieszka Rutkowska*  
*Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy*  
*tel. 81 4786 840*  
*e-mail: Agnieszka.Rutkowska@iung.pulawy.pl*

AUTOR

Agnieszka Rutkowska

Ryszard Winiarski

ORCID

0000-0001-9799-0327

0000-0002-6036-6982

**Piotr Skowron<sup>1</sup>, Damian Wach<sup>1</sup>, Tamara Jadczyzyn<sup>1</sup>, Sebastian Kuśmierz<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Institut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach*

*<sup>2</sup>Katedra Chemii Rolnej i Środowiskowej, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie*

WYKORZYSTANIE NARZĘDZI WSPOMAGANIA DECYZJI  
W RACJONALNYM NAWOŻENIU, NA PRZYKŁADZIE SYSTEMU  
FAST, KALKULATORA MANURE STANDARDS  
I NARZĘDZIA INTERNAW\*

**Słowa kluczowe:** nawozy naturalne, azot, fosfor, program azotanowy

---

## Wstęp

Stale rosnąca populacja ludzi na Ziemi, przy ograniczonych możliwościach produkcyjnych agroekosystemów, powoduje szereg trudności w racjonalnym gospodarowaniu rolniczą przestrzenią produkcyjną. Szacuje się, że do roku 2050 liczba ludności na świecie osiągnie poziom 10 miliardów (4, 22), co przy postępujących globalnych zmianach klimatycznych będzie skutkowało ciągłym przyrostem populacji narażonej na głód (2). Obecnie w rolnictwie obserwuje się wzrost znaczenia działań rolno-środowiskowych w skali zarówno pojedynczego gospodarstwa, jak również regionów, całych państw i struktur międzynarodowych (13, 15, 22). W konsekwencji wybór strategii zarządzania gospodarką rolną odbywa się wielopłaszczyznowo, począwszy od podejmowania decyzji na poziomie pojedynczego gospodarstwa, poprzez prawo krajowe, a kończąc na dyrektywach Unii Europejskiej (1, 26).

Postępująca intensyfikacja rolnictwa, oparta na chemizacji i wprowadzaniu do agroekosystemów dużych dawek składników pokarmowych, jest przyczyną znacznego wzrostu antropogenicznych presji środowiskowych. Brak racjonalnego gospodarowania rolniczą przestrzenią produkcyjną w konsekwencji powodować może szereg niekorzystnych zjawisk, takich jak wzbogacanie wód powierzchniowych w biogeny, eutrofizacja zbiorników i cieków wodnych, zakwaszenie i zasolenie gleby, spadek bioróżnorodności czy spadek jakości plonów (18).

---

\*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.1 pt. „Nawożenie użytków rolnych” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2021 r.



Jednym ze środków wspierających działania rolno-środowiskowe, pozwalającym na uzyskanie pożądaných plonów przy możliwie najmniejszym wpływie na środowisko naturalne, jest wykorzystanie planu nawożenia opartego na poprawnie zbilansowanych składnikach pokarmowych NPK, połączonego z systemowym zarządzaniem nawozami w gospodarstwie. Niestety barierą utrudniającą lub niekiedy uniemożliwiającą wdrażanie takich rozwiązań na poziomie krajowym jest stosunkowo wysoki koszt tego typu inwestycji na poziomie państwa lub regionu. Narzędzia wspomaganie decyzji w nawożeniu są oparte na wynikach badań naukowych, przepisach prawnych, obowiązujących w poszczególnych krajach i zasadach dobrej praktyki rolniczej (12). W Polsce aktualnie obowiązującymi aktami prawnymi, które mają tu zastosowanie są: ustawa Prawo wodne (24) i akt wykonawczy do tej ustawy – rozporządzenie Rady Ministrów w sprawie przyjęcia „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu” (program azotanowy) (17). Już od lat 90. dostępne były odpowiednie do przygotowania planu nawożenia narzędzia informatyczne, takie jak programy komputerowe (NAW-1, NAW-2, NAW-3, Agronom, Plano RS, NawSald, Macrobil) czy kalkulatory internetowe, opracowane przez IUNG-PIB w Puławach, które umożliwiają sporządzanie kompleksowego planu nawożenia podstawowymi składnikami pokarmowymi NPKMg oraz wapnowania gleb. Obecnie IUNG-PIB jest zaangażowany w projekt InterNAW finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, który ma na celu budowę nowego i efektywnego modelu interaktywnego systemu wspierania decyzji agrochemicznych mającego optymalizować nawożenie i chronić wody przed zanieczyszczeniami pochodzenia rolniczego. W ramach tego projektu przygotowano narzędzie informatyczne służące do opracowania kompleksowych planów nawożenia i wapnowania gleb. Narzędzie to będzie udostępnione nieodpłatnie na stronie internetowej Krajowej Stacji Chemiczno-Rolniczej. Jest ono przeznaczone do pracy na komputerach stacjonarnych, jak i na urządzeniach mobilnych. W realizacji założeń programu azotanowego pomagają arkusze MS Excel opracowane i udostępnione przez CDR Brwinów, Oddział w Radomiu (10). Działanie wszystkich tych narzędzi oparte jest na zasadzie zrównoważonego zarządzania składnikami pokarmowymi. Zgodnie z tą zasadą ilość składników pokarmowych wnoszona w nawozach naturalnych i organicznych jest uzupełniana o ilości zawarte w nawozach mineralnych, przy czym w bilansie uwzględnia się zasobność gleby w analizowane składniki pokarmowe. Celem pracy jest przedstawienie rozwijanych obecnie systemów i narzędzi służących wspieraniu decyzji agrotechnicznych, które będą miały duże znaczenie w realizacji celów Wspólnej Polityki Rolnej (WPR).

### **Narzędzie FaST a Wspólna Polityka Rolna**

Działania Unii Europejskiej (UE) w zakresie sektora rolnego określane są mianem Wspólnej Polityki Rolnej. Trudności w realizacji celów WPR stanowią podstawę do stworzenia systemów o wysokim stopniu indywidualizacji, umożliwiających

prowadzenie wielkoskalowych strategii rolno-środowiskowych (2, 19). W grudniu 2019 roku Komisja Europejska przygotowała komunikat dotyczący Europejskiego Zielonego Ładu (EZŁ), który jest nową strategią mającą na celu przestawić całą gospodarkę europejską (w tym rolnictwo) i społeczeństwo na tory zrównoważone. Jednym z elementów EZŁ jest zaprezentowana w 2020 roku przez KE strategia „od pola do stołu”, której założeniem jest stworzenie sprawiedliwego, zdrowego i przyjaznego środowiska systemu żywnościowego, gdzie żywność byłaby wytwarzana w sposób bezpieczny dla środowiska przyrodniczego oraz neutralny klimatycznie.

Jednym z głównych celów strategicznych EZŁ jest zmniejszenie strat składników pokarmowych o co najmniej 50%, co miałyby wynikać z ograniczenia stosowania nawozów o co najmniej 20%, przy równoczesnym zachowaniu żyzności gleby. Spełnienie tych celów oraz ich zabezpieczenie finansowe będzie realizowane głównie poprzez działania w obszarze WPR w latach 2021–2027. W zakres tych działań oprócz dobrowolnych praktyk w ramach płatności bezpośrednich wchodzi opracowanie i przestrzeganie planu nawożenia z wykorzystaniem narzędzia FaST (Farm Sustainability Tool). Jest to skierowana do rolników i wspierana przez Unię Europejską platforma usług cyfrowych, na której udostępniane są możliwości ograniczenia w zakresie rolnictwa, ochrony środowiska i przepisów administracyjnych obowiązujących na danym obszarze. Platforma FaST ma na celu wspomaganie działań w ramach WPR, począwszy od poziomu pojedynczego gospodarstwa, poprzez jednostki administracyjne krajów członkowskich, kończąc na instytucjach UE (7). Nie ulega wątpliwości, że to właśnie WPR jest główną polityką UE, kształtującą rozwój sektora rolnego oraz bezpośrednio wpływającą na to, jak poszczególni rolnicy decydują się zarządzać swoją ziemią, uprawami i inwentarzem.

Czynnikiem mającym kluczowy wpływ na genezę narzędzia FaST była potrzeba stworzenia uniwersalnej platformy wspierającej indywidualnych rolników w wypełnianiu zobowiązań krajów członkowskich zapisanych w artykule 39 Traktatu o funkcjonowaniu Unii Europejskiej (TFUE) (23). Realizacja celów WPR oraz zobowiązań wynikających z art. 39 TFUE jest utrudniona z uwagi na mnogość interakcji pomiędzy czynnikami agroklimatycznymi o wyjątkowo dużym zróżnicowaniu przestrzennym w obrębie UE oraz stosowane praktyki rolnicze w poszczególnych krajach członkowskich (20).

Pierwsze odniesienia do narzędzia FaST znajdują się w propozycji rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) z dnia 1 czerwca 2018 (16). Pierwotnie narzędzie FaST znajdowało się w pierwszym filarze WPR jako norma GAEC 5 „Stosowanie narzędzia dotyczącego zrównoważonego charakteru gospodarstw rolnych w zakresie składników pokarmowych (FaST)”, która stanowiła element nowej wzmocnionej warunkowości, co oznaczało obowiązkowe jej wprowadzenie w krajach członkowskich dla beneficjentów wsparcia. Wydawało się to logiczne ze względu na określone cele strategiczne EZŁ oraz na to, że norma ta wprowadzała konkretne narzędzie umożliwiające zrównoważone zarządzanie nawożeniem, co powodowałoby w jakimś stopniu rzeczywistą kontrolę rozproszenia biogenów. Jednakże

na skutek negocjacji i kompromisu w Radzie ds. Rolnictwa i Rybołówstwa z dnia 21 października i głosowania w Parlamencie Europejskim (PE) z 23 października 2020 roku element ten został wykreślony z obowiązkowej warunkowości i przeniesiony do ekoschematów dobrowolnych dla rolnika. Oznacza to, że norma może, lecz nie musi być wybierana przez rolników do realizacji i pozyskiwania dopłat. Powoduje to znaczące osłabienie jej znaczenia w realizacji nowej WPR.

### **Co to jest narzędzie FaST i jaki jest postęp prac przy jego tworzeniu**

Według KE platforma usług cyfrowych FaST, wspierana przez Dyрекcję Generalną ds. Rolnictwa i Rozwoju Obszarów Wiejskich Komisji Europejskiej (DG AGRI), Dyрекcję Generalną ds. Przemysłu Obronnego i Przestrzeni Kosmicznej (DG DEFIS) oraz Dyрекcję Generalną ds. Informatyki (DG DIGIT), ma w przyszłości udostępnić rolnikom z UE nowe narzędzie wsparcia rolnictwa, środowiska i zrównoważonego rozwoju. Korzystać z niego będą również agencje płatnicze państw członkowskich, doradcy rolni, naukowcy i twórcy rozwiązań cyfrowych. Ambicją tej platformy jest, aby FaST stał się wiodącym na świecie rozwiązaniem dla zrównoważonego i konkurencyjnego rolnictwa, opierając się na danych kosmicznych (Copernicus i Galileo) oraz innych publicznych i prywatnych bazach danych. Modułowa platforma będzie wspierać rolnictwo UE i WPR, umożliwiając korzystanie z rozwiązań opartych na sztucznej inteligencji, stosowanych do rozpoznawania obrazów, a także wykorzystywać dane sektora publicznego oraz informacje generowane przez użytkowników.

Pierwsza wstępna charakterystyka narzędzia FaST znalazła się we wspomnianym wcześniej projekcie rozporządzenia PE i Rady UE z dnia 1 czerwca 2018 (16). Zaproponowano tam, aby częścią nowych wymogów podstawowych – norm dobrej kultury rolnej zgodnej z ochroną środowiska (GAEC), były plany gospodarki składnikami pokarmowymi. Projektowane narzędzie miałyby pomóc w opracowywaniu takich planów w gospodarstwach rolnych, a poszczególne państwa członkowskie miałyby je udostępniać rolnikom. Oprócz tej podstawowej funkcjonalności FaST miałyby mieć strukturę modułową i powinien umożliwić dodawanie innych funkcji zarządzania gospodarstwem oraz zbieranie danych przez agencje płatności i inne instytucje publiczne. KE deklaruje wsparcie państw członkowskich w opracowywaniu wspomnianego narzędzia, a także w świadczeniu koniecznych do jego funkcjonowania usług przechowywania i przetwarzania danych, aby zapewnić równe warunki działania dla rolników w całej UE.

W propozycji rozporządzenia, w załączniku III do przepisów dotyczących warunkowości, można odnaleźć szczegółową specyfikację, która określa minimalne wymagania, jakie powinno spełniać narzędzie FaST:

- informacje o gospodarstwie oparte na systemie identyfikacji działek rolnych oraz zintegrowanym systemie zarządzania i kontroli;
- informacje pochodzące z badań próbek gleby;

- informacje na temat właściwych praktyk zarządzania, historii upraw i celów dotyczących plonów;
- informacje dotyczące ograniczeń prawnych i wymogów w zakresie gospodarki składnikami pokarmowymi w gospodarstwie;
- kompletny bilans składników pokarmowych;
- automatyczna integracja danych z różnych źródeł: Land Parcel Identification System (LPIS), Integrated Administration and Control System (IACS), danych generowanych przez rolników, analiz gleby itp.;
- umożliwienie dwukierunkowej komunikacji między instytucjami zarządzającymi czy agencjami płatniczymi a rolnikami;
- modułowość i możliwość dalszego wspierania celów zrównoważonego rozwoju (np. zarządzanie emisjami, gospodarka wodna);
- poszanowanie unijnych zasad interoperacyjności, otwartości i ponownego wykorzystania;
- zagwarantowanie bezpieczeństwa danych i prywatności zgodnie z najlepszymi dostępnymi standardami.

W opublikowanej przez KE w listopadzie 2019 ekspertyzie „Feasibility Study for joint Space-Agriculture Solutions on Nutrient Management” (6) można odnaleźć już bardziej szczegółową strukturę narzędzia FaST, strategię jego dalszego rozwoju i wdrożenia oraz wersję demonstracyjną. Podkreślono, że narzędzie to będzie stosowane do wspomagania decyzji podejmowanych przez rolników, korzystnych dla nich ekonomicznie i wspierających równocześnie ochronę środowiska, a nie do ich kontroli przez władze. Ma ono być łatwe w obsłudze, a wsparcie dla użytkowników mają zapewnić systemy doradztwa rolniczego poszczególnych krajów członkowskich.

W ww. ekspertyzie zaproponowano następujące elementy narzędzia:

1. Informacje o gospodarstwie na podstawie LPIS i IACS – dane z systemu IACS dotyczące płatności WPR (identyfikacja, składanie i rozpatrywanie wniosków, kontrola, rejestr rolników, baza danych o zwierzętach) oraz dane z systemu LPIS (identyfikacja wszystkich działek rolnych w UE na podstawie zdjęć lotniczych lub/i satelitarnych).
2. Wyniki analiz gleby – dane zawartości NPK i pH próbek gleby pobieranych co najmniej co 4 lata lub częściej, w zależności od wymagań poszczególnych krajów, powiązane z systemem Land Use and Coverage Area frame Survey (LUCAS) i krajowymi systemami udostępniania danych przez laboratoria.
3. Najlepsze praktyki zarządzania składnikami pokarmowymi w nawożeniu – działania mające na celu utrzymanie właściwej żyzności gleby, bez nadmiernego nawożenia i dużych strat biogenów podczas transportu, przechowywania i stosowania nawozów, zgodnie z zasadą: odpowiedni nawóz, w odpowiedniej dawce, w odpowiednim czasie i w odpowiednim miejscu, z uwzględnieniem specyficznych warunków poszczególnych krajów.

4. Historia upraw – pozwala na bardziej precyzyjne zarządzanie składnikami pokarmowymi w dłuższej perspektywie czasowej, z uwzględnieniem zmianowania, resztek poźniowych i nawozów naturalnych.
5. Oczekiwane plony – realistyczne i dokładne prognozy dla poszczególnych upraw uwzględniające warunki siedliska, wskaźniki ekonomiczne i cele środowiskowe.
6. Ograniczenia i wymagania prawne – uwzględnione zostają odpowiednie warunki i ograniczenia prawne na poziomie regionalnym, krajowym i UE, w celu zachowania spójności rekomendacji z przepisami prawa.
7. Bilans składników pokarmowych – podstawa zarządzania składnikami pokarmowymi w nawożeniu na poziomie pola i gospodarstwa.

Określono też niezbędne funkcjonalności:

1. Automatyczna integracja z bazami danych – w celu zredukowania do minimum ilości danych wprowadzanych przez rolnika narzędzie będzie automatycznie pobierało dane z publicznych źródeł (LPIS, IACS, bazy danych laboratoryjnych wyników analiz gleby itp.).
2. Komunikacja między rolnikiem a agencją płatniczą – agencje płatnicze będą mogły udostępniać rolnikowi przydatne informacje, wiadomości i ostrzeżenia w aplikacji, rolnik będzie mógł przysyłać wnioski o płatność, dokumentację fotograficzną oraz zgłaszać problemy podczas realizacji zobowiązań.
3. Modułowość aplikacji – pozwala na rozszerzanie aplikacji o elementy pożądane z regionalnego i krajowego punktu widzenia oraz wynikające z nowych wymagań na poziomie UE.
4. Interoperacyjność, otwartość i ponowne wykorzystanie danych – oszczędność czasu i środków finansowych przy korzystaniu z danych publicznych w granicach ich dostępności na poziomie krajowym i UE.
5. Bezpieczeństwo danych i prywatność – zgodność z aktualnymi standardami UE – General Data Protection Regulation (GDPR) w przypadku udostępniania danych agencjom płatniczym, doradcom i instytucjom naukowym, własność i szyfrowanie danych.

Przewidziano następujące rozszerzenia aplikacji:

1. Emisje gazów cieplarnianych (GhG) – wdrażanie praktyk niskoemisyjnych w gospodarstwach w hodowli zwierząt i nawożeniu, wraz z systemem monitoringu emisji.
2. Ochrona i zarządzanie wodami – wdrażanie praktyk mających na celu zminimalizowanie strat składników pokarmowych przez wymywanie czy ograniczanie zużycia wody, a także zarządzanie systemami nawadniania.
3. Monitoring – wykorzystanie nowych technologii (odbiorniki Global Navigation Satellite System (GNSS) i Galileo, satelity European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS) i Copernicus Sentinel) w celu kontroli kryteriów kwalifikowalności.

4. Dodatkowe moduły w wyspecjalizowanych obszarach działalności rolniczej – np. przestrzeganie wymagań w rolnictwie ekologicznym, pszczelarstwie, uprawa winorośli, rejestracja zwierząt.

Co ważne, państwa członkowskie mają dużą swobodę we wprowadzaniu nowego cyfrowego narzędzia do zrównoważonego zarządzania składnikami pokarmowymi. Wiele krajów posiada już takie narzędzia i aby spełniać wymagania zawarte w przyszłym rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady ustanawiającemu przepisy dotyczące wsparcia na podstawie planów strategicznych sporządzanych przez państwa członkowskie w ramach wspólnej polityki rolnej, powinny dostosować swój system do wymagań i funkcjonalności opisanej w załączniku III. Kraje nieposiadające takiego narzędzia będą miały możliwość stworzenia własnego narzędzia zgodnego z wymaganiami lub wykorzystania aplikacji FaST po wcześniejszym dostosowaniu go do warunków krajowych.

Od strony technicznej zaproponowano wysoki poziom modułowości w celu umożliwienia państwom członkowskim zarówno rozszerzania funkcjonalności według własnych potrzeb, jak i opcjonalnego przyjmowania tylko części rozwiązań i integracje z własnymi istniejącymi usługami. Ogólna architektura rozwiązania oparta jest na środowisku „chmurowym”, a funkcjonalności są podzielone na małe jednostki mikroservisowe, aby przyspieszyć działanie, uruchamiając tylko niezbędne w danym momencie elementy.

W zakresie wdrożenia narzędzia przewidziano trzy opcje:

1. Wspólna platforma FaST, uruchomiona na wielu chmurach, tworząca wspólne źródło danych pozwalających na zarządzanie składnikami pokarmowymi, praktykami środowiskowymi, statystykami oraz systemami wspomagania decyzji. System byłby zarządzany centralnie przez UE. Niektóre moduły mogłyby być nadal zlokalizowane dla każdego kraju (np. uwierzytelnianie, serwis pogodowy itp.). Koszt dla pierwszego roku wprowadzania platformy dla UE szacowany jest na 9 mln EUR przeznaczonych na rozwój i uruchomienie oraz od 0,25 do 1 mln EUR dla państw członkowskich na dostosowanie platformy do własnych potrzeb.
2. Oddzielne platformy FaST, wdrożone w każdym państwie członkowskim. Umożliwiłoby to poszczególnym krajom korzystanie z platformy FaST, po umieszczeniu jej we własnej infrastrukturze chmurowej. Państwo członkowskie byłoby całkowicie autonomiczne w zakresie rozmieszczenia i eksploatacji swojej platformy. Szacowany koszt to 5 mln EUR w pierwszym roku funkcjonowania dla każdego z państw członkowskich.
3. Wariant hybrydowy, polegający na wdrożeniu wspólnej platformy FaST dostępnej dla państw członkowskich, które mogłyby wybrać potrzebne dla siebie funkcjonalności, a pozostałe elementy opracować we własnym zakresie i pozycjonować je we własnej infrastrukturze informatycznej lub działać całkowicie niezależnie, rozwijając własne rozwiązania.

Opracowany w ramach tej ekspertyzy prototyp systemu FaST został wdrożony na platformie chmurowej Sobloo DIAS. Dane testowe pozyskano z hiszpańskiego regionu Kastylii i León oraz wybranych regionów Francji. Utworzono aplikację internetową, jak również aplikację na urządzenia mobilne wraz z zapleczem pozwalającym na podstawową funkcjonalność. Wersja demonstracyjna aplikacji jest dostępna pod adresem: <https://www.figma.com/proto/WYUoKmrXS5ahE8VkJGomwms8X/Farmer-app?node-id=870%3A48513&scaling=scale-down>, natomiast kod źródłowy pod adresem: <https://github.com/PwC-FaST>. Kontynuując prace rozpoczęte w ekspertyzie (6), w styczniu 2020 rozpoczęto realizację projektu FaST– EU Space Data for Sustainable Farming z udziałem w fazie 1. agencji płatniczych z regionów Kastylii i León, Andaluzja (Hiszpania), Piemont (Włochy) oraz Estonii, których rolą jest testowe zaimplementowanie platformy w warunkach rzeczywistych, przez wybranych rolników. Współpraca zespołu odpowiedzialnego za techniczną stronę systemu z niewielką grupą interesariuszy pozwoli na uwzględnienie ich uwag i przygotowanie wysokiej jakości prototypu do dalszej, rozszerzonej fazy testów i późniejszej implementacji. W sierpniu 2020 r. opublikowano pierwszą wersję testową aplikacji v0.1, przeznaczoną na urządzenia mobilne, a w marcu 2021 r. rozpoczęto testy wersji v1.0. Od czerwca 2021 r. grupa testowa została powiększona w fazie 2. o agencje płatnicze z Walonii (Belgia), Bułgarii, Grecji, Rumunii i Słowacji. Zakończenie etapu drugiego projektu FaST jest przewidywane na maj 2022 r.

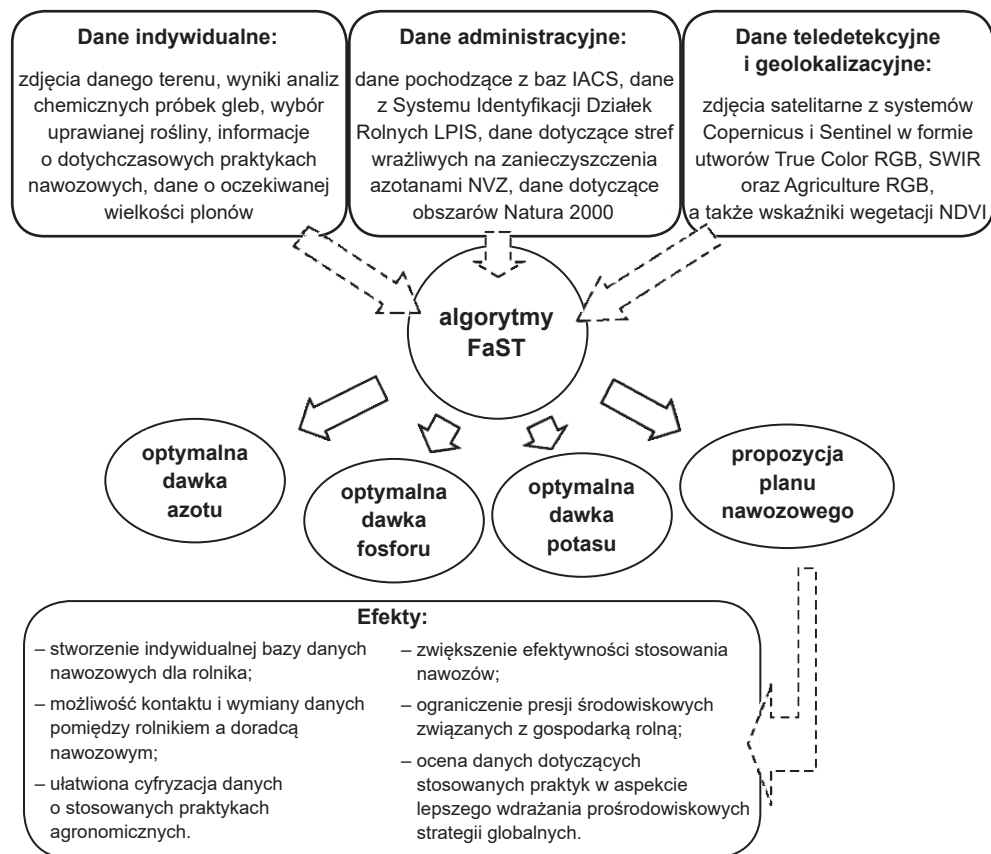
Aktualna koncepcja systemu składa się z 3 głównych elementów:

1. Aplikacja mobilna dostępna w sklepach z aplikacjami na systemy Apple/iOS i Google/Android;
2. Infrastruktura chmury wdrożona na jednym lub wielu Data and Information Access Services (DIAS) w systemie Copernicus;
3. Usługi działające w infrastrukturze systemu, odizolowane w regionalnych przestrzeniach ze względów bezpieczeństwa.

Aplikacja mobilna jest funkcjonalnie taka sama dla systemów iOS i Android, dla różnych regionów i państw. Oczywiście aplikacja otrzymuje inną konfigurację w zależności od kraju, który jest wybierany przez użytkownika podczas logowania. Infrastruktura chmury to pula maszyn i zasobów działających w architekturze sobloo DIAS, która jest wspólna dla wszystkich regionów. Silnik systemu jest zainstalowany w tej infrastrukturze, aby zapewnić zgodność z usługami uruchamianymi w razie potrzeby, a podstawowe moduły są jednolite dla wszystkich regionów. Usługi wdrażane są w oddzielnych przestrzeniach, w ramach infrastruktury. Dzięki temu silne zasady sieci zapobiegające wyciekom między „regionami” mogą być domyślnie implementowane w całej infrastrukturze. Dla każdego regionu/obszaru usługi są wdrażane w następującej kolejności: wszystkie podstawowe usługi, usługi niestandardowe, specyficzne dla tego regionu, dodatki wybrane dla konkretnego regionu.

Głównym elementem aplikacji pozostaje plan nawożenia, a projekt ma na celu, między innymi, zastosowanie i przetestowanie optymalnych algorytmów obliczających w sposób wiarygodny wielkości dawek nawozów, na podstawie których sporządza-

ny jest bilans składników pokarmowych. Algorytmy powinny uwzględniać przede wszystkim bazy danych (gleby, wody obszarów wrażliwych na zanieczyszczenie wód azotanami pochodzenia rolniczego (NVZ), obszary Natura 2000, przepisy dotyczące nawożenia w poszczególnych krajach, rośliny uprawne, agrotechnika, stosowane nawozy) zawarte w aplikacji i aktualizowane w ramach komunikacji z chmurą, z opcją wprowadzania przez rolnika własnych danych, jak również dane pogodowe. Schemat konwersji danych przedstawiono na rysunku 1.



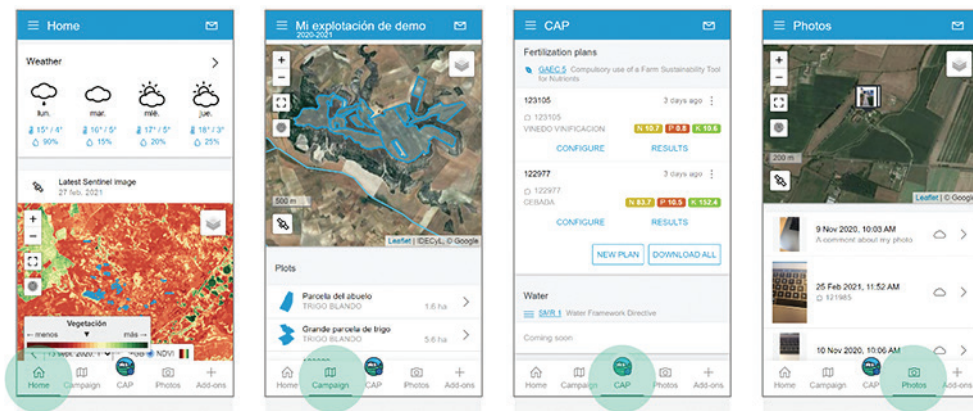
Rys.1. Konwersja danych w aplikacji FaST

Źródło: opracowanie własne na podstawie (7)

Interfejs aplikacji umożliwia płynne przejścia pomiędzy wybranymi funkcjonalnościami aplikacji, m.in.: prognozą pogody ekstrapolowaną w odniesieniu do wybranej lokalizacji, obserwacjami zdjęć satelitarnych wskaźników Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) danego obszaru pochodzących z satelity Sentinel, geolokalizacją obszarów zapisanych przez użytkownika, przeglądaniem umieszczonych w aplikacji danych dotyczących analizowanych obszarów oraz tworzeniem specyficz-

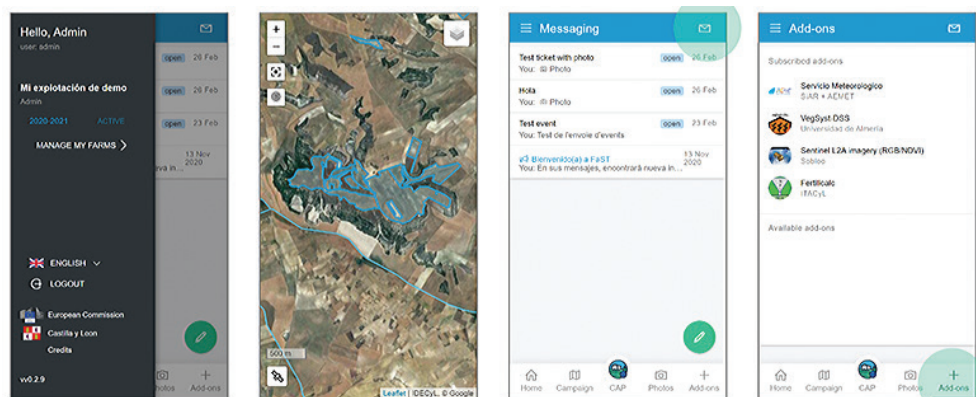


nych dla danych warunków propozycji planów nawozowych. Część funkcjonalności aplikacji przedstawiają rysunki 2 oraz 2a.



Rys. 2. Przykładowe funkcjonalności aplikacji mobilnej FaST, od lewej: dane pogodowe, zdjęcia satelitarne NDVI; zdjęcia lotnicze i dane poszczególnych działek; plan nawożenia

Źródło: opracowanie własne na podstawie (7)



Rys. 2a. Przykładowe funkcjonalności aplikacji mobilnej FaST, od lewej: synchronizacja danych gospodarstwa z systemem IACS; zdjęcia lotnicze – wybór warstw; komunikacja z agencją płatniczą; dodawanie i usuwanie dodatkowych usług

Źródło: opracowanie własne na podstawie (7)

Proces wprowadzania danych do aplikacji jest kilkuetapowy i wygląda następująco:

1. Wybór działki/terenu, na której/którym planowane jest wykorzystanie narzędzia FaST.
2. Automatyczne lub manualne wprowadzenie informacji geolokalizacyjnych.
3. Opcjonalne umieszczenie własnych zdjęć danego obszaru.
4. Wybór, czy plan nawozowy ma dotyczyć wybranego pola, czy grupy pól o zróżnicowanych parametrach.

5. Wybór gatunku rośliny uprawnej z uwzględnieniem jej odmiany.
6. Wprowadzenie informacji dotyczącej zastosowanego systemu nawadniania.
7. Wybór wielkości oczekiwanego plonu.
8. Wprowadzenie informacji dotyczących uprzednio prowadzonej gospodarki rolnej (podanie informacji odnoszących się do uprawianych roślin i wielkości uzyskiwanych plonów).
9. Dodanie informacji, czy w poprzednich latach plony uboczne roślin były zbierane z pola czy przyorywane po zbiorach.
10. Opcjonalne wprowadzenie informacji dotyczących parametrów fizycznych i fizykochemicznych gleb na danym terenie (skład granulometryczny, zawartość materii organicznej, zawartość makroelementów).
11. Wybór planowanej strategii gospodarki nawozowej (strategia efektywna – minimalizacja wykorzystania nawozów; strategia zachowawczej intensyfikacji – nawożenie zrównoważone; strategia intensyfikacji produkcji – maksymalizacja plonowania).

Oparcie planu nawożenia wyłącznie na podstawie danych domyślnych nie spowoduje wadliwej pracy aplikacji, jednakże w znacznym stopniu może przyczynić się do zmniejszenia dokładności proponowanego planu nawozowego. Plany nawozowe proponowane przez platformę są zapisywane w urządzeniu obsługującym aplikację wraz z synchronizacją w chmurze (5, 9).

Na tym etapie aplikacja FaST v 1.0 przy sporządzaniu planów nawozowych korzysta z gotowych algorytmów opracowanych wcześniej podczas realizacji innych projektów w wybranych państwach członkowskich: ARC (Agricultural Research Center, Estonia), Fertilcalc (University of Cordoba, Hiszpania, <http://www.uco.es/fitotecnia/fertilcalc.html>), VegSyst (University of Almeria, Hiszpania, <https://w3.ual.es/GruposInv/nitrogeno/VegSyst-DSS.shtml>), Visione (Piemonte University, Włochy). Zgodnie z założeniami projektu FaST– EU Space Data for Sustainable Farming obowiązkiem agencji płatniczej uczestniczącego państwa członkowskiego jest dostarczenie algorytmu do obliczania dawek nawozów, odpowiedniego dla warunków lokalnych lub skorzystania z rozwiązań opracowanych i przetestowanych w ramach projektu.

W 2020 roku KE zleciła wykonanie ekspertyzy pod tytułem „Study for the development of a common framework for the quantitative advice of crop nutrient requirements and greenhouse gas emissions and removal assessment at farm level”. Do jej wykonania przystąpiło konsorcjum składające się z przedsiębiorstw i instytucji naukowych (Hiszpania: AgriSat Iberia s.l. Instituto Técnico Provincial de Albacete – ITAP, Universidad Castilla-La Mancha – UCLM, Tecnologías e Infraestructuras Agroalimentarias – INTIA; Włochy: Council for Agricultural Research and Economics – CREA, Ariespaces.r.l.; Niemcy: Institute for Energy and Environmental Research – IFEU; Francja: Institut National de Recherche pour l’agriculture, l’alimentation et l’Environnement – INRAE; Polska: Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy – IUNG-PIB). Głównym celem projektu jest opraco-

wanie kompleksowych ram metodologicznych, które będą zastosowane do obliczania planu nawozowego, bilansu składników pokarmowych, oceny emisji i wiązania GhG oraz analizy ekonomicznej gospodarstwa. Opracowane rozwiązanie będzie docelowo zaimplementowane w systemie FaST i proponowane krajom członkowskim jako rozwiązanie optymalne i odpowiednie dla całego obszaru UE.

Po przeprowadzeniu kompleksowego przeglądu istniejących modeli opracowanych podczas realizacji innych projektów na obszarze UE, dokonano ich oceny na podstawie symulacji i testów oraz określono koncepcje 5 linii pracy narzędzia, gdzie w zależności od precyzji i dostępności danych użytkownik będzie mógł otrzymać wyniki na różnym poziomie dokładności. Cele użytkownika i dostępność danych zdefiniują linie narzędzia FaST Navigator Tool, od modelu najbardziej złożonego L1 (dane pomiarowe) do najprostszego L4 (parametry domyślne), po modele ilościowe (L2) i jakościowe (L3). Linia L5 będzie służyć do dodatkowych obliczeń w strefach NVZ (ang. *Nitrate Vulnerable Zones* – strefy wrażliwe na azotany). Ramy metodologiczne proponowane dla określenia wymagań pokarmowych i potrzeb nawozowych roślin wprowadzają 3 tryby oceny w zależności od fazy monitorowania upraw: przed, w trakcie i po sezonie wegetacyjnym. Do obliczeń wykorzystano modele: NC (Nitrogen Calculator Web Application) <https://www.carm.es/chac/calculnitro/> – obliczenia dawek nawozów azotowych w NVZ, AGROasesor <https://www.agroasesor.es/en/> – kompletna platforma wspomagania decyzji w produkcji roślinnej, STICS (Simulateur multIdisciplinaire pour les Cultures Standard, lub multidisciplinary simulator for standard crops) [https://www6.paca.inrae.fr/stics\\_eng](https://www6.paca.inrae.fr/stics_eng), – model porównawczy, używany do parametryzacji innych modeli (3), FATIMA <http://fatima-h2020.eu/> – model zawierający komponenty nawożenia, nawadniania, analizę ekonomiczną, rolnictwa precyzyjnego, działający w skali od pojedynczych działek po zlewnie, PAS (Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture) – model obliczający dawki i bilans NPK, S, Ca, Mg, planowanie nawożenia na podstawie bazy nawozów, wraz z regulacją pH gleby (25), rozszerzony model Fertilicalc <http://www.uco.es/fitotecnia/fertilicalc.html> – różne strategie nawożenia (maksymalny plon, nawożenie zrównoważone, utrzymanie minimalnej zasobności gleby), DSSAT <https://dssat.net/> – oprogramowanie, które zawiera modele symulacyjne upraw.

Narzędzie obejmuje też programy do zarządzania bazami danych dla gleby, pogody i upraw oraz danymi eksperymentalnymi, narzędziami i programami aplikacyjnymi do sterowania maszynami rolniczymi. Modele symulują wzrost, rozwój i plony roślin jako funkcję dynamiki gleba-roślina-atmosfera. Ramy metodologiczne proponowane do oceny emisji i pochłaniania GhG integrują trzy różne moduły: produkcji roślinnej, produkcji zwierzęcej oraz elementów naturalnych i sposobu użytkowania gruntów (w tym lasów). Wykorzystano tu modele IPCC Tier 1 i 2 oraz model Stehfest & Bouwman (21). Ocena efektywności ekonomicznej gospodarstwa będzie oparta na danych Farm Accountancy Data Network (FADN) i modelu FATIMA. Kluczowym elementem opracowywanej ekspertyzy jest proces parametryzacji polegający na testowaniu aplikacji FaST Navigator w warunkach rzeczywistych, w różnych lokalizacjach, w poszczególnych krajach UE. Do testów wybrano 11 lokalizacji z obszarów

o klimacie kontynentalnym (Polska, Niemcy, Austria) i śródziemnomorskim (Hiszpania, Włochy, południowa Francja) Europy. Parametryzacja ma za zadanie zweryfikować dopasowanie wybranych modeli do większości europejskich upraw, lokalizacji i agrotechniki. Po pomyślnie zakończonych testach, implementacja modeli do aplikacji FaST będzie przeprowadzona w projekcie FaST – EU Space Data for Sustainable Farming, którego zakończenie jest przewidywane w 2023 roku.

### **Kalkulator nawozów naturalnych Manure Standards**

Wiarygodne informacje na temat zawartości składników odżywczych zawartych w nawozach naturalnych są niezbędne do opracowania kompleksowego planu zarządzania tymi nawozami w gospodarstwie. Celem poprawnego zarządzania nawozami naturalnymi jest wzrost efektywności wykorzystania zawartych w nich składników pokarmowych przez rośliny uprawne oraz zminimalizowanie ryzyka ich wymywania do wód glebowo-gruntowych. W planowaniu nawożenia w gospodarstwach ukierunkowanych na produkcję zwierzęcą konieczne jest oszacowanie ilości składników pokarmowych znajdujących się w nawozach naturalnych wytworzonych w gospodarstwie oraz właściwe rozdysponowanie tych nawozów na poszczególne pola. Konieczne jest również zaplanowanie miejsc do przechowywania nawozów naturalnych. Aby spełnić wymagania określone w ustawodawstwie krajowym, muszą mieć odpowiednią pojemność, co zapewni bezpieczne składowanie nawozów oraz pozwoli na ich aplikację w okresach, w których uprawy mogą w jak największym stopniu przyswoić dostępne w nich składniki pokarmowe (14).


Standardowe zawartości składników pokarmowych w nawozach naturalnych (często określane jako wartości tabelaryczne) są dostępne na poziomie krajowym i mogą być wykorzystywane do planowania nawożenia. Jednak właściwości chemiczne i fizyczne nawozów naturalnych różnią się znacznie w poszczególnych gospodarstwach, w zależności m.in. od systemu żywienia i utrzymania zwierząt oraz sposobu zarządzania nawozami. Co więcej, właściwości nawozów naturalnych są specyficzne dla gospodarstwa i mogą znacząco odbiegać od uogólnionych wartości tabelarycznych. Dokładne dane dotyczące nawozu naturalnego wytwarzanego w konkretnym gospodarstwie można uzyskać poprzez wykonanie analizy chemicznej tegoż nawozu lub alternatywnie, wykorzystując kalkulatory oparte na obliczaniu bilansu masy obornika (14).

Ponieważ nawozy naturalne nie są jednorodne, odpowiednia metoda pobierania próbek ma kluczowe znaczenie dla uzyskania reprezentatywnej próbki do analizy. Przy pobieraniu próbek nawozów naturalnych należy stosować zasadę, że im większy magazyn obornika, tym więcej próbek z różnych miejsc przyzmy/zbiornika należy pobrać. Próbkę można pobrać z miejsca składowania lub z kilku załadunków podczas stosowania. Metoda ta zapewnia dokładność, jest jednak czasochłonna i nie dostarcza danych do zastosowania w trakcie pobierania próbek i aplikacji nawozów naturalnych. Wyniki analiz mogą być jednak wykorzystywane do obliczeń uzupełniających ilości składników pokarmowych wnoszonych w nawozach mineralnych. Alternat-

tywnie do określenia ilości produkowanych w gospodarstwie nawozów naturalnych i ich jakości można wykorzystać obliczenia oparte na bilansie masy tych nawozów na każdym etapie ich „produkcji”, od technologii żywienia zwierząt (skład i ilość pokarmu, pobieranie paszy oraz wydalanie kału i moczu) – „nawóz od zwierzęcia” (*ex animal*), poprzez uwzględnienie praktyk zarządzania nawozami w budynku inwentarskim związanych z utrzymaniem zwierząt – „nawóz z budynku” (*ex housing*), a skończywszy na praktykach związanych z przechowywaniem nawozu – „nawóz z miejsca składowania” (*ex storage*). Dokładność tych szacunków uzależniona jest jednak od wiarygodności danych wejściowych (11, 14).

Przykładem kalkulatora opartego na bilansie masy nawozów jest arkusz MS Excel – „Calculation tool for manure properties at farm level” stworzony w ramach projektu „MANURE STANDARDS – Nowe standardy zawartości biogenów w nawozach naturalnych środkiem zrównoważonego zarządzania składnikami nawozowymi”. Był to flagowy projekt Strategii UE dla regionu Morza Bałtyckiego (SUE RMB) w ramach programu Interreg Baltic Sea Region, realizowany w latach 2017–2019. Brały w nim udział wszystkie państwa nadbałtyckie. Oficjalna strona projektu: <https://www.luke.fi/manurestandards/en/frontpage/>. Ze strony Polski w projekcie uczestniczyli IUNG-PIB w Puławach oraz CDR Brwinów, Oddział w Radomiu.

Kalkulator nawozów naturalnych Manure Standards jest narzędziem umożliwiającym oszacowanie wielkości produkcji nawozów naturalnych w gospodarstwie oraz ocenę ich jakości na podstawie danych dotyczących technologii żywienia, utrzymania zwierząt i sposobu przechowania nawozów. Sposób obliczania ilości i ocena jakości nawozów naturalnych pochodzących bezpośrednio od zwierząt (*ex-animal*) oparte są na duńskim systemie normatywnym (Normtal). Użytkownik może jednak dodać szczegółowe informacje na temat systemu utrzymania zwierząt oraz modyfikować dane odnośnie ilości i rodzaju stosowanej ściółki, zużycia wody technologicznej czy współczynników emisji odpowiednich dla danego kraju. Kalkulator uwzględnia trzy główne grupy zwierząt gospodarskich: bydło, trzoda chlewna i drób, z podziałem na grupy technologiczne i system żywienia (rys. 3 i 4) (11, 14).

| <b>Ex-animal</b>           |  |                        |
|----------------------------|--|------------------------|
| Feedin cattle (TMR)        | <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center;">  </div> <p style="color: #bdc222; font-weight: bold; margin-top: 10px;">Manure Standards</p> | Feeds                  |
| Feedin cattle (AFC)        |  | Technology             |
| Feedin pigs (Intensive)    |  | Additional information |
| Feedin pigs (AFC)          |  |                        |
| Feedin poultry (Intensive) |  |                        |
| Feedin poultry (AFC)       |  |                        |

Rys. 3. Panel wyboru systemu żywienia i wprowadzania dodatkowych informacji w kalkulatorze nawozów naturalnych Manure Standards

Źródło: opracowanie własne na podstawie (11)

|  |
|--|
| <b>Cattle</b>  |
| Dairy cows   |
| Heifers (6 months to calving). Available also in subgroups, if necessary.          |
| Beef cattle (6 months to slaughtering). Available also in subgroups, if necessary. |
| Cow calves (0 to max 6 months)   |
| Bull calves (0 to max 6 months)  |
| Suckler cows   |
| <b>Pigs</b>  |
| Fattening pigs. Available also in subgroups, if necessary.                         |
| Weaners  |
| Sows   |
| <b>Poultry</b>   |
| Laying hens  |
| Broilers   |
| Young birds  |

Rys. 4. Grupy technologiczne zwierząt dostępne w kalkulatorze nawozów naturalnych Manure Standards

Źródło: opracowanie własne na podstawie (11)

Jak wspomiano wcześniej, narzędzie Manure Standards oblicza ilość i skład nawozów naturalnych na trzech etapach zarządzania nimi:

1. **Nawozy naturalne od zwierzęcia (*ex animal*)** – określa udział paszy (bilans masy), która trafia do wydalanego kału i moczu, po uwzględnieniu pobrania przez zwierzę paszy potrzebnej do wzrostu, reprodukcji i wielkości produkcji, tj. mleka, mięsa i jaj (rys. 5). Na tym etapie użytkownik musi zdefiniować bazę paszową (rys. 6) oraz zużycie paszy przez stado, przy czym ma możliwość wybrania systemu żywienia zwierząt: TMR – dawki pełnoporcjowe (w przypadku posiadania informacji dla wszystkich grup zwierząt) lub AFC – roczne zużycie paszy przez stado (w przypadku niepełnych informacji odnoszących się do wszystkich grup technologicznych) (rys. 7).

|                   |                                 |                      |   |                      |   |
|-------------------|---------------------------------|----------------------|---|----------------------|---|
| <b>Dairy cows</b> | <i>Animal number, year cows</i> | 100                  |   |                      |   |
|                   | <i>Milk yield, kg/year</i>      | 10000                |   |                      |   |
|                   | <i>Milk protein, %</i>          | 3,2                  |   |                      |   |
|                   | <i>Average weight, kg</i>       | 600                  |   |                      |   |
|                   | <i>Mature weight, kg</i>        | 640                  |   |                      |   |
|                   | <i>Grazing</i>                  | <i>Days per year</i> | 0 | <i>Hours per day</i> | 0 |

Rys. 5. Przykład wprowadzania danych odnoszących się do wielkości produkcji stada

Źródło: opracowanie własne na podstawie (11)

| Feed | Dry matter |         | Digestibility |   | Ash  |      |         |         | Crude protein |      |         |         | P    |      |         |         | K    |      |         |         |
|------|------------|---------|---------------|---|------|------|---------|---------|---------------|------|---------|---------|------|------|---------|---------|------|------|---------|---------|
|      | %          | g/kg FM | %             | % | % DM | % FM | g/kg FM | g/kg DM | % DM          | % FM | g/kg FM | g/kg DM | % DM | % FM | g/kg FM | g/kg DM | % DM | % FM | g/kg FM | g/kg DM |

Rys. 6. Tabela do przygotowania bazy paszowej

Źródło: opracowanie własne na podstawie (11)

| Feed              | Quantity | DM     | DM digestibility | CP     | P    | K     |
|-------------------|----------|--------|------------------|--------|------|-------|
|                   | t/year   |        | %                | t/year |      |       |
| Silage 2 (medium) | 4000     | 1200,0 | 51,8             | 109,20 | 2,40 | 19,20 |
| Hey               | 2000     | 1660,0 | 55,7             | 132,80 | 3,82 | 29,88 |
| Barley            | 1000     | 860,0  | 81,8             | 118,68 | 4,30 | 4,73  |
|                   |          |        |                  |        |      |       |

Rys. 7. Przykład składu i rocznego zużycia paszy przez stado

Źródło: opracowanie własne na podstawie (11)

2. **Nawozy naturalne z budynku (*ex housing*)** – jest to bilans masy wydalanego kału i moczu (*ex animal*), zależnie od technologii utrzymania, z uwzględnieniem dodatków (ściółka, woda) (rys. 8) oraz ich strat (sucha masa, woda, związki gazowe).

| Bedding       |         |      |     |      |
|---------------|---------|------|-----|------|
| Type          | DM      | N    | P   | K    |
|               | g/kg DM |      |     |      |
| Straw         | 85,0    | 5,0  | 0,7 | 15,0 |
| Peat          | 65,0    | 20,0 | 1,1 | 8,0  |
| Wood shavings | 61,0    | 1,1  | 0,1 | 1,1  |
| Sawdust       | 61,0    | 1,1  | 0,1 | 1,1  |
|               |         |      |     |      |

Rys. 8. Przykład standardowych zawartości składników mineralnych w ściółce, które mogą być modyfikowane przez użytkownika

Źródło: opracowanie własne na podstawie (11)

3. **Nawozy naturalne z miejsca składowania (*ex storage*)** – to bilans masy nawozu z budynku uwzględniający warunki przechowywania (powierzchnia, pokrycie) i warunki klimatyczne panujące w gospodarstwie (opady, parowanie, straty gazowe) (rys. 9).

| Emission factors ex-storage |                                       |      |                        |     |                         |     |                 |       |                    |       |                            |       | Ex-housing |   |   |                            |       |      |
|-----------------------------|---------------------------------------|------|------------------------|-----|-------------------------|-----|-----------------|-------|--------------------|-------|----------------------------|-------|------------|---|---|----------------------------|-------|------|
| Animal species              | Manure storage type                   | Code | NH <sub>3</sub> -N     |     |                         |     | Denitrification |       | N <sub>2</sub> O-N |       | NH <sub>4</sub> -N/total N |       | Leaching   |   |   | NH <sub>4</sub> -N/total N |       |      |
|                             |                                       |      | Faeces                 |     | Urine                   |     | Faeces          | Urine | Faeces             | Urine | Faeces                     | Urine | N          | P | K | Faeces                     | Urine |      |
|                             |                                       |      | Cover type             | SM  | Cover type              | LM  |                 |       |                    |       |                            |       |            |   |   |                            |       |      |
|                             |                                       |      | Storage roofed         | 5,0 | Storage roofed          | 2,2 |                 |       |                    |       |                            |       |            |   |   |                            |       |      |
|                             |                                       |      | Storage, natural cover |     | Storage, floating cover |     |                 |       |                    |       |                            |       |            |   |   |                            |       |      |
|                             |                                       |      | Heap, natural crust    |     | Storage, natural crust  |     |                 |       |                    |       |                            |       |            |   |   |                            |       |      |
|                             |                                       |      |                        |     |                         |     |                 |       |                    |       |                            |       |            |   |   |                            |       |      |
|                             | Solid manure (SM), liquid manure (LM) | 1    |                        |     |                         |     | 5,0             |       | 2,0                | 0,10  | 0,25                       | 0,90  |            |   |   |                            | 0,25  | 0,90 |

Rys. 9. Standardowe wartości emisji w trakcie składowania dla obornika i gnojówki z obory płytkiej

Źródło: opracowanie własne na podstawie (11)

Dokładność obliczeń wielkości produkcji i składu nawozów naturalnych uzyskiwana przy użyciu „Kalkulatora nawozów naturalnych Manure Standards” w dużej

mierze zależy od dokładności danych odnoszących się do technologii żywienia i utrzymania zwierząt oraz warunków przechowywania nawozów. Dlatego też kalkulator ten jest przeznaczony głównie dla dużych producentów rolnych lub doradców, którzy dysponują dokładnymi planami żywieniowymi wyznaczonymi dla poszczególnych grup technologicznych zwierząt, a informacje na temat technologii utrzymania zwierząt i składowania nawozów są w stanie dość łatwo uzupełnić. Kalkulator jest dostępny do pobrania pod adresem: [http://tek.emu.ee/userfiles/yksused/tek/taastuenergia\\_keskus/manure\\_standards/outputs/final/Calculation%20tool%20for%20manure%20properties%20at%20farm%20level.zip](http://tek.emu.ee/userfiles/yksused/tek/taastuenergia_keskus/manure_standards/outputs/final/Calculation%20tool%20for%20manure%20properties%20at%20farm%20level.zip), a instrukcja: [http://tek.emu.ee/userfiles/yksused/tek/taastuenergia\\_keskus/manure\\_standards/outputs/final/Manure%20Standards%20Calculation%20tool%20instructions\\_ENG.pdf](http://tek.emu.ee/userfiles/yksused/tek/taastuenergia_keskus/manure_standards/outputs/final/Manure%20Standards%20Calculation%20tool%20instructions_ENG.pdf).

### **InterNAW – Interaktywny system wspierania decyzji agrochemicznych**

Niezależnie od prowadzonych w UE prac nad narzędziem FaST w Polsce został opracowany nowy system komputerowego doradztwa nawozowego o nazwie InterNAW. Program opracowano w ramach projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach GOSPOSTRATEG, realizowanego przez konsorcjum w składzie: Krajowa Stacja Chemiczno-Rolnicza, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy oraz Instytut Technologiczno-Przyrodniczy – Państwowy Instytut Badawczy. Program umożliwia opracowanie planu nawożenia podstawowymi makroskładnikami: azotem, fosforem, potasem i magnezem oraz wapnowania gleby. Sposób obliczania dawek nawozów azotowych został ściśle dostosowany do wymagań i założeń „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu” (tzw. programu azotanowego) (17). Gospodarstwa, których nie dotyczy obowiązek planowania nawożenia azotem mogą korzystać z opcji „Maksymalna dawka azotu”. W programie przewidziano możliwość prowadzenia ewidencji zabiegów nawożenia zgodnie z wymogami programu azotanowego. Dawki nawozów fosforowych, potasowych i magnezowych obliczane są na podstawie bilansu tych składników pokarmowych z uwzględnieniem ich zawartości w glebie. Program wykorzystuje do obliczeń również wyniki analiz gleby wykonanych metodami „klasycznymi”: Egner-Riehm (P i K), Schachtschabel (Mg) i wyciąg HCL dla mikroelementów lub metodą Mehlich 3 wdrożoną w ostatnich latach w okręgowych stacjach chemiczno-rolniczych. Zgodnie z tą metodą ekstrakcja fosforu, potasu i magnezu oraz mikroelementów prowadzona jest za pomocą tego samego ekstrahenta. Proces analityczny jest dzięki temu łatwiejszy, szybszy i tańszy. Oczekuje się zatem wzrostu zainteresowania producentów rolnych badaniami gleby. Po obliczeniu dawek nawozów program umożliwia określenie salda składników pokarmowych NPKMg w skali pola metodą „na powierzchni gleby”, z uwzględnieniem dawek nawozów organicznych i mineralnych wynikających z planu nawożenia. Na podstawie wartości salda PKMg program wyznacza kierunek zmian (wzrost/spadek) zawartości tych



składników w glebie. Odrębny moduł programu umożliwi określenie dawek nawozów wapniowych na glebach kwaśnych według nowego systemu doradztwa w zakresie wapnowania. System InterNAW obejmuje także moduł nawożenia mikroelementami według nowo opracowanych zaleceń w tym zakresie. Interfejs programu InterNAW przedstawiają rysunki 10–12.



Rys. 10. Menu systemu InterNAW

Źródło: opracowanie własne na podstawie materiałów niepublikowanych

InterNAW mobil 1.118 - 2021

## Plan nawożenia azotem

| Data       | Nr działki | Nr pola | Powierz. | Gatunek rośliny | Prog. plon |
|------------|------------|---------|----------|-----------------|------------|
| 2021-04-28 | 1          | 1       | 1,00     | Burak cukrowy   | 70,00      |

Razem w gosp. Dawka N nawoz. mineral.  kg/ha  kg/pow.

Nr działki / nr pola  1  1

Gatunek rośliny  Burak cukrowy

Prognozowany plon  70 t/ha Powierzchnia  1 ha

Nawozy naturalne / organiczne

|                               |                                |                                     |
|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| Rodzaj nawozu 1               | Obornik z głębokiej            | Bydło / Krowy mleczne >8 tys. l/rok |
| Dawka / termin                | <input type="text"/> 30 t/ha   | <input type="text"/> wiosna         |
| Rodzaj nawozu 2               | <input type="text"/>           | <input type="text"/>                |
| Dawka / termin                | <input type="text"/> t/ha      | <input type="text"/>                |
| Suma N w nawozach naturalnych | <input type="text"/> 111 Kg/ha |                                     |

Nawóz organiczny  t/ha

Dawka N w nawoz. mineralnych

233 kg/ha Dawka I  163 II  70 III  0 kg/ha

233 kg/pow.

Oblicz

Wydruk

obliczenia

Email

Rys. 11. Plan nawożenia azotem wg InterNAW

Źródło: opracowanie własne na podstawie materiałów niepublikowanych

InterNAW mobil 1.118 - 2021

## Bilans N P K Mg

| Data       | Nr działki | Nr pola | Pow. | Gatunek rośliny |
|------------|------------|---------|------|-----------------|
| 2021-04-28 | 1          | 1       | 1,00 | Burak cukrowy   |

Oblicz  
Wydruk

**Ilość składników w nawozach mineralnych kg/ha** INPUT

N 233 P2O5 97 K2O 455 Mg 65

**W nawozach naturalnych kg/ha**

N 111 P2O5 78 K2O 114 Mg 57

**W nawozach organicznych kg/ha**

N 0 P2O5 0 K2O 0 Mg 0

**Azot związany symbiotycznie kg/ha**

N 0 Gatunek rośliny Burak cukrowy

**Pobranie z plonem kg/ha** OUTPUT

N 245 P2O5 112 K2O 455 Mg 77

**Różnica bilansowa kg/ha** BILANS

N 99 P2O5 63 K2O 114 Mg 45

**Oczekiwany przyrost zawartości w glebie** PRZYROST

|        |      |              |
|--------|------|--------------|
| Fosfor | 0,69 | mg P2O5/100g |
| Potas  | 0,91 | mg K2O/100g  |
| Magnez | 0,34 | mg Mg/100g   |

Rys. 12. Bilans składników pokarmowych w skali pola

Źródło: opracowanie własne na podstawie materiałów niepublikowanych

Doradztwo mikroelementowe, jak i nowe zalecenia w zakresie wapnowania zostały omówione w odrębnych pracach niniejszego zeszytu Studia i Raporty IUNG-PIB. Na podstawie planów nawożenia dla poszczególnych pól wyliczane jest całkowite

zapotrzebowanie na składniki nawozowe w skali całego gospodarstwa. Z wykorzystaniem modułu „Dobór nawozów” rolnik może sporządzić listę zakupu określonych form nawozów, uwzględniając ich skład chemiczny.

Dane o gospodarstwie i poszczególnych polach uprawnych są archiwizowane oraz przechowywane do dalszego wykorzystania, z zachowaniem obowiązujących przepisów o ochronie danych osobowych. Dostęp do danych posiada wyłącznie osoba zarejestrowana w systemie (właściciel gospodarstwa).

InterNAW jest programem doradztwa dla upraw polowych roślin rolniczych na gruntach ornych i dla użytków zielonych. Korzystanie z programu będzie bezpłatne po zarejestrowaniu się w systemie poprzez stronę internetową Krajowej Stacji Chemiczno-Rolniczej. Program jest dostosowany do pracy na komputerach stacjonarnych, jak i na urządzeniach mobilnych (telefon komórkowy, tablet). Rolnicy, którzy korzystają z usług okręgowych stacji chemiczno-rolniczych w zakresie analizy gleby będą mieli możliwość bezpośredniego eksportu wyników analiz do systemu.

### Podsumowanie

Powstanie narzędzia FaST jest elementem wieloletniej strategii zrównoważonego rolnictwa realizowanej przez KE. System FaST ma w założeniach objąć swoim zasięgiem wszystkie kraje członkowskie UE i pomóc w stworzeniu podstaw kompleksowego systemu cyfrowego dla zrównoważonego zarządzania gospodarstwami rolnymi i gruntami w Europie. Ma on wspierać rolników w ich decyzjach dotyczących zarządzania w zakresie rentowności gospodarstw rolnych i zrównoważonego gospodarowania. Jednocześnie system FaST zapewni wykorzystanie rozwiązań cyfrowych (w tym rozwiązań satelitarnych) i dostawców usług w nowych obszarach gospodarki, co przełoży się równocześnie na rozwój tych technologii, zmniejszając przy tym obciążenia administracyjne dla rolników i agencji płatniczych oraz usprawniając komunikację między rolnikami a władzami publicznymi.

Obecnie skutek przeniesienia narzędzia FaST z obowiązkowej warunkowości WPR do jednego z kilkunastu dobrowolnych dla rolnika ekoschematów jego znaczenie może się zmniejszyć. Jednak jeśli poziom dopłat wynikających z realizacji tego ekoschematu pozostanie odpowiednio wysoki, będzie on przez rolników wybierany, co spowoduje konieczność wprowadzenia tego typu narzędzia w poszczególnych krajach. Wiele państw członkowskich posiada już swoje własne systemy wspomagania decyzji agrotechnicznych lub jest w trakcie ich opracowywania. Po spełnieniu przez nie określonych wymagań WPR, będą mogły być wykorzystane do jego realizacji w optymalny sposób jako narzędzia niezależne lub w różny sposób zintegrowane z FaST. Niewątpliwą zaletą systemu FaST jest dostęp do baz danych (LPIS, IACS i LUCAS, itp.), danych obrazowych (lotniczych i satelitarnych) czy bezpośrednia komunikacja z agencjami płatniczymi. Duże znaczenie ma też możliwość większego pozycjonowania aplikacji FaST w warunkach lokalnych (wykorzystywanie krajowych algorytmów doradztwa nawozowego i przepisów prawa) i modułowa struktura, co

umożliwi wprowadzanie nowych elementów w przyszłości. Problemem, który wydaje się obecnie istotny jest zakres udostępniania danych z gospodarstw dla służb UE, agencji rządowych poszczególnych krajów, doradców i naukowców. Może to hamować upowszechnianie sytemu wśród rolników, co jest brane pod uwagę przez KE przy decyzji wprowadzenia aplikacji w mniejszym lub większym stopniu niezależnej od sytemu (off-line). W warunkach polskich podczas wdrażania rozwiązania FaST powinno się brać pod uwagę realizację projektu InterNAW, który ma się zakończyć uruchomieniem sytemu wspomagania decyzji agrochemicznych już w niedalekiej perspektywie. Dopóki to nie nastąpi, trudno jest ocenić możliwość zarówno niezależnego współistnienia obu systemów, jak i ich mniejszej lub większej integracji.

### Literatura

1. B a c h e v H.: Management strategies for conservation of natural resources in agriculture. *Journal of Advanced Research in Law and Economics*, 2013, **4(1)**: 4-45.
2. B e h a g h e l L., Macours K., Subervie J.: How can randomised controlled trials help improve the design of the common agricultural policy? *European Review of Agricultural Economics*, 2019, **46(3)**: 473-493.
3. Brisson N., Mary B., Ripoche D., Jeuffroy M.H., Ruget F., Nicoullaud B., Gate P., Devienne-Barret F., Antonioletti R., Dürr C., Richard G., Beaudoin N., Recous S., Tayot X., Plenet D., Cellier P., Machet J.M., Meynard J.M., Delécolle R.: STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn. *Agronomic*, 1998, **18**: 311-346.
4. C o h e n J.E.: Human population: The next half century. *Science*, 2003, **302(5648)**: 1172-1175.
5. FaST Half-way webinars July 16th/17th 2020. Demo and architecture review for participating member states, paying agencies and interested parties, [https://www.youtube.com/watch?v=1tMyTpD\\_Iuo](https://www.youtube.com/watch?v=1tMyTpD_Iuo) (dostęp 27.07.2021)
6. 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 27.07.2021)
7. <https://fastplatform.eu/> (dostęp 27.07.2021)
8. <https://gitlab.com/fastplatform> (dostęp 27.07.2021)
9. [https://gitlab.com/fastplatform/docs/-/blob/master/journey\\_doc/journey\\_doc.md](https://gitlab.com/fastplatform/docs/-/blob/master/journey_doc/journey_doc.md). (dostęp 27.07.2021)
10. <https://www.cdr.gov.pl/aktualnosci/57-cdr-informuje/2784-aplikacje-do-sporzadzania-planu-nawozenia-azotem-do-wyliczania-maksymalnych-dawek-azotu> (dostęp: 21.06.2021)
11. K a s i k A., Børsting C.F., Lehn F.: Instructions for manure properties calculation tool [https://tek.emu.ee/userfiles/yksused/tek/taastuvenergia\\_keskus/manure\\_standards/outputs/final/Manure%20Standards%20Calculation%20tool%20instructions\\_ENG.pdf](https://tek.emu.ee/userfiles/yksused/tek/taastuvenergia_keskus/manure_standards/outputs/final/Manure%20Standards%20Calculation%20tool%20instructions_ENG.pdf) (dostęp 12.08.2021)
12. K r ó l M.: Legal framework on environmental law for agricultural production in Poland. *Polityki Europejskie, Finanse i Marketing*, 2015, **13(62)**: 86-106.
13. M a g o m e d o v I.A., Dzhabrailov Z.A., B a g o v A.M.: Subsistence agriculture and global warming. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, **677(3)**: 1-4.
14. M y r b e c k Å, Kaasik A., Luostarinen S. (eds): Manure data collection- experiences from pilot farms <https://www.luke.fi/manurestandards/wp-content/uploads/sites/25/2020/04/Manure-data-collection-experiences-from-pilot-farms.pdf> (dostęp 12.08.2021)
15. R o s e n b e r g N.J.: Global climate change holds problems and uncertainties for agriculture. U.S. agriculture in a global setting: An agenda for the future, 2016, p. 203-218.

16. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 1 czerwca 2018 ustanawiające przepisy dotyczące wsparcia na podstawie planów strategicznych sporządzanych przez państwa członkowskie w ramach wspólnej polityki rolnej (planów strategicznych WPR) i finansowanych z Europejskiego Funduszu Rolniczego Gwarancji (EFRG) i z Europejskiego Funduszu Rolnego na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich (EFRROW) oraz uchylające rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1305/2013 i rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1307/2013, COM/2018/392 final – 2018/0216 (COD), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2018%3A392%3AFIN> (dostęp 27.07.2021)
17. 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).
18. 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(11)**: 1-24.
19. Śmieżik-Ambroży K., Guth M., Stepień S., Brelik A.: The influence of the European union’s common agricultural policy on the socio-economic sustainability of farms (the case of Poland). *Sustainability*, 2019, **11(24)**: 1-15.
20. Sprawozdanie Komisji dla Rady i Parlamentu Europejskiego w sprawie wykonania dyrektywy Rady 91/676/EWG dotyczącej ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego na podstawie sprawozdań państw członkowskich za okres 2004–2007 SEK(2010)118.
21. Stehfest E., Bouwman L.: N<sub>2</sub>O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2006, **74**: 207-228.
22. Tomiyama J., Takagi D., Kantar M.B.: The effect of acute and chronic food shortage on human population equilibrium in a subsistence setting. *Agriculture and Food Security*, 2020, **9(1)**: 1-12.
23. Traktat o funkcjonowaniu Unii Europejskiej, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:12012E/TXT&from=EN> (dostęp 03.08.2021)
24. Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. Prawo wodne (Dz.U. 2017 poz. 1566).
25. Villalobos F.J., Fereres E.: Principles of agronomy for sustainable agriculture. Springer, 2016, pp. 555.
26. Wang C.: Strategy simulation analysis for the scale operation of ecological agriculture using system dynamics. *Xitong Gongcheng Lilun Yu Shijian/System Engineering Theory and Practice*, 2015, **35(12)**: 3171-3181.

---

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 4786836*  
*e-mail: Piotr.Skowron@iung.pulawy.pl*

---

| AUTOR              | ORCID               |
|--------------------|---------------------|
| Piotr Skowron      | 0000-0001-5092-1447 |
| Damian Wach        | 0000-0002-5857-5654 |
| Tamara Jadczyzyn   | 0000-0002-4755-6992 |
| Sebastian Kuśmierz | 0000-0003-3200-3188 |



**Beata Jurga, Piotr Ochal, Anna Podleśna**

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

## WYBRANE AGROCHEMICZNE WSKAŹNIKI ŻYZNOŚCI GLEBY WYKORZYSTYWANE W RACJONALNYM NAWOŻENIU\*

**Słowa kluczowe:** graniczne zawartości siarki w glebie, dawki siarki, fosfor, stopień wysycenia fosforem, Syntetyczny Wskaźnik Żyzności Gleb

### Wstęp

Na przełomie XX i XXI wieku tendencje rynkowe oraz trendy środowiskowe w rolnictwie spowodowały istotne modyfikacje w podejściu do doradztwa nawozowego w Polsce. Paradygmatem stało się dążenie do rolnictwa zrównoważonego, co wyraża się m.in. stosowaniem nawożenia opartego na bilansie składników pokarmowych, a średnia zawartość składników w glebie została uznana za optymalną ze względów środowiskowych i produkcyjnych (12). To podejście wiąże się też z koniecznością weryfikacji metod dotychczas wykorzystywanych przy oznaczaniu zasobności gleby, jak również z potrzebą włączenia do systemu doradztwa nawozowego nowych wskaźników, zorientowanych nie tylko na wytwarzanie planowanej masy plonu, ale uwzględniających również takie wartości, jak bezpieczeństwo żywności oraz ochronę jakości gleby i wód.

W poniższej pracy zostały omówione wskaźniki dotyczące wybranych pierwiastków nawozowych, których wykorzystanie usprawnia podejmowanie decyzji odnośnie kompleksowego zarządzania składnikami pokarmowymi w produkcji rolniczej.

### Fosfor

Według różnych danych, ogólna zawartość fosforu w warstwie ornej gleb uprawnych waha się najczęściej od 0,01 do 0,2% i zależy od rodzaju skały macierzystej,

\*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.1 pt. „Nawożenie użytków rolnych” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2021 r.



stopnia jej zwietrzenia oraz zawartości materii organicznej. Z tej puli, od 25 do 50% ogólnej zawartości fosforu stanowi fosfor organiczny (39). W związku z tym wiele obszarów wymaga znaczącego nawożenia fosforem po to, by producenci rolni mogli osiągać zadowalające plony. Jednak niewłaściwe stosowanie nawozów mineralnych i naturalnych zawierających fosfor może powodować niekorzystne skutki. Składnik ten rozproszony z rolnictwa przedostaje się głównie do wód powierzchniowych, a w dalszej kolejności do Bałtyku, powodując pogorszenie stanu wód morskich. Przeciwdziałanie temu zjawisku jest zadaniem, do realizacji którego zobowiązały się wszystkie nadbałtyckie kraje UE, w tym Polska. Emisja fosforu do wód stanowi poważne zagrożenie środowiskowe związane z eutrofizacją. Fosfor w wodach stymuluje wzrost alg i glonów, które w swoich procesach metabolicznych wykorzystują tlen ze środowiska wodnego, aż do krytycznego punktu, kiedy to z powodu jego deficytu przyrost materii organicznej ustaje i następuje jej rozkład. W wyniku tego procesu ma miejsce dalsze zużycie tlenu, co skutkuje utratą bioróżnorodności, degradacją ekosystemów i pogorszeniem warunków życia ryb i innych zwierząt wodnych, włącznie z możliwością ich uduszenia. Dodatkowo podczas rozkładu materii organicznej powstają odory zmniejszające wartość rekreacyjną i ekonomiczną środowiska wodnego oraz szkodliwe toksyny, których obecność może spowodować, że zbiornik wodny nie będzie nadawał się do kąpieli oraz do zaopatrywania ludności w wodę pitną, stwarzając również (jeśli zakwit sinic nie zostanie odpowiednio wcześniej zauważony) zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi oraz zwierząt gospodarskich.

Aby nawożenie fosforem było efektywne i bezpieczne dla środowiska, niezbędne jest właściwe nim zarządzanie. Pierwszym krokiem tych działań jest dokładne rozpoznanie stanu gleby, do czego służą testy glebowe. Wyniki agrochemicznych badań gleb mogą być przedstawiane w wartościach bezwzględnych oraz w postaci jakościowej, tj. oceny testów glebowych (12). Wskaźniki agrochemiczne informujące o zasobności gleb w fosfor są podstawowym narzędziem umożliwiającym zrównoważoną gospodarkę tym składnikiem pokarmowym i to już na poziomie pojedynczego pola produkcyjnego czy gospodarstwa (15). Jako narzędzie wspomagania decyzji IUNG-PIB w Puławach, wspólnie m.in. z Krajową Stacją Chemiczno-Rolniczą (KSChR) oraz Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie (CDR), opracował i udostępnia zalecenia nawozowe. W krajowym systemie doradztwa rolniczego od wielu lat stosuje się ocenę zawartości fosforu w glebach, bazując na wynikach uzyskanych metodą Egnera-Riehma według standardowej procedury oznaczania (34). Do oceny zasobności fosforu stosuje się skalę 5-stopniową (zawartość bardzo niska, niska, średnia, wysoka i bardzo wysoka). Ocena zasobności gleby umożliwia stworzenie długofalowego planu gospodarowania składnikami pokarmowymi na polu. Jak podają Jadczyzyn i in. (12), bardzo niska i niska zawartość P wskazuje na potrzebę intensywnego nawożenia, które zabezpieczy potrzeby pokarmowe roślin i odbuduje zasobność gleby (tab. 1). Na glebach o zawartości średniej nawożenie powinno bilansować ilość fosforu pobranego z gleby przez rośliny. W warunkach zawartości wysokiej i bardzo wysokiej nawożenie należy ograniczyć, ponieważ rośliny mogą korzystać z glebowych rezerw składników.

Tabela 1

Ocena zasobności gleb w przyswajalny fosfor

| Klasa zawartości | Zawartość przyswajalnego fosforu w mg P ( $P_2O_5$ ) na 100 g gleby |                    |
|------------------|---|--------------------|
|                  | mineralnej  | organicznej        |
| Bardzo niska     | do 5,0 (do 2,2)   | do 40 (do 17,7)    |
| Niska            | 5,1–10,0 (2,3–4,4)  | 41–60 (17,8–26,5)  |
| Średnia          | 10,1–15,0 (4,5–6,5)   | 61–80 (26,6–35,2)  |
| Wysoka           | 15,1–20,0 (6,6–8,8)   | 81–120 (35,3–52,6) |
| Bardzo wysoka    | od 20,1 (od 8,9)  | od 121 (od 52,7)   |

Źródło: Jadczyzyn i in., 2010 (12)

Pomimo funkcjonowania oficjalnych zaleceń nawozowych wdrożonych przez system doradztwa nawozowego w takich instytucjach, jak KSChR czy CDR, wciąż prowadzone są prace nad alternatywnymi metodami oznaczeń zawartości fosforu w glebie.

### Metoda Mehlich 3

W Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach od wielu lat kontynuowane są badania nad wdrożeniem do systemu rutynowych oznaczeń agrochemicznych metody Mehlich 3 (26). Jest to procedura jednoczesnego oznaczania, w tym samym wyciągu glebowym, zawartości w glebie wielu makro- i mikroelementów, tj. fosforu (tab. 2), potasu, wapnia, sodu, magnezu, żelaza, manganu, miedzi, cynku, boru i siarki (16). Uniwersalny roztwór ekstrahujący ( $pH\ 2,5 \pm 0,01$ ) jest przeznaczony do oznaczeń próbek gleb o odczynie kwaśnym i obojętnym (48), które stanowią większość gleb wykorzystywanych rolniczo w Polsce (32). W skład roztworu ekstrahującego wchodzi fluorek amonu (roztwór 0,015 M), kwas octowy (0,2 M), azotan amonu (0,25 M), kwas azotowy (0,013 M) oraz EDTA (0,001 M). Ekstrakcja fosforu zachodzi w wyniku działania związków fluoru i kwasu octowego. Ekstrahent jest następnie poddawany analizie ilościowej metodą kolorymetryczną lub metodą emisyjnej spektrometrii ze wzbudzeniem w plazmie sprzężonej indukcyjnie (ICP) (15). Na podstawie różnych doniesień oczekiwano również mniejszych kosztów wykonywania oznaczeń chemicznych, co potwierdziły prace F o t y m y i in. (9). Jednym z argumentów przemawiających za sprawdzeniem tej metody w Polsce był fakt, że w sąsiednich krajach, o zbliżonych warunkach agrochemicznych, tj. Estonia, Czechy czy Słowacja, metoda Mehlich 3 została już wcześniej przetestowana i wdrożona do systemu doradztwa nawozowego. Ponadto, jak zauważa Kęs i k (16), istnieje praktyczna potrzeba, aby w krajach Europy wykorzystywane były porównywalne metody analityki glebowej. Krajowe procedury analityczne, w tym zwłaszcza ekstrakcji P według metody Egnera-Riehma, powodują wiele trudności wynikających ze specyfiki wykorzystywanych odczynników. Dotyczy to głównie mleczanu wapnia, który jest

stosowany w tej metodzie, a łatwo ulega biologicznemu rozkładowi. Dodatkowo jest to odczynnik wytwarzany w Polsce niemal wyłącznie na potrzeby krajowego systemu doradztwa, a z powodu małej skali produkcji jej koszty są wysokie.

Tabela 2

Liczby graniczne zawartości form przyswajalnych fosforu wyznaczone dla metody Mehlicha 3

| Odczyn/Kategoria agronomiczna gleby   | Klasa zasobności gleb |        |         |         |               |
|---|-----------------------|--------|---------|---------|---------------|
|   | bardzo niska          | niska  | średnia | wysoka  | bardzo wysoka |
| Zawartość przyswajalnego fosforu wg metody Mehlicha (mg·kg <sup>-1</sup> gleby) |                       |        |         |         |               |
| Bardzo kwaśny   | <50                   | 50–110 | 111–186 | 187–262 | >262          |
| Kwaśny  | <49                   | 49–103 | 104–158 | 159–215 | >215          |
| Lekko kwaśny  | <47                   | 47–99  | 100–152 | 153–207 | >207          |
| Obojętny  | <27                   | 27–54  | 55–75   | 76–99   | >99           |
| Zasadowy  | <27                   | 27–54  | 55–75   | 76–99   | >99           |

Źródło: Kęsik i in., 2014 (14)

### Stopień wysycenia gleb fosforem (P<sub>sat</sub>)

Wartością dodaną jednoczesnego oznaczania w wyciągu Mehlicha 3 m.in. zawartości fosforu (P), żelaza (Fe) i glinu (Al) jest możliwość wyznaczania wskaźnika stopnia wysycenia gleb fosforem – P<sub>sat</sub>. Wskaźnik ten opiera się na koncepcji (potwierdzonej przez dane empiryczne), według której wysycenie fosforem gleb kwaśnych i obojętnych jest determinowane głównie przez wiązanie fosforu z tlenkami żelaza i glinu (33). Aby wyznaczyć wskaźnik P<sub>sat</sub>, należy zawartości P, Al, Fe wyrażone w mg·kg<sup>-1</sup> gleby podzielić przez wartości wskazane w tabeli 3 i podstawić do wzoru opracowanego przez Kęsika i in. (14):

$$P_{sat} = \frac{P}{(Al + Fe)}$$

gdzie:

P<sub>sat</sub> – stopień wysycenia gleb fosforem oznaczany metodą Mehlich 3,

P, Al, Fe – zawartość P, Al i Fe oznaczona metodą Mehlich 3, wyrażona w milirównoważnikach.

Tabela 3

Wartość liczbowa milirównoważników glinu, żelaza i fosforu

| Wartość liczbowa milirównoważników | Fe    | Al    | P     |
|------------------------------------|-------|-------|-------|
|                                    | 55,85 | 26,98 | 30,97 |

Źródło: Kęsik i in., 2014 (14)

Wykorzystanie metody Mehlich 3 w Polsce do wyznaczania Psat jest działaniem nowatorskim, a możliwym dzięki niedawnej kalibracji tej metody dla gleb naszego kraju (14). Wskaźnik Psat informuje o ryzyku wystąpienia znaczących strat fosforu z gleby do środowiska (15). Zakłada się, że w miarę wzrostu stopnia wysycenia gleb fosforem będzie on słabiej zatrzymywany przez glebę oraz że pula rozpuszczalnego P będzie wzrastać. Gleby z wyższymi wartościami Psat będą wykazywały większe ryzyko utraty P do wód zarówno ze względu na to, że będą zawierać wyższe stężenia P w roztworze glebowym, jak i dlatego, że wszelkie erodowane cząstki gleby będą silniej wzbogacone łatwo desorbowanym P. Należy więc uznać, że przekroczenie pojemności gleby względem fosforu niesie poważne ryzyko zanieczyszczenia lądowych i morskich ekosystemów wodnych. Kluczowe pozostaje ustalenie granicznych wartości Psat dla różnych gleb, warunków fizjograficznych oraz (ewentualnie) drenarskich. Istnieje wiele badań autorów obcojęzycznych wiążących wartość Psat z ryzykiem strat fosforu do wód. Według Pautlera i Simsa (33), wartości Psat wynoszące od 25 do 40% są skorelowane z większym ryzykiem utraty P podczas wymywania gleby lub spływu. Breeus w ma i in. (2) stwierdzili w swoich badaniach, że wartości DPS na poziomie 25% w profilu glebowym w warunkach średniego i wysokiego zwierciadła wody przyczyniłyby się do zanieczyszczenia płytkich wód gruntowych w Holandii.

Badając stopień wysycenia gleb fosforem, pobrano w Belgii 296 próbek gleby i uzyskano średnie wartości Psat: 57; 22 i 11%, odpowiednio dla poziomów glebowych: 0–30, 30–60 i 60–90 cm (3). Jako graniczną wartość Psat służącą do ochrony płytkich wód gruntowych, mierzoną dla głębokości od 0 do 90 cm, zaproponowano próg Psat = 30%. Pote i in. (40) wykazali, że obserwowane wartości fosforu rozpuszczonego reaktywnego w spływie z trzech czerwonoziemów w Arkansas wzrastały przy wartościach DPS od 20 do 30%.

W Zakładzie Żywienia Roślin i Nawożenia IUNG-PIB w Puławach, we współpracy z Krajową Stacją Chemiczno-Rolniczą, podjęto próbę weryfikacji tych wartości w warunkach Polski. Po przebadaniu 8539 próbek gleby Kęsik (16) stwierdził, że przeciętna wartość Psat dla gleb w kraju kształtuje się na poziomie 18,1%. Wyniki te potwierdzają niepublikowane badania Jurgi, która badając zbiór ponad 1000 próbek glebowych z wszystkich województw w kraju ( $n = 1023$ ) uzyskała średnią wartość Psat = 19%, przy medianie wynoszącej 14,1%. Z badań Kęsika (16) wynika ponadto, że przekroczenie poziomu Psat = 25% (niezależnie od kategorii agronomicznej i zakresu pH gleby) należy uznać za nieuzasadnione z punktu widzenia potrzeb nawożenia roślin, a także ze względu na ryzyko środowiskowe.

Powyższe doniesienia i argumenty jasno wskazują na zasadność włączenia w krajowy system doradztwa nawozowego zarówno metody Mehlich 3, jak i wskaźnika Psat. Zaprezentowane metody badawcze mogą posłużyć jako narzędzia służące identyfikacji w Polsce obszarów szczególnie narażonych na straty fosforu z użytków rolnych.

## Siarka

Siarka należy do składników niezbędnych w racjonalnym nawożeniu roślin uprawnych. Jednak w latach 80. XX wieku zanieczyszczenie atmosfery związkami emitowanymi przez zakłady przemysłowe, kotłownie i transport osiągnęło w Polsce największe wartości. W roku 1980 ładunek tego składnika na hektar gruntów rolnych wynosił 132 kg SO<sub>2</sub>, czyli 66 kg S, bez względu na uprawianą roślinę i jej potrzeby żywieniowe. Siarka dostająca się z atmosfery do wód i gleb w formie suchych i mokrych opadów stanowiła ogromne zagrożenie dla ekosystemów głównie ze względu na zakwaszenie (tzw. kwaśne deszcze). Takie warunki były szkodliwe dla wzrostu roślin oraz wielkości i jakości plonu (41). W związku z tym, aż do końca lat 90. XX wieku uważano, że jest to składnik występujący w środowisku w nadmiarze (28) i nie uwzględniano go w planie nawożenia roślin. W efekcie światowych dążeń do ograniczenia zanieczyszczenia środowiska gazowymi związkami siarki i nowej polityki ekologicznej Polski (11, 45) uzyskano znaczną redukcję jej związków dostających się do atmosfery, wód i gleb (37). To wpłynęło na zubożenie rezerw glebowych tego składnika i w kolejnych latach doprowadziło do jego niedoborów w wielu rejonach Polski i świata. Rozległe badania prowadzone w 2003 roku wykazały, że bilans siarki dla głównych roślin uprawnych Polski był ujemny (42).

W większości gleb uprawnych główną pulę siarki stanowi forma organiczna w ilości przekraczającej 90% jej całkowitej zawartości w glebie. Pozostała ilość siarki glebowej to forma siarczanowa pochodząca ze stosowanych nawozów mineralnych oraz materii organicznej podlegającej procesom mineralizacji. Z tej formy korzystają rośliny, które mają zdolność bezpośredniego i sprawnego pobierania jej z gleby. Jednakże ilości siarki dostępnej, stwierdzane od kilkunastu lat w glebach uprawnych naszego kraju, nie pokrywają zapotrzebowania roślin na ten składnik. Tymczasem jego rola w kształtowaniu żyzności gleb oraz wzrostu i rozwoju roślin uprawnych jest niepodważalna i niemożliwa do zastąpienia przez inny składnik. Właściwe zaopatrzenie roślin w siarkę powoduje wzrost plonu roślin i jego jakości, co odnotowano m.in. w przypadku zbóż (22), rzepaku (35), kukurydzy (23), grochu (47) oraz ziemniaka (17) i traw (13). Ponadto jej niedobór przekłada się na zmniejszenie efektywności wykorzystania azotu i innych składników przez rośliny (36, 38). Ta sytuacja powoduje, że stwierdzone braki siarki należy uzupełniać poprzez nawożenie mineralne. Jest to szczególnie ważne, ponieważ jej wykorzystanie z nawozów kształtuje się na poziomie oscylującym wokół 50%, więc zastosowanie odpowiedniego nawożenia jest gwarancją optymalnego zaopatrzenia roślin uprawnych w ten składnik. Jednak ustalenie właściwej dawki siarki nie jest proste, bowiem efektywne zastosowanie nawozu wymaga, aby siarka była obecna w glebie w dostępnej formie i na poziomie, który zapewni zaopatrzenie roślin od początkowego okresu wzrostu do dojrzałości (44). W rolnictwie zrównoważonym obowiązuje zasada, że pomiędzy wnoszeniem, wynoszeniem z plonami i innymi stratami składników musi być zachowana przynajmniej równowaga. Natomiast deficyt należy korygować przez zmiany w zarządzaniu składnikiem

i/lub jego formą. W praktyce można skorzystać z opracowanych wskaźników roślinnych opartych na analizach zawartości siarki w organach wskaźnikowych, pobranych w fazach krytycznych, poszczególnych gatunków roślin i obserwacji pojawiających się wizualnych objawów niedoboru tego składnika. Drugą możliwością jest przeprowadzenie analiz reprezentatywnych próbek glebowych i na podstawie przyjętej skali oszacowanie potrzeb nawozowych uprawianych roślin.

## Wskaźniki brane pod uwagę przy ustalaniu dawek siarki

### *Graniczne zawartości siarki w glebie*

W warunkach glebowo-klimatycznych Polski zawartość siarki w glebach mineralnych, nie podlegających większej antropopresji, nie przekracza na ogół wartości  $200 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  (27). Z kolei gleby mineralno-organiczne i organiczne zawierają jej ponad dwukrotnie więcej niż mineralne, ale naturalna zawartość siarki na ogół nie przekracza  $450 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ . Na podstawie badań ustalono, że zawartość siarki siarczanowej w glebach mineralnych waha się od  $<1,0$  do  $5,0 \text{ mg}$ , a w glebach organicznych osiąga  $15,0 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  (28). W latach 90. XX wieku dane te zostały wykorzystane do opracowania granicznych zawartości siarki siarczanowej i siarki ogółem w związku z potrzebą szacowania skali skażenia gleb i roślin siarką. Do tego celu wzięto pod uwagę zawartość obu form tego pierwiastka, występujących w wierzchniej warstwie gleb mineralnych, o różnym składzie granulometrycznym i gleb organicznych, o różnej procentowej zawartości materii organicznej (27). Na podstawie podziału przyjętego według powyższych kryteriów wyróżniono 5 grup gleb: A, B, C, D i E (tab. 4). Stężenie wspomnianych form siarki (w  $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  gleby) dla poszczególnych stopni zawartości tego składnika jest podane według metodyki obowiązującej w tym czasie w stacjach chemiczno-rolniczych. Natomiast dla wyceny tych gleb pod względem występowania siarki wyróżniono 4 stopnie zawartości dwu jej form, tj. S-ogółem i S-SO<sub>4</sub>. Stopnie I, II i III określają naturalną zawartość obu form tego składnika w różnych glebach, a jako stopień IV przyjmuje się zawartość podwyższoną w efekcie antropopresji. Należy zaznaczyć, iż IV stopień zawartości siarki siarczanowej (S-SO<sub>4</sub>) w glebach informuje głównie o aktualnym ich pozostawianiu pod wpływem oddziaływania podwyższonej lub wysokiej immisji ze źródeł lokalnych albo też z dalekiego transportu SO<sub>2</sub>. Natomiast IV stopień ogólnej zawartości S wskazuje poziom ich aktualnego i dawnego zasiarczenia. Zawartość zakwalifikowana jako stopień IV może być wielokrotnie wyższa od wartości granicznych dla poszczególnych gleb, ponieważ zależy od wielkości zagrożenia emisją związków siarki ze źródeł pochodzących z działalności człowieka.

Te same kryteria przyjmuje się stale dla określenia zawartości siarki w poszczególnych glebach uprawnych w Polsce, co służy zarówno do oceny potrzeb nawożenia tym składnikiem, jak i do monitorowania zmian zasobności w siarkę gleb w kraju na przestrzeni wielu lat (41).

Tabela 4

Graniczne zawartości siarki ( $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  gleby) w powierzchniowej warstwie gleb (0–20 cm)

| Symbol grupy | Grupa gleb  | Stopień zawartości |          |           |       |          |             |             |        |
|--------------|---|--------------------|----------|-----------|-------|----------|-------------|-------------|--------|
|              |   | S-SO <sub>4</sub>  |          |           |       | S-ogółem |             |             |        |
|              |   | I                  | II       | III       | IV    | I        | II          | III         | IV     |
| A            | Gleby lekkie (0–20% frakcji <0,02mm)                    | ≤1,5               | 1,6–2,5  | 2,6–3,5   | >3,5  | ≤15,0    | 16,0–50,0   | 51,0–100,0  | >100,0 |
| B            | Gleby średnie (21–35% frakcji <0,2 mm)                  | ≤2,0               | 2,1–3,0  | 3,1–4,0   | >4,0  | ≤20,0    | 21,0–75,0   | 76,0–150,0  | >150,0 |
| C            | Gleby ciężkie 35% frakcji <0,02mm)                      | ≤2,5               | 2,6–3,5  | 3,6–5,0   | >5,0  | ≤25,0    | 26,0–100,0  | 101,0–200,0 | >200,0 |
| D            | Gleby mineralno-organiczne (10–20% materii organicznej) | ≤3,0               | 3,1–5,0  | 5,1–10,0  | >10,0 | ≤50,0    | 51,0–100,0  | 101,0–250,0 | >250,0 |
| E            | Gleby organiczne (>20% materii organicznej)             | ≤5,0               | 5,1–10,0 | 10,1–15,0 | >15,0 | ≤100,0   | 101,0–250,0 | 251,0–450,0 | >450,0 |

Stopień zawartości: I – zawartość niska  
 II – zawartość średnia  
 III – zawartość wysoka  
 IV – zawartość podwyższona wskutek antropopresji

Źródło: Motowicka -Terelek i in., 1993 (27)

### **Liczby graniczne zawartości siarki siarczanowej w glebach mineralnych oraz dawki siarki dla wybranych gatunków i grup roślin**

Jako źródło siarki dla roślin najbardziej aktywną formą jest siarka siarczanowa. Na podstawie wyników zawartości S-SO<sub>4</sub> w glebach mineralnych użytków rolnych pobieranych z warstwy 0–20 cm oraz zawartości siarki w próbkach roślinnych pobieranych z tych samych punktów przedstawiono próbę określenia potrzeb nawozowych względem siarki podstawowych roślin uprawnych (25). Do badań wytypowane zostały punkty, w których uprawiano rośliny mające największy udział w strukturze zasiewów, tj. zboża, buraki, ziemniak, rzepak, kukurydza i siano łąkowe oraz zróżnicowane zapotrzebowanie na siarkę. Założono, że podstawą do określenia ilości siarki siarczanowej dostępnej dla roślin w okresie wegetacji będzie jej zawartość w glebie. Zestawienie zawartości S-SO<sub>4</sub> w glebach oraz zapotrzebowania roślin na ten składnik, tj. jej pobrania z plonem, było podstawą wyznaczenia granicznych zawartości zasobności gleb w tę formę siarki (tab. 5). Dzięki temu wyróżniono gleby, które nie zapewniają roślinom właściwego zaopatrzenia w ten składnik (zasobność bardzo niska i niska), wymagają uzupełnienia jego ilości w glebie (zasobność średnia) oraz te, które są w stanie dostarczyć roślinie potrzebnej ilości S (zasobność wysoka i bardzo wysoka).

Tabela 5

Proponowane liczby graniczne zawartości siarki siarczanowej w glebach mineralnych oraz dawki siarki dla wybranych gatunków i grup roślin

| Gatunki i grupy roślin         | Dawka siarki (kg·ha <sup>-1</sup> ) zależnie od zasobności gleb w siarkę (mg S-SO <sub>4</sub> ·kg <sup>-1</sup> gleby)* |                   |                      |                     |                        |
|--------------------------------|--|-------------------|----------------------|---------------------|------------------------|
|                                | bardzo niska<br><5,0   | niska<br>5,1–10,0 | średnia<br>10,1–15,0 | wysoka<br>15,1–20,0 | bardzo wysoka<br>>20,0 |
| Zboża, tytoń                   | 20   | 15                | 10                   | -                   | -                      |
| Siano z UZ i roślin bobowatych | 30   | 20                | 15                   | -                   | -                      |
| Ziemniak                       | 60   | 50                | 40                   | 30                  | -                      |
| Kukurydza                      | 80   | 60                | 55                   | 50                  | 40                     |
| Rzepak                         | 100  | 90                | 70                   | 60                  | 50                     |
| Burak cukrowy                  | 150  | 130               | 110                  | 100                 | 80                     |

\*Współczynnik bilansowy przyjęty do obliczeń założono na poziomie 40%. Z dawką 25 lub 40 t·ha<sup>-1</sup> wprowadza się odpowiednio: 12,5 lub 20 kg S·ha<sup>-1</sup>. Przy stosowaniu nawozów naturalnych, organicznych lub osadów ściekowych dawkę siarki podaną w tabeli należy zmniejszyć o jej ilość wprowadzoną w tych nawozach.

Źródło: Lipiński i in., 2003 (25)

### **Siarka w związkach organicznych gleby**

Ponieważ główna masa siarki obecnej w glebach uprawnych występuje w formie związków organicznych, należy je uwzględniać jako ważne źródło siarki dla roślin.



Związki te ulegają w glebie procesom rozkładu i ponownej resyntezy (18). Przyjmuje się, że uwalnianie do gleby siarki w wyniku mineralizacji związków organicznych zachodzi wówczas, gdy stosunek C:S w substancji rozkładanej przez drobnoustroje jest mniejszy od 200. Jeśli stosunek C:S wynosi powyżej 400:1, to w glebie następuje przewaga procesów immobilizacji siarki, co prowadzi do jej związania w materii organicznej. Wówczas jest ona niedostępna dla roślin i trzeba zastosować nawożenie mineralne (44).

Brak dobrej korelacji pomiędzy testami glebowymi i reakcją roślin doprowadził do rozpatrywania stosunku N:S w glebach jako wskaźnika świadczącego o możliwości dostarczenia siarki roślinom (19). Podejście to opiera się na założeniu, że siarka całkowita jest wysoko skorelowana z węglem organicznym i azotem ogólnym. Stosunek N:S w glebach wynosi w granicach 6,7–11,1:1. Sugeruje się jednak, że gleby charakteryzujące się wysoką wartością tego stosunku mogą być podatne na deficyt siarki.

W poszukiwaniu wskaźnika opisującego możliwość uwalniania siarki z substancji organicznej gleby uwzględnia się również stosunek C:N:S, który wynosi średnio 140:10:1 (7), choć Brady i Weil (1) uważają, że w glebach mineralnych powinien wynosić 100:8:1.

### Syntetyczny Wskaźnik Żyzności Gleb (SWŻG)

Żyzność gleby jest to jej zdolność do zaopatrywania roślin w składniki mineralne oraz wodę (8, 10). W glebie wyróżnić można fazy: stałą, ciekłą i gazową oraz fazę biologicznie czynną, w skład której wchodzi korzenie roślin (21). Z uwagi na złożoność procesów składających się na żyzność gleby i odmienne podejście metodyczne często, jakkolwiek umownie, wydziela się żyzność biologiczną, chemiczną i fizyczną.

Obecnie do oceny stanu agrochemicznego gleb w Polsce wykorzystuje się pojedyncze wskaźniki, tj. odczyn oraz zawartość przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu. Wyniki badań agrochemicznych są wykorzystywane do oceny stanu zasobności gleb w jednostkach administracyjnych i w skali całego kraju (24). Dotychczasowe zestawienia wykonywane są w układzie skategoryzowanym z wydzieleniem udziału próbek zaliczanych do jednej z przyjętych w Polsce kategorii (klasy) odczynu i zawartości poszczególnych składników mineralnych.

W poszczególnych dyscyplinach nauk rolniczych dąży się do opracowania syntetycznych wskaźników produktywności i żyzności gleb, obejmujących możliwie szeroki zakres parametrów szczegółowych. Do wskaźników tych można zaliczyć wskaźnik waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej (WRPP) (46), wskaźnik jakości fizycznej gleby (S) (4, 5, 6) oraz wskaźnik jakości biologicznej (20, 29). Jeśli chodzi o wskaźniki agrochemicznej żyzności gleby, to każdy z parametrów był do niedawna traktowany oddzielnie, a jedynym wskaźnikiem dla cech pojedynczych był tzw. wskaźnik bonitacji negatywnej (lub niekiedy pozytywnej) Riehma (30). Wskaźnik ten określa procentowy udział gleb wykazujących bardzo niską i niską oraz połowę

udziału gleb wykazujących średnią zawartość danego składnika. W roku 2012 Ochał (31) wyznaczył Syntetyczny Wskaźnik Żyzności Gleb (SWŻG), który służy do oceny stanu agrochemicznej żyzności gleb w Polsce.

SWŻG został wyznaczony metodą analizy czynnikowej, a do jego opracowania wykorzystano dane okręgowych stacji chemiczno-rolniczych opisujące aktualny stan odczynu oraz zawartości w glebie przyswajalnego fosforu, potasu i magnezu (dane z lat 2005–2008), a więc parametry, które są powszechnie analizowane przez producentów rolnych w kraju. Szczegółowy sposób wyznaczenia tego wskaźnika przedstawiono w pracy Ochała (31).

Wartość syntetycznego wskaźnika żyzności gleby opisuje równanie:

$$\text{SWŻG} = 0,548551X_1 + 0,607943X_2 + 0,575494X_3 + 0,341891X_4$$

W równaniu kolejne zmienne  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  i  $X_4$  są standaryzowanymi wartościami odpowiednio dla pH,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  i Mg, obliczonymi przez odjęcie od każdej obserwacji wartości średniej cechy i podzielenie jej przez odchylenie standardowe. Po przeliczeniu na wartości w jednostkach rzeczywistych równanie przyjmuje postać:

$$\text{SWŻG} = -5,0313 + 0,5160\text{pH} + 0,0648P_2O_5 + 0,0655K_2O + 0,0803\text{Mg}$$

Wstawiając do ostatniego równania rzeczywiste wartości zmiennych, można dla każdej próbki gleby obliczyć syntetyczny wskaźnik jej żyzności.

Aby zachować jednolite podejście przyjęte w Polsce dla ilościowych cech agrochemicznych gleby, wyznaczono 5 klas jej żyzności. Klasy żyzności wyznaczono, dzieląc wartości wskaźnika na 5 fraktyli zawierających po 20% wyników (tab. 6). Kolejne pentyle określono jako żyzność bardzo niską, niską, średnią, wysoką i bardzo wysoką.

Tabela 6

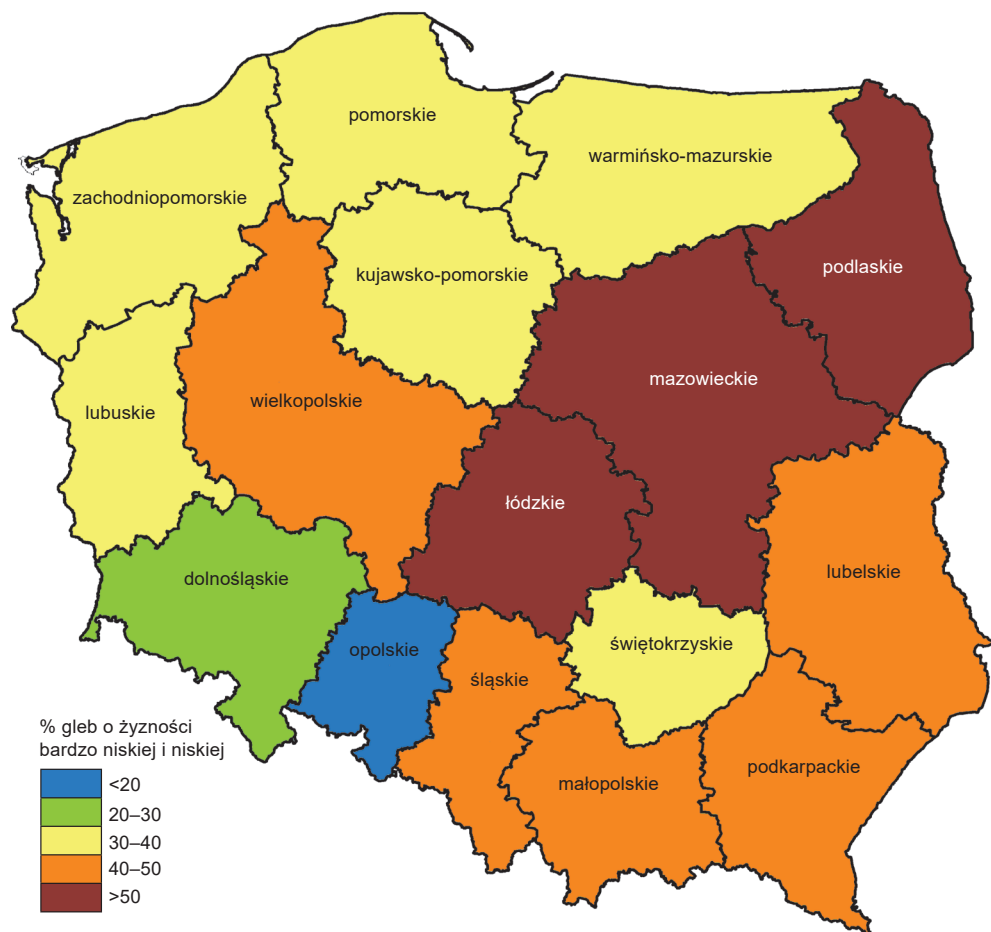
Przedziały klas żyzności

| Klasa żyzności | Żyzność gleby | SWŻG           |
|----------------|---------------|----------------|
| 1              | b. niska      | $\leq -1,29$   |
| 2              | niska         | $-1,29 - 0,50$ |
| 3              | średnia       | $-0,50 - 0,25$ |
| 4              | wysoka        | $0,25 - 1,16$  |
| 5              | b. wysoka     | $\geq 1,16$    |

Źródło: Ochał, 2012 (31)

Na podstawie SWŻG i wyznaczonych klas żyzności oszacowano dla poszczególnych województw procentowy udział próbek gleb o bardzo niskiej i niskiej żyzności. Najwięcej gleb o żyzności bardzo niskiej i niskiej stwierdzono w województwach: łódzkim, podlaskim i mazowieckim, które wynosiły odpowiednio: 60; 58 i 55%.

Najmniejszy udział przebadanych próbek gleb w klasach żyzności bardzo niskiej i niskiej stwierdzono w województwach opolskim i dolnośląskim, który wynosił odpowiednio: 19 i 27% (rys. 1).



Rys.1. Procentowy udział gleb o bardzo niskiej i niskiej żyzności wyznaczonych dla danych OSCHR z lat 2005–2008

Źródło: Ochal, 2012 (31)

Opracowany wskaźnik żyzności gleb może być wykorzystywany do różnego rodzaju opracowań na wielu szczeblach administracyjnych, między innymi do oceny wykorzystania rolniczej przestrzeni produkcyjnej.

## Podsumowanie

Racjonalne nawożenie powinno uwzględniać dostarczenie roślinom uprawnym składników pokarmowych niezbędnych dla ich wzrostu i rozwoju, w dawkach umożliwiających osiągnięcie zakładanego plonu. Jednocześnie nawożenie powinno utrzymać lub zwiększyć żyzność gleby w zakresie obejmującym minimalne obciążenie gleb uprawnych oraz wód powierzchniowych i podziemnych. Planując nawożenie, zwykle uwzględnia się potrzeby żywieniowe rośliny i oczekiwany plon, a w okresie wegetacji – analizy części wskaźnikowych roślin i ich ocenę wizualną. Jednak właściwe dobranie dawki składnika jest często działaniem trudnym, które w pierwszym etapie, obejmującym zabiegi przed siewem nasion, powinno być wspierane przez kompleksowe analizy gleby. Ich wyniki należy oceniać, opierając się na przyjętych zakresach zawartości składnika/ów w glebie lub relacjach pomiędzy nimi. W pracy przedstawiono stosowane obecnie zasady postępowania w ocenie żyzności gleb, a także w ustalaniu potrzeb oraz dawek nawożenia fosforem i siarką.

## Literatura

1. Brady N.C., Weil R.R.: The nature and properties of soils. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 13<sup>th</sup> edition, 2002, pp. 960.
2. Breuwsma A., Reijerink J.G.A., Schoumans O.F.: Impact of manure on accumulation and leaching of phosphate in areas of intensive livestock farming. In: Animal waste and the land-water interface, K. Steele (ed.). Lewis Publ.-CRC Press, New York., 1995, pp. 239-249.
3. Desmet J., Hofman G., Vanderdeelen J., Van Meirvenne M., Baert L.: Phosphate enrichment in the sandy loam soils of West-Flanders. Fertilizer Research, 1996, **43(1-3)**: 209-215. (Presented at the International Symposium on Fertilizers and the Environment)
4. Dexter A.R.: Soil physical quality Part I. Theory, effects of soil texture, density. And organic matter, and effects on root growth. Geoderma, 2004a, **120**: 201-214.
5. Dexter A.R.: Soil physical quality: Part II. Friability, tillage, tith and hard-setting. Geoderma, 2004b, **120**: 215-225.
6. Dexter A.R.: Soil physical quality Part III: Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. Geoderma, 2004c, **120**: 227-239.
7. Fageria N.K.: The use of nutrients in crop plants. 7. Sulfur. Taylor & Francis Group, CRC Press, Boca Raton, USA, 2009, p. 215-240.
8. Fotyma M., Mercik S.: Chemia rolna. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1995, ss. 356.
9. Fotyma M., Kęsik K., Lipiński W., Filipiak K., Purchała L.: Testy glebowe jako podstawa doradztwa nawozowego. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2015, **42(16)**: 9-51.
10. Grzebisz W.: Nawożenie roślin ogrodniczych. PWRiL Poznań, 2008, ss. 428.
11. Iskrycki K., Suwała W., Kaszyński P.: Dekompozycja redukcji dwutlenku siarki w polskich elektrowniach, 1995–2008. Polityka Energetyczna, 2011, **14(2)**: 107-125.
12. Jadczyzyn T., Kowalczyk J., Lipiński W.: Zalecenia nawozowe dla roślin uprawy polowej i trwałych użytków zielonych. Materiały Szkoleniowe. Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach, 2010, **95**: 3.
13. Kaczora, Zuzańska J.: Efektywność nawożenia siarką kupkówki pospolitej w warunkach zróżnicowanego zaopatrzenia roślin w azot. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 2010, **556**: 134-142.

14. Kęsik K., Lipiński W., Jadczyzszyn T., Boreczek B., Janda B., Sumorek-Gołabek A., Kocoń A., Ochal P., Pikuła D., Bochniarz A.: Liczby graniczne oraz procedura badawcza oznaczania metodą Mehlicha 3 ruchomych form fosforu, potasu i magnezu w glebach mineralnych. Instrukcja wdrożeniowa nr 230, IUNG-PIB Puławy, 2014, ss. 26.
15. Kęsik K., Jadczyzszyn T., Lipiński W., Jurga B.: Adaptacja testu Mehlicha 3 do rutynowych oznaczeń zawartości fosforu, potasu i magnezu w glebie. *Przemysł Chemiczny*, 2015, **94(6)**: 973-976.
16. Kęsik K.: Zastosowanie metody Mehlich 3 w systemie doradztwa nawozowego. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2016, **48(2)**: 95-104.
17. Klinkocka H.: Nawożenie ziemniaka siarką. *Fragmenta Agronomica* 2004, **3(83)**: 80-94.
18. Klinkocka H.: Sulphur status in environment. *Journal of Elementology*, 2005, **10(3)**: 625-643.
19. Kovar J.L., Grant C.A.: Nutrient cycling in soils: sulfur. <https://digitalcommons.unl.edu/usdaarsfacpub/1383><https://digitalcommons.unl.edu/usdaarsfacpub/1383>
20. Kucharski J.: Relacje między aktywnością enzymów a żyznością gleby. W: *Drobnoustroje w środowisku, występowanie, aktywność i znaczenie*, W. Barabasz (red.). AR Kraków, 1997, ss. 327-347.
21. Łabętowicz J.: Współczesne poglądy na żyzność i metody testowania gleb. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization*, 2000, **3a**: 106-130.
22. Lepiarczyk A., Filipek-Mazur B.: Wpływ nawożenia siarką na plonowanie i skład elementarny ziarna pszenicy ozimej. Cz. I. Wielkość i komponenty plonu ziarna pszenicy ozimej. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 2010, **556**: 157-163.
23. Lepiarczyk A., Filipek-Mazur B., Joniec B., Tabak M.: Wpływ nawożenia azotem i siarką na plonowanie i skład chemiczny ziarna kukurydzy. Cz. I. Wielkość i komponenty plonu ziarna kukurydzy. *Fragmenta Agronomica*, 2013, **30(3)**: 115-122.
24. Lipiński W.: Pięćdziesiąt lat działalności stacji chemiczno-rolniczych w Polsce. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization*, 2005, **23**: 7-25.
25. Lipiński W., Terelak H., Motowicka-Terelak T.: Propozycja liczb granicznych zawartości siarki siarczanowej w glebach mineralnych na potrzeby doradztwa nawozowego. *Roczniki Gleboznawcze*, 2003, **LIV(3)**: 79-84.
26. Mehlich A.: Mehlich 3 soil test extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. *Commun. Soil Science and Plant Analysis*, 1984, **15**: 1409-1416.
27. Motowicka-Terelak T., Terelak H., Witek T.: Liczby graniczne do wyceny zawartości siarki w glebach i roślinach. W: *Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. Ramowe wytyczne dla rolnictwa*, A. Kabata-Pendias, T. Motowicka-Terelak, M. Piotrowska i in. (red.). IUNG Puławy, 1993, **P(53)**: 15-19.
28. Motowicka-Terelak T., Terelak H.: Siarka w glebach Polski – Stan i zagrożenie. *PIOŚ, Biblioteka Monitoringu Środowiska*, Warszawa, 1998, ss. 106.
29. Myśków W., Zięba S.: Aktywność biologiczna gleby w aspekcie jej żyzności i urodzajności. *Biuletyn informacyjny IUNG*, 1997, I/II kwartał, **5**: 24-26.
30. Bojski J., Strączyński S.: Odczyn i zasobność gleb Polski w makro i mikroelementy. *IUNG Puławy*, 1995, ss. 40.
31. Ochal P.: Wykorzystanie syntetycznego wskaźnika do oceny stanu agrochemicznego gleb w Polsce. Praca doktorska (maszynopis), IUNG-PIB Puławy, 2012, ss. 108.
32. Ochal P.: Wąpnowanie podstawowym elementem dobrych praktyk rolniczych. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2014, **37(11)**: 9-18.
33. Pautler M., Sims J.T.: Relationships between soil test phosphorus, soluble phosphorus, and phosphorus saturation in delaware soils. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, **64(2)**: 765-773, <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.642765x>
34. PN-R-04023:1996: Analiza chemiczno-rolnicza gleby, Oznaczanie zawartości przyswajalnego fosforu w glebach mineralnych, ss. 4.
35. Podleśna A.: Wstępna ocena potrzeb nawożenia siarką rzepaku ozimego. *Rośliny Oleiste*, 2003, **XXIV**: 641-649.
36. Podleśna A.: Wpływ deficytu siarki na gospodarkę składnikami pokarmowymi pszenicy ozimej. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 2010, **545**: 237-243.

37. Podleśna A.: Studia nad rolą siarki w kształtowaniu gospodarki mineralnej oraz wielkości i jakości plonu wybranych roślin uprawnych. Monografie i Rozprawy Naukowe, IUNG-PIB Puławy, 2013, **37**: 1-141.
38. Podleśna A., Podleśny J., Klikocka H.: Wpływ nawożenia siarką i azotem na azotowo-fosforową gospodarkę kukurydzy. Przemysł Chemiczny, 2017, **6**: 1374-1377.
39. Potarzycki J.: Fosfor w glebie. Journal of Elementology, 2003, **8**: 19-32.
40. Pote D.H., Daniel T.C., Nichols D.J., Moore P.A. Jr., Miller D.M., Edwards D.R.: Seasonal and soil-drying effects on runoff phosphorus relationships to soil phosphorus. Soil Science Society of America Journal, 1999, **63**: 1006-1012. <https://doi.org/10.2136/sssaj1999.6341006x>
41. Siebielec G., Smreczak B., Klimkowicz-Pawlas A. i in.: Monitoring chemizmu gleb ornych w Polsce w latach 2010–2012. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, 2012, ss. 196.
42. Szulc W.: Potrzeby nawożenia roślin uprawnych siarką oraz metody ich wyznaczania. Rozprawy Naukowe i Monografie, Wyd. SGGW, Warszawa 2008, **332**: 1-98.
43. Tabatabaia M.A.: Sulphur in agriculture. American Society of Agronomy, 1986, Madison, USA, pp. 688.
44. Till A.R.: Sulphur and sustainable agriculture. Int. Fertilizer Industry Association, 2010, Paris, France, pp. 70.
45. Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne (Dz.U. z 2021 r. poz. 716).
46. Witk T., Górski T.: Przyrodnicza bonitacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce. Wyd. Geologiczne, Warszawa 1997, s. 14-45.
47. Zhao F.J., Wood A.P., McGrath S.P. Effects of sulphur nutrition on growth and nitrogen fixation of pea (*Pisum sativum* L.). Plant Soil, 1999, **212**: 207-2017.
48. Ziadin, Sen Tran T.: Mehlich 3 extractable elements. In: Soil sampling and methods of analysis, M.R. Carter, E.G. Gregorich (eds). Taylor and Francis, 2008, pp. 81-88.

---

Adres do korespondencji:

*mgr Beata Jurga*  
*Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8*  
*24-100 Puławy*  
*tel. 81 4786 839*  
*e-mail:bjurga@iung.pulawy.pl*

---

| AUTOR         | ORCID               |
|---------------|---------------------|
| Beata Jurga   | 0000-0001-9398-0359 |
| Piotr Ochal   | 0000-0002-5246-3192 |
| Anna Podleśna | 0000-0001-5652-8881 |



**Dorota Pikula**

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

## WSKAŹNIKI OCENY MATERII ORGANICZNEJ I MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ICH W PRAKTYCE ROLNICZEJ\*

**Słowa kluczowe:** kwasy huminowe, kwasy fulowe, huminy, żyzność gleby, stosunek  $C_{KH}:C_{KF}$ , metody spektrometryczne

### Wstęp

Zgodnie z definicją Bednarek i in. (2), materia organiczna (SOM) zbudowana jest z próchnicy glebowej, w skład której wchodzi humus zawierający kwasy humusowe (kwasy fulowe, kwasy huminowe, huminy i substancje nieswoiste) oraz niehumifikowane części organiczne. Obecnie badania światowe nad próchnicą prowadzone są w kontekście „Materia organiczna gleby w stresującym świecie” i mają dwa cele: lepsze zrozumienie i ilościowe określenie funkcji glebowej materii organicznej w systemach naturalnych, jak i zarządzanych przez człowieka oraz zrozumienie stresorów, które wpływają zarówno na jej stabilność, jak i zdolność do akumulacji w glebie (18). Dla XXI wieku charakterystyczne są drastyczne zmiany środowiskowe. Z powodu złego zarządzania i intensywnych konwencjonalnych metod uprawy zasoby węgla są tracone 10–40 razy szybciej niż można go naturalnie uzupełniać (28, 33, 42). Aktualnie z powodu niedostatków obornika rolę materii organicznej w kształtowaniu żyzności gleby przejęły nawozy mineralne jako główne źródło składników pokarmowych. Nie mają one jednak takiej funkcji w utrzymaniu zdrowia i żyzności gleby, jaką posiada materia organiczna (13). W efekcie ponad 40% gleb wykorzystywanych w rolnictwie na całym świecie jest klasyfikowanych jako zdegradowane lub poważnie zdegradowane. Niska zawartość glebowej materii organicznej potęguje niepokój w kręgach naukowych, ponieważ odgrywa ona kluczową rolę w utrzymaniu zdolności gleby do zatrzymywania wody oraz w obiegu składników pokarmowych (18, 23, 41, 42). W związku z powyższym znaczenie węgla organicznego w glebie

\*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.1 pt. „Nawożenie użytków rolnych” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2021 r.



– w jaki sposób jest on tracony z gleby i jak można odwrócić ten trend – jest ciągle aktualnym przedmiotem badań naukowych (6, 7, 9, 11, 12, 15, 19, 21, 24, 26, 27, 33, 39). Według naukowców zawartość materii organicznej w glebie można skutecznie modyfikować za pomocą nawożenia organicznego, naturalnego i płodozmianu (6, 26, 30, 39). Lal (28, 29) dodatkowo nadmienia, że należy przy tym koncentrować się na wprowadzeniu do gleby materii organicznej (np. kompostów) (15, 1), która przekształca się w tzw. węgiel „stabilny” lokujący się w agregatach glebowych (32, 44), mogący przetrwać tysiące lat, a nie na węglu „aktywnym” znajdującym się w wierzchniej warstwie gleby oraz będącym w transformacji między mikroorganizmami a atmosferą (przyorywanie słomy).

W Polsce do oceny salda materii organicznej w glebie przyjęła się metoda bilansowania próchnicy z zastosowaniem tzw. współczynników reprodukcji lub degradacji materii organicznej (niem.: *Ersatz- und Bedarfskoeffizienten*) (25, 48). Współczynniki te zostały przyjęte w Kodeksie dobrej praktyki rolniczej opublikowanym przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi w 2004 r. (21). Za podstawową jednostkę w obliczeniach bilansu próchnicy przyjęto 1 kg Corg. w szumifikowanej masie organicznej, co oznacza, że w 1 kg próchnicy znajduje się 0,58 kg węgla, a więc 1 kg tego pierwiastka odpowiada 1,72 kg próchnicy. Wartości współczynników reprodukcji i degradacji dla różnych roślin i różnych rodzajów gleb odpowiadają zatem ilości s.m. materii organicznej w  $t \cdot ha^{-1}$ , o jaką gleba zostanie wzbogacona (+) lub zubożona (-) w wyniku jednorocznej uprawy danej rośliny lub wprowadzenia określonego nawozu naturalnego bądź organicznego (38, 48).

Obecnie bezsporne jest, że bilanse oparte na wartościach współczynników reprodukcji i degradacji materii organicznej nie odzwierciedlają faktycznej zawartości węgla organicznego w glebie (38, 39). Ponadto występuje brak spójności pomiędzy wynikami analiz dokonywanych różnymi metodami analitycznymi – badania porównawcze w profilach wzorcowych, modele zmian zawartości węgla w glebie – a bilansem węgla na podstawie współczynników reprodukcji/degradacji. Jedną z przyczyn wspomnianego zróżnicowania wyników ocen może być brak zaktualizowanych i zaadaptowanych do krajowych warunków współczynników bilansowania materii organicznej w glebie dla poszczególnych upraw, systemów produkcji i uprawy, typów zmianowania. W Polsce prowadzono i prowadzi się szereg badań nad dynamiką przemian i jakością materii organicznej, ale w większości mają one charakter analityczny (opisowy) i nie znalazły podsumowania w postaci normatywów, ponieważ jest to trudne ze względu na brak obiektów doświadczalnych zlokalizowanych na różnych typach gleb (39). Wadą tych współczynników jest również to, że odnosi się je do 1 ha uprawy danej rośliny bez względu na wielkość plonu i ilość wprowadzanych do gleby resztek poźniwnych i nie uwzględnia się puli węgla organicznego wnoszonego do gleby z masą korzeniową roślin uprawnych. W dodatku z badań naukowych wynika, że zwiększenie zawartości materii organicznej w glebie nie wystarcza, ponieważ o trwałości węgla w glebie decydują substancje humusowe, które są głównym stabilnym składnikiem materii organicznej (3, 46, 47). Obecnie badania naukowe koncentru-

ją się na zawartości w glebach bardziej stabilnych frakcji materii organicznej, a więc kwasów huminowych oraz humin (5, 7, 9, 43). Naukowcy potwierdzają, że stabilne frakcje próchnicy poprawiają nie tylko właściwości chemiczne gleb, ale również właściwości fizyczne i biologiczne, co ma podstawowe znaczenie dla rolnictwa i ochrony środowiska (9, 26, 39, 48). Bardzo cenną właściwością materii organicznej, dzięki zawartości w niej kwasów humusowych, jest zdolność do magazynowania dużych ilości wody (45). Zatem oprócz działań agrotechnicznych w kierunku zwiększania zawartości materii organicznej, szczególnie w glebach lekkich, konieczne jest badanie jej jakości i stabilności (43, 44). Substancje humusowe po wprowadzeniu do gleby pełnią określone funkcje, oddziałując na przykład na możliwości pochłaniania wody oraz immobilizacji zanieczyszczeń w środowisku glebowym (5, 16, 26). Jednym z istotnych wskaźników oceny jakościowej materii organicznej jest wartość stosunku  $C_{KH}:C_{KF}$  (stosunek węgla kwasów huminowych do węgla kwasów fulwowych), czyli indeks humifikacji (2). Wartości  $C_{KH}/C_{KF}$  przekraczające 1 są uznawane za charakterystyczne dla gleb żyznych z przewagą stabilnych frakcji materii organicznej – humin i kwasów huminowych (3, 43). Stąd też w zaleceniach nawozowych powinno się rekomendować oznaczenia chemiczne w glebie nie tylko zawartości węgla organicznego (Corg.), ale całego składu frakcyjnego materii organicznej z wydzieleniem poszczególnych jej frakcji (węgla kwasów huminowych, węgla kwasów fulwowych i węgla humin). Indeksy humifikacji i przemiany materii organicznej – określające stosunek procentowej zawartości wyekstrahowanych związków humusowych do węgla ogółem, dostarczają bowiem precyzyjnych informacji o ilość trwałej, odporniej na mineralizację frakcji materii organicznej. Z punktu widzenia rolniczego i środowiskowego ważne jest także wydzielenie frakcji labilnych węgla organicznego (10, 16, 36). Celem niniejszego artykułu jest przybliżenie wiedzy na temat wskaźników charakteryzujących materię organiczną gleby oraz przedstawienie możliwości wykorzystania ich w praktyce rolniczej.

### Substancje humusowe w glebie

Substancje humusowe powstają w wyniku procesu humifikacji, na który składają się chemiczne i mikrobiologiczne procesy rozkładu resztek roślinnych i zwierzęcych w glebie oraz przebudowa i synteza związków organicznych prowadząca do powstania nowych substancji humusowych – próchnicy (humusu) (5, 9, 26, 43, 47, 48). Proces humifikacji prowadzi do odtwarzania (zwiększania) ilości substancji humusowych w glebie. Jest on jednak ograniczany przez proces mineralizacji, czyli proces rozkładu połączony z wytworzeniem prostych związków mineralnych. Oba te procesy zachodzą równocześnie i są ze sobą ściśle powiązane, produkty procesu humifikacji są włączane do procesu mineralizacji i odwrotnie. Przyjmuje się, że od 3/4 do 4/5 materii organicznej corocznie wprowadzanej do gleby w postaci nawozów naturalnych oraz resztek roślinnych i zwierzęcych ulega mineralizacji, a tylko od 1/4 do 1/5 przekształca się w swoje substancje próchniczne (5, 47). Na ilość i jakość

substancji humusowych mają wpływ: typ, odczyn, temperatura i wilgotność gleby, rodzaj nawozów, liczba mikroorganizmów w glebie oraz masa i jakość materiału organicznego wprowadzanego do gleby (5, 9, 21, 34, 36, 43).

Substancje humusowe dzieli się przeważnie na trzy grupy: kwasy huminowe ( $C_{KH}$ ), kwasy fulwowe ( $C_{KF}$ ) oraz huminy ( $C_H$ ) (46, 47). Powyższego podziału dokonano na podstawie analitycznych procedur frakcjonowania tych związków, opierając się na różnicach w ich rozpuszczalności w selektywnie działających rozpuszczalnikach (8). Kwasy huminowe ( $C_{KH}$ ) to słabe alifatyczne i aromatyczne kwasy organiczne, rozpuszczają się tylko w roztworach zasadowych, są nierozpuszczalne w wodzie, w środowisku kwaśnym ulegają jedynie wytrąceniu. Zawierają około 58% węgla i charakteryzują się barwą od ciemnobrązowej do czarnej. Odgrywają szczególną rolę w kształtowaniu żyzności gleby, gdyż wpływają na tworzenie się agregatów glebowych, poprawiają wchłanianie składników pokarmowych przez mikroorganizmy (9, 17, 31, 32, 40), a także oddziałują na dynamikę N i P w glebie (16). Kwasy fulwowe ( $C_{KF}$ ) są grupą związków zawierających mniej pierścieni aromatycznych, ale więcej tlenu niż kwasy huminowe, są rozpuszczalne w wodzie w całym zakresie pH, w kwasach i zasadach. Zawierają ok. 55% węgla i mają barwę od żółtej do żółtobrązowej. Ta frakcja kwasów humusowych odpowiedzialna jest za wymywanie zasadowych składników z gleby, w związku z tym nie jest korzystna dla jakości próchnicy. Huminy ( $C_H$ ) to grupa związków o barwie czarnej, nierozpuszczalnych w wodzie w całym zakresie pH oraz rozcieńczonych roztworach mineralnych kwasów i zasad. Huminy stanowią najważniejszą frakcję substancji humusowych, są wskaźnikami stabilności próchnicy, poprawiają strukturę i pojemność wodną gleby oraz stanowią rezerwuar składników odżywczych dla roślin (7, 8, 43, 47).

### Przegląd metod frakcjonowania materii organicznej

W badaniach naukowych do oceny składu i właściwości materii organicznej stosuje się szereg metod fizycznych, chemicznych i biologicznych ekstrakcji i frakcjonowania. Za pomocą tych metod można rozdzielić materię organiczną na frakcje kwasów huminowych, kwasów fulwowych i humin. Istnieją różne sposoby rozdzielania substancji humusowych na poszczególne frakcje, a każda technika ma swoje zalety i ograniczenia (8, 14, 16, 35, 37). Najpopularniejszą metodą jest zastosowanie NaOH do ekstrakcji kwasów huminowych z gleby (9, 44), zwłaszcza że kwasy huminowe ekstrahowane roztworami alkalicznymi charakteryzują się wysoką czystością niezbędną do dalszych analiz fizykochemicznych (np. UV-VIS, NMR i IR, VIS-NIR) (8). Fizyczne metody oznaczania zawartości różnych frakcji glebowej materii organicznej wykorzystują natomiast różnice w gęstości lub rozmiarze poszczególnych jej frakcji. Metodami tymi oznacza się frakcję lekką materii organicznej, która jest oddzielana od reszty SOM (ang. *Soil Organic Matter*) poprzez flotację. Dzięki tej metodzie można wyodrębnić dwie frakcje – makro- (>0,2 mm) i mikroagregatów (<0,2 mm) (37, 40) lub trzy frakcje agregatów: gruboziarnistą (0,1–2 mm), drobnoziar-

nistą (0,05–0,1 mm) i stabilną biologicznie (<0,05 mm) w wyniku przesiewania gleby na mokro przez sita o wymiarach oczek 0,1 i 0,05 mm, po wcześniejszym wytrząsaniu jej z wodą destylowaną (15, 30). Gregorich i in. (15) podają, że makroagregaty są to frakcje materii organicznej zasobne w młodą i łatwo rozkładającą się materię organiczną, natomiast w mikroagregatach znajduje się SOM trudno rozkładająca się, przy czym jest jej mniej niż w makroagregatach. Jeżeli chodzi o chemiczne metody wydzielenia frakcji SOM, to jeszcze kilkanaście lat temu badania nad jakością materii organicznej skupiały się na jej rozdzieleniu na kwasy huminowe, kwasy fulwowe i huminy, które oznaczane były z wykorzystaniem skomplikowanych i czasochłonnych metod Turina, Boratyńskiego i Wilka oraz Kononowej i Belczikowej (8). Obecnie w badaniach gleb lekkich podziału substancji humusowych na kwasy huminowe ( $C_{KH}$ ), kwasy fulwowe ( $C_{KF}$ ) oraz huminy ( $C_H$ ) dokonuje się według znacznie prostszej metody Schnitzera, wykorzystującej rozpuszczalność tych związków w selektywnie działających rozpuszczalnikach (8, 44). Standardowo przed ekstrakcją z gleby określa się całkowity węgiel organiczny, według powszechnie przyjętej metody. Metody Schnitzera i Turyna oparte na ekstrakcji z wykorzystaniem NaOH są odpowiednie dla gleb bezwęglanowych. W związku z tym przed frakcjonowaniem konieczne jest oznaczenie węglanów w glebie (8, 44). W obu metodach stosowanie NaOH do ekstrakcji kwasów humusowych z gleb mineralnych, jak i organicznych jest wysoce skuteczne, po uprzedniej dekalcytacji próbek gleby 0,025 M HCl. Następnie kwasy humusowe i fulwowe przechodzą do roztworu podczas ekstrakcji alkalicznej. Wyzolowane kwasy huminowe to słabe alifatyczne i aromatyczne kwasy organiczne, nierozpuszczalne w wodzie ani w środowisku kwaśnym. Zazwyczaj oznacza się węgiel zawarty w jednej z frakcji próchnicy, a zawartość węgla pozostałych oblicza się jako różnicę pomiędzy całkowitą zawartością węgla organicznego a zawartością węgla oznaczonej frakcji (8, 44). Innym podejściem do oceny ilości i jakości próchnicy jest podział SOM na dwie frakcje – labilną i stabilną (37). Można je wyodrębnić metodami chemicznymi, fizycznymi i biologicznymi. Frakcja labilna to frakcja SOM szybko rozkładana przez mikroorganizmy, natomiast frakcja trwała charakteryzuje się dłuższym czasem rozkładu. Frakcję labilną definiuje się jako część materii organicznej, która jest zawieszona w roztworze o gęstości 1,6–2,0 g·m<sup>-3</sup>. Frakcja ta może zawierać około 8% całkowitego węgla organicznego i 5% całkowitego azotu (15). Według podziału zaproponowanego przez Haynes (16) labilną frakcję materii organicznej tworzą: biomasa mikroorganizmów oraz frakcje – lekka (LF, ang. *Light Fraction*) i łatwo rozpuszczalna (DOM, ang. *Dissolved Organic Matter*). W skład frakcji lekkiej wchodzi części roślin, zwierząt i mikroorganizmów o różnym stopniu rozkładu. Frakcja łatwo rozpuszczalna reprezentuje z kolei najbardziej ruchliwą i najszybciej rozkładającą się frakcję SOM, która stanowi pierwsze źródło energii dla mikroorganizmów znajdujących się w glebie. Trwałą materię organiczną tworzą ligniny i inne substancje, które są trudno rozkładane przez mikroorganizmy glebowe. Znaczenie wzrostu zawartości w glebach bardziej stabilnych frakcji materii organicznej takich jak kwasy huminowe oraz huminy potwierdzają badania naukowe. Stwierdzono, że

frakcje stabilne SOM poprawiają nie tylko właściwości chemiczne i fizyczne gleb, ale również ich właściwości biologiczne, co ma praktyczne znaczenie dla plonowania roślin uprawnych (17, 26, 33).

Metody chemiczne wydzielania frakcji labilnej SOM polegają na traktowaniu gleby mocnymi kwasami, nadmanganianem potasu (VII) lub na ekstrakcji za pomocą gorącej wody (34, 35, 43). Ilość węgla rozpuszczonego w gorącej wodzie wskazuje na stabilność glebowej materii organicznej. Stosując wymienione wyżej metody, zakłada się, że jeśli frakcja labilna jest łatwo rozkładana przez enzymy mikroorganizmów, to może ona być również rozkładana przez wymienione związki chemiczne (37). W metodzie z wykorzystaniem nadmanganianu potasu (VII), znając zawartość węgla frakcji labilnej, ulegającej utlenieniu pod wpływem  $\text{KMnO}_4$ , oraz nielabilnej, czyli nieutleniającej, labilność można obliczyć jako iloraz tych dwóch frakcji (34). Węgiel labilny (L) jest też jednym z elementów potrzebnych do obliczenia tzw. wskaźnika zagospodarowania węgla CMI (ang. *Carbon Management Index*) (1). Przy wyznaczaniu tego wskaźnika uwzględnia się stosunek zasobów węgla w glebie badanej i porównawczej (CPI) oraz wskaźnik labilności (LI) obliczony jako stosunek zawartości węgla labilnego oznaczonego w badanej glebie do ilości węgla labilnego w próbie kontrolnej. CMI jest iloczynem CPI i LI wyrażonym w procentach (1). Wskaźnik ten jest przydatny i wykorzystywany m.in. do porównania zmian, które zachodzą w zawartości węgla labilnego i ogólnego na skutek stosowania różnych praktyk rolniczych.

Ekstrakcja węgla za pomocą gorącej i zimnej wody zaliczana jest także do chemicznych metod oznaczania labilnej frakcji materii organicznej. Zawartość węgla frakcji SOM ekstrahowanej gorącą wodą wskazuje na ilość w glebie materii organicznej, która ulega łatwemu rozkładowi (43). Suche powietrznie próbki miesza się w odpowiednim stosunku z gorącą wodą, a następnie w czystym ekstrakcie oznacza się węgiel. Ekstrakt ten zawiera biomasę mikroorganizmów glebowych oraz inne proste związki organiczne, na przykład cukry i aminokwasy. Zawartość węgla frakcji labilnej jest silnie skorelowana z zawartością materii organicznej i biomasą mikroorganizmów (43). Biomasę mikroorganizmów oraz związany z nią węgiel organiczny określa się metodami biologicznymi. Polegają one na wykorzystaniu mikroorganizmów do oddzielenia węgla labilnego od węgla trwałego, co odbywa się w warunkach kontrolowanych. Przyjmuje się, że mikroorganizmy najpierw rozkładają węgiel najbardziej labilny, który jest oznaczany przez pomiar wydzielanego  $\text{CO}_2$  (37). Ilość węgla związanego z biomasą mikroorganizmów oznacza się m.in. metodą fumigacji-ekstrakcji. Za pomocą tej metody określa się również potencjalną zdolność do rozkładu dodawanych do gleby substancji organicznych oraz ich wpływ na naturalną populację mikroorganizmów. Biomasę mikroorganizmów w glebach określa się przez pomiar całkowitego, możliwego do wyekstrahowania materiału organicznego pochodzącego głównie ze świeżo obumarłych mikroorganizmów. Metodę fumigacji-ekstrakcji można także stosować do oceny zawartości azotu w biomasie drobnoustrojów i zawartości w glebie azotu pochodzenia drobnoustrojowego, reagującego z ninhydryną. Stosuje się ją do oceny gleb hydrogenicznych i semihydrogenicznych w całym zakresie pH (36,

37). Jako biomasę mikroorganizmów glebowych traktuje się masę nieuszkodzonych komórek mikroorganizmów w glebie. Parametr ten można oznaczać przez pomiar zawartości węgla lub azotu zawartego w tych komórkach lub przez pomiar ich zdolności do mineralizacji dodanej substancji będącej źródłem węgla lub azotu, natomiast jedynie nieuszkodzone komórki można wykryć przez pomiar oddychania. W wyniku fumigacji próbki gleby nieuszkodzone komórki drobnoustrojów glebowych ulegają lizie skutkującej uwalnianiem się zawartej w nich materii organicznej. Fumigacja nie oddziałuje znacząco na nieożywioną materię organiczną gleby. Próbki gleby są poddawane fumigacji przez 24 h przy użyciu chloroformu. Węgiel organiczny, ekstrahowany za pomocą 0,5 M siarczanu potasu, oznaczany jest w fumigowanych i niefumigowanych próbkach, a różnica zawartości wyekstrahowanego węgla organicznego jest wykorzystywana do oznaczania węgla biomasy mikroorganizmów. Jakość próchnicy można ocenić również, wykorzystując metodę Łoginowa i Wiśniewskiego (35), która odzwierciedla naturalne procesy oksydacyjne zachodzące w glebie. Polega ona na frakcjonowaniu próchnicy na podstawie jej podatności na utlenianie. Metoda ta w wyniku modyfikacji i standaryzacji znalazła praktyczne zastosowanie i umożliwiła wyznaczenie wskaźnika zagospodarowania węgla (CMI, ang. *Carbon Management Index*) (1). Zastosowanie metody frakcjonowania według propozycji Łoginowa i Wiśniewskiego oraz wyznaczonego na tej podstawie wskaźnika CMI umożliwia ocenę stanu i szybkości przemian glebowego węgla w systemach rolniczych i naturalnych. Metodą tą wydziela się cztery frakcje: FI – bardzo łatwo utlenianą, FII – łatwo utlenianą, FIII – trudno utlenianą, FIV – nieutlenianą przy danym stężeniu środka utleniającego. Warto podkreślić, że rozdział materii organicznej oparty na utlenianiu jest najbardziej zgodny z naturalnymi procesami jej mineralizacji w glebie. Analizy dokonane tym sposobem potwierdzają, że zabiegi agrotechniczne powodują nie tylko zmiany ilościowe w ogólnej zawartości węgla próchnicy, ale związane są również ze zmianą jej jakości (35).

### **Wykorzystanie spektroskopowych metod w badaniach substancji humusowych**

Poza tradycyjnymi metodami chemicznymi pozwalającymi scharakteryzować jakość materii organicznej w ostatnich latach zaczęto wykorzystywać do tego celu nowoczesne lecz proste w wykonaniu i niedestrukcyjne metody optyczne (39). Jest to możliwe dzięki temu, że substancje humusowe wykazują silną absorbancję w zakresie promieniowania ultrafioletowego i widzialnego UV-VIS, tj. o dł fali od 190 do 800 nm. (24). Metoda spektrofotometrii UV-VIS jest jedną z najstarszych technik instrumentalnych wykorzystujących do celów analitycznych energetyczne przejścia spowodowane pochłanianiem promieniowania elektromagnetycznego w zakresach: nadfioletu (200–400 nm) i światła widzialnego (380–780 nm). Zastosowanie absorpcji elektronowej w zakresie UV-VIS pozwala na charakterystykę struktury chemicznej cząstek kwasów huminowych (5, 43, 46, 47). Za pomocą tej metody można oznaczać

zarówno substancje organiczne, jak i nieorganiczne, które są zdolne do absorpcji wymienionych już wyżej rodzajów promieniowania (5). Ilościową miarą wielkości absorpcji jest absorbancja. Pomiar właściwości optycznych (absorbancji i ilorazów absorbancji) w zakresie promieniowania ultrafioletowego i widzialnego (UV i VIS) pozwala określić i ocenić jakość substancji humusowych. W literaturze przedmiotu można znaleźć liczne interpretacje pasm absorpcyjnych, specyficzne dla każdego z nich struktury, grupy funkcyjne, czy też rodzaje wiązań chemicznych, które występują w budowie kwasów huminowych (3). Metoda UV-VIS pozwala ustalić także tzw. „wiek” kwasów huminowych, dzięki analizie ich chemicznej budowy i interpretacji właściwości optycznych. Zgodnie z charakterystyką właściwości optycznych substancji humusowych, „młode” kwasy huminowe charakteryzują się na ogół mniejszą gęstością optyczną w porównaniu z kwasami „dojrzałymi”, co wynika z mniejszej kondensacji jądra aromatycznego i przewagi łańcuchów bocznych (5, 24, 43). Ponadto charakteryzują się wyższymi wartościami współczynników absorbancji przy odpowiednich długościach fal w porównaniu z kwasami huminowymi o wysokim współczynniku humifikacji (5, 9). Metoda spektrofotometrii UV-VIS jest przydatnym narzędziem, które umożliwia śledzenie procesów rozkładu materii organicznej różnego pochodzenia w glebie (5, 43). Dla środowiska glebowego duże znaczenie ma część materii organicznej, która łatwo ulega rozkładowi z udziałem mikroorganizmów. W skład takiej próchnicy wchodzi polimeryzowane substancje próchniczne, czyli kwasy humusowe i huminy, jak również trudniej ulegające rozkładowi żywice, woski, ligniny – składniki resztek roślinnych i zwierzęcych (2, 13). Ekstrakcję kwasów huminowych często wykonuje się 0,5 M roztworem NaOH po uprzedniej dekalcytacji próbki gleby 0,01 M HCl. Następnie poprzez zakwaszenie roztworem HCl do pH = 2 wytrąca się z ekstraktu kwasy huminowe, które oczyszcza się mieszaniną HCl + HF, liofilizuje i uciera w moździerzu agatowym (8). Właściwości spektralne w zakresie UV-VIS oznacza się dla 0,02% roztworów kwasów huminowych w 0,1 mol·dm<sup>-3</sup> NaOH – spektrometrem (8, 26, 43).

Spektroskopia w paśmie widzialnym i w bliskiej podczerwieni (VIS-NIR) jest narzędziem, które umożliwia analizę wielu składników chemicznych i fizycznych gleby w tym samym czasie. Jest ona tania, nieskomplikowana i nie wymaga stosowania dużej liczby odczynników chemicznych, z wyjątkiem próbek kalibracyjnych. Co więcej, VIS-NIR jest praktycznym narzędziem wykorzystywanym w rolnictwie precyzyjnym, które może wspomagać decyzje nawozowe prowadzące do zwiększenia dostępności składników odżywczych dla roślin. Znajomość zawartości węgla organicznego w glebie jest przydatna w zaleceniach agrotechnicznych związanych z nawożeniem; parametr ten jest jednym z najczęściej analizowanych właściwości gleb metodą VIS-NIRS (4). Wykonanie pomiarów spektralnych w zakresie światła widzialnego i bliskiej podczerwieni jest niezwykle przydatne do scharakteryzowania zmian zawartości węgla organicznego w czasie. Przeprowadzone analizy zawartości Corg. i substancji humusowych potwierdziły, że spektroskopia w zakresie VIS-NIR może być wykorzystywana do przewidywania wielu właściwości związanych

z żyznością gleby, m.in. zawartości węgla organicznego, jak i poszczególnych frakcji materii organicznej (4, 49). W skali gospodarstwa metoda VIS-NIR daje wyniki porównywalne do uzyskanych metodami klasycznymi. W skali regionalnej lub większej metoda ta nie jest tak precyzyjna jak metody laboratoryjne. Jednak biorąc pod uwagę fakt, że koszty jej zastosowania są nawet do 90% niższe od metod tradycyjnych, a czas analizy zmniejszony kilkukrotnie, można ją stosować na większą skalę, gdyż jest ona prawdopodobnie najlepszą alternatywą dla klasycznych metod mapowania tych właściwości i konieczności pobierania setek lub tysięcy próbek gleby. Metoda VIS-NIR jest techniką szybką, dokładną i bardziej ekonomiczną niż konwencjonalne metody analizy gleb, niewymagającą dużych ilości materiału glebowego. Ponadto jest ona niedestrukcyjna i w połączeniu z wielowymiarową kalibracją widm glebowych może być wykorzystana do szacowania zawartości węgla organicznego, jak i zawartości kwasów huminowych, kwasów fulwowych i humin (4, 49). Wysoka czułość w stosunku do organicznych i nieorganicznych składników gleby czyni z niej potencjalnie bardzo przydatne narzędzie do oceny i monitorowania właściwości gleby oraz jej jakości i funkcjonalności.

### **Wskaźniki określające stopień zaawansowania procesu humifikacji**

Kwasy huminowe są mieszaniną związków o różnej budowie i dlatego na widmach UV-VIS nie przedstawiają maksimum absorpcji. Do oceny jakości próchnicy wykorzystuje się pomiary absorbancji ich roztworów przy długości fal: 280, 465 i 665 nm (5, 26), przy czym każda z długości fal odpowiada określonym związkom. Na podstawie pomiarów absorbancji przy długościach fal 280 nm (A 280), 400 nm (A 400), 465 nm (A 465), 665 nm (A 665) wylicza się dodatkowo wartości współczynników absorbancji A2/4, A2/6 i A4/6, na podstawie których można dokonać oceny stopnia zaawansowania procesu humifikacji materiału organicznego oraz interpretacji „wieku” powstałych kwasów huminowych (5, 26, 43). Wartość absorbancji przy długości fali 280 nm (A 280) związana jest z występowaniem struktur typu lignin, przy długości fali 465 nm (A 465) – substancji humusowych w początkowym stadium rozkładu, a przy długości fali 665 nm (A665) – substancji charakteryzujących się zaawansowanym stopniem humifikacji (5, 43). Wartości absorbancji przy wyżej wymienionych długościach fal są wykorzystywane następnie do obliczania wartości stosunków absorbancji. Iloraz barwy A4/A6 jest wskaźnikiem stopnia humifikacji (5, 43). Wartość A2/4 określa stosunek związków typu lignin do ilości substancji organicznej w początkowym stadium rozkładu. Wartość A 2/6 opisuje stosunek ilość związków typu lignin do substancji w zaawansowanym stopniu humifikacji. Wartość A4/6 określa stosunek substancji w początkowym stadium rozkładu do substancji będących w zaawansowanej humifikacji. Przyjmuje się, że wartość stosunku A4/6 jest odwrotnie proporcjonalna do stopnia kondensacji pierścieni aromatycznych w cząsteczkach substancji humusowych oraz/lub masy cząsteczkowej kwasów humusowych. O stopniu kondensacji pierścieni aromatycznych w strukturze kwasów hu-



musowych świadczy również intensywność wybarwienia tych związków. Porównując budowę chemiczną kwasów huminowych i ich właściwości optyczne, wykazano, że „młode” kwasy huminowe wykazują relatywnie niskie wartości absorbancji i wyższe wartości stosunku A4/6 w porównaniu z kwasami „dojrzałymi” (6, 44). Takie kwasy huminowe są charakterystyczne dla gleb ze świeżo wprowadzoną materią organiczną, np. w postaci wermikompostów, gleb nawożonych obornikiem, słomą oraz innymi resztkami roślin uprawnych. Gleby nawożone wyłącznie nawozami mineralnymi lub nie nawożone, nie wykazują natomiast właściwości tzw. „chemicznej młodości”, charakterystycznej dla gleb nawożonych m.in. obornikiem. Zależność tę potwierdziły badania Dębskiej (5). W widmach UV kwasów huminowych gleby nawożonej gnojowicą intensywność pasma przy 280 nm była wyższa niż w widmach kwasów huminowych gleby nawożonej wyłącznie NPK, a wraz ze zwiększeniem ilości materii organicznej wprowadzanej wraz z gnojowicą zmniejszał się stopień kondensacji jądra aromatycznego i malała masa cząsteczkowa kwasów huminowych. Świadczy to o obniżaniu stopnia humifikacji zarówno w wyniku bezpośredniego, jak i następczego działania gnojowicy. Literatura przedmiotu potwierdza także, że w widmach UV kwasów huminowych tzw. nowopowstałych, a więc „młodych”, może pojawić się również pasmo o maksimum przy około 280 nm, które zanika w miarę postępu procesu humifikacji. Kwasy huminowe wyizolowane z gleb inkubowanych razem z resztkami roślinnymi także charakteryzują się pojawieniem się pasma z maksimum przy około 280 nm, a wartości współczynników absorbancji A2/4 i A2/6 były wyższe w porównaniu ze współczynnikami kwasów huminowych wyizolowanych z gleb bez reszek roślinnych (7, 9).

### Podsumowanie

Obecnie w badaniach nad glebową materią organiczną najważniejsze jest opracowanie normatywów, które będą mogły znaleźć zastosowania przy opracowywaniu programów zapobiegających zmniejszaniu się lub ochronie zawartości materii organicznej w glebach, z podkreśleniem trwałych form próchnicy. Z powodu zdewaluowania się współczynników reprodukcji i degradacji materii organicznej, wykorzystywanych do oceny skuteczności praktyk rolniczych, konieczne jest wprowadzenie nowych wskaźników pozwalających na ocenę nie tylko aktualnej zawartości węgla organicznego w glebie, ale i jakości materii organicznej mierzonej procentowym udziałem poszczególnych jej frakcji w całkowitej puli węgla organicznego. Do oceny zawartości węgla organicznego w glebie rekomenduje się wykorzystanie metody VIS-NIR, która jest techniką szybką, dokładną, niewymagającą dużych ilości materiału glebowego, nieinwazyjną i bardziej ekonomiczną niż konwencjonalne metody analizy gleb. Po analizie próbki glebowe mogą być wykorzystywane do innych celów. Technika VIS-NIRS może być także przydatnym narzędziem nie tylko do szacowania dynamiki zmian zawartości węgla organicznego, ale także do oceny poprawy jakości materii organicznej. Wskaźnikiem mogącym znaleźć praktyczne zastosowanie może być

indeks humifikacji próchnicy  $C_{KH}/C_{KF}$ , czyli stosunek węgla kwasów huminowych do węgla kwasów fulwowych oraz % udział frakcji kwasów huminowych, kwasów fulwowych i humin w całkowitej puli węgla organicznego, wyizolowanych według metody Schnitzera. Kolejną propozycją do wykorzystania w praktyce rolniczej jest oznaczanie labilnej frakcji materii organicznej za pomocą gorącej i zimnej wody. Zawartość węgla frakcji SOM ekstrahowanej gorącą wodą wskazuje na ilość w glebie materii organicznej, która ulega łatwemu rozkładowi. Zawartość węgla tej frakcji jest silnie skorelowana z zawartością materii organicznej i biomasą mikroorganizmów. Metodę fumigacji-ekstrakcji można wykorzystać do oceny gleb m.in. hydrogenicznych i semihydrogenicznych w całym zakresie pH. Za pomocą każdej z tych metod można zmierzyć nieco odmienne zasoby węgla frakcji labilnych materii organicznej, ponieważ w naturze labilność jest efektem działania różnych czynników, m.in. aktywności enzymatycznej mikroorganizmów czy obecnych w glebie substancji chemicznych. Z tego powodu do oceny jakości materii organicznej najlepiej używać różnych metod jej frakcjonowania.

Zastosowanie w praktyce rolniczej wyżej wymienionych narzędzi i wskaźników pozwoliłoby ustalić aktualne zależności między materią organiczną gleby – zarówno między zawartością węgla organicznego, jak i zawartością zdefiniowanych frakcji węgla organicznego: kwasów huminowych, kwasów fulwowych i humin – a właściwościami gleby w gospodarstwach rolniczych. W Polsce nie ma informacji o jakości materii organicznej gleb użytkowanych rolniczo oraz o stopniu ich humifikacji. Parametry te posłużyłyby ponadto do oceny ryzyka wymywania labilnych form próchnicy, oraz do oceny skutków środowiskowych nadmiaru lub zmniejszenia zawartości materii organicznej w glebie. Istotnym ograniczeniem klasycznych metod frakcjonowania, mających na celu kontrolowanie naturalnych procesów oksydacyjnych materii organicznej gleb, jest nieco dłuższy czas potrzebny na przygotowanie próbek i stosunkowo wyższe koszty oznaczeń w porównaniu z oznaczeniem tylko zawartości węgla organicznego w glebie. Wdrożenie powyższych analiz do praktyki rolniczej dostarczyłoby szerszej wiedzy na temat wpływu zabiegów agrotechnicznych na powstawanie stabilnych i mobilnych form materii organicznej w glebie.

## Literatura

1. Blair G., Lefroy R., Whitbread A., Blair N., Daniel H.: The use of a Carbon Management Index (CMI) to monitor changes in soil carbon. Australian Society of Soil Science, 1998, [www.natres.psu.ac.th/Link/SoilCongress/bdd/symp12/436-t.pdf](http://www.natres.psu.ac.th/Link/SoilCongress/bdd/symp12/436-t.pdf).
2. Bednarek R., Dziadowiec H., Pokojska U., Prusinkiewicz Z.: Badania ekologiczno-gleboznawcze. Wydawnictwo PWN, Warszawa, cz. III. Materia organiczna, koloidy i roztwór glebowy jako przedmiot badań specjalistycznych, 2005, s. 113-173.
3. Cieścińska B.: Wykorzystanie wskaźników do oceny stanu materii organicznej gleb. Zeszyty Problematyczne Postępów Nauk Rolniczych, 2007, **520**: 587-592.
4. Debaene G., Pikula D., Niedźwiecki J.: Use of VIS-NIRS for land management classification with a support vector machine and prediction of soil organic carbon and other soil properties. Ciencia e Investigación Agraria, 2014, **41(1)**: 5-6.

5. Dęb ska B.: Właściwości substancji humusowych gleby nawożonej gnojowicą. Bydgoszcz, Rozprawy, 2004, **10**: 5-111.
6. Dęb ska B.: Rola resztek roślinnych w kształtowaniu żyzności gleb. W: Substancje humusowe w glebach i nawozach, Dęb ska B., Gonet S. (red.), PTSH Wrocław 2003, ss. 105-121.
7. Dziad owiec H.: Procesy przekształceń glebowej materii organicznej. W: Badania ekologiczno-gleboznawcze, Bednarek R., Dziad owiec H., Pokojska U., Prusinkiewicz Z. Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2004, ss. 141-148.
8. Dziad owiec H., Gonet S.S.: Przewodnik metodyczny do badań materii organicznej gleb. PTG Warszawa, 1999, s. 5-52.
9. Dziamski A.: Wpływ nawożenia organicznego na zawartość i jakość próchnicy gleb. W: Substancje humusowe w glebach i nawozach, Dęb ska B., Gonet S. (red.). PTSH, Wrocław 2003, ss. 127-140.
10. Ghani A., Dexter M., Perrott K.W.: Hot-water extractable carbon in soils: A sensitive measurement for determining impacts of fertilization, grazing and cultivation. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, **35**: 1231-1243.
11. Gonet S.S.: Ochrona zasobów materii organicznej. W: Rola materii organicznej w środowisku; Markiewicz M. (red.), PTSH, Wrocław 2007, ss. 7-29.
12. Gonet S.S.: Materia organiczna w tematycznej strategii ochrony gleb unii europejskiej. *Roczn. Gleboz.*, Warszawa 2007, T. LVIII, **3/4**: 15-26.
13. Gonet S., Smal H., Chojnicki J.: Właściwości chemiczne gleb. W: *Gleboznawstwo*, Polskie Wydawnictwo Naukowe, 2015, ss. 189-200.
14. González-Vila F.J., Almendros G., Madrid F.: Molecular alterations of organic fractions from urban waste in the course of composting and their further transformation in amended soil. *Science of The Total Environment*, 1999, **236(1-3)**: 215-229.
15. Gregorich E.G., Beare M.H., Stoklas U., St-Georges P.: Biodegradability of soluble organic matter in maize-cropped soils. *Geoderma*, 2003, **113**: 237-252.
16. Haynes R.J. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, **32**: 211-219.
17. Hernandez T., Garcia C., Pascual J.A., Moreno J.L.: Humic acids from various organic wastes and more traditional organic matter: Effect on plant growth and nutrient absorption, 2001, *Understanding and Managing Organic Matter in Soils, Sediments and Waters. Proceeding of the 9th International Conference of the International Humic Substances Society University of Adelaide, Adelaide, Australia, 21st-25th September 1998.* (Red.) R.S. Swift and K.M. Spark.
18. International Symposium on Soil Organic Matter, Hilton Adelaide, Adelaide, Australia, 06-11 Oct 2019.
19. Jamroz E., Drozd J., Licznar M., Weber J.: Wpływ nawożenia gleb kompostami z odpadów komunalnych (KOM) na wysokość i jakość plonu. W: *Komposty z odpadów komunalnych, produkcja, wykorzystanie i wpływ na środowisko*, J. Drozd (red.). Polskie Towarzystwo Substancji Humusowych, 2004, ss. 235-254.
20. Jamroz E., Kocowicz A.: Agricultural and ecological aspects of a sandy soil as affected by the application of municipal solid waste composts. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, **39**: 1294-1302.
21. Kleszczyński A., Łakomiec I.: Wpływ wieloletniego nawożenia na właściwości fizykochemiczne kwasów huminowych. *Roczniki Gleboznawcze*, 1966, **16**: 171-190.
22. Kodeks dobrej praktyki rolniczej: [http://www.kzgw.gov.pl/files/file/Materialy\\_i\\_Informacje/Dyrektywy\\_Unijne/Azotowa/kodeks\\_2004](http://www.kzgw.gov.pl/files/file/Materialy_i_Informacje/Dyrektywy_Unijne/Azotowa/kodeks_2004).
23. Komunikat Komisji Europejskiej do Rady Europejskiej, Parlamentu Europejskiego, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego oraz Komitetu Regionów – W kierunku tematycznej strategii ochrony gleb. COM (2002) 179 wersja końcowa. Komisja Wspólnot Europejskich, Bruksela, 2002.
24. Kondratowicz-Maciejewska K.: Wpływ nawożenia obornikiem i zmianowania na właściwości materii organicznej gleby. Praca doktorska, Bydgoszcz, 2004, ss. 6-106.
25. Kundler P., Eich D., Liste H.J., Rauhe K.: Mehr tun als nur ersetzen, DBZ, 1981, **36**: 8-9.

26. Kusińska A.: Zasoby i skład humusu glebowego pod niektórymi gatunkami roślin w dwóch systemach uprawy. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 1999, s. 465-319.
27. Kwiatkowska B., Maciejewska A.: Wpływ rodzajów substancji organicznej na właściwości fizykochemiczne gleby i zawartość węgla organicznego. Roczniki Gleboznawcze, Warszawa 2008, **LIX**, I: 28-133.
28. Lal R.: Węgiel glebowy i nasilenie efektu cieplarnianego. Rolnictwo polskie i ochrona jakości wody, 2000, Zesz. Eduk., 6: 22-36.
29. Lal R.: Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. Science, 2004, 304, **5677**: 1623-1627.
30. Lead J.R., Balnois E., Hosse M., Menghetti R., Wilkinson K.J.: Characterisation of Norwegian natural organic matter: size, diffusion coefficients and electrophoretic mobilities. Environment International, 1999, **25**: 245-258.
31. Li X.G., Li F.M., Ren G.L., Singh B., Wang Z.F.: Cultivation effects on temporal changes of organic carbon and aggregate stability in desert soils of Hexi Corridor region in China, Soil & Tillage Research, 2006, **91**: 22-29.
32. Li X.G., Wang Z.F., Ma Q.F., Li F.M.: Crop cultivation and intensive grazing affect organic C pools and aggregate stability in and grassland soil. Soil & Tillage Research, 2007, **95**: 172-181.
33. Liu X., Herbert S.J., Hashemi A.M., Zhang X., Ding G.: Effects of agricultural management on soil organic matter and carbon transformation – a review. Plant Soil and Environment, 2006, **52**: 531-543.
34. Łoginow W., Wiśniewski W.: Zmienność zawartości frakcji substancji organicznej gleby, oznaczonych metodą utleniania nadmanganianem potasu. Zeszyty Naukowe, ART Bydgoszcz, Rolnictwo 98, 1982, **14**: 39-48.
35. Łoginow W., Wiśniewski W.: Metoda jednoczesnego frakcjonowania węgla i azotu w zależności od ich podatności na procesy oksydacyjne. Zeszyty Naukowe ATR Bydgoszcz, Rolnictwo 12, 1981, **83**.
36. Martyniuk S., Pikuła D., Kozieł M.: Soil properties and productivity in two long-term crop rotations differing with respect to organic matter management on an Albic Luvisol. Scientific Reports, 2019, Article number: 1878, **9**: 1-9, doi: 10.1038/s41598-018-37087-4.
37. McLaughlin K.K., Hobbs S.E.: Comparison of labile soil organic matter fractionation techniques. Soil Science Society of America Journal, 2004, **68**: 1616-1625.
38. Pałosz T.: Rolnicze i środowiskowe znaczenie próchnicy glebowej i metodyka jej bilansu. Rocznik Ochrony Środowiska, 2009, **11(1)**: 329-338.
39. Pikuła D.: Wykorzystanie właściwości spektralnych kwasów huminowych do oceny właściwości próchnicy. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2018, **56(10)**: 99-109.
40. Pugeat P., Chenu C., Angers D., Balesdent J.: Relation of soil aggregate dynamics to soil organic matter decomposition. 16. Congrès mondial de science du sol. Montpellier, 1998, www.natres.psu.ac.th/Link/SoilCongress/bdd/symp41/601-r.pdf
41. Reports of the Technical Working Groups established under the Thematic Strategy for Soil Protection., 2004, EUR 21319 EN/5, p. 1-79.
42. Rezolucja Parlamentu Europejskiego z dnia 13 listopada 2007 r. w sprawie strategii tematycznej w dziedzinie ochrony gleby (2006/2293(INI)).P6\_TA(2007)0504.
43. Rutkowska A., Pikuła D.: Effect of crop rotation and nitrogen fertilization on the quality and quantity of soil organic matter. Soil Processes and Current Trends in Quality Assessment., 2013. ISBN 978-953-51-1029-3, Edited by Maria C. Hernandez Soriano, InTech: 249268
44. Schnitzer M.: Humic substances: chemistry and reactions. In: Soil organic matter, Schnitzer M., Khan S.U. (eds). Elsevier, Amsterdam, 1978, pp. 1-64.
45. Scott H.D., Wood L.S., Miley W.M.: Long-term effects of tillage on the retention and transport of soil water. Arkansas Water Resources Research Center, Fayetteville Publication Number 125, 1986, pp. 45.
46. Stevenson F.J.: Geochemistry of soil humic substances. John Willey&Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 1985, p. 13-52.

- 
47. Stevenson F.J.: Humus chemistry: genesis, composition, reactions. 2nd ed. New York, 1994, Chichester: John Wiley: p. 489-496. Humus Chemistry. Wiley, Chichester.
  48. Tan K. H. Humic matter in soil and environment. Principles and controversies. CRC Press Taylor & Francis Group, 2014, pp. 439.
  49. Ukalska-Jaruga A., Bejger R., Debaene G., Smreczak B.: Characterization of soil organic matter individual fractions (fulvic acids, humic acids, and humins) by spectroscopic and electrochemical techniques in agricultural soils. *Agronomy* 2021, 11, 1067. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061067>.
  50. VDLUFA. Körschens M. (red.): Humusbilanzierung. Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. Standpunkt VDLUFA, Bonn, 2004. Humusbilanzierung Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland, [https://www.vdlufa.de/download/Humus/Standpunkt\\_Humusbilanzierung.pdf](https://www.vdlufa.de/download/Humus/Standpunkt_Humusbilanzierung.pdf), Speyer, den 07. März 2014.
- 

Adres do korespondencji:

*dr hab. inż. Dorota Pikula*  
*Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8*  
*24-100 Puławy*  
*tel. 81 47 86 837*  
*e-mail: dpikula@iung.pulawy.pl*

---

| AUTOR         | ORCID               |
|---------------|---------------------|
| Dorota Piłula | 0000-0003-4173-197X |

**Ewa Stanisławska-Głubiak, Jolanta Korzeniowska, Aleksandra Zajązkowska**

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

## ZAWARTOŚĆ MIKROELEMENTÓW W GLEBACH POLSKI W UJĘCIU REGIONALNYM\*

**Słowa kluczowe:** mikroskładniki, zawartość w glebie, ekstrakcja 1 M HCl, zróżnicowanie regionalne

### Wstęp

Zawartość pierwiastków śladowych w glebach skorupy ziemskiej, w tym również mikroelementów, takich jak: B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, zależy od zasobności skały macierzystej, procesów wietrzenia i procesów glebotwórczych oraz składu granulometrycznego (2, 3). W wyniku działalności człowieka zawartość ta zmienia się, zwłaszcza w wierzchnich warstwach gleb, co wpływa na skład chemiczny roślin i jakość naszego pożywienia (9, 15). W glebach użytkowanych rolniczo mikroelementy są wprowadzane przy okazji stosowania niektórych nawozów lub materiałów polepszających właściwości gleby, które zawierają w swoim składzie mikroelementy. Są to nawozy fosforowe (7), osady ściekowe (1), obornik, komposty, wapna (5) czy pyły skalne (13).

Zawartość mikroelementów w glebach Polski była badana regularnie w stacjach chemiczno-rolniczych (OSChR), w próbkach od indywidualnych rolników, na potrzeby doradztwa nawozowego. Zgromadzone dane wykorzystano do analizy zawartości mikroelementów w glebach Polski w kolejnych przedziałach czasowych. Obojski i Strączyński (11) opublikowali syntezę wyników badań zasobności gleb w B, Cu, Mn, Mo i Zn, przeprowadzonych w latach 1987–1993, których podstawą były wyniki analiz kilkudziesięciu tysięcy próbek reprezentujących powierzchnię ponad 4 mln ha użytków rolnych. Kucharzewski i Dębowski (8) podsumowali wyniki analiz 70 tys. próbek wykonanych w OSChR w latach 1994–1999, a Lipiński (10)

\*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.1 pt. „Nawożenie użytków rolnych” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2021 r.

zaprezentował wyniki analiz za okres 2000–2012. We wszystkich trzech cyklach badań zawartość mikroelementów w glebach oznaczano po ich ekstrakcji 1 M HCl. W badaniach tych procentowy udział próbek o niskiej, średniej lub wysokiej zasobności wyceniano na podstawie obowiązujących liczb granicznych dla 1 M HCl. W wymienionych trzech cyklach nie przedstawiono jednak bezwzględnych zawartości mikroelementów w glebach Polski. Dotyczy to również przeprowadzonego w latach 1995–2002 w IUNG szeroko zakrojonego monitoringu chemizmu gleb ornych (14). Celem monitoringu było określenie obszarów rolniczych zanieczyszczonych metalami i śledzenie kierunku zmian. Stwierdzono silne zróżnicowanie zawartości całkowitej badanych pierwiastków w zależności od właściwości gleb i ich lokalizacji w kraju. W tym przypadku również nie publikowano bezwzględnych zawartości, a przedstawiono jedynie ocenę zawartości pierwiastków (Cu, Zn) według skali określającej stopień zanieczyszczenia gleb (4).

Pomimo niekwestionowanych korzyści dla rolnictwa wynikających z takiego przedstawienia zawartości mikroelementów pewną luką wydaje się brak informacji na temat ich bezwzględnych zawartości w glebach Polski. Przeprowadzone dotychczas badania pokazują procentowy udział gleb charakteryzujących się niedoborem mikroelementów i gleb o zasobności wystarczającej w całkowitym areale gruntów ornych, ale nie prezentują dokładnej informacji o poziomie zawartości bezwzględnych. W celu wypełnienia tej luki przedstawiono średnie zawartości mikroelementów w glebach poszczególnych województw Polski. Oznaczano formy ekstrahowane 1 M HCl, ponieważ procedura ta jest znacznie łatwiejsza i tańsza w porównaniu z oznaczeniami zawartości całkowitych, a wyniki obu metod są ze sobą wysoko skorelowane (6, 12).

### Metodyka i materiały

W latach 2016–2017 pobrano 3865 próbek glebowych z pól uprawnych 16 województw Polski, na ogół po jednej próbce z jednej gminy (tab. 1). W roku 2016 próbki pobierano z pól pszenicy, a w 2017 z pól rzepaku. Każda próbka powstała przez zmieszanie 5 próbek pierwotnych pobranych łaską glebową z warstwy 0–20 cm. We wszystkich próbkach oznaczono zawartość B, Cu, Fe, Mn i Zn.

Mikroelementy ekstrahowano z gleby roztworem 1 M HCl, a następnie oznaczano techniką ICP. Podczas ekstrakcji stosunek gleby do roztworu wynosił 1:10, a czas wytrząsania na mieszadle rotacyjnym 60 min przy prędkości 40 obrotów/min. Ponadto w próbkach glebowych oznaczano pH, zawartość węgla organicznego (Corg), oraz skład granulometryczny. Odczyn oznaczano potencjometrycznie w 1 M KCl, Corg – metodą z dwuchromianem potasu, a skład granulometryczny – metodą dyfrakcji laserowej. Zbiór wyników analiz chemicznych scharakteryzowano za pomocą metod statystyki opisowej, przy użyciu programu Statgraphics Plus 5.1.

Tabela 1

Liczba próbek pobranych z poszczególnych województw

| Lp.  | Województwo         |     | Powierzchnia<br>(km <sup>2</sup> ) | Rok  |      |
|------|---------------------|-----|------------------------------------|------|------|
|      |                     |     |                                    | 2016 | 2017 |
| 1.   | opolskie            | OPL | 9 412                              | 92   | 94   |
| 2.   | świętokrzyskie      | SWT | 11 711                             | 63   | 72   |
| 3.   | śląskie             | SLS | 12 333                             | 94   | 100  |
| 4.   | lubuskie            | LUS | 13 988                             | 93   | 89   |
| 5.   | małopolskie         | MAL | 15 183                             | 129  | 113  |
| 6.   | podkarpackie        | PDK | 17 846                             | 110  | 119  |
| 7.   | kujawsko-pomorskie  | KUJ | 17 972                             | 118  | 90   |
| 8.   | łódzkie             | LOD | 18 219                             | 137  | 154  |
| 9.   | pomorskie           | POM | 18 310                             | 124  | 139  |
| 10.  | dolnośląskie        | DLN | 19 947                             | 115  | 109  |
| 11.  | podlaskie           | PDL | 20 187                             | 67   | 70   |
| 12.  | zachodniopomorskie  | ZAP | 22 892                             | 135  | 129  |
| 13.  | warmińsko-mazurskie | WAM | 24 173                             | 140  | 195  |
| 14.  | lubelskie           | LUB | 25 122                             | 133  | 127  |
| 15.  | wielkopolskie       | WLP | 29 826                             | 182  | 186  |
| 16.  | mazowieckie         | MAZ | 35 558                             | 189  | 158  |
| Suma |                     |     |                                    | 1921 | 1944 |

## Wyniki badań i dyskusja

### Charakterystyka gleb na poziomie kraju

Średnie wartości pH, zawartości poszczególnych frakcji gleby oraz Corg w pobranych próbkach pokazują przeciętne warunki glebowe uprawy pszenicy i rzepaku w Polsce. Na podstawie danych zamieszczonych w tabeli 2 można stwierdzić, że pszenica i rzepak w większości były uprawiane na glebach lekko kwaśnych, średnio związłych, charakteryzujących się zawartością węgla organicznego na poziomie 1,3%.

Tabela 2

Charakterystyka 3865 próbek glebowych

| Cecha gleby          | Średnia | Błąd standardowy | Zakres   | Współczynnik zmienności (%) |
|----------------------|---------|------------------|----------|-----------------------------|
| pH w KCl             | 6,1     | 0,014            | 3,3–8,2  | 15,0                        |
| Części spławiane (%) | 24,2    | 0,035            | 2,6–72,0 | 49,2                        |
| Pył (%)              | 40,8    | 0,327            | 5,1–99,8 | 49,8                        |
| Il (%)               | 3,6     | 0,034            | 0,0–46,5 | 59,3                        |
| Corg (%)             | 1,3     | 0,009            | 0,05–9,8 | 44,6                        |

Pył 0,05–0,002 mm; il <0,002 mm; części spławialne <0,02 mm; Corg – węgiel organiczny



Zawartość mikroelementów w glebach układała się w następujący szereg: najwięcej w glebie było Fe, a następnie kolejno coraz mniej Mn, Zn, Cu i B (tab. 3). Największą zmiennością, mierzoną współczynnikiem zmienności, charakteryzowały się zawartości Zn i B, następnie Fe i Cu, a zdecydowanie najmniejszą zmienność, prawie o połowę niższą niż Zn i B, wykazywała zawartość Mn.

Tabela 3

Średnie zawartości mikroelementów w 3856 próbkach glebowych

| Pierwiastek | Średnia | Błąd standardowy | Zakres    | Współczynnik zmienności (%) |
|-------------|---------|------------------|-----------|-----------------------------|
| B           | 1,3     | 0,017            | 0,02–8,66 | 79,6                        |
| Cu          | 4,0     | 0,041            | 0,3–22,5  | 63,7                        |
| Fe          | 1366    | 15,549           | 182–11039 | 70,7                        |
| Mn          | 177     | 1,381            | 12–677    | 48,6                        |
| Zn          | 12,3    | 0,158            | 0,8–132,9 | 80,1                        |

Zawartość Cu, Mn i Fe w glebie była związana ze składem granulometrycznym, a B i Zn z zawartością Corg w glebie (tab. 4). Gleby cięższe, zawierające więcej części spławialnych i gleby bogatsze w materię organiczną charakteryzowały się wyższą zawartością mikroelementów. Niskie korelacje z odczynem gleby świadczą o tym, że zawartości mikroelementów oznaczone po ekstrakcji 1 M HCl nie odzwierciedlają form przyswajalnych dla roślin, a raczej są zbliżone do form całkowitych.

Tabela 4

Współczynniki korelacji Pearsona pomiędzy zawartością mikroelementów w glebie a cechami gleby (n = 3856)

| Pierwiastek | pH       | Pył      | Ił       | Części spławialne | Corg     |
|-------------|----------|----------|----------|-------------------|----------|
| B           | 0,306*** | 0,229*** | 0,273*** | 0,300***          | 0,326*** |
| Cu          | 0,156*** | 0,339*** | 0,416*** | 0,468***          | 0,372*** |
| Fe          | ns       | 0,327*** | 0,456*** | 0,484***          | 0,421*** |
| Mn          | 0,131*** | 0,391*** | 0,418*** | 0,478***          | 0,275*** |
| Zn          | 0,186*** | 0,116*** | 0,117*** | 0,134***          | 0,219*** |

Pył 0,05–0,002 mm; Ił < 0,002 mm; części spławialne < 0,02 mm; Corg – węgiel organiczny

\*, \*\*, \*\*\* – poziom istotności dla  $p < 0,05$ ; 0,01; 0,001 odpowiednio; ns – nieistotne

## Charakterystyka gleb na poziomie województw

Wszystkie województwa charakteryzowały się średnio lekko kwaśnym odczynem gleb (pH od 5,7 do 6,5), przy czym najkwaśniejsze gleby występowały w województwach podlaskim i małopolskim, a gleby o najwyższym pH – w województwie kujawsko-pomorskim (tab. 5). Średnie zawartości części spławialnych

w glebach poszczególnych województw wahały się od 17 do 42%, z czego gleby 6 województw można zaliczyć do gleb lekkich, 9 województw do gleb średnich, a tylko jednego województwa – małopolskiego – do gleb ciężkich. Średnia zawartość węgla organicznego wahała się od 1,0 do 1,6%, przy czym najmniejszą zawartość materii organicznej wykazywały gleby województw wielkopolskiego i kujawskiego, a największą – pomorskiego i opolskiego.

Zwraca uwagę fakt, że gleby województwa kujawsko-pomorskiego były najlżejsze i najbardziej ubogie w materię organiczną, a jednocześnie charakteryzowały się najwyższym pH. Zupełnie odwrotne cechy wykazywały gleby województw południowych, a szczególnie województwa małopolskiego. Tutaj najniższe spośród wszystkich województw pH było powiązane z najcięższymi glebami. Fakty te w znacznym stopniu determinują zawartość przyswajalnych mikroelementów w glebie.

Tabela 5

Odczyn oraz zawartość części spławialnych i węgla organicznego w glebach poszczególnych województw

| Województwo | pH  | Województwo | Frakcja <0,02 mm (%) | Województwo | Corg (%) |
|-------------|-----|-------------|----------------------|-------------|----------|
| PDL         | 5,7 | WLP         | 17                   | WLP         | 1,0      |
| MAL         | 5,7 | KUJ         | 17                   | KUJ         | 1,0      |
| LOD         | 5,9 | MAZ         | 18                   | SWT         | 1,1      |
| LUS         | 6,0 | LUS         | 19                   | LUB         | 1,1      |
| PDK         | 6,0 | LOD         | 19                   | LOD         | 1,1      |
| WAM         | 6,0 | ZAP         | 19                   | MAZ         | 1,2      |
| MAZ         | 6,0 | PDL         | 21                   | PDL         | 1,2      |
| LUB         | 6,1 | SLS         | 21                   | ZAP         | 1,4      |
| POM         | 6,2 | WAM         | 21                   | MAL         | 1,4      |
| SLS         | 6,2 | POM         | 24                   | SLA         | 1,4      |
| ZAP         | 6,2 | LUB         | 27                   | LUS         | 1,4      |
| DLN         | 6,2 | SWT         | 32                   | PDK         | 1,4      |
| OPL         | 6,3 | OPL         | 33                   | DLN         | 1,4      |
| SWT         | 6,3 | PDK         | 35                   | WAM         | 1,5      |
| WLP         | 6,3 | DLN         | 35                   | POM         | 1,6      |
| KUJ         | 6,5 | MAL         | 42                   | OPL         | 1,6      |

### Zawartość mikroelementów w glebach poszczególnych województw

Największe zawartości boru w glebach, co najmniej  $1,7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , występują w województwach: lubuskim, dolnośląskim, opolskim i podkarpackim, a najniższe, poniżej  $1,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , w województwach: świętokrzyskim, łódzkim, mazowieckim

i warmińsko-mazurskim (rys. 1). Fakt ten w pewnym stopniu koresponduje z zawartością węgla organicznego w glebie (Corg). Gleby o najwyższej zawartości boru są zlokalizowane w województwach, które jednocześnie wykazują najwyższą zawartość Corg, w przedziale 1,4–1,6%, oraz zaliczają się raczej do kategorii agronomicznej gleb ciężkich. Najniższe zawartości boru występują na ogół w glebach lekkich, z zawartością Corg w granicach 1,0–1,2%. Wyjątkiem było województwo warmińsko-mazurskie z zawartością Corg w glebie na poziomie 1,5%.

Największą zawartością miedzi w glebach, co najmniej  $6,1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , wyróżniają się dwa województwa: dolnośląskie i małopolskie (rys. 1). W tych województwach gleby charakteryzują się najwyższą w skali kraju zawartością części spławialnych, co klasyfikuje je do kategorii agronomicznej gleb ciężkich. Jednocześnie są to tereny w zasięgu oddziaływania przemysłu metalurgicznego, co również ma wpływ na zwiększone zawartości miedzi w porównaniu z innymi województwami. Najuboższe w miedź, o zawartości nieprzekraczającej  $3,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , są gleby województw: podlaskiego, lubelskiego i warmińsko-mazurskiego.

Największą zawartość żelaza w glebach, co najmniej  $1500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , odnotowano w północnym rejonie kraju, w województwach: pomorskim i warmińsko-mazurskim oraz w pasie południowym, w województwach: dolnośląskim, opolskim, śląskim oraz małopolskim i podkarpackim (rys. 1). Dwa ostatnie z wymienionych województw charakteryzują się szczególnie dużą zawartością tego pierwiastka w glebach, bo powyżej  $2000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Najmniejszą zawartość żelaza, nieprzekraczającą  $1000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , obserwowano w województwach: wielkopolskim, świętokrzyskim, lubelskim i mazowieckim. Gleby tych województw są jednocześnie stosunkowo ubogie w materię organiczną. Zawartość Corg waha się w granicach 1,0–1,2%.

Zawartość manganu w glebach Polski układała się podobnie jak żelaza (rys. 1). Największe zawartości tego pierwiastka, powyżej  $230 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , stwierdzono w glebach województw: małopolskiego, podkarpackiego i śląskiego. Zawartości w granicach  $185\text{--}215 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  obserwowano w województwach: dolnośląskim, opolskim, lubuskim i pomorskim. Najmniej tego pierwiastka zawierały gleby województw środkowej i północno-wschodniej części kraju, czyli: wielkopolskiego, łódzkiego, mazowieckiego, kujawsko-pomorskiego i podlaskiego. Większe zawartości manganu w glebach były związane z większą zawartością części spławialnych i węgla organicznego.

Największymi zawartościami cynku w glebach, co najmniej  $19 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , wyróżniają się województwa: opolskie, śląskie i małopolskie, przy czym szczególnie bogate w ten pierwiastek są gleby województwa śląskiego (rys. 1). Gleby o najmniejszej zawartości cynku, nieprzekraczającej  $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , występują w województwach: lubelskim, mazowieckim, podlaskim, warmińsko-mazurskim i kujawsko-pomorskim. Wydaje się, że zasobność gleb poszczególnych województw w cynk jest mniej związana z ich składem granulometrycznym i zawartością Corg w porównaniu z innymi metalami. Prawdopodobnie zasobność ta została ukształtowana działalnością przemysłu metalurgicznego, który w rejonach o najwyższej zawartości cynku w glebie jest szczególnie intensywnie rozwinięty.



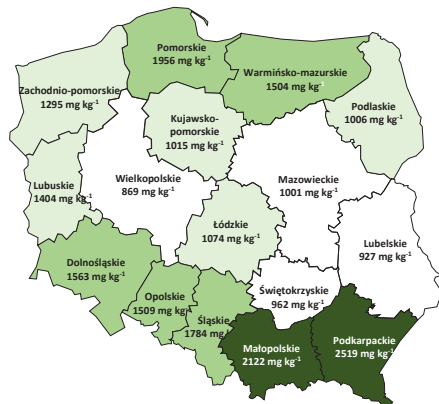
Zawartość B

do 1,0 1,1-1,3 1,4-1,6 od 1,7



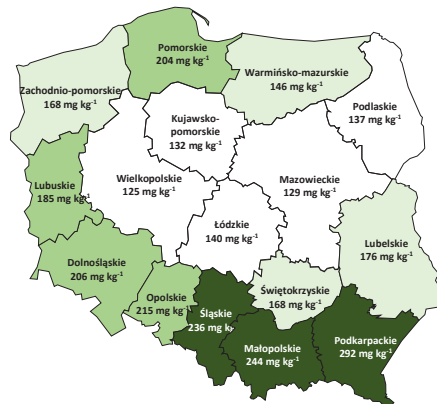
Zawartość Cu

do 3,0 3,1-4,5 4,6-6,0 od 6,1



Zawartość Fe

do 1000 1001-1500 1501-2000 od 2001



Zawartość Mn

do 140 141-180 181-230 od 231



Zawartość Zn

do 10 11-15 16-20 od 21

Rys. 1. Zawartość mikroelementów w poszczególnych województwach w mg·kg<sup>-1</sup>

## Podsumowanie

Największe zawartości wszystkich mikroelementów w glebie występują w południowej, zachodniej i północno-zachodniej części kraju. Województwa centralne, wschodnie i północno-wschodnie charakteryzują się mniejszymi zawartościami mikroskładników w glebie. Można jednak zauważyć pewne różnice w terytorialnym rozmieszczeniu poszczególnych pierwiastków.

Uwagę zwracają województwa kujawsko-pomorskie i małopolskie. Pierwsze z nich charakteryzuje się najłżejszymi glebami i jednocześnie zdecydowanie najwyższym spośród wszystkich województw odczynem gleby (tab. 5). Warunki takie sugerują niską zawartość mikroelementów w glebie i równocześnie ich małą przyswajalność dla roślin. Można przypuszczać, że właśnie w tym województwie rośliny najczęściej będą cierpieć z powodu niedoboru mikroelementów i wymagać ich uzupełnienia poprzez nawożenie. Powszechnie wiadomo, że wysoki odczyn gleby ogranicza przyswajalność Mn, Zn, Fe, Cu i B. Drugie z wymienionych województw, małopolskie, przeciwnie do województwa kujawsko-pomorskiego, charakteryzuje się najniższym odczynem i jednocześnie zdecydowanie najcięższymi glebami w kraju. Taka sytuacja najprawdopodobniej nie generuje niedoboru mikroelementów w glebie oraz potrzeby ich uzupełniania w uprawach rolniczych. Dodatkowo na terenach przemysłowych tego województwa można się spodziewać nadmiernych ilości metali ciężkich, w tym takich mikroelementów, jak Cu i Zn.

## Literatura

1. Antonkiewicz J., Kołodziej B., Bielińska E. J., Popławska A.: The possibility of using sewage sludge for energy crop cultivation exemplified by reed canary grass and giant miscanthus. *Soil Science Annual*, 2019, **70(1)**: 21-33.
2. Czarnowska K.: Wpływ skały macierzystej na zawartość metali ciężkich w glebach. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 1983, **242**: 51-61.
3. Kabata-Pendias A.: Zawartość metali ciężkich w glebach uprawnych Polski. *Pamiętnik Puławski*, 1981, **74**: 101-111.
4. Kabata-Pendias A., Motowicka-Terelak T., Piotrowska M., Terelak H., Witek T.: Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. Ramowe wytyczne dla rolnictwa. Wyd. IUNG Puławy, **P(53)**, 1993, ss. 20.
5. Kabata-Pendias A., Mukherjee A.B.: Trace elements from soil to human. Springer Science & Business Media, 2007, pp. 550.
6. Korzeniowska J., Stanisławska-Głubiak E.: Proposal of new convenient extractant for assessing phytoavailability of heavy metals in contaminated sandy soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, **24(17)**: 14857-14866.
7. Korzeniowska J., Stanisławska-Głubiak E., Hoffmann J., Górecka H., Józwiak W., Wiśniewska G.: Ocena efektywności nawozów fosforowo-siarkowych produkowanych na bazie mielonego fosforytu. Cz. 1. Technologia wytwarzania nawozów. *Przemysł Chemiczny*, 2014, **93(5)**: 803-806.
8. Kucharzewski A., Dębowski M.: Odczyn i zawartość mikroelementów w glebach Polski. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 2000, **471(2)**: 627-635.

9. Li C., Zhou K., Qin W., Tian C., Qi M., Yan X., Han W.: A review on heavy metals contamination in soil: effects, sources, and remediation techniques. *Soil and Sediment Contamination*, 2019, **28**(4): 380-394.
10. Lipiński W.: Zasobność gleb Polski w mikroelementy. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2013, **34**(8): 121-131.
11. Obojski J., Strączyński S.: Odczyn i zasobność gleb polskich w makro i mikroelementy. Wyd. IUNG Puławy, 1995, ss. 40.
12. Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J.: Usefulness of 1 mol HCl·dm<sup>-3</sup> extractant to assess copper zinc and nickel contamination in sandy soil. *Fresenius Environmental Bulletin*, 2010, **19**(4): 589-593.
13. Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J., Galka B.: Ocena przydatności odpadowego odwodnionego szlamu kamiennego do polepszania właściwości fizykochemicznych gleby. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 2009, **538**: 231-240.
14. Terelak H., Motowicka-Terelak T., Maliszewska-Kordybach B., Pietruch C.: Monitoring chemizmu gleb ornych Polski. Program badań i wyniki 1995 i 2000. Wyd. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa 2002, ss. 146.
15. Tripathi D.K., Singh S., Singh S., Mishra S., Chauhan D.K., Dubey N.K.: Micronutrients and their diverse role in agricultural crops: advances and future prospective. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2015, **37**(7): 1-14.

---

Adres do korespondencji:

*prof. dr hab. Ewa Stanisławska-Głubiak,  
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli  
IUNG-PIB  
ul. Orzechowa 61  
50-540 Wrocław  
tel. 71 363 8707, w. 114  
e-mail: e.głubiak@iung.woclaw.pl*

---

| AUTOR                    | ORCID               |
|--------------------------|---------------------|
| Ewa Stanisławska-Głubiak | 0000-0003-1852-6732 |
| Jolanta Korzeniowska     | 0000-0003-3701-9576 |
| Aleksandra Zajączkowska  | 0000-0002-9237-5568 |



**Jolanta Korzeniowska, Ewa Stanisławska-Głubiak, Tamara Jadczyzyn**

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

## NOWY SYSTEM NAWOŻENIA MIKROELEMENTAMI\*

**Słowa kluczowe:** ocena niedoborów, liczby graniczne, Mehlich 3, 1 M HCl, zalecenia nawozowe

### Wstęp

Wielkość i jakość plonów roślin uprawnych zależą głównie od poziomu zaopatrzenia ich w wodę oraz składniki pokarmowe, wśród których podstawowe znaczenie mają makroelementy, takie jak: azot, fosfor, potas, magnez i siarka. Rola mikroelementów, takich jak: bor, miedź, żelazo, mangan, molibden i cynk, do niedawna nie była doceniana przez rolników. Badania IUNG-PIB przeprowadzone we współpracy z Krajową Stacją Chemiczno-Rolniczą w latach 2010–2011 na polach pszenicy ozimej zlokalizowanych w gospodarstwach o średniej intensywności produkcji wykazały niedobory mikroelementów w roślinach tego gatunku (5, 14). Niską zawartością Zn, Mn, Cu i B charakteryzowało się odpowiednio: 38, 29, 21 i 18% próbek. Nie stwierdzono natomiast niedoborów Fe (11%) i tylko nieliczne próbki (3%) wykazały niedobory Mo.

Obecnie wiedza na temat funkcji biochemicznych i fizjologicznych mikroelementów w roślinie jest szeroko dostępna. Coraz więcej producentów rolnych zdaje sobie sprawę, że niedostateczny poziom odżywienia roślin mikroelementami prowadzi do obniżenia ich odporności na niekorzystne warunki środowiska, takie jak choroby i szkodniki, susza, mróz czy konkurencyjność chwastów, co w konsekwencji wpływa na obniżenie poziomu plonowania i pogorszenie jakości plonu, mimo dobrego zaopatrzenia roślin w makroskładniki. Zatem oznaczanie zawartości mikroelementów w glebach uprawnych i ocena zasobności gleby w formy przyswajalne dla roślin powinno być praktykowane przez rolników w szerszym zakresie niż dotychczas.

\*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.1 pt. „Nawożenie użytków rolnych” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2021 r.



W przypadku wykrycia niskiej zawartości któregośkolwiek mikroelementu, możliwe jest uzupełnienie jego niedoboru poprzez nawożenie doglebowe lub dolistne. Obecnie w ofercie rynkowej znajduje się bardzo dużo nawozów mikroelementowych, produkowanych przez różne firmy polskie i zagraniczne, o różnym składzie pierwiastkowym (15, 16).

Celem pracy było przedstawienie nowej metody oceny zasobności gleby w mikroelementy wraz ze szczegółowymi zaleceniami nawożenia roślin uprawnych tymi składnikami, w przypadku stwierdzenia ich niedoboru.

### Metody oceny zasobności gleby w mikroelementy

Decyzja o nawożeniu, jak również wybór odpowiedniego nawozu mikroelementowego powinny być poprzedzone oceną zasobności gleby w mikroskładniki. W tym celu należy pobrać reprezentatywną próbkę gleby z pola i zlecić wykonanie takiej oceny najbliższej okręgowej stacji chemiczno-rolniczej (OSChR). Procedura oceny zasobności gleby w OSChR składa się z następujących etapów:

- 1) ekstrakcja pierwiastka z gleby za pomocą odpowiedniego ekstrahenta,
- 2) oznaczenie jego zawartości w ekstrakcie,
- 3) porównanie wyniku analizy z odpowiednią liczbą graniczną.

Liczby graniczne, odrębne dla każdego mikroskładnika, to wartości, które pozwalają określić, czy oznaczona zawartość mikroelementu w glebie jest wystarczająca dla roślin, czy jest za niska i czy konieczne będzie nawożenie.

W Polsce od 1986 roku laboratoria OSChR wykorzystują do ekstrakcji mikroelementów z gleby roztwór **1 M HCl** wraz z odpowiednimi liczbami granicznymi do oceny ich zawartości w glebie (10). Zastosowanie tego ekstrahenta pozwala na jednoczesną ekstrakcję wszystkich mikroelementów z gleby. Do oznaczenia zawartości makroelementów w glebie używa się dwóch innych roztworów ekstrakcyjnych: mleczanu wapnia (dla fosforu i potasu – metoda Egnera-Riehma) oraz chlorku wapnia (dla magnezu – metoda Schachtschabela). Pełna analiza makro- i mikroelementów wymaga więc użycia 3 ekstrahentów i przeprowadzenia 3 odrębnych ekstrakcji.

W roku 2015, w wyniku badań IUNG-PIB i Krajowej Stacji Chemiczno-Rolniczej, w laboratoriach OSChR została wdrożona metoda **Mehlich 3**, która umożliwia jednoczesną ekstrakcję makro- i mikroelementów z gleby jednym roztworem ekstrakcyjnym. Roztwór Mehlich 3 jest mieszaniną pięciu składników, z których każdy pełni określone zadanie w trakcie przeprowadzanej ekstrakcji. W jego skład wchodzi:  $0,2 \text{ M CH}_3\text{COOH} + 0,013 \text{ M HNO}_3 + 0,015 \text{ M NH}_4\text{F} + 0,25 \text{ M NH}_4\text{NO}_3 + 0,001 \text{ M EDTA}$ . Podczas ekstrakcji kwas octowy pełni funkcję stabilizującą, utrzymując wartość pH na poziomie ok. 2,5 i zapobiegając wytrącaniu się wapnia. Kwas azotowy jest odpowiedzialny za ekstrakcję fosforanów wapnia, a fluorek amonu – fosforanów glinu i żelaza. Azotan amonu ekstrahuje potas, magnez i wapń, a EDTA odpowiada za kompleksowanie mikroelementów.

Przeprowadzanie jednej ekstrakcji wszystkich składników pokarmowych równocześnie, zamiast użycia kilku różnych ekstrahentów, jest dużym uproszczeniem i skróceniem procedury analitycznej, a tym samym wiąże się ze znaczną redukcją kosztów analiz. Według przeprowadzonych kalkulacji użycie roztworu Mehlich 3 do oznaczeń zawartości makroskładników pozwala zaoszczędzić 20% kosztów odczynników, 40% kosztów pracy oraz 83% i 95% zużycia odpowiednio wody i energii (tab. 1).

Tabela 1

Porównanie kosztów stosowania dotychczasowych metod analitycznych i nowej metody Mehlich 3 do oznaczeń zawartości makroelementów w glebie

| Specyfikacja          | Metody dotychczasowe | Mehlich 3 |
|-----------------------|----------------------|-----------|
| Koszt odczynników (%) | 100                  | 80        |
| Koszt pracy (%)       | 100                  | 60        |
| Zużycie wody (%)      | 100                  | 17        |
| Zużycie energii (%)   | 100                  | 5         |

Źródło: Kęsik, 2016 (6)

Zmniejszone koszty analiz gleby przekładają się na niższą cenę usługi dla rolników, co powinno przyczynić się do częstszego zlecenia przez nich oceny zasobności gleby w składniki pokarmowe. To z kolei skutkuje właściwym doбором dawek nawozów, a bardziej precyzyjne nawożenie wpływa na uzyskiwany poziom plonów, ich jakość, jak również na ochronę środowiska.

Metodę Mehlich 3 wdrożono w OSChR wraz z liczbami granicznymi do oceny zasobności gleby w fosfor, potas i magnez (2, 6, 7, 8). Wykorzystanie tej metody do oceny zasobności gleby w mikroelementy wymagało osobnych badań. W pierwszym etapie, w latach 2013–2015, prowadzono prace nad możliwością zastąpienia dotychczas stosowanego do ekstrakcji mikroelementów roztworu 1 M HCl roztworem Mehlich 3 (9). Kolejnym etapem, prowadzonym w latach 2016–2020, było opracowanie liczb granicznych dla roztworu Mehlich 3 (12, 17).

Analiza gleby metodą Mehlich 3 jest preferowana w przypadku potrzeby oceny zasobności we wszystkie składniki pokarmowe (makro- i mikroelementy). W przypadku zainteresowania zasobnością gleby jedynie w mikroelementy może być użyta zarówno metoda Mehlich 3, jak i metoda z zastosowaniem 1 M HCl, do której również opracowano nowe liczby graniczne (11).

Obie metody ekstrakcji mogą być stosowane do oceny zasobności gleby w mikroelementy, tj.: bor, cynk, mangan, miedź, żelazo. W przypadku molibdenu nie zaleca się wykonywania oznaczeń zawartości przyswajalnych form w glebie, ponieważ dostępność tego mikroelementu dla roślin jest ściśle związana z odczynem gleby i określenie pH jest wystarczającym parametrem do przewidywania ewentualnych niedoborów tego pierwiastka dla roślin.

## Opracowanie nowych liczb granicznych dla metody Mehlich 3 i 1 M HCl

W ramach współpracy IUNG-PIB i Krajowej Stacji Chemiczno-Rolniczej opracowano nowe liczby graniczne dla metody Mehlich 3 oraz 1 M HCl. Podstawą opracowania były duże zbiory próbek gleby i roślin, które rosły na tej glebie. Wykorzystano trzy zbiory:

- 1921 par próbek gleba–roślina pobranych w 2016 roku z pól pszenicy,
- 1944 pary próbek pobranych w 2017 roku z pól rzepaku,
- 1764 pary próbek pobranych w 2018 roku z pól kukurydzy.

Wszystkie próbki zostały pobrane przez próbobiorców OSChR z terenu 16 województw Polski, na ogół po jednej parze gleba–roślina z jednej gminy (tab. 2). W próbkach roślinnych oznaczono zawartość mikroelementów, a w próbkach glebowych zawartość mikroelementów obiema metodami oraz pH, skład granulometryczny, zawartość węgla organicznego i przyswajalnego fosforu. Dodatkowo dla wszystkich pól oszacowano plon ziarna po zbiorze roślin.

Tabela 2

Liczba par próbek gleba–roślina pobranych w poszczególnych województwach

| Lp.  | Województwo         |                                 | Roślina  |        |           |
|------|---------------------|---------------------------------|----------|--------|-----------|
|      | nazwa               | powierzchnia (km <sup>2</sup> ) | pszenica | rzepak | kukurydza |
| 1.   | opolskie            | 9 412                           | 92       | 94     | 93        |
| 2.   | świętokrzyskie      | 11 711                          | 63       | 72     | 72        |
| 3.   | śląskie             | 12 333                          | 94       | 100    | 83        |
| 4.   | lubuskie            | 13 988                          | 93       | 89     | 81        |
| 5.   | małopolskie         | 15 183                          | 129      | 113    | 110       |
| 6.   | podkarpackie        | 17 846                          | 110      | 119    | 114       |
| 7.   | kujawsko-pomorskie  | 17 972                          | 118      | 90     | 108       |
| 8.   | łódzkie             | 18 219                          | 137      | 154    | 152       |
| 9.   | pomorskie           | 18 310                          | 124      | 139    | 80        |
| 10.  | dolnośląskie        | 19 947                          | 115      | 109    | 106       |
| 11.  | podlaskie           | 20 187                          | 67       | 70     | 93        |
| 12.  | zachodniopomorskie  | 22 892                          | 135      | 129    | 55        |
| 13.  | warmińsko-mazurskie | 24 173                          | 140      | 195    | 144       |
| 14.  | lubelskie           | 25 122                          | 133      | 127    | 109       |
| 15.  | wielkopolskie       | 29 826                          | 182      | 186    | 175       |
| 16.  | mazowieckie         | 35 558                          | 189      | 158    | 189       |
| Suma |                     |                                 | 1921     | 1944   | 1764      |

Źródło: opracowanie własne

Liczby graniczne dla ekstrahenta Mehlich 3, jak również nowe liczby dla roztworu 1 M HCl, wyznaczono dwiema niezależnymi metodami: 1) metodą równań regresji oraz 2) tzw. metodą wysokich plonów. W pierwszym przypadku graniczną zawartość mikroelementu w glebie wyliczono z równania opisującego zależność pomiędzy współczynnikiem bioakumulacji R/G a określoną cechą gleby. Współczynnik ten jako stosunek zawartości mikroelementu w roślinie (R) do jego zawartości w glebie (G) informuje o stopniu przyswajalności mikroskładnika z gleby.

Podstawą drugiej metody obliczeń było wydzielenie z całego zbioru danych grupy tzw. wysokich plonów. Następnie w tej grupie wyliczono dolne kwintyle (QU1) dla zawartości poszczególnych mikroelementów w glebie oznaczonych w odpowiednim ekstrakcie i przyjęto je jako liczby graniczne. Porównanie liczb wyliczonych metodą równań regresji i metodą wysokich plonów wykazało ich duże podobieństwo, co potwierdziło wiarygodność tych liczb.

### **Charakterystyka nowych liczb granicznych**

Nowe liczby graniczne, opracowane zarówno dla metody Mehlich 3, jak i dla 1 M HCl, uwzględniają różną wrażliwość roślin na niedobór mikroelementów. Dotychczasowe, stare liczby wyznaczone dla metody 1 M HCl były zróżnicowane jedynie w zależności od wybranych właściwości gleby i nie uwzględniały różnych potrzeb roślin. Ponadto nowe liczby są jednostopniowe, w odróżnieniu od trzystopniowych starych liczb, które określały zawartość niską, średnią i wysoką. Przy konstruowaniu nowych liczb uznano za wystarczające wyznaczenie jedynie granicy niskiej zawartości mikroelementu w glebie, poniżej której zalecane jest nawożenie roślin danym składnikiem. Ze względu na ochronę środowiska i dążenie do rolnictwa zrównoważonego, przyjęto, że nawożenie jest potrzebne tylko w przypadku niskiej zasobności gleby w mikroelement. W starym systemie doradztwa dokarmianie roślin mikroelementami rekomendowano również przy ich średniej zawartości w glebie.

W tabelach 3 i 4 przedstawiono przykładowo nowe liczby graniczne dla pszenicy, odpowiednio do obu metod analitycznych. Tabele z liczbami dla pozostałych gatunków roślin uprawnych zamieszczono w Instrukcji upowszechnieniowej (13).

Tabela 3

Liczby graniczne niskiej zawartości mikroelementów w glebie oznaczonych metodą Mehlich 3 dla pszenicy

| Bor (B)     |                                  | Miedź (Cu)  |                                  | Mangan (Mn) |                                  | Cynk (Zn)                              |                                  |
|-------------|----------------------------------|-------------|----------------------------------|-------------|----------------------------------|--|----------------------------------|
| cecha gleby | zawartość (mg·kg <sup>-1</sup> ) | cecha gleby | zawartość (mg·kg <sup>-1</sup> ) | cecha gleby | zawartość (mg·kg <sup>-1</sup> ) | cecha gleby                            | zawartość (mg·kg <sup>-1</sup> ) |
| pH          |                                  | Corg (%)    |                                  | pH          |                                  | P <sub>M3</sub> (mg·kg <sup>-1</sup> ) |                                  |
| ≤5,5        | <0,10                            | ≤1,0        | <1,4                             | ≤5,5        | <30                              | ≤100                                   | <3,0                             |
| 5,6–6,5     | <0,25                            | 1,1–1,5     | <1,6                             | 5,6–6,5     | <45                              | 101–200                                | <3,5                             |
| 6,6–7,2     | <0,40                            | 1,6–2,0     | <1,8                             | 6,6–7,2     | <60                              | 201–300                                | <4,5                             |
| ≥7,3        | <0,55                            | ≥2,1        | <2,2                             | ≥7,3        | <75                              | ≥301                                   | <6,0                             |

Uwaga: Corg – zawartość węgla organicznego w glebie, P<sub>M3</sub> – zawartość fosforu w glebie oznaczonego metodą Mehlich 3

Źródło: opracowanie własne

Tabela 4

Liczby graniczne niskiej zawartości mikroelementów w glebie oznaczonych metodą 1 M HCl dla pszenicy

| Bor (B)            |                                  | Miedź (Cu)  |                                  | Mangan (Mn) |                                  | Cynk (Zn)   |                                  |
|--------------------|----------------------------------|-------------|----------------------------------|-------------|----------------------------------|-------------|----------------------------------|
| cecha gleby        | zawartość (mg·kg <sup>-1</sup> ) | cecha gleby | zawartość (mg·kg <sup>-1</sup> ) | cecha gleby | zawartość (mg·kg <sup>-1</sup> ) | cecha gleby | zawartość (mg·kg <sup>-1</sup> ) |
| kat. agron.        |                                  | Corg (%)    |                                  | pH          |                                  | pH          |                                  |
| b. lekkie i lekkie | <0,4                             | ≤1,0        | <2,2                             | ≤5,5        | <60                              | ≤5,5        | <4,5                             |
| średnie            | <0,7                             | 1,1–1,5     | <3,0                             | 5,6–6,5     | <100                             | 5,6–6,5     | <6,0                             |
| ciężkie            | <0,9                             | 1,6–2,0     | <3,4                             | 6,6–7,2     | <130                             | 6,6–7,2     | <7,5                             |
|                    |                                  | ≥2,1        | <4,2                             | ≥7,3        | <150                             | ≥7,3        | <8,5                             |

Źródło: opracowanie własne

Dostępność mikroelementów dla roślin zależy od różnych cech gleby. Wynika stąd konieczność powiązania liczb granicznych z odpowiednimi cechami. W przypadku pszenicy ocena zawartości boru w glebie dla metody Mehlich 3 zależy od jej odczynu (pH), ocena zawartości miedzi od zawartości węgla organicznego (Corg) w glebie, manganu – od pH oraz cynku – od zawartości fosforu w glebie (tab. 3). Dla metody 1 M HCl powiązane z liczbami cechy gleby do oceny zasobności w bor i cynk są inne niż dla metody Mehlich 3 (tab. 4).

### Porównanie niedoborów mikroelementów w glebach Polski według starych i nowych liczb granicznych

Ocena niedoborów mikroelementów w glebach Polski przy użyciu obowiązujących dotychczas liczb granicznych dla roztworu 1 M HCl i nowych dla roztworu Mehlich 3 daje odmienne wyniki. W tabeli 5 przedstawiono porównanie wyników oceny niedoborów według starych i nowych liczb granicznych. Oceniono, jaka ilość gleb

w Polsce wykazuje niedobór mikroelementów dla upraw pszenicy, rzepaku i kukurydzy. Ocena przeprowadzona w zbiorze danych liczącym 3865 próbek glebowych pobranych z terenu całej Polski.

Największą różnicę pomiędzy starymi i nowymi liczbami stwierdzono w ocenie niedoborów boru, co silnie przemawia na korzyść nowej metody. Stara metoda ze względu na zbyt duże szacowane niedobory tego pierwiastka wzbudzała do tej pory wiele wątpliwości i kontrowersji. Według oceny przeprowadzonej starymi liczbami deficyt tego pierwiastka wykazywało aż 66% gleb. Przy użyciu nowych liczb dla metody Mehlich 3 stwierdzono 19% gleb deficytowych dla pszenicy, 45% dla rzepaku i 33% dla kukurydzy. Biorąc pod uwagę bardzo dużą wrażliwość na niedobór B rzepaku, dużą wrażliwość kukurydzy i znacznie mniejszą pszenicy, wydaje się, że poziom liczb granicznych dla tego pierwiastka jest właściwie ustalony dla wszystkich 3 gatunków roślin.

Skala niedoborów mikroelementów dla pszenicy i rzepaku oszacowana za pomocą nowych liczb granicznych dla metody 1 M HCl jest bardzo zbliżona do oceny przeprowadzonej przy użyciu nowych liczb dla Mehlich 3.

Tabela 5

Porównanie niedoborów mikroelementów w glebach Polski według starych i nowych liczb granicznych

| Liczby         |           | B                        | Cu        | Fe        | Mn        | Zn        |
|----------------|-----------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                |           | próbki z niedoborami (%) |           |           |           |           |
| Stare 1 M HCl  |           | <b>66</b>                | <b>20</b> | <b>17</b> | <b>1</b>  | <b>12</b> |
| Nowe Mehlich 3 | pszenica  | 19                       | 30        | 21        | 16        | 20        |
|                | rzepak    | 45                       | 14        | 10        | 15        | 14        |
|                | kukurydza | 33                       | 17        | 17        | 16        | 26        |
|                | średnia   | <b>32</b>                | <b>20</b> | <b>16</b> | <b>16</b> | <b>20</b> |
| Nowe 1 M HCl   | pszenica  | 21                       | 33        | 21        | 17        | 21        |
|                | rzepak    | 39                       | 22        | 15        | 13        | 17        |
|                | średnia   | <b>30</b>                | <b>28</b> | <b>18</b> | <b>15</b> | <b>19</b> |

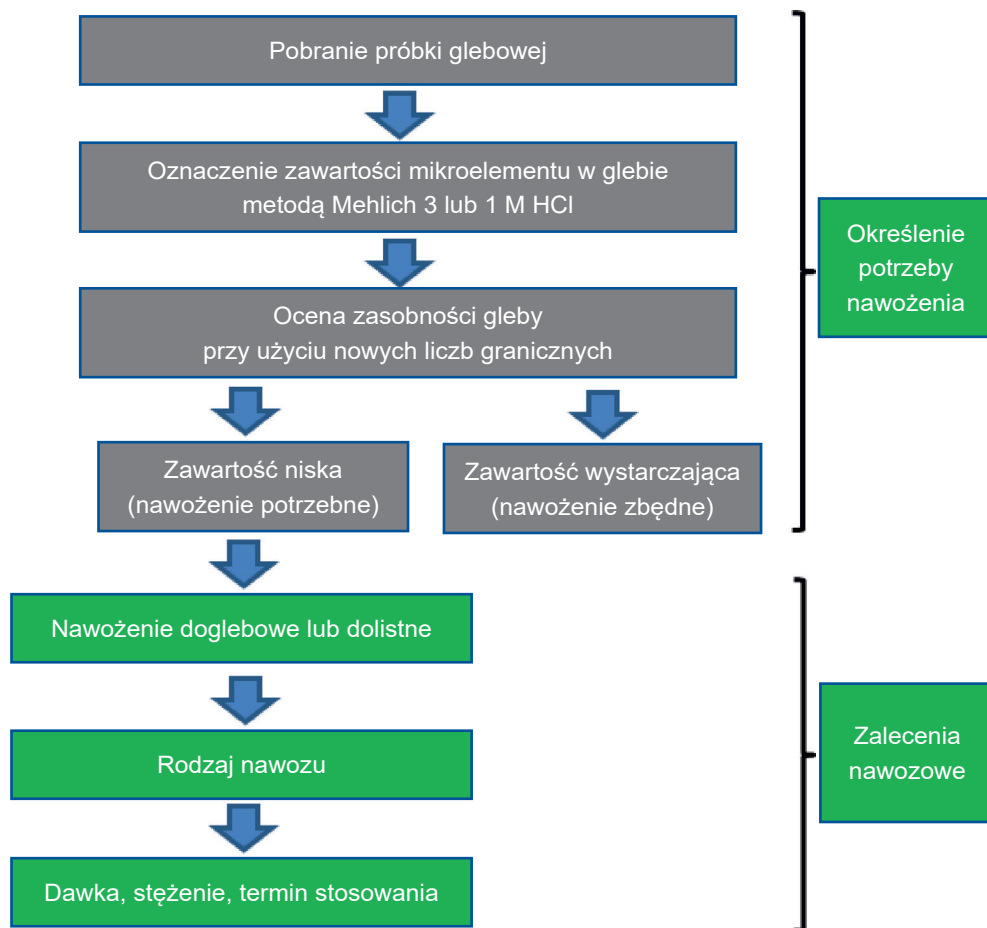
Źródło: opracowanie własne

Opracowane nowe liczby graniczne zostały wykorzystane do oceny zasobności gleby w badaniach naukowych z zakresu chemii rolniczej i ochrony środowiska, co zostało zaprezentowane w kilku publikacjach (1, 3, 4, 18).

### Nawożenie mikroelementami – schemat postępowania

Nowy system nawożenia mikroelementami polega na określeniu potrzeb nawożenia rośliny uprawnej borem, cynkiem, miedzią, molibdenem, manganem i żelazem (nawo-

żenie potrzebne czy zbędne) oraz na wydaniu zaleceń nawozowych, tzn. wskazaniu odpowiedniego sposobu nawożenia (dolistnie lub doglebowo), rodzaju nawozów, wielkości dawek i terminów aplikacji. Poniżej przedstawiono schemat postępowania.



### Zalecenia nawozowe

W Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa od wielu lat prowadzono badania dotyczące potrzeb mikroelementowych najważniejszych gospodarczo roślin uprawnych oraz ich reakcji na stosowane dawki mikroskładników. Badania opierano najczęściej na doświadczalnictwie polowym prowadzonym na terenie całego kraju oraz zbiorze danych zebranych z pól produkcyjnych, ale także na wynikach ścisłych doświadczeń wazonowych i mikropoletkowych. Wielkość dawek mikroelementów

rekomentowanych wówczas do praktyki rolniczej uwzględniała głównie ich działanie plonotwórcze. Nowsze badania IUNG-PIB pozwoliły na ocenę ich efektu środowiskowego. Badania te wykorzystano również do weryfikacji dawek nawozów, których wielkość umożliwia uzupełnienie deficytu mikroelementu w roślinie, a jednocześnie nie stanowi niepotrzebnego obciążenia dla środowiska. Do określenia wielkości dawek mikroelementów wykorzystano również dane literaturowe z krajów o warunkach glebowo-klimatycznych podobnych do warunków polskich.

Zalecenia nawożenia mikroelementami w nowym systemie są szczegółowo rozpisane dla każdego gatunku rośliny uprawnej, w odróżnieniu od starych zaleceń, które były bardziej uogólnione w stosunku do roślin. Zawierają wskazania odnośnie nawożenia doglebowego i dolistnego. Nawożenie dolistne rekomendowane jest przede wszystkim w celu uzupełnienia niedoborów manganu, molibdenu i żelaza, ponieważ w przypadku tych mikroelementów skuteczność nawożenia doglebowego jest zbyt krótkotrwała. Pozostałe mikroelementy: bor, miedź i cynk, można również stosować dolistnie. Należy jednak zdawać sobie sprawę, że nawożenie dolistne będzie służyć poprawie stanu odżywienia roślin w mikroelement jedynie w danym sezonie wegetacyjnym, nie wzbogacając gleby w deficytowy składnik. Przykładowe dawki mikroelementów i liczbę oprysków oraz terminy ich stosowania w uprawie pszenicy i buraka cukrowego podano w tabelach 6 i 7. Analogiczne zalecenia dla pozostałych gatunków roślin znajdują się w Instrukcji upowszechnieniowej (13).

Do oprysków dolistnych, oprócz dawek i terminów aplikacji, proponuje się nawozy w postaci wodnych roztworów soli mineralnych (siarczanu miedzi, siarczanu cynku, siarczanu żelaza, boraksu, kwasu borowego, molibdenianu amonu lub sodu) lub dostępne w ofercie rynkowej nawozy mikroelementowe. Roztwory soli mineralnych powinny być stosowane w odpowiednim stężeniu, aby były bezpieczne dla roślin. W zaleceniach (13) podano sposoby ich sporządzania.

Tabela 6

Zalecana liczba oprysków dla pszenicy i buraka cukrowego oraz dawka pierwiastka na 1 oprysk w  $\text{g} \cdot \text{ha}^{-1}$  przy dolistnym nawożeniu mikroelementami w formie soli mineralnych

| Gatunek  | B      |       | Cu     |       | Fe     |       | Mn     |       | Mo     |       | Zn     |       |
|----------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
|          | liczba | dawka | liczba | dawka | liczba | dawka | liczba | dawka | liczba | dawka | liczba | dawka |
| Pszenica | 1      | 200   | 2      | 300   | 1      | 500   | 2      | 1000  | -      | -     | 1      | 500   |
| Burak    | 3      | 300   | 2      | 300   | 2      | 500   | 2      | 1500  | 2      | 100   | 1      | 500   |

Źródło: opracowanie własne



Tabela 7

Terminy (fazy rozwojowe roślin) dolistnego nawożenia solami mikroelementowymi pszenicy i buraka cukrowego

| Gatunek (mikroelement)     | I termin                            | II termin  | III termin  |
|----------------------------|-------------------------------------|--|---|
| Pszenica (B)               | drugie/trzecie kolanko (BBCH 32-33) | x  | x   |
| Pszenica (Cu, Fe, Mn, Zn)  | wiosna – krzewienie (BBCH 25-29)    | początek strzelania w źdźbło (BBCH 31-32)                                    | x   |
| Burak (B)                  | 4–6 liści (BBCH 14-16)              | 10 dni po 1 oprysku  | 10 dni po 2 oprysku, ale przed pełnym zakryciem międzyrzędzi (do BBCH 39) |
| Burak (Cu, Fe, Mn, Mo, Zn) | 4–8 liści (BBCH 14-18)              | 10–12 dni po 1 oprysku, ale przed pełnym zakryciem międzyrzędzi (do BBCH 39) | x   |

Źródło: opracowanie własne

Nawożenie doglebowe zalecane jest w celu uzupełnienia niedoborów miedzi, cynku i boru (tab. 8). Doglebową dawkę mikroelementu można zastosować w postaci soli mineralnych lub oferowanych na rynku nawozów, posiadających w swoim składzie mikroelementy, zgodnie z zaleceniami producenta.

Tabela 8

Zalecane doglebowe dawki mikroelementów stosowane w formie soli mineralnych (w  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  w przeliczeniu na formę pierwiastkową)

| Rodzaj gleby         | B    | Cu                                  | Zn                                   |
|----------------------|------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Bardzo lekka i lekka | 1 kg | 5 kg nie częściej niż raz na 4 lata | 8 kg nie częściej niż raz na 3 lata  |
| Średnia              | 2 kg | 6 kg nie częściej niż raz na 4 lata | 8 kg nie częściej niż raz na 3 lata  |
| Ciężka               | 2 kg | 6 kg nie częściej niż raz na 4 lata | 10 kg nie częściej niż raz na 3 lata |

Uwaga: Nie stosować B doglebowo bezpośrednio pod zboża

Źródło: opracowanie własne

## Podsumowanie

Istotą nowego systemu nawożenia mikroelementami roślin uprawnych jest ocena zasobności gleby w mikroelementy z zastosowaniem nowych liczb granicznych wraz z nowymi zaleceniami nawozowymi, które zostały zweryfikowane pod kątem ochrony środowiska.

Nowe liczby graniczne do oceny deficytu mikroelementów glebowych zostały opracowane dwiema niezależnymi metodami, z wykorzystaniem kolekcji liczącej 5629 par próbek gleba–roślina. Nowy system nawożenia mikroelementami wpisuje

się w strategię rolnictwa zrównoważonego. Diagnoza oparta na nowych liczbach granicznych eliminuje przypadki braku nawożenia przy niedoborach mikroelementów lub niepotrzebnego nawożenia przy wystarczającej zasobności gleby w mikroskładniki, co w wielu sytuacjach miało miejsce przy wykorzystywaniu starych liczb granicznych.

### Literatura

1. Figas A., Tomaszewska-Sowa M., Kobiernski M., Sawilska A.K., Klimkowska K.: Hazard of contamination with heavy metals in *Thymus serpyllum* L. herbs from rural areas. *Agriculture*, 2021, **11(4)**: 375.
2. Fotyła M., Kęsik K., Lipiński W., Filipiak K., Purchała L.: Testy glebowe jako podstawa doradztwa nawozowego. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2015, **42(16)**: 9-51.
3. Gibczyńska M., Tomaszewicz T., Stankowski S., Chudecka J., Gamrat R.: Content of heavy metals in reclaimed soil material and hard coal ash 15 years after the experiment. *Journal of Ecological Engineering*, 2021, **22(4)**: 59-65.
4. Kabała C., Galka B., Jezierski P.: Assessment and monitoring of soil and plant contamination with trace elements around Europe's largest copper ore tailings impoundment. *Science of The Total Environment*, 2020, **738**: 139918.
5. Kantek K., Korzeniowska J.: Potrzeby nawożenia zbóż mikroelementami w województwie dolnośląskim. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2013, **34(8)**: 145-157
6. Kęsik K.: Zastosowanie metody Mehlich 3 w systemie doradztwa nawozowego. *Studia i Raporty PIB*, 2016, **48(2)**: 95-104.
7. Kęsik K., Jadczyzyn T., Lipiński W., Jurga B.: Adaptacja testu Mehlicha 3 do rutynowych oznaczeń zawartości fosforu, potasu i magnezu w glebie. *Przemysł Chemiczny*, 2015, **94(6)**: 973-6.
8. Kęsik K., Lipiński W., Jadczyzyn T., Boreczek B., Janda B., Sumorek-Gołąbek A., Kocooń A., Ochala P., Pikuła D., Bochniarz A.: Liczby graniczne oraz procedura badawcza oznaczania metodą Mehlich 3 ruchomych form fosforu, potasu i magnezu w glebach mineralnych. Instrukcja wdrożeniowa nr 230, IUNG-PIB Puławy, 2014, ss. 26.
9. Korzeniowska J., Stanisławska-Głubiak E.: Comparison of 1 M HCl and Mehlich 3 for assessment of the micronutrient status of polish soils in the context of winter wheat nutritional demands. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2015, **46(10)**: 1263-1277.
10. Korzeniowska J., Stanisławska-Głubiak E., Jadczyzyn T.: Ewolucja metod oceny zasobności gleb Polski w przyswajalne formy mikroelementów. *Studia i Raporty IUNG-PIB.*, 2020, **63(17)**: 133-144.
11. Korzeniowska J., Stanisławska-Głubiak E., Lipiński W.: New limit values of micronutrient deficiency in soil determined using 1 M HCl extractant for wheat and rapeseed. *Soil Science Annual*, 2020, **71(3)**: 205-214.
12. Korzeniowska J., Stanisławska-Głubiak E., Lipiński W.: Opracowanie liczb granicznych niedoboru mikroelementów w glebie oznaczanych przy użyciu ekstrahenta Mehlich 3 dla polskich warunków glebowych. Część I. Pszenica. *Soil Science Annual*, 2019, **70(4)**: 314-323.
13. Korzeniowska J., Stanisławska-Głubiak E., Jadczyzyn T., Lipiński W.: Nawożenie upraw rolniczych mikroelementami. Nowe liczby graniczne do oceny zawartości mikroelementów w glebie. Instrukcja upowszechnieniowa nr 249, IUNG-PIB, Puławy 2021, ss. 26.
14. Korzeniowska J., Stanisławska-Głubiak E., Kantek K., Lipiński W., Gaj R.: Micronutrient status of winter wheat in Poland. *Journal of Central European Agriculture*, 2015, **16(1)**: 54-64.
15. Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J., Jadczyzyn T.: Nawożenie mikroelementami. Katalog nawozów, środków wapnujących, stymulatorów wzrostu i środków poprawiających właściwości gleby. Nawożenie, 2021, s. 93-96.

16. Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J.: Analiza rynku nawozów mikroelementowych na tle potrzeb nawożenia mikroelementami w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB.*, 2020, **63(17)**: 145-161.
  17. Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J., Lipiński W.: Opracowanie liczb granicznych niedoboru mikroelementów w glebie oznaczanych przy użyciu ekstrahenta Mehlich 3 dla polskich warunków glebowych. Część II. Rzepak. *Soil Science Annual*, 2019, **70(4)**: 324-330.
  18. Tabak M.: Mehlich 3 – nowa metoda oznaczania przyswajalnych form pierwiastków w glebach. <https://nawozy.eu>, 2020
- 

Adres do korespondencji:

*prof. dr hab. Jolanta Korzeniowska*  
*Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Orzechowa 61*  
*50-540 Wrocław*  
*tel. 71 363 8707, w. 112*  
*e-mail: j.korzeniowska@iung.wroclaw.pl*

---

| AUTOR                    | ORCID               |
|--------------------------|---------------------|
| Jolanta Korzeniowska     | 0000-0003-3701-9576 |
| Ewa Stanisławska-Głubiak | 0000-0003-1852-6732 |
| Tamara Jadczyzyn         | 0000-0002-4755-699  |

**Tamara Jadczyzyn**

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

## NOWE ZALECENIA W ZAKRESIE WAPNOWANIA GLEB\*

**Słowa kluczowe:** zalecenia nawozowe, wapnowanie gleb

---

### Wstęp

Problem regulacji odczynu gleb ma kluczowe znaczenie dla rolnictwa w Polsce z uwagi na duży udział gleb podatnych na zakwaszenie, tj. gleb lekkich i bardzo lekkich, które zajmują ok. 2/3 powierzchni użytków rolnych (6). Szeroko zakrojone badania nad wpływem wapnowania gleb o zróżnicowanym składzie granulometrycznym i kwasowości prowadzono w latach 70. i 80. XX wieku (1, 2). Do roku 1975 przeprowadzono ok. 2,5 tys. doświadczeń jednorocznych i dwuletnich, w których oceniano efektywność stosowania różnych dawek i form nawozów wapniowych. W latach 1978–1985 przeprowadzono z udziałem Doświadczalnictwa Terenowego WOPR (wojewódzkie ośrodki postępu rolniczego) doświadczenia polowe na obszarze całego kraju. Liczba doświadczeń była z dzisiejszej perspektywy niewyobrażalna i wynosiła znacznie ponad 1000. Do syntezy wykorzystano bazę danych z 848 doświadczeń ze zbożami, 184 doświadczeń z ziemniakiem i 148 z burakami. Synteza wyników tychże doświadczeń umożliwiła opracowanie naukowych podstaw systemu zaleceń nawozowych w zakresie wapnowania gleb, które opublikowano w roku 1986 jako „Zalecenia nawozowe. Cz.II. Optymalne dawki nawozów na gruntach ornych” (11). Zostały one upowszechnione w całym kraju i do chwili obecnej są stosowane w praktyce rolniczej (3, 4, 5, 7, 8). Między innymi stanowią podstawę określania dawek nawozów wapniowych przez okręgowe stacje chemiczno-rolnicze (OSChR) dla gospodarstw ubiegających się o dofinansowanie zakupu wapna nawozowego w ramach Ogólnopolskiego programu regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie, realizowanego przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w latach 2019–2023 (12).

---

\*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.1 pt. „Nawożenie użytków rolnych” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2021 r.

### Aktualnie stosowany sposób ustalania dawek wapna i jego niedogodności

Podstawą opracowania zaleceń nawozowych jest rozeznanie właściwości gleby na podstawie analizy reprezentatywnej próbki. W przypadku zaleceń odnośnie wapnowania wymaganymi parametrami są: kategoria agronomiczna gleby oraz jej odczyn określony w 1 N KCl.

Wyróżnia się 4 kategorie agronomiczne gleby w zależności od zawartości tzw. części spławialnych, tj. cząstek o średnicy poniżej 0,02 mm (10). Pojęcie kategorii agronomicznej obejmuje różne grupy granulometryczne gleb (tab. 1). Skład granulometryczny w OSChR określa się według metody Prószyńskiego lub za pomocą miernika laserowego.

Tabela 1

Kategorie agronomiczne gleb

| Kategoria gleby | Grupa granulometryczna  | % frakcji < 0,02 mm |
|-----------------|---|---------------------|
| Bardzo lekka    | piasek luźny – pl<br>piasek luźny pylasty – plp<br>piasek słabo gliniasty – ps<br>piasek słabo gliniasty pylasty – psp  | 0–10                |
| Lekka           | piasek gliniasty lekki – pgl<br>piasek gliniasty lekki pylasty – pglp<br>piasek gliniasty mocny – pgm<br>piasek gliniasty mocny pylasty – pgmp<br>pył piaszczysty – pfp<br>pył zwykły – plz | 11–20               |
| Średnia         | glina lekka – gl<br>glina lekka pylasta – glp<br>pył gliniasty – plg  | 21–35               |
| Ciężka          | glina średnia – gs<br>glina średnia pylasta – gsp<br>glina ciężka – gc<br>glina ciężka pylasta – gsp<br>pył ilasty – pli<br>ił – i<br>ił pylast – ip  | powyżej 35          |

Źródło: Zalecenia nawozowe, 1986 (10)

Po wykonaniu analizy próbki gleby należy przystąpić do kolejnego etapu, jakim jest ocena potrzeb wapnowania. Potrzeby wapnowania gleb mineralnych gruntów ornych wyznacza się na podstawie obu parametrów, tj. kategorii agronomicznej i pH gleby (tab. 2), a w przypadku gleb użytków zielonych – wyłącznie na podstawie ich odczynu (tab. 3 i 4).

Tabela 2

## Ocena potrzeb wapnowania gleb mineralnych (gruntów orných)

| Klasa potrzeb wapnowania | Kategoria agronomiczna gleby/pH w 1 N KCl |         |         |         |
|--------------------------|---|---------|---------|---------|
|                          | bardzo lekka                              | lekka   | średnia | ciężka  |
| Konieczne                | do 4,0                                    | do 4,5  | do 5,0  | do 5,5  |
| Potrzebne                | 4,1–4,5                                   | 4,6–5,0 | 5,1–5,5 | 5,6–6,0 |
| Wskazane                 | 4,6–5,0                                   | 5,1–5,5 | 5,6–6,0 | 6,1–6,5 |
| Ograniczone              | 5,1–5,5                                   | 5,6–6,0 | 6,1–6,5 | 6,6–7,0 |
| Zbędne                   | od 5,6                                    | od 6,1  | od 6,6  | od 7,1  |

Źródło: Zalecenia nawozowe, 1986 (10)

Tabela 3

## Ocena potrzeb wapnowania gleb mineralnych (użytków zielonych)

| Odczyn pH w 1 N KCl | Klasa potrzeb wapnowania |           |          |        |
|---------------------|--------------------------|-----------|----------|--------|
|                     | konieczne                | potrzebne | wskazane | zbędne |
|                     | do 5,0                   | 5,1–5,5   | 5,6–6,0  | od 6,1 |

Źródło: Zalecenia nawozowe, 1986 (10)

Tabela 4

## Ocena potrzeb wapnowania gleb organicznych

| Odczyn pH w 1 N KCl | Klasa potrzeb wapnowania |           |          |        |
|---------------------|--------------------------|-----------|----------|--------|
|                     | konieczne                | potrzebne | wskazane | zbędne |
|                     | do 4,0                   | 4,1–4,5   | 4,6–5,0  | od 5,1 |

Źródło: Zalecenia nawozowe, 1986 (10)

Wyróżniono 5 klas potrzeb wapnowania gleb gruntów orných i cztery klasy w przypadku gleb użytków zielonych. Wartości graniczne dla poszczególnych klas ustalono na podstawie wyników wspomnianych wcześniej doświadczeń polowych, uwzględniając przyrost plonu roślin uprawnych pod wpływem optymalnej dawki wapna. Zakresy pH, przy których uzyskiwano największe przyrosty plonów przyjęto jako potrzeby wapnowania konieczne, a te wartości odczynu, przy których przyrosty plonów były najmniejsze określono jako ograniczone potrzeby wapnowania. Wartość pH, przy której zastosowanie wapna nie powodowało wzrostu plonu przyjęto jako wartość krytyczną, dla której wapnowanie określa się jako zbędne.

Kiedy już znane są potrzeby wapnowania gleby na polu, można określić zalecane dawki wapna nawozowego. Do tego celu w przypadku gruntów orných wykorzystuje się dane z tabeli 5, a w przypadku trwałych użytków zielonych – z tabel 6 i 7.

Warto zauważyć, że w przypadku użytków zielonych ówczesny Instytut Melioracji i Użytków Zielonych wprowadził modyfikacje dotyczące oceny potrzeb wapnowania trwałych użytków zielonych na glebach mineralnych, wprowadzając klasę „potrzeby ograniczone” i przesuwając graniczne wartości pH dla poszczególnych klas.

Tabela 5

## Zalecane dawki nawozów wapniowych na grunty orne

| Kategoria agronomiczna gleby | Klasa potrzeb wapnowania/Dawki CaO (t·ha <sup>-1</sup> ) |           |          |             |        |
|------------------------------|--|-----------|----------|-------------|--------|
|                              | konieczne  | potrzebne | wskazane | ograniczone | zbędne |
| Bardzo lekka                 | 3,0  | 2,0       | 1,0      | -           | -      |
| Lekka                        | 3,5  | 2,5       | 1,5      | -           | -      |
| Średnia                      | 4,5  | 3,0       | 1,7      | 1,0         | -      |
| Ciężka                       | 6,0  | 3,0       | 2,0      | 1,0         | -      |

Źródło: Zalecenia nawozowe, 1986 (11)

Tabela 6

## Zalecane dawki nawozów wapniowych na trwałe użytki zielone na glebach mineralnych

| Parametr            |                                      | pH w KCl            |           |          |             |
|---------------------|--------------------------------------|---------------------|-----------|----------|-------------|
| zawartość węgla (%) | gęstość próbki (g·cm <sup>-3</sup> ) | < 4,6               | 4,6–5,0   | 5,1–5,5  | 5,6–6,0     |
|                     |                                      | potrzeby wapnowania |           |          |             |
|                     |                                      | konieczne           | potrzebne | wskazane | ograniczone |
| do 2,5              | ponad 1,20                           | 1,5                 | 1,0       | 0,5      | -           |
| 2,6–5,0             | 1,20–0,96                            | 2,0                 | 1,5       | 1,0      | 0,5         |
| 5,1–10,0            | 0,96–0,46                            | 3,0                 | 2,5       | -        | -           |

Źródło: Jadczyszyn i in., 2008 (5)

Tabela 7

## Zalecane dawki nawozów wapniowych na trwałe użytki zielone na glebach organicznych

| Potrzeby wapnowania |           |          |        |
|---------------------|-----------|----------|--------|
| konieczne           | potrzebne | wskazane | zbędne |
| X                   | 3,0       | 2,5      | -      |

X – dawkę ustala okręgowa stacja chemiczno-rolnicza

Źródło: Jadczyszyn i in., 2008 (5)

Łatwo można zauważyć, że w stosowanym do dzisiaj systemie zaleceń różnica pomiędzy wielkością dawki wapna dla sąsiadujących klas potrzeb wapnowania jest bardzo duża. W przypadku gruntów ornych na glebach bardzo lekkich i lekkich wynosi 1,0 t CaO na 1 ha pomiędzy wapnowaniem koniecznym i potrzebnym. Aż o 3,0 t CaO na 1 ha różni się zalecana dawka dla wapnowania koniecznego i potrzebnego na glebach ciężkich. Zatem w przypadku gleby ciężkiej o pH 5,5 zalecana dawka wapna wynosi 6 t CaO na 1 ha, a dla takiej samej gleby o pH równym 5,6 zalecana dawka to tylko 3 t CaO. Zmiana odczynu o 0,1 jednostki pH powoduje zwiększenie lub zmniejszenie zalecanej dawki wapna aż o 3,0 t na 1 ha. Jednocześnie dla gleb należących do tej samej klasy potrzeb wapnowania, pomimo różnicy w wartości pH nawet o 0,5 jednostki, zalecana jest taka sama dawka wapna. Te niedogodności systemu zaleceń są dostrzegane przez doradców i rolników i postrzegane jako „dyskryminują-

ce” w sytuacji, gdy na ich podstawie naliczana jest dotacja do wapnowania. W latach 2019–2023 Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej realizuje priorytetowy program pn. „Ogólnopolski program regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie” (12). Zgodnie z warunkami tego programu dofinansowanie jest udzielane na wapnowanie gleb o odczynie mniejszym lub równym pH 5,5 w gospodarstwach o powierzchni nieprzekraczającej 75 ha. Kwota dotacji wynosi:

- do 300 zł na 1 tonę CaO lub CaO + MgO dla gospodarstw o powierzchni nieprzekraczającej 25 ha użytków rolnych;
- do 200 zł na 1 tonę CaO lub CaO + MgO dla gospodarstw o powierzchni powyżej 25 ha do 50 ha użytków rolnych;
- 100 zł na 1 tonę CaO lub CaO + MgO dla gospodarstw o powierzchni powyżej 50 ha do 75 ha użytków rolnych.

Rolnik może uzyskać dofinansowanie do zakupu takiej ilości wapna nawozowego, jaka wynika z zaleceń opracowanych przez okręgową stację chemiczno-rolniczą na podstawie oznaczonej w próbkce gleby wartości pH. Zalecana dawka wapna nawozowego jest określana przez OSChR w sposób omówiony powyżej.

Zgodnie z warunkami „Ogólnopolskiego programu regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie” gospodarstwo posiadające 25 ha ciężkich gleb o odczynie pH 5,5 lub niższym może otrzymać dotację w wysokości 45 000 zł, ponieważ wapnowanie takich gleb jest konieczne, a zalecana dawka wapna wynosi 6 t CaO na 1 ha, czyli:  $6 \text{ t CaO} \cdot \text{ha}^{-1} \times 25 \text{ ha} \times 300 \text{ zł} \cdot \text{t}^{-1}$ . Jeśli wartość pH gleby wynosi 5,6, to gospodarstwo jest całkowicie pozbawione dotacji.

Nowe zalecenia w zakresie wapnowania nie mogą mieć wpływu na realizację „Ogólnopolskiego programu regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie”, którego zasady zostały określone przed kilku laty. Natomiast stały się elementem internetowego systemu doradztwa nawozowego InterNAW, który będzie powszechnie dostępny od roku 2022. Gdyby program refundacji wapnowania był kontynuowany w przyszłości, to mógłby uwzględnić nowe zasady określania dawek wapna.

Dotychczasowy system zaleceń nie rekomendował stosowania dawek wapna na tyle dużych, by zapewniały uzyskanie optymalnego odczynu gleby, z obawy przed tzw. przewapnowaniem polegającym na zaburzeniu stosunku jonów wapnia i magnezu w glebie, jej przesuszeniu itp. Zalecano ponowne zbadanie odczynu gleby po upływie 4 lat od zastosowania wapna i ocenę potrzeb wapnowania.

### **Nowe zalecenia w zakresie wapnowania**

Biorąc pod uwagę powyższe niespójności dotychczasowego systemu, przygotowano nowe zalecenia w zakresie wapnowania gleb. W nowym systemie zaleceń wyeliminowano etap wyceny potrzeb wapnowania gleby. Jest to uzasadnione tym, że klasy potrzeb wapnowania ustalono z uwzględnieniem gatunków roślin uprawianych na glebach danej kategorii agronomicznej. Udział określonych gatunków roślin



w zmianowaniu w zależności od warunków glebowych był i nadal pozostaje przyrodniczo uzasadniony. Niemniej jednak w obecnej dobie o doborze roślin w zmianowaniu w większym stopniu decyduje popyt na rynku niż warunki przyrodnicze. Wyliczanie dawek wapna w nowym systemie doradztwa opiera się zatem wyłącznie na odczynie i kategorii agronomicznej gleby. Podstawą systemu są modele regresyjne opracowane na podstawie wyników dużej liczby doświadczeń polowych przeprowadzonych w ramach doświadczalnictwa terenowego w latach 80. (2). W doświadczeniach założonych na glebach bardzo lekkich, lekkich, średnich i ciężkich, o zróżnicowanym odczynie, stosowano wzrastające dawki wapna nawozowego obliczone według kwasowości hydrolitycznej: 0; 0,5; 1,0; 2,0 i 3,0 Hh. Następnie w okresie 4 lat corocznie określano pH gleby. Na podstawie uzyskanych wyników dla każdej kategorii gleby wyznaczono zależność regresyjną pomiędzy uzyskanym odczynem a wyjściową wartością pH i zastosowaną dawką wapna:

$$\text{bardzo lekkie: } \text{pH}_k = -1,2661 + 1,5415 \text{ pH}_w + (-0,0568) \text{ pH}_w^2 + 0,4940 \text{ CaO} + (-0,0088) \text{ CaO}^2 + (-0,0526) \text{ pH}_w \text{ CaO}$$

$$\text{lekkie: } \text{pH}_k = -1,0583 + 1,4896 \text{ pH}_w + (-0,0545) \text{ pH}_w^2 + 0,6245 \text{ CaO} + (-0,0132) \text{ CaO}^2 + (-0,0713) \text{ pH}_w \text{ CaO}$$

$$\text{średnie: } \text{pH}_k = 0,2483 + 0,9790 \text{ pH}_w + 0,3783 \text{ CaO} + (-0,0270) \text{ pH}_w \text{ CaO}$$

$$\text{ciężkie: } \text{pH}_k = -8,9574 + 4,7436 \text{ pH}_w + (-0,3750) \text{ pH}_w^2 + 0,4649 \text{ CaO} + (-0,0082) \text{ CaO}^2 + (-0,0334) \text{ pH}_w \text{ CaO}$$

gdzie:

$\text{pH}_w$  – początkowy odczyn gleby;

$\text{pH}_k$  – odczyn gleby uzyskany po zastosowaniu wapna;

CaO – zastosowana dawka wapna ( $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ).

Za pomocą powyższych równań regresji można obliczyć, jaką dawkę wapna (CaO) należy zastosować na glebie o aktualnym odczynie ( $\text{pH}_w$ ), aby uzyskać oczekiwaną jego wartość ( $\text{pH}_k$ ).

W celu bardziej precyzyjnego doradztwa w zakresie wapnowania obliczono dawki wapna na gleby poszczególnych kategorii agronomicznych, różnicując początkową wartość odczynu ( $\text{pH}_w$ ) z krokiem 0,1 i zakładając uzyskanie optymalnego dla danej kategorii poziomu  $\text{pH}_k$ . Jako optymalną wartość pH przyjęto górną granicę ograniczonych potrzeb wapnowania dla danej kategorii agronomicznej.

### Dawki wapna na gruntach ornych według nowego systemu zaleceń

W tabelach 8–11 podano zalecane dawki wapna na gruntach ornych w zależności od wyjściowego pH gleby. Na glebach bardzo lekkich (tab. 8) maksymalna dawka wapna wynosi  $3,4 \text{ t CaO} \cdot \text{ha}^{-1}$  i jest o  $0,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  większa od zalecanej dotychczas w warunkach koniecznych potrzeb wapnowania. Na glebach lekkich (tab. 9) dawka wapna niezbędna do osiągnięcia optymalnego pH gleby może sięgać  $6,5 \text{ t CaO} \cdot \text{ha}^{-1}$

i jest o 3 t większa od maksymalnej dotychczas zalecanej, dlatego proponuje się podział dawek większych niż  $3,5 \text{ t CaO} \cdot \text{ha}^{-1}$  na dwie dawki: podstawową (I) i uzupełniającą (II). Na glebach średnich (tab. 10) dawki wapna sięgają  $7,8 \text{ t CaO} \cdot \text{ha}^{-1}$  przy skrajnie niskim pH wyjściowym (równym 3,9). Zaleca się, aby dawka zastosowana jednorazowo nie przekraczała  $5 \text{ t CaO} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Pozostałą ilość zaleca się zastosować w drugiej dawce. Na glebach ciężkich (tab. 11) do zoptymalizowania pH może być potrzebne zastosowanie nawet do  $10,8 \text{ t CaO} \cdot \text{ha}^{-1}$  (przy pH wyjściowym 3,9). W tym przypadku zaleca się aplikację do  $6 \text{ t CaO} \cdot \text{ha}^{-1}$  w dawce podstawowej, a resztę w dawce drugiej, uzupełniającej po 2–4 latach. Opracowane w taki sposób zalecenia uświadamiają rolnikom, że jednorazowy zabieg wapnowania nie rozwiązuje całkowicie problemu zakwaszenia gleby. Zastosowanie uzupełniającego wapnowania nie musi być poprzedzone analizą gleby. Nowy system pozwala bardziej precyzyjnie wapnować glebę. Na przykład według dotychczasowego systemu na glebie bardzo lekkiej, gdzie wapnowanie określono jako wskazane (pH od 4,6 do 5,0), zalecana dawka CaO wynosiła  $1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Taką dawkę zalecano zarówno dla gleby o pH 4,6, jak i dla gleby o pH 5,0. Obecnie w pierwszym przypadku dawka wapna wynosi  $1,3 \text{ t CaO} \cdot \text{ha}^{-1}$ , a w drugim –  $0,2 \text{ t CaO} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Proponowane rozwiązanie pozwala lepiej dostosować dawki nawozów wapniowych do rzeczywistych potrzeb.

Pozostałe zalecenia dotyczące terminów stosowania, jak i formy wapna nawozowego pozostają niezmiennie. Na glebach bardzo lekkich i lekkich zaleca się formę węglanową. Jeśli odczyn tych gleb jest kwaśny lub bardzo kwaśny, aby efekt wapnowania był szybki, należy wybierać wapno o wysokiej reaktywności. Wapno tlenkowe poleca się na gleby ciężkie i średnie. Jeśli zalecana jest także druga dawka, może to być wapno węglanowe o dłuższym działaniu.

Tabela 8

Zalecane dawki wapna nawozowego na glebach bardzo lekkich

| pH <sub>w</sub> gleby | Zalecana dawka CaO (t·ha <sup>-1</sup> ) | Podział dawki |          |
|-----------------------|--|---------------|----------|
|                       |  | dawka I       | dawka II |
| 5,0                   | 0,2                                      | 0,2           | -        |
| 4,9                   | 0,5                                      | 0,5           | -        |
| 4,8                   | 0,8                                      | 0,8           | -        |
| 4,7                   | 1,0                                      | 1,0           | -        |
| 4,6                   | 1,3                                      | 1,3           | -        |
| 4,5                   | 1,6                                      | 1,6           | -        |
| 4,4                   | 1,8                                      | 1,8           | -        |
| 4,3                   | 2,0                                      | 2,0           | -        |
| 4,2                   | 2,2                                      | 2,2           | -        |
| 4,1                   | 2,4                                      | 2,4           | -        |
| 4,0                   | 2,8                                      | 2,8           | -        |
| 3,9                   | 3,1                                      | 3,1           | -        |
| 3,8                   | 3,4                                      | 3,4           | -        |

Źródło: opracowanie własne

Tabela 9

## Zalecane dawki wapna nawozowego na glebach lekkich

| pH <sub>w</sub> gleby | Zalecana dawka CaO (t·ha <sup>-1</sup> ) | Podział dawki |          |
|-----------------------|--|---------------|----------|
|                       |  | dawka I       | dawka II |
| 5,5                   | 0,2                                      | 0,2           | -        |
| 5,4                   | 0,5                                      | 0,5           | -        |
| 5,3                   | 0,9                                      | 0,9           | -        |
| 5,2                   | 1,2                                      | 1,2           | -        |
| 5,1                   | 1,5                                      | 1,5           | -        |
| 5,0                   | 1,8                                      | 1,8           | -        |
| 4,9                   | 2,1                                      | 2,1           | -        |
| 4,8                   | 2,3                                      | 2,3           | -        |
| 4,7                   | 2,6                                      | 2,6           | -        |
| 4,6                   | 2,9                                      | 2,9           | -        |
| 4,5                   | 3,1                                      | 3,1           | -        |
| 4,4                   | 3,4                                      | 3,4           | -        |
| 4,3                   | 4,5                                      | 3,5           | 1,0      |
| 4,2                   | 4,7                                      | 3,5           | 1,2      |
| 4,1                   | 5,5                                      | 3,5           | 2,0      |
| 4,0                   | 5,9                                      | 3,5           | 2,4      |
| 3,9                   | 6,3                                      | 3,5           | 2,8      |
| 3,8                   | 6,5                                      | 3,5           | 3,0      |

Źródło: opracowanie własne

Tabela 10

## Zalecane dawki wapna nawozowego na glebach średnich

| pH <sub>w</sub> gleby | Zalecana dawka CaO (t·ha <sup>-1</sup> ) | Podział dawki |          |
|-----------------------|--|---------------|----------|
|                       |  | dawka I       | dawka II |
| 6,0                   | 0,4                                      | 0,4           | -        |
| 5,9                   | 0,8                                      | 0,8           | -        |
| 5,8                   | 1,2                                      | 1,2           | -        |
| 5,7                   | 1,6                                      | 1,6           | -        |
| 5,6                   | 2,0                                      | 2,0           | -        |
| 5,5                   | 2,4                                      | 2,4           | -        |
| 5,4                   | 2,8                                      | 2,8           | -        |
| 5,3                   | 3,2                                      | 3,2           | -        |
| 5,2                   | 3,6                                      | 3,6           | -        |
| 5,1                   | 3,9                                      | 3,9           | -        |
| 5,0                   | 4,2                                      | 4,2           | -        |
| 4,9                   | 4,4                                      | 4,4           | -        |
| 4,8                   | 4,8                                      | 4,8           | -        |
| 4,7                   | 5,0                                      | 5,0           | -        |
| 4,6                   | 5,4                                      | 5,0           | 0,4      |
| 4,5                   | 5,8                                      | 5,0           | 0,8      |

cd. tab. 10

| pH <sub>w</sub> gleby | Zalecana dawka CaO (t·ha <sup>-1</sup> ) | Podział dawki |          |
|-----------------------|--|---------------|----------|
|                       |  | dawka I       | dawka II |
| 4,4                   | 6,2                                      | 5,0           | 1,2      |
| 4,3                   | 6,4                                      | 5,0           | 1,4      |
| 4,2                   | 6,6                                      | 5,0           | 1,6      |
| 4,1                   | 7,0                                      | 5,0           | 2,0      |
| 4,0                   | 7,4                                      | 5,0           | 2,4      |
| 3,9                   | 7,8                                      | 5,0           | 2,8      |

Źródło: opracowanie własne

Tabela 11

Zalecane dawki wapna nawozowego na glebach ciężkich

| pH <sub>w</sub> gleby | Zalecana dawka CaO (t·ha <sup>-1</sup> ) | Podział dawki |          |
|-----------------------|--|---------------|----------|
|                       |  | dawka I       | dawka II |
| 6,3                   | 0,2                                      | 0,2           | -        |
| 6,2                   | 0,2                                      | 0,2           | -        |
| 6,1                   | 0,5                                      | 0,5           | -        |
| 6,0                   | 0,8                                      | 0,8           | -        |
| 5,9                   | 1,0                                      | 1,0           | -        |
| 5,8                   | 1,5                                      | 1,5           | -        |
| 5,7                   | 2,0                                      | 2,0           | -        |
| 5,6                   | 2,5                                      | 2,5           | -        |
| 5,5                   | 3,0                                      | 3,0           | -        |
| 5,4                   | 3,5                                      | 3,5           | -        |
| 5,3                   | 3,8                                      | 3,8           | -        |
| 5,2                   | 4,1                                      | 4,1           | -        |
| 5,1                   | 4,5                                      | 4,5           | -        |
| 5,0                   | 4,8                                      | 4,8           | -        |
| 4,9                   | 5,1                                      | 5,1           | -        |
| 4,8                   | 5,4                                      | 5,4           | -        |
| 4,7                   | 5,7                                      | 5,7           | -        |
| 4,6                   | 5,8                                      | 5,8           | -        |
| 4,5                   | 6,0                                      | 6,0           | -        |
| 4,4                   | 7,0                                      | 6,0           | -        |
| 4,3                   | 7,5                                      | 6,0           | 1,5      |
| 4,2                   | 8,0                                      | 6,0           | 2,0      |
| 4,1                   | 9,0                                      | 6,0           | 3,0      |
| 4,0                   | 9,8                                      | 6,0           | 3,8      |
| 3,9                   | 10,8                                     | 6,0           | 4,8      |

Źródło: opracowanie własne

### Dawki CaO na użytkach zielonych

Weryfikacja zaleceń dla gleb użytków zielonych polega jedynie na stopniowym zmniejszeniu zalecanych dawek wapna wraz ze wzrostem wyjściowego pH gleby. Maksymalne dawki wapna na trwałe użytki zielone pozostawiono bez zmian (tab. 12).

Tabela 12

Zalecane dawki wapna nawozowego na trwałe użytki zielone

| pH <sub>w</sub> | Zawartość C w glebie (%) |         |          |     |
|-----------------|--------------------------|---------|----------|-----|
|                 | <2,5                     | 2,6–5,0 | 5,1–10,0 | >10 |
| 3,8             | 1,5                      | 2,0     | 3,0      | 3,0 |
| 3,9             | 1,5                      | 2,0     | 3,0      | 3,0 |
| 4,0             | 1,5                      | 2,0     | 3,0      | 3,0 |
| 4,1             | 1,5                      | 2,0     | 3,0      | 3,0 |
| 4,2             | 1,5                      | 2,0     | 3,0      | 2,9 |
| 4,3             | 1,5                      | 2,0     | 3,0      | 2,8 |
| 4,4             | 1,5                      | 2,0     | 3,0      | 2,7 |
| 4,5             | 1,5                      | 2,0     | 3,0      | 2,4 |
| 4,6             | 1,5                      | 1,9     | 2,9      | 2,1 |
| 4,7             | 1,3                      | 1,8     | 2,8      | 1,7 |
| 4,8             | 1,2                      | 1,7     | 2,7      | 1,3 |
| 4,9             | 1,1                      | 1,6     | 2,6      | 0,9 |
| 5,0             | 1,0                      | 1,5     | 2,5      | 0,5 |
| 5,1             | 0,9                      | 0,9     | 0        | 0   |
| 5,2             | 0,8                      | 0,8     | 0        | 0   |
| 5,3             | 0,7                      | 0,7     | 0        | 0   |
| 5,4             | 0,6                      | 0,6     | 0        | 0   |
| 5,5             | 0,5                      | 0,5     | 0        | 0   |
| 5,6             | 0                        | 0,5     | 0        | 0   |
| 5,7             | 0                        | 0,4     | 0        | 0   |
| 5,8             | 0                        | 0,3     | 0        | 0   |
| 5,9             | 0                        | 0,2     | 0        | 0   |

Źródło: opracowanie własne

### Podsumowanie

1. Nowy system zaleceń w zakresie wapnowania gleb został uproszczony w stosunku do dotychczasowego poprzez wyeliminowanie etapu wyceny tzw. potrzeb wapnowania, co poprawi przejrzystość ustalenia dawki wapna dla odbiorcy końcowego.
2. Zgodnie z zaproponowanym podejściem wielkość zalecanych dawek wapna zmienia się w sposób „ciągły” w zależności od odczynu gleby.
3. Rekomendowana (całkowita) dawka wapna została określona w taki sposób, aby doprowadzić odczyn gleby do poziomu optymalnego.

- 
4. Dawki wapna według nowego systemu są określane bardziej precyzyjnie, co pozwoli zmniejszyć nakłady na zakup nawozów w przypadkach wyższych wartości odczynu gleby.

### Literatura

1. Boguszeński W.: Wapnowanie gleb. PWRiL, Warszawa 1980, ss. 173.
2. Fotyma M., Zięba S.: Przyrodnicze i gospodarcze podstawy wapnowania gleb. PWRL Warszawa 1988, ss. 250
3. Grzebisz W., Szczepaniak W., Diatta J.B.: ABC wapnowania gleb uprawnych. UP Poznań 2012, ss. 36.
4. Hołubowicz-Kliża G.: Wapnowanie. Materiały szkoleniowe. IUNG-PIB, Puławy 2017, **106**: 1-53.
5. Jadczyzyn T., Kowalczyk J., Lipiński W.: Zalecenia nawozowe dla roślin uprawy polowej i trwałych użytków zielonych. Instrukcja upowszechnieniowa. IUNG-PIB Puławy, 2008, **151**: 1-23.
6. Jadczyzyn T., Ochala P.: Zakwaszenie gleb i potrzeby wapnowania. Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy 2013, **34(8)**: 9-18.
7. Ochala P.: Pilna potrzeba regeneracyjnego wapnowania gleb w Polsce. IUNG-PIB, Puławy 2009, ss. 31.
8. Ochala P.: Regeneracyjne wapnowanie gleb w Polsce. Instrukcja upowszechnieniowa. IUNG-PIB Puławy, 2012, **189**: 1-31.
9. System nawożenia gruntów ornych w Polsce. Synteza badań przeprowadzonych w latach 1981–1985. Puławy 1986, Seria S (45), ss. 106.
10. Zalecenia nawozowe. Część I. Liczby graniczne do wyceny zawartości w glebach makro- i mikroelementów. Puławy 1986. Seria P(29), ss. 26.
11. Zalecenia nawozowe. Część II. Optymalne dawki nawozów na gruntach ornych. Puławy 1986, Seria S 32, ss. 99.
12. <https://www.gov.pl/web/rolnictwo/dzis-rusza-program-wapnowania-gleb>

---

Adres do korespondencji:

*dr inż. Tamara Jadczyzyn*  
*Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8*  
*24-100 Puławy*  
*tel. 516 203 554*  
*e-mail: tj@iung.pulawy.pl*

---

AUTOR

Tamara Jadczyzyn

ORCID

0000-0002-4755-6992



Jarosław Stalenga, Krzysztof Jończyk

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

PROBLEMY GOSPODARKI NAWOZOWEJ W EKOLOGICZNYCH  
GOSPODARSTWACH BEZINWENTARZOWYCH\*

**Słowa kluczowe:** rolnictwo ekologiczne, gospodarka składnikami nawozowymi, bilans azotu, fosforu i potasu, ekologiczne gospodarstwa bezinwentarzowe

---

**Wstęp**

Racjonalne zarządzanie składnikami nawozowymi (azotem, fosforem i potasem) w rolnictwie ekologicznym powinno zmierzać do ich maksymalnej retencji w glebie i jednocześnie do minimalizacji strat spowodowanych nadmierną mineralizacją, denitryfikacją i wymywaniem (11). Ten ostatni proces, zwłaszcza w przypadku azotu i potasu, przyczynia się do zanieczyszczenia wód gruntowych i powierzchniowych, co w efekcie może skutkować ich eutrofizacją (1).

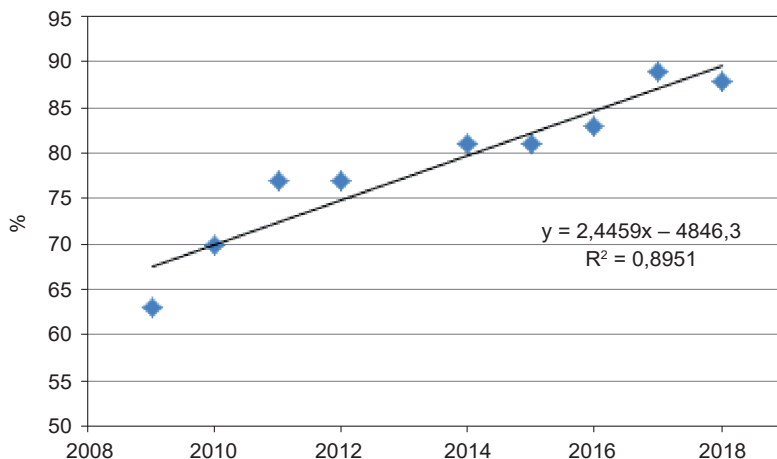
W ostatnich latach w Polsce obserwuje się wyraźnie postępującą specjalizację w rolnictwie ekologicznym w kierunku roślinnym i powiązaną z nią całkowitą rezygnacją z produkcji zwierzęcej. W 2009 roku 63% gospodarstw ekologicznych w Polsce miało profil bezinwentarzowy, natomiast w 2018 r. takich gospodarstw było już 88% (rys. 1) (31–35). W większości przypadków rezygnacja z produkcji zwierzęcej przez rolników ekologicznych wynika z niskiej jej opłacalności oraz dużej pracochłonności, a jednocześnie z wysokich wymagań stawianych ekologicznej produkcji zwierzęcej. Wymagania te dotyczą m.in. utrzymywania wybiegów o odpowiedniej powierzchni, posiadania budynków inwentarskich o właściwych parametrach technicznych, braku (w przypadku przeżuwaczy) lub bardzo ograniczonej (do 5% w przypadku zwierząt monogastrycznych) możliwości zakupu pasz konwencjonalnych. Brak produkcji zwierzęcej w gospodarstwach ekologicznych, zwłaszcza tych o profilu ogrodniczym, i związany z tym ograniczony dostęp do nawozów naturalnych (głównie

---

\*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.4 pt. „Identyfikacja problemów oraz doskonalenie płodozmianów i gospodarki nawozowej w gospodarstwach ekologicznych o różnych profilach produkcji” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2021 r.



obornika) może prowadzić do zachwiania równowagi w gospodarce składnikami nawozowymi (9, 23).



Rys. 1. Udział (w %) gospodarstw bezinwentarzowych w całości gospodarstw ekologicznych w Polsce w latach 2009–2018

Źródło: wyliczenia własne na podstawie danych z Raportów IJHARS (31–35)

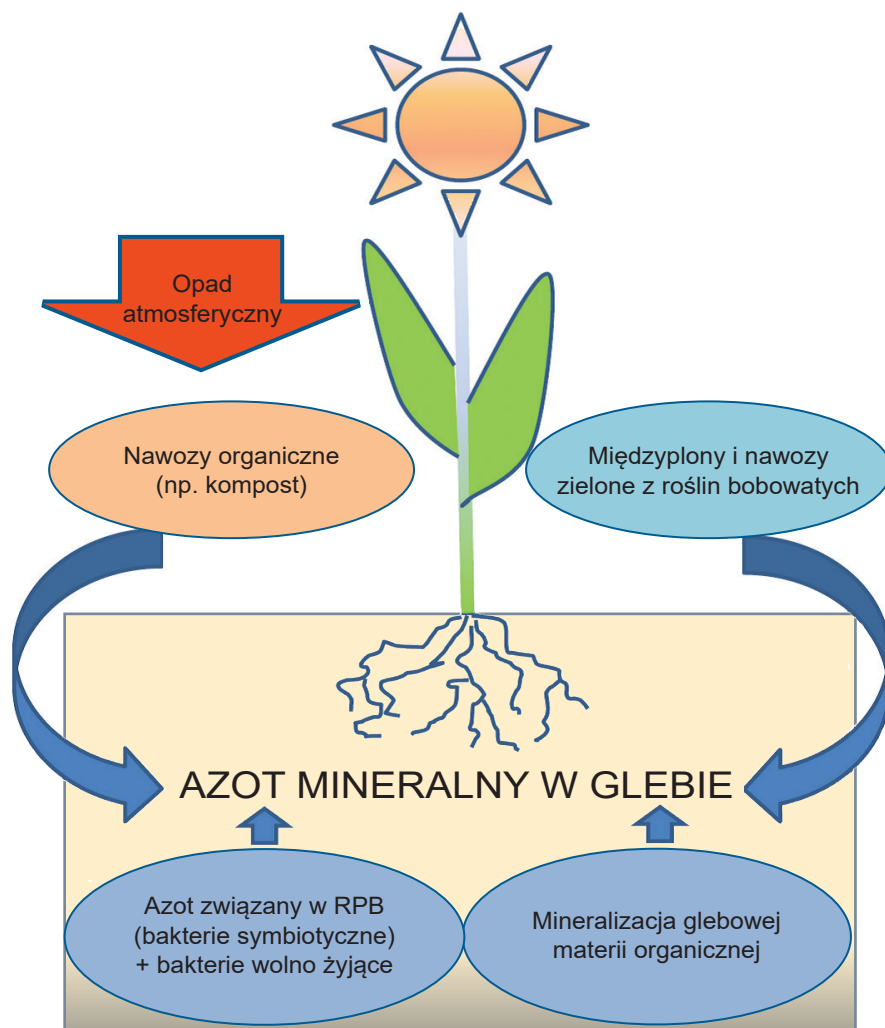
Dużym wyzwaniem dla zrównoważonego zarządzania składnikami nawozowymi w rolnictwie ekologicznym w Polsce jest to, iż charakteryzują je gorsze niż w rolnictwie konwencjonalnym warunki siedliskowe dla produkcji rolnej (36, 44). Oznacza to, że gleby w tym systemie są z reguły mało zasobne w składniki nawozowe i jednocześnie odznaczają się ograniczonymi zdolnościami sorpcyjnymi. Wysoki udział gleb słabych i bardzo słabych w użytkowaniu gospodarstw ekologicznych wynika z tego, iż wydajność roślin na tego typu gruntach jest tylko niewiele mniejsza niż w systemie konwencjonalnym. Ponadto premia cenowa uzyskiwana ze sprzedaży produktów ekologicznych, a także dopłaty do powierzchni użytkowanej ekologicznie powodują, iż system ten staje się na takich glebach konkurencyjny w stosunku do konwencjonalnego sposobu gospodarowania (21).

Szczegółowe analizy dotyczące rozmieszczenia gospodarstw ekologicznych w Polsce wykazały, że gminy z największą liczbą gospodarstw ekologicznych charakteryzują się niższymi wartościami wskaźnika waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej, mniejszą wydajnością produkcji rolniczej oraz ponad 50% udziałem powierzchni obszarów prawnie chronionych (44). Z innych analiz wynika, że dotychczasowy rozwój rolnictwa ekologicznego w dużo większym stopniu zależał od czynników ekonomiczno-organizacyjnych niż od warunków przyrodniczych (24–26).

Celem pracy jest omówienie kluczowych problemów gospodarki nawozowej azotem, fosforem i potasem w ekologicznych gospodarstwach bezinwentarzowych na podstawie opublikowanych wyników badań własnych oraz przeglądu literatury krajowej i zagranicznej.

## Gospodarka azotem

Głównym źródłem azotu w gospodarstwach ekologicznych, a zwłaszcza bezinwentarzowych, jest biologiczne wiązanie tego składnika przez bakterie symbiotyczne współżyjące z roślinami bobowatymi uprawianymi w plonie głównym, na międzyplon lub z przeznaczeniem na nawozy zielone (rys. 2). Kluczowe znaczenie, w kontekście ilości związanego i wprowadzonego do gleby azotu, ma gatunek uprawianej rośliny bobowatej, jej plon, a także termin przyorania jej biomasy lub resztek poźniwnych (3).



RPB – resztki poźniwne po uprawie roślin bobowatych w siewie czystym lub w uprawach mieszanych

Rys. 2. Główne źródła azotu w bezinwentarzowych gospodarstwach ekologicznych

Źródło: opracowanie własne

W przypadku ekologicznych gospodarstw bezinwentarzowych kluczową grupą bobowatych są rośliny strączkowe. Istotne znaczenie w poprawie bilansu azotu mają również uprawy mieszanek międzygatunkowych z udziałem roślin bobowatych. Peoples i in. (27) podają, że ilość azotu związanego symbiotycznie przez większość badanych roślin strączkowych waha się w granicach od 30 do 40 kg na tonę suchej masy ich części nadziemnych. Tendencję taką potwierdził Pietrzak (28), wyliczając ilość azotu związanego przez groch zwyczajny, seradelę i łubin żółty w uprawie na zielony nawóz na poziomie od 35 do 38 kg na tonę suchej masy roślin.

Według Schmidtkę (37), działania zwiększające intensywność symbiotycznego wiązania azotu przez rośliny bobowate powinny być ukierunkowane na:

1. Maksymalizację plonów roślin bobowatych, ponieważ przy wyższym plonowaniu wzrasta zapotrzebowanie na azot i jednocześnie intensywność jego symbiotycznego wiązania;
2. Ograniczanie ilości azotu dostarczanego podczas wzrostu rośliny bobowatej, tak aby mogła ona pokryć zapotrzebowanie na ten składnik głównie z wiązania symbiotycznego;
3. Dobór gatunków i odmian roślin strączkowych, które pozostawiają więcej azotu w resztkach poźniowych, np. łubiny.

Innym ważnym źródłem azotu w ekologicznych gospodarstwach bezinwentarzowych mogą być nawozy organiczne sporządzane np. z resztek lub odpadów organicznych powstających we własnym gospodarstwie (np. komposty), a także nawozy organiczne lub organiczno-mineralne dostarczane spoza gospodarstwa. Wykaz takich nawozów można znaleźć na stronie internetowej prowadzonej przez IUNG-PIB. Według stanu na dzień 18.06.2021 zawierał on ok. 160 pozycji (46).

Poważnym wyzwaniem w gospodarce azotem w rolnictwie ekologicznym jest zapewnienie odpowiedniej synchronizacji jego dostarczenia z aktualnymi potrzebami roślin (5). Często duże zapotrzebowanie roślin na azot, głównie w okresie ich największego wzrostu (przeważnie maj–czerwiec), nie jest odpowiednio zaspokajane, głównie ze względu na zbyt wolno przebiegającą mineralizację glebowej materii organicznej. Wielu autorów wskazuje na generalnie niską zawartość azotu mineralnego w glebie w okresie wegetacyjnym w warunkach uprawy ekologicznej (8, 13, 20). Z drugiej strony zbyt intensywna mineralizacja w okresie niewielkiego zapotrzebowania na azot, np. w okresie jesienno-zimowym, może prowadzić do przemieszczania się tego składnika w głąb profilu glebowego i jego wymywania lub do emisji podtlenku azotu w wyniku denitryfikacji (17). W kontekście prognozowanych zmian klimatu i związanych z tym możliwych coraz cieplejszych i wilgotniejszych zim w Polsce intensywność wymywania azotu oraz emisji podtlenku azotu może się nasilać (7). W celu poprawy wspomnianej synchronizacji, zwłaszcza w ekologicznych gospodarstwach bezinwentarzowych, zaleca się np. zamiast przyorywania biomasy międzyplonów lub nawozów zielonych przygotowywanie kompostów z zebranej biomasy, a następnie ich aplikację w odpowiednich terminach, dawkach i miejscach w zmianowaniu (29).

Stinner i in. (43) wykazali, że stosowanie pofermentu uzyskanego z biomasy roślin bobowatych uprawianych na międzyplon lub nawozów zielonych wpływało na zwiększenie plonu suchej masy oraz zawartości azotu w ziarnie pszenicy w ekologicznych systemach bezinwentarzowych. Ponadto aplikacja pofermentu skutkowała bardziej równomiernym rozdysponowaniem azotu w całym zmianowaniu oraz mniejszymi jego stratami w wyniku emisji.

Möller (23) podkreślił, że bardzo ważne w gospodarce składnikami nawozowymi w rolnictwie ekologicznym jest planowanie zmianowań z większym udziałem roślin bobowatych w siewach czystych i międzyplonach, a także stosowanie takich nawozów organicznych, które uwalniają składniki nawozowe w tempie dostosowanym do zapotrzebowania roślin, np. gnojówka bydłęca.

Jedną z ważniejszych metod oceny stopnia zrównoważenia gospodarki składnikami nawozowymi w systemach rolniczych jest wyliczanie ich salda bilansu. W przypadku azotu saldo to powinno wykazywać nadwyżkę na poziomie 30–40 kg·ha<sup>-1</sup> UR na rok (18). Wynika to stąd, iż nieuniknione są gazowe straty tego składnika, a pewne ilości azotanów nawet w warunkach bardzo poprawnego gospodarowania ulegają wymyciu. Wyliczanie salda bilansu składników nawozowych w rolnictwie ekologicznym może być bardzo dobrym podejściem do oceny, czy system jest zarządzany w sposób zrównoważony, czy też nie na długo, zanim ewentualne deficyty staną się wykrywalne w tradycyjnych analizach chemicznych (19). Utrzymywanie się ujemnego salda bilansu azotu w dłuższej perspektywie może świadczyć o postępującej mineralizacji próchnicy. Wyliczanie salda bilansu azotu jest dużym wyzwaniem, zwłaszcza w systemie ekologicznym, co wynika z trudności z szacowaniem ilości azotu symbiotycznie związanego przez rośliny bobowate. Ich uprawa w tym systemie jest jednak niezbędna, ponieważ stanowią one główne źródło zaopatrzenia roślin w azot (45). Bardzo pomocne w szacowaniu ilości azotu symbiotycznie związanego w systemie ekologicznym mogą być symulacje generowane przez różne narzędzia i modele, np. FASSET lub NDICEA (12, 38).

W badaniach własnych, prowadzonych w 2008 roku oraz w latach 2010–2012 w kilkudziesięciu polskich gospodarstwach ekologicznych o różnych profilach produkcji, saldo bilansu azotu kształtowało się na poziomie od –16 do +47 kg·ha<sup>-1</sup> UR rok<sup>-1</sup>, z wahaniami w poszczególnych gospodarstwach od –35 do +89 kg. W grupie gospodarstw o profilu roślinnym/warzywniczym saldo to było najmniejsze, natomiast wyraźnie dodatnie wartości salda notowano w gospodarstwach o profilu zwierzęcym oraz mieszanym (40, 42).

Ujemne saldo bilansu azotu stwierdzono również w bezinwentarzowych gospodarstwach ekologicznych w Wielkiej Brytanii. Średnia wielkość wyliczona dla lat 1995–1999 wyniosła ok. –23 kg N·ha<sup>-1</sup> UR·rok<sup>-1</sup> (16). Wykazano, że wiele małych bezinwentarzowych gospodarstw ekologicznych miało ograniczone możliwości poprawy salda bilansu azotu, np. poprzez uprawę międzyplonów czy nawozów zielonych z roślinami bobowatymi, ze względu na to, że wiązało się to z wyłączeniem

z produkcji istotnej części gruntów. Ponadto w gospodarstwach tych często jedynym źródłem składników nawozowych był kompost, którego nadmierne dawki mogły działać niekorzystnie, ponieważ zawarte w nim stosunkowo duże ilości fosforu łatwo ulegają wymyciu do wód powierzchniowych lub/i gruntowych.

Ilość wymywanego azotu w bezinwentarzowych gospodarstwach ekologicznych we Francji (30) wahała się od 3 do 46 kg N·ha<sup>-1</sup> UR·rok<sup>-1</sup> i zależała przede wszystkim od przedplonu oraz sposobu użytkowania gruntu w okresie jesiennym. Najwyższy poziom wymycia azotu (33–37 kg·ha<sup>-1</sup> UR·rok<sup>-1</sup>) stwierdzono w sekwencjach: roślina strączkowa – uprawa ozima oraz lucerna – uprawa ozima, natomiast najmniejszy (2–8 kg N·ha<sup>-1</sup> UR·rok<sup>-1</sup>) notowano w lucernie w pełnym użytkowaniu oraz koniczynie uprawianej na międzyplon. We wnioskach podkreślono kluczowe znaczenie terminu przyorania resztek poźniowych w skali potencjalnego wymycia azotu.

Inne badania prowadzone w bezinwentarzowych gospodarstwach ekologicznych wykazały, że uprawa koniczyny białej jako przedplonu dla pszenicy ozimej, w porównaniu z koniczyną czerwoną lub lucerną, wpływała na zwiększenie zawartości azotu w ziarnie, co poprawiało jego parametry technologiczne (10).

W Norwegii, na podstawie wyników trwającego 10 lat doświadczenia polowego, największy ujemny bilans azotu wynoszący –32 kg·ha<sup>-1</sup> UR·rok<sup>-1</sup> stwierdzono w systemie ekologicznym bez nawożenia naturalnego (19).

### Gospodarka fosforem

W gospodarstwach ekologicznych, zwłaszcza bezinwentarzowych, może występować ujemne saldo bilansu fosforu (6, 15, 16, 19), jednak przy poprawnym gospodarowaniu możliwe jest utrzymanie salda dodatniego. W praktyce rolnictwa ekologicznego straty fosforu są z reguły znikome, a większe ich nasilenie może występować przy dużej zawartości tego składnika w glebie, także w warunkach sprzyjających splywom powierzchniowym lub w sytuacji nadmiernego uwilgotnienia gleby, przekraczającego połowę pojemność wodną. Należy jednocześnie podkreślić, że dopuszczone do stosowania w rolnictwie ekologicznym nawozy fosforowe (mączki fosforytowe) charakteryzują się mniejszą dostępnością fosforu dla roślin niż nawozy stosowane w rolnictwie konwencjonalnym (superfosfaty). O dostępności fosforu w warunkach produkcji ekologicznej decyduje też szereg czynników związanych z całokształtem agrotechniki, np. regulacja odczynu gleby, nawożenie organiczne czy zwiększanie aktywności mikrobiologicznej gleb.

W badaniach własnych, prowadzonych w gospodarstwach ekologicznych o różnych profilach produkcji, saldo bilansu fosforu w gospodarstwach o profilu roślinnym i mieszanym było ujemne i wahało się od –2 do –7 kg P·ha<sup>-1</sup> UR·rok<sup>-1</sup>, natomiast w grupie o profilu zwierzęcym saldo było neutralne lub dodatnie (40, 42).

Z doniesień Koraseth (19) wynika, że saldo bilansu fosforu z okresu 10 lat w doświadczeniu polowym w Norwegii, niezależnie od profilu produkcji systemu ekologicznego, wynosiło od –8 do –10 kg P·ha<sup>-1</sup> UR·rok<sup>-1</sup>. W bezinwentarzowych

gospodarstwach ekologicznych w Anglii saldo bilansu fosforu było nieznacznie ujemne i wynosiło ok.  $-2,6 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR} \cdot \text{rok}^{-1}$  (16). Jednak zaskakująco w dwóch innych gospodarstwach ekologicznych, ale z produkcją zwierzęcą, położonych w Szkocji saldo bilansu tego składnika wahało się od  $-8$  do  $-16 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Badania Martyniuka i in. (22) wskazują na wysoką aktywność enzymatyczną gleby w systemie ekologicznym, co może wpływać na poprawę dostępności fosforu dla roślin ze związków mineralnych w niej zawartych. Ponadto poprawa zaopatrzenia roślin w fosfor w systemie ekologicznym może być związana także z bardziej intensywnym występowaniem zjawiska mikoryzy (4, 14).

### **Gospodarka potasem**

W badaniach własnych, prowadzonych w gospodarstwach ekologicznych o różnych profilach produkcji w 2008 roku oraz w latach 2010–2012, saldo bilansu potasu wynosiło średnio od  $-27$  do  $+12 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR} \cdot \text{rok}^{-1}$ , z wahaniami od  $-68$  do  $+53 \text{ kg}$ , a wyraźnie ujemne wartości notowano przede wszystkim w gospodarstwach o profilu roślinnym/warzywniczym (40, 42). Niezrównoważona gospodarka potasem, szczególnie w warunkach dużej towarowej sprzedaży produktów roślinnych, może skutkować spadkiem zasobności gleby w ten składnik, a także deficytowym stanem odżywienia roślin.

W innych badaniach własnych, prowadzonych w latach 1996–2002 w RZD Kępa-Puławy na obiekcie doświadczalnym w Osinach, saldo bilansu potasu w systemie ekologicznym bez produkcji zwierzęcej, ocenione metodą OECD, było zdecydowanie ujemne i wynosiło  $-131 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Taki wynik salda bilansu był spowodowany przede wszystkim odprowadzaniem dużych ilości potasu z plonem mieszanki koniczyny z trawami, a także z plonem słomy zbóż oraz bulwami ziemniaka. Średnio w roku wyniesienie tego składnika z gleby wynosiło ok.  $170 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$  (39).

Wyniki badań krajowych i zagranicznych potwierdzają problemy wielu gospodarstw ekologicznych, zwłaszcza bezinwentarzowych, z utrzymaniem zrównoważonego salda bilansu potasu (2, 6, 15, 16, 19, 38, 41).

Berry i in. (6), analizując dane z dziewięciu gospodarstw ekologicznych (w tym dwóch bezinwentarzowych) zlokalizowanych w Wielkiej Brytanii, stwierdzili w pięciu z nich wysoki deficyt potasu w zakresie od  $-51$  do  $-21 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Tylko gospodarstwa z produkcją zwierzęcą, z dużym udziałem obornika lub importowanych pasz wykazywały nadwyżkę lub zrównoważony bilans tego składnika. Goulding i in. (16), analizując wyniki z lat 1995–1999 w grupie innych bezinwentarzowych gospodarstw ekologicznych w Wielkiej Brytanii, wykazali również wyraźnie ujemne saldo bilansu potasu wynoszące ok.  $-39 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Koraseth (19) podała, że saldo bilansu potasu z okresu 10 lat w doświadczeniu polowym w Norwegii, niezależnie od profilu produkcji systemu ekologicznego, wynosiło od  $-8$  do  $-10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Gosling i Shepherd (15) stwierdzili, że nawet w mieszanych gospodarstwach ekologicznych zasobność gleby w potas zmniejszała się, a największe spadki dotyczyły

gospodarstw o najdłuższym stażu w tym systemie. Autorzy ci wskazali na potrzebę stosowania odpowiednich nawozów potasowych w celu uniknięcia długotrwałego spadku żyzności gleby, a co za tym idzie również plonów roślin. Andrist-Rangel i in. (2) podkreślają, że dużym wsparciem w racjonalnej gospodarce potasem w gospodarstwach ekologicznych mogłyby być dane geochemiczne gleb, co ułatwiłoby długoterminowe prognozowanie skali zaopatrzenia roślin w potas i byłoby cennym uzupełnieniem standardowych badań gleby, zaleceń nawozowych oraz ocen salda bilansu tego składnika.

### Podsumowanie

Wyniki badań własnych oraz dane z literatury krajowej i zagranicznej wskazują, że bezinwentarzowe gospodarstwa ekologiczne mogą mieć trudności z zachowaniem zrównoważonego salda bilansu składników nawozowych, zwłaszcza azotu i potasu, co w dłuższej perspektywie może prowadzić do spadku żyzności gleb oraz deficytowego stanu odżywienia roślin uprawnych. W celu przeciwdziałania tym możliwym negatywnym zjawiskom należy wdrażać w tego typu gospodarstwach rozwiązania, które mogłyby zwiększyć żyzność gleby, poprawić synchronizację między dostarczaniem i pobraniem makroskładników oraz utrzymać możliwie zamknięty obieg składników nawozowych. Innym ważnym zadaniem jest tworzenie warunków do minimalizacji strat składników nawozowych, zwłaszcza azotu i fosforu, spowodowanych głównie wymywaniem lub denitryfikacją. Kluczowe działania poprawiające gospodarkę składnikami nawozowymi w bezinwentarzowych gospodarstwach ekologicznych obejmują uprawę nawozów zielonych oraz międzyplonów z odpowiednim udziałem roślin bobowatych, dostosowanych do warunków glebowo-klimatycznych i potrzeb roślin następczych, a także stosowanie kompostów, czy też pofermentów pozyskiwanych z ich biomasy.

W wielu przypadkach przywrócenie produkcji zwierzęcej w bezinwentarzowym gospodarstwie ekologicznym jest bardzo trudne, np. ze względu na likwidację infrastruktury niezbędnej do utrzymania zwierząt. W związku z tym rozwiązaniem możliwym do wdrożenia w takich gospodarstwach jest tworzenie sieci współpracy z ekstensywnymi gospodarstwami konwencjonalnymi lub innymi ekologicznymi z produkcją zwierzęcą. Optymalnym modelem takiej współpracy byłaby wymiana paszy z gospodarstw bezinwentarzowych w zamian za nawozy naturalne z gospodarstw z produkcją zwierzęcą. Należy jednak pamiętać, że w modelu takim, ze względów środowiskowych, a zwłaszcza w celu ograniczania tzw. śladu węglowego (*carbon footprint*), gospodarstwa tworzące sieć powinny być zlokalizowane możliwie blisko siebie.

## Literatura

1. Andersen J.H., Carstensen J., Conley D.J., Dromph K., Fleming-Lehtinen V., Gustafsson B.G., Josefson A.B., Norkko A., Villnäs A., Murray C.: Long-term temporal and spatial trends in eutrophication status of the Baltic Sea. *Biological Reviews*, 2017, **92**(1): 135-149.
2. Andrist-Rangel Y., Edwards A.C., Hillier S., Öborn I.: Long-term K dynamics in organic and conventional mixed cropping systems as related to management and soil properties. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2007, **122**: 413-426.
3. Askegaard M., Eriksen J.: Growth of legume and nonlegume catch crop and residual-N effects in spring barley on coarse sand. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2007, **170**: 773-780.
4. Bedini S., Avio L., Sbrana C., Turrini A., Migliorini P., Vazzana C., Giovannetti M.: Mycorrhizal activity and diversity in a long-term organic Mediterranean agroecosystem. *Biology and Fertility of Soils*, 2013, **49**: 781-790.
5. Berry P.M., Sylvester-Bradley R., Philipps L., Hatch D.J., Cuttle S.P., Rayns F.W., Gosling P.: Is the productivity of organic farms restricted by the supply of available nitrogen? *Soil Use and Management*, 2002, **18**: 248-255.
6. Berry P.M., Stockdale E.A., Sylvester-Bradley R., Philipps L., Smith K.A., Lord E.I., Watson C.A., Fortune S.: N, P and K budgets for crop rotations on nine organic farms in the UK. *Soil Use and Management*, 2003, **19**(2): 112-118.
7. Borgen S.K., Lunde H.W., Bakken L.R., Bleken M.A., Breland T.A.: Nitrogen dynamics in stockless organic clover-grass and cereal rotations. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2012, **92**(3): 363-378.
8. Brozyna M.A., Petersen S.O., Chirinda N., Olesen J.E.: Effects of grass-clover management and cover crops on nitrogen cycling and nitrous oxide emissions in a stockless organic crop rotation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2013, **181**: 115-126.
9. Colomb B., Carof M., Aveline A., Bergez J.E.: Stockless organic farming: strengths and weaknesses evidenced by a multicriteria sustainability assessment model. *Agronomy and Sustainable Development*, 2013, **33**: 593-608.
10. Cormack W.F., Shepherd M., Wilson D.W.: Legume species and management for stockless organic farming. *Biological Agriculture & Horticulture*, 2003, **21**: 383-398.
11. Davis J., Abbott L.: Soil fertility in organic farming systems. In: *Organic agriculture: a global perspective*, P. Kristiansen, A. Taji, J. Reganold (eds). CABI, Wallingford, 2006, s. 25-51.
12. Doltra J., Gallejones P., Olesen J.E., Hansen S., Frøseth R.B., Krauss M., Stalenga J., Jończyk K., Martínez-Fernández A., Pacini G.C.: Simulating soil fertility management effects on crop yield and soil nitrogen dynamics in field trials under organic farming in Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2019, **233**: 1-11.
13. Frøseth R.B., Bakken A.K., Bleken M.A., Riley H., Pommeresche R., Thorup-Kristensen K., Hansen S.: Effects of green manure herbage management and its digestate from biogas production on barley yield, N recovery, soil structure and earthworm populations. *European Journal of Agronomy*, 2014, **52**: 90-102.
14. Gosling P., Ozaki A., Jones J., Turner M., Rayns F., Bending G.D.: Organic management of tilled agricultural soils results in a rapid increase in colonisation potential and spore populations of arbuscular mycorrhizal fungi. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2010, **139**: 273-279.
15. Gosling P., Shepherd M.: Long-term changes in soil fertility in organic farming systems in England, with particular reference to phosphorus and potassium. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2005, **105**: 425-432.
16. Goulding K., Stockdale E., Watson C.: Plant nutrients in organic farming. In: *Organic crop production – Ambitions and limitations*, H. Kirchmann, L. Bergström (eds). Springer Science+Business Media B.V. 2008, pp. 73-88.



17. Hansen S., Frøseth R.B., Stenberg M., Stalenga J., Olesen J.E., Krauss M., Radzikowski P., Doltra J., Nadeem S., Torp T., Pappa V., Watson C.A.: Review of key causes and sources of N<sub>2</sub>O emissions and NO<sub>3</sub>-leaching from organic arable crop rotations. *Biogeosciences*, 2019, **16**: 2795-2819.
18. Kopyński J.: Ocena gospodarstw rolniczych o różnej intensywności produkcji na tle wybranych wskaźników agrośrodowiskowych. *Roczniki Naukowe SERiA*, 2009, **11(1)**: 223-228.
19. Korsath A.: N, P, and K budgets and changes in selected topsoil nutrients over 10yr in a long-term experiment with conventional and organic crop rotations. *Applied and Environmental Soil Science*, 2012, **2012**: 1-17.
20. Krauss M., Ruser R., Müller T., Hansen S., Mäder P., Gattinger A.: Impact of reduced tillage on greenhouse gas emissions and soil carbon stocks in an organic grass-clover ley – winter wheat cropping sequence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2017, **239**: 324-333.
21. Kuś J., Jończyk K.: Ocena organizacyjna gospodarstw ekologicznych w Polsce. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 2007, **52(3)**: 95-100.
22. Martyniuk S., Jończyk K., Kozieł M.: Numbers of phosphate solubilizing microorganisms and phosphatases activities in the rhizosphere soil of organically and conventionally grown winter wheat. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 2018, **63(2)**: 147-150.
23. Möller K.: Soil fertility status and nutrient input-output flows of specialised organic cropping systems: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2018, **112**: 147-164.
24. Nachtmann G.: Wpływ dopłat na dochody gospodarstw ekologicznych o różnej wielkości obszarowej w 2007 roku. *Zagadnienia Doradztwa Rolniczego*, 2009, **3**: 91-94.
25. Nachtmann G.: Efektywność ekonomiczna gospodarstw ekologicznych na tle konwencjonalnych w 2010 roku. *Zagadnienia Doradztwa Rolniczego*, 2012, **2**: 59-64.
26. Nachtmann G.: Dochodowość gospodarstw ekologicznych a wielkość użytków rolnych. *Roczniki Naukowe Ekonomii Rolnictwa i Rozwoju Obszarów Wiejskich*, 2013, **100(1)**: 182-196.
27. Peoples M.B., Brockwell J., Herridge D.F., Rochester I.J., Alves B.J.R., Urquiaga S., Boddey R.M., Dakora F.D., Bhattarai S., Maskey S.L., Sampeet C., Rerkasem B., Khan D.F., Hauggaard-Nielsen H., Jensen E.S.: The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. *Symbiosis*, 2009, **48**: 1-17.
28. Pietrzak S.: Kwantyfikacja azotu wiązanego symbiotycznie przez rośliny motylkowate. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 2011, **11, 3(35)**: 197-207.
29. Råberg T., Carlsson G., Jensen E.S.: Nitrogen balance in a stockless organic cropping system with different strategies for internal N cycling via residual biomass. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2018, **112**: 165-178.
30. Rakotovololona L., Beaudoin N., Ronceux A., Venet E., Mary B.: Driving factors of nitrate leaching in arable organic cropping systems in Northern France. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2018, **272**: 38-51.
31. Raport 2011. Raport o stanie rolnictwa ekologicznego w Polsce w latach 2009–2010. IJHARS, Warszawa, ss. 89.
32. Raport 2013. Raport o stanie rolnictwa ekologicznego w Polsce w latach 2011–2012. IJHARS, Warszawa, ss. 87.
33. Raport 2015. Raport o stanie rolnictwa ekologicznego w Polsce w latach 2013–2014. IJHARS, Warszawa, ss. 80.
34. Raport 2017. Raport o stanie rolnictwa ekologicznego w Polsce w latach 2015–2016. IJHARS, Warszawa, ss. 103.
35. Raport 2019. Raport o stanie rolnictwa ekologicznego w Polsce w latach 2017–2018. IJHARS, Warszawa, ss. 101.
36. Report 2016. Facts and figures on organic agriculture in the European Union. European Commission, pp. 47.
37. Schmidtke K.: How to optimise symbiotic nitrogen fixation in organic crop rotations. W: Materiały z konferencji „Organic Agriculture in Asia”. Dankook University, 2008, <http://orgprints.org/13272/01/13272.doc>

38. Smith L.G., Tarsitano D., Topp C.F.E., Jones S.K., Gerrard C.L., Pearce B.D., Williams A.G., Watson C.A.: Predicting the effect of rotation design on N, P, K balances on organic farms using the NDICEA model. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 2016, **31**: 471-484.
39. Stalenga J.: Applicability of different indices to evaluate nutrient status of winter wheat in the organic system. *Journal of Plant Nutrition*, 2007, **30**: 351-365.
40. Stalenga J.: Ocena stanu zrównoważenia gospodarki nawozowej w wybranych gospodarstwach ekologicznych w rejonie Brodnicy. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 2010, **55(4)**: 117-120.
41. Stalenga J., Kopyński J.: Is it possible in specialized organic farms to maintain in soil appropriate content of nutrients and organic matter? *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 2018, **63(3)**: 86-91.
42. Stalenga J., Kopyński J.: Nutrient balance and share of green fields in organic farms with different production profile. *Polish Journal of Agronomy*, 2018, **35**: 45-51.
43. Stinner W., Möller K., Leithold G.: Effects of biogas digestion of clover/grass-leys, cover crops and crop residues on nitrogen cycle and crop yield in organic stockless farming systems. *European Journal of Agronomy*, 2008, **29**: 125-134.
44. Stuczyński T., Jończyk K., Korzeniowska-Paculek R., Kuś J., Terelak H.: Warunki przyrodnicze ekologicznej produkcji rolniczej a jej stan obecny na obszarze Polski. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2007, **5**: 56-78.
- Watson C.A., Bengtsson H., Ebbesvik M., Løes A.K., Myrbeck A., Salomon E., Stockdale E.A.: A review of farm-scale nutrient budgets for organic farms as a tool for management of soil fertility. *Soil Use and Management*, 2002, **18(1)**: 264-273.
45. Wykaz 2021. Wykaz nawozów i środków poprawiających właściwości gleby zakwalifikowanych do stosowania w rolnictwie ekologicznym, [http://www.iung.pl/wp-content/uploads/2021/06/Wykaz\\_ekologia.pdf](http://www.iung.pl/wp-content/uploads/2021/06/Wykaz_ekologia.pdf).

---

Adres do korespondencji:

*dr hab. Jarosław Stalenga*  
*Zakład Systemów i Ekonomiki Produkcji Roślinnej*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8*  
*24-100 Puławy*  
*tel. 81 47 86 808*  
*e-mail: stalenga@iung.pulawy.pl*

---

| AUTOR             | ORCID               |
|-------------------|---------------------|
| Jarosław Stalenga | 0000-0002-3486-0995 |
| Krzysztof Jończyk | 0000-0002-5262-8858 |



**Jerzy Kopiński, Stanisław Krasowicz**

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

## REGIONALNE ZRÓŻNICOWANIE NAWOZOCHŁONNOŚCI PRODUKCJI ROŚLINNEJ W POLSCE \*

**Słowa kluczowe:** gospodarka nawozowa, nawozochłonność, nawozy, produktywność, zróżnicowanie regionalne, uwarunkowania produkcji

---

### Wstęp

Rolnictwo to jedna z niewielu dziedzin gospodarki, która funkcjonuje w środowisku przyrodniczym, w różnym stopniu na nie oddziałując. Przede wszystkim ma ono fundamentalne znaczenie dla bezpieczeństwa żywnościowego (żywnościowego, zdrowotnego) ludzi i zwierząt gospodarskich (18, 19), a pośrednio także ekonomicznego. Jako dział produkcji globalnej, rolnictwo jest jednym z początkowych ogniw w łańcuchu żywnościowym (17), a jego działalność jest prowadzona bezpośrednio w środowisku przyrodniczym, uznawanym za dobro publiczne, z wszystkimi tego konsekwencjami (25). Należy jednak pamiętać, że ocena zachodzących zmian i procesów w produkcji rolniczej często jest niejednoznaczna, a ocena przyszłych, możliwych skutków w odniesieniu do realizacji celów ekonomicznych, środowiskowych i klimatycznych często przeciwstawna (27).

Działalność rolnicza, głównie poprzez intensyfikację produkcji, powoduje znaczącą ingerencję w naturalny obieg składników pokarmowych. Niezbędne jest więc prowadzenie racjonalnej gospodarki nawozowej, w zakresie stosowania nawozów mineralnych, organicznych i naturalnych (10). Konieczność stosowania nawożenia wynika z potrzeb utrzymania i odtwarzania niezbędnych zasobów składników pokarmowych w glebie zarówno ze względów produkcyjnych, w celu zapewnienia optymalnych warunków do wzrostu i rozwoju roślin (1), jak i środowiskowych (4).

W Polsce wzrostowi intensywności produkcji roślinnej w latach bezpośrednio po wejściu do UE na ogół nie towarzyszyło podobne tempo wzrostu plonowania roślin

---

\*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.3 pt. „Doskonalenie internetowej bazy danych o produktach nawozowych” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2021 r.

(8, 9, 13). Tendencja wzrostu zużycia nawozów została nieznacznie wyhamowana w 2008 r. w konsekwencji światowego kryzysu finansowego, a w kolejnych latach, 2009–2017, nastąpił, z małymi wahaniami, powrót do wysokiego poziomu ich stosowania (13). Naturalną konsekwencją tego zjawiska jest wzrost tzw. nawozochłonności produkcji roślinnej, czyli zużycia nawozów mineralnych na jednostkę podstawowej produkcji roślinnej, jaką stanowi 100 kg ziarna zbóż, czyli tzw. jednostka zbożowa (j.zb.). Wskaźnik ten jest „odwrotnością” efektywności nawożenia obliczonej z funkcji produkcji (2, 5). Bezpośrednim skutkiem nadmiernej nawozochłonności jest większa presja na środowisko glebowe i wodne ze strony biogenów oraz zmniejszenie efektywności produkcyjnej i ekonomicznej. Analiza tendencji zmian nawozochłonności może być zatem także ważnym wskaźnikiem kierunku zmian potencjalnych zagrożeń środowiskowych. Pełną ocenę nawozochłonności umożliwi dopiero uwzględnienie pogłębiającego się zróżnicowania regionalnego (12, 13), które determinowane jest uwarunkowaniami przyrodniczymi i organizacyjno-ekonomicznymi, kształtowanymi m.in. przez strukturę obszarową, intensywność organizacji produkcji rolnej, intensywność gospodarowania, strukturę zasiewów, poziom plonowania głównych ziemiopłodów i odsadę zwierząt. Należy jednak zauważyć, że w porównaniu z innymi krajami „starej” UE-15 w Polsce, mimo niższego poziomu intensywności rolnictwa (28) nawozochłonność, może być relatywnie wyższa lub na podobnym poziomie przy niższej wydajności produkcji roślinnej, gdyż wynika to z gorszych warunków glebowych i klimatycznych (14, 15). W Polsce ogółem ponad 40% powierzchni gleb wykazuje niską jakość i przydatność rolniczą (2), a z tytułu niekorzystnych warunków pogodowych wielkość produkcji roślinnej może być niższa nawet o ok. 5% (12).

Celem opracowania była analiza i ocena nawozochłonności produkcji roślinnej w Polsce w ujęciu dynamicznym (w latach 2002–2019) oraz regionalnym, tj. według województw.

### **Material i założenia metodyczne**

Podstawę do wykonania analizy stanowiły dane statystyczne GUS (20, 21, 23, 24, 29). Uwzględniono również wyniki badań własnych (2, 6, 10) oraz opracowania i ekspertyzy przygotowywane w IUNG-PIB w Puławach (3, 26).

Do obliczenia globalnej produkcji roślinnej przyjęto przeliczniki na jednostki zbożowe (j.zb.), stosowane przez GUS (21) w odniesieniu tylko do plonów głównych (zbiorów) roślin uprawianych na gruntach ornych (GO), upraw trwałych, łąk i pastwisk (TUZ) oraz zbieranych poplonów ubocznych na GO. Wyrażone w jednostkach zbożowych sumaryczne zbiory w uproszczeniu zostały przyjęte jako globalna produkcja roślinna oraz w przeliczeniu na 1 ha UR w dobrej kulturze rolnej. Ilość zużycia składników NPK w nawozach mineralnych przyjęto na podstawie ich zużycia, a w nawozach naturalnych na podstawie stanu pogłowia zwierząt gospodarskich. W wyliczeniach uwzględniono standardowe współczynniki (brutto) dostarczania

azotu, fosforu i potasu w nawozach naturalnych dla różnych grup zwierząt gospodarskich średnio w ciągu roku (6), pomniejszone w przypadku azotu o wielkość emisji, uzyskując ilości „netto” dostarczane na pola uprawne.

Do przygotowania opracowania wykorzystano analizę struktury zjawisk (cech) oraz dynamiki ich zmian. Wskaźniki dla poszczególnych województw porównywano ze średnimi dla Polski, jako układu odniesienia. Analizę wykonano na podstawie średnich z 3 lat, aby wyeliminować zmienność w latach. Materiał zaprezentowano w formie tabelarycznej i graficznej. Analizowano również czynniki decydujące o regionalnym zróżnicowaniu nawozochłonności.

Opracowanie ma charakter analizy porównawczej. Przeprowadzono ją, uwzględniając uwarunkowania przyrodnicze, organizacyjno-ekonomiczne oraz agrochemiczne.

Warunki przyrodnicze przedstawiono za pomocą wskaźnika waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej (WRPP) według IUNG-PIB (11, 22), uwzględniającego jakość i przydatność rolniczą gleb, agroklimat, rzeźbę terenu i warunki wodne. Pod uwagę wzięto również udział trwałych użytków zielonych (TUZ) i upraw trwałych (sądów) w strukturze użytków rolnych (UR).

Jako uwarunkowania organizacyjno-ekonomiczne decydujące o regionalnym zróżnicowaniu nawozochłonności uwzględniono następujące cechy:

- średnia powierzchnia gospodarstwa w ha UR;
- udział UR w gospodarstwach do 5 ha;
- udział UR w gospodarstwach powyżej 50 ha;
- obsada zwierząt w DJP·100 ha<sup>-1</sup> UR;
- średni plon zbóż w dt·ha<sup>-1</sup>, jako miara kultury rolnej;
- udział powierzchni uprawy pszenicy, rzepaku, buraka cukrowego w strukturze zasiewów w %;
- poziom towarowej produkcji roślinnej w zł·ha<sup>-1</sup>;
- udział towarowej produkcji roślinnej w strukturze towarowej produkcji rolniczej w %.

Uwarunkowania agrochemiczne produkcji roślinnej scharakteryzowano za pomocą następujących cech:

- udział gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych w %;
- udział gleb o bardzo niskiej i niskiej zasobności w P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i K<sub>2</sub>O w %.

Założono, że wybrane cechy charakteryzują specyfikę rolnictwa w poszczególnych województwach. Są one jednocześnie czynnikami kształtującymi nawozochłonność produkcji roślinnej. Przeprowadzono również ocenę statystyczną analizowanych wskaźników. Za pomocą analizy skupień metodą k-średnich wyodrębniono grupy województw o zróżnicowanej nawozochłonności produkcji roślinnej. Skupienia te scharakteryzowano za pomocą wybranych cech, najsilniej skorelowanych z nawozochłonnością. Zakres badań był zdeterminowany dostępnością danych i stopniem ich agregacji.

## Omówienie wyników

O nawozochłonności produkcji roślinnej decyduje zużycie składników pokarmowych w nawozach mineralnych, naturalnych i organicznych oraz produktywność w jednostkach zbożowych w przeliczeniu na 1 ha użytków rolnych. Nawozochłonność produkcji roślinnej w Polsce w okresie lat 2002–2019, z uwzględnieniem sześciu 3-letnich okresów, przedstawiono w tabeli 1.

Porównanie danych zamieszczonych w tabeli 1 wskazuje, że wszystkie analizowane wskaźniki ulegały zmianom. Jednak ich kierunki i dynamika były zróżnicowane. Wyraźnie wzrastał, szczególnie do roku 2013, poziom zużycia nawozów mineralnych wyrażony w kg NPK na 1 ha użytków rolnych w dobrej kulturze rolnej (w dkr). Efektem był wzrost nawozochłonności nawozów mineralnych z 3,3 kg NPK·j.zb.<sup>-1</sup> w latach 2002–2004 do 3,8 kg NPK·j.zb.<sup>-1</sup> w latach 2017–2019. Odwrotna tendencja w analizowanym okresie wystąpiła w przypadku zmian zużycia nawozów naturalnych. Nawozochłonność nawozów naturalnych zmniejszyła się w latach 2017–2019 o 0,5 kg NPK·j.zb.<sup>-1</sup> w odniesieniu do okresu 2002–2004. Było to związane z redukcją obsady zwierząt gospodarskich. Globalna produkcja roślinna wyrażona w jednostkach zbożowych w przeliczeniu na 1 ha użytków rolnych w dobrej kulturze rolnej, obok zróżnicowania w latach i wyodrębnionych okresach 3-letnich, wykazywała tendencję wzrostową. W rezultacie całkowita nawozochłonność produkcji roślinnej w całym okresie 2002–2019 była mało zróżnicowana i przeciętnie wyniosła 6,1 kg NPK·j.zb.<sup>-1</sup>. W okresie 2005–2007 była ona relatywnie wyższa, co związane było z niższym poziomem globalnej produkcji roślinnej, wyrażonej w jednostkach zbożowych na 1 ha UR, spowodowanym niekorzystnymi warunkami klimatycznymi (susza). W Polsce od wielu lat na względnie stałym poziomie, ok. 5,0 kg NPK·j.zb.<sup>-1</sup>, utrzymuje się pobranie składników nawozowych na jednostkę plonu, dlatego ważne jest żeby nawozochłonność zbyt mocno nie odbiegała od tego poziomu. Różnice pomiędzy tymi wskaźnikami wynikają z niepełnej efektywności wykorzystania wszystkich składników nawozowych, na co ma wpływ wiele czynników, w tym m.in. zakwaszenie i jakość gleb, warunki pogodowe. Warto podkreślić, że w analizowanym okresie (2002–2019) zmieniały się też relacje pomiędzy N:P:K. Wyższą dynamikę wzrostu miało zużycie azotu, a udział dwóch pozostałych makroskładników stopniowo zmniejszał się w stosunku do średniej z okresu 2002–2004, co może być niepokojące, gdyż według prawa Liebiga o efektywności nawożenia decyduje poziom tego składnika, który jest w minimum (25). W Polsce w analizowanym okresie kilkunastu lat przeciętna nawozochłonność wynosiła: 2,9 kg N·j.zb.<sup>-1</sup>, 1,2 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>·j.zb.<sup>-1</sup> i 1,9 kg K<sub>2</sub>O·j.zb.<sup>-1</sup>.

Tabela 1

Nawozochłonność produkcji roślinnej i pobranie składników NPK w plonach w Polsce w latach 2002–2019

| Wyszczególnienie   | Lata      |           |           |           |           |           |  |  | Ogółem<br>2002–2019 |       |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|--|---------------------|-------|
|  | 2002–2004 | 2005–2007 | 2008–2010 | 2011–2013 | 2014–2016 | 2017–2019 |  |  |                     |       |
| Zużycie skład. naw. NPK:   |           |           |           |           |           |           |  |  |                     |       |
| – ogółem (kg·ha <sup>-1</sup> UR w dkr)  | 176,7     | 202,3     | 210,8     | 216,4     | 211,1     |           |  |  |                     |       |
| zmiany %*  | 100       | 114,4     | 119,3     | 122,4     | 119,5     |           |  |  |                     | 206,3 |
| – nawozy mineralne (kg·ha <sup>-1</sup> UR w dkr)  | 95,3      | 117,6     | 127,1     | 135,7     | 131,9     |           |  |  |                     |       |
| zmiany %*  | 100       | 123,3     | 133,3     | 142,4     | 138,4     |           |  |  |                     | 123,8 |
| – nawozy naturalne (kg·ha <sup>-1</sup> UR w dkr)  | 81,4      | 84,7      | 83,7      | 80,7      | 79,2      |           |  |  |                     |       |
| zmiany %*  | 100       | 104,0     | 102,8     | 99,1      | 97,3      |           |  |  |                     | 82,4  |
| Globalna produkcja roślinna (j.zb.·ha <sup>-1</sup> UR w dkr)                            | 29,0      | 29,8      | 34,0      | 35,9      | 38,3      |           |  |  |                     |       |
| zmiany %*  | 100       | 102,7     | 117,5     | 124,1     | 132,4     |           |  |  |                     | 33,8  |
| Pobranie skład. naw. w produkcji roślinnej (pl. gł.)<br>(kg NPK·j.zb. <sup>-1</sup> )    | 5,0       | 5,2       | 5,1       | 5,0       | 4,8       |           |  |  |                     |       |
| zmiany %*  | 100       | 103,7     | 100,9     | 99,7      | 95,4      |           |  |  |                     | 5,0   |
| Nawozochłonność produkcji roślinnej naw. min.<br>(kg NPK·j.zb. <sup>-1</sup> )           | 3,3       | 4,0       | 3,7       | 3,8       | 3,5       |           |  |  |                     |       |
| zmiany %*  | 100       | 120,2     | 113,6     | 114,9     | 104,9     |           |  |  |                     | 3,7   |
| Nawozochłonność produkcji roślinnej naw. nat.<br>(kg NPK·j.zb. <sup>-1</sup> )           | 2,8       | 2,8       | 2,5       | 2,2       | 2,1       |           |  |  |                     |       |
| zmiany %*  | 100       | 101,4     | 87,6      | 80,0      | 73,8      |           |  |  |                     | 2,4   |
| Nawozochłonność produkcji roślinnej razem<br>(kg NPK·j.zb. <sup>-1</sup> )               | 6,1       | 6,8       | 6,2       | 6,0       | 5,5       |           |  |  |                     |       |
| zmiany %*  | 100       | 111,5     | 101,6     | 98,8      | 90,6      |           |  |  |                     | 6,1   |
| W tym: N (kg N·j.zb. <sup>-1</sup> )   | 2,82      | 3,13      | 3,01      | 3,03      | 2,72      |           |  |  |                     |       |
| – zmiana %*  | 100       | 111,1     | 106,7     | 107,6     | 96,4      |           |  |  |                     | 2,94  |
| – P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ·j.zb. <sup>-1</sup> ) | 1,26      | 1,44      | 1,27      | 1,21      | 1,02      |           |  |  |                     |       |
| – zmiana %*  | 100       | 113,9     | 100,7     | 96,0      | 80,6      |           |  |  |                     | 1,21  |
| – K <sub>2</sub> O (kg K <sub>2</sub> O·j.zb. <sup>-1</sup> )                            | 2,01      | 2,23      | 1,91      | 1,78      | 1,79      |           |  |  |                     |       |
| – zmiana %*  | 100       | 110,6     | 95,0      | 88,3      | 88,7      |           |  |  |                     | 1,94  |

\*lata 2002–2004 = 100%

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (20, 21, 23, 24, 29)



W tabeli 2 przedstawiono zmiany zużycia nawozów mineralnych w poszczególnych okresach według województw. Z ich analizy wynika, że zużycie nawozów mineralnych w okresie 2002–2019 wzrastało we wszystkich województwach, ale poziom i dynamika wzrostu były mocno zróżnicowane. Zdecydowanie niższym zużyciem nawozów mineralnych charakteryzowały się województwa Polski południowo-wschodniej (podkarpackie, małopolskie i świętokrzyskie) oraz województwo podlaskie (średnio w latach 2002–2019 poniżej 100 kg NPK·ha<sup>-1</sup> UR w dkr, ale także województwa położone na zachodzie (lubuskie) i północy Polski (pomorskie i zachodniopomorskie). Natomiast wysoka intensywność produkcji roślinnej mierzona poziomem nawożenia mineralnego (ponad 150 NPK·ha<sup>-1</sup> UR w dkr) była prowadzona w województwach kujawsko-pomorskim, opolskim i wielkopolskim.

Przedstawione w tabeli 3 zróżnicowanie zużycia nawozów naturalnych w kg NPK·ha<sup>-1</sup> UR w dkr jest pochodną zmian w wielkości i strukturze pogłowia zwierząt gospodarskich odzwierciedlających specjalizację produkcyjną rolnictwa poszczególnych województw. Najmniejszym zużyciem nawozów naturalnych charakteryzuje się rolnictwo województw dolnośląskiego i zachodniopomorskiego. Poziom zużycia składników NPK·ha<sup>-1</sup> UR w dkr z nawozów naturalnych w tych województwach nieznacznie przekracza 30 kg. Także w wielu innych województwach zużycie nawozów naturalnych w ostatnich badanych latach (2017–2019) było niższe w porównaniu z przyjętym za podstawę do porównań okresem 2002–2004. Wynikało to ze specjalizacji rolnictwa w zakresie produkcji roślinnej (woj. opolskie, lubelskie), a także z rezygnacji z chowu zwierząt w regionach o dużym rozdrobieniu gospodarstw (podkarpackie, małopolskie, świętokrzyskie). Natomiast tendencja wzrostowa zużycia nawozów naturalnych wystąpiła w województwach: lubuskim, łódzkim, mazowieckim, śląskim, a najbardziej w podlaskim, warmińsko-mazurskim i wielkopolskim – wiodących w produkcji zwierzęcej (7).

Łączne zużycie składników pokarmowych (NPK) w nawozach mineralnych i naturalnych przedstawiono w tabeli 4. Analiza tych danych wskazuje na zmiany zużycia składników pokarmowych w obu grupach nawozów w analizowanym okresie oraz na ich regionalne zróżnicowanie.

Z tabeli 4 wynika, że największy wzrost nawożenia w latach 2017–2019 w porównaniu z okresem 2002–2004 miał miejsce w województwach: dolnośląskim, lubelskim, mazowieckim, podlaskim, warmińsko-mazurskim i wielkopolskim. W województwach podkarpackim i małopolskim zużycie nawozów mineralnych i naturalnych łącznie utrzymywało się na stałym, względnie niskim poziomie, a nawet zaznaczył się niewielki spadek. Jednocześnie są to województwa o wysokim udziale gleb o niskiej i bardzo niskiej zasobności w P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i K<sub>2</sub>O oraz gleb kwaśnych i bardzo kwaśnych.

Tabela 2

Zużycie nawozów mineralnych w kg NPK·ha<sup>-1</sup> UR w dkr w województwach Polski w latach 2002–2019

| Wyszczególnienie    | Lata        |              |              |              |              |              |              |            |  |  | Ogółem lata<br>2002–2019 | Relacja:<br>lata 2017–2019 |
|---------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|--|--|--------------------------|----------------------------|
|                     | 2002–2004*  | 2005–2007    | 2008–2010    | 2011–2013    | 2014–2016    | 2017–2019    |              |            |  |  |                          |                            |
| Dolnośląskie        | 89,9        | 114,3        | 166,4        | 166,0        | 166,8        | 171,1        | 144,1        | 190        |  |  |                          |                            |
| Kujawsko-pomorskie  | 132,8       | 161,5        | 175,4        | 174,3        | 178,1        | 190,4        | 168,7        | 143        |  |  |                          |                            |
| Lubelskie           | 92,1        | 112,7        | 112,4        | 128,2        | 136,1        | 162,9        | 123,6        | 177        |  |  |                          |                            |
| Lubuskie            | 104,1       | 121,7        | 129,9        | 141,1        | 107,2        | 104,9        | 118,4        | 101        |  |  |                          |                            |
| Łódzkie             | 94,1        | 137,3        | 131,0        | 146,2        | 134,9        | 137,2        | 129,4        | 146        |  |  |                          |                            |
| Małopolskie         | 77,9        | 84,0         | 67,2         | 75,2         | 86,2         | 90,8         | 79,8         | 117        |  |  |                          |                            |
| Mazowieckie         | 76,6        | 101,0        | 105,8        | 104,0        | 110,5        | 121,6        | 102,8        | 159        |  |  |                          |                            |
| Opolskie            | 139,9       | 154,2        | 190,3        | 221,6        | 199,6        | 197,2        | 182,8        | 141        |  |  |                          |                            |
| Podkarpackie        | 59,9        | 65,6         | 66,0         | 72,9         | 78,1         | 86,9         | 70,4         | 145        |  |  |                          |                            |
| Podlaskie           | 82,1        | 90,0         | 99,2         | 99,9         | 102,0        | 114,4        | 97,8         | 139        |  |  |                          |                            |
| Pomorskie           | 130,0       | 130,2        | 134,2        | 148,0        | 140,3        | 148,4        | 138,3        | 114        |  |  |                          |                            |
| Śląskie             | 92,4        | 110,4        | 116,0        | 128,4        | 129,0        | 128,4        | 115,6        | 139        |  |  |                          |                            |
| Świętokrzyskie      | 71,8        | 101,9        | 95,6         | 108,8        | 111,3        | 110,4        | 98,5         | 154        |  |  |                          |                            |
| Warmińsko-mazurskie | 82,8        | 115,8        | 124,1        | 116,5        | 104,7        | 112,7        | 108,9        | 136        |  |  |                          |                            |
| Wielkopolskie       | 108,0       | 146,1        | 160,9        | 165,2        | 160,9        | 161,6        | 150,2        | 150        |  |  |                          |                            |
| Zachodniopomorskie  | 111,6       | 120,0        | 135,4        | 168,7        | 125,0        | 128,6        | 130,4        | 115        |  |  |                          |                            |
| <b>Polska</b>       | <b>95,3</b> | <b>117,6</b> | <b>127,1</b> | <b>135,7</b> | <b>131,9</b> | <b>139,7</b> | <b>123,8</b> | <b>147</b> |  |  |                          |                            |

\*lata 2002–2004 = 100%

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (23)

Tabela 3

Zużycie nawozów naturalnych w kg NPK·ha<sup>-1</sup> UR w dkr w województwach Polski w latach 2002–2019

| Wyszczególnienie    | Lata        |             |             |             |             |             |             |            | Ogółem lata<br>2002–2019 | Relacja:<br>lata 2017–2019<br>do 2002–2004 |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|--------------------------|--|
|                     | 2002–2004*  | 2005–2007   | 2008–2010   | 2011–2013   | 2014–2016   | 2017–2019   |             |            |                          |  |
| Dolnośląskie        | 36,2        | 35,3        | 33,3        | 29,3        | 27,7        | 28,6        | 31,9        | 79         |                          |  |
| Kujawsko-pomorskie  | 99,4        | 102,7       | 94,5        | 89,6        | 85,6        | 87,6        | 93,2        | 88         |                          |  |
| Lubelskie           | 69,0        | 68,2        | 58,5        | 52,8        | 46,5        | 48,5        | 57,5        | 70         |                          |  |
| Lubuskie            | 53,5        | 53,4        | 54,2        | 46,4        | 50,3        | 58,4        | 52,7        | 109        |                          |  |
| Łódzkie             | 95,5        | 94,6        | 96,8        | 95,3        | 94,6        | 99,5        | 96,0        | 104        |                          |  |
| Małopolskie         | 89,5        | 89,4        | 77,8        | 69,9        | 67,7        | 62,1        | 77,4        | 69         |                          |  |
| Mazowieckie         | 92,7        | 95,8        | 97,4        | 97,4        | 99,2        | 107,6       | 98,2        | 116        |                          |  |
| Opolskie            | 66,9        | 63,2        | 59,1        | 56,5        | 51,7        | 53,4        | 58,7        | 80         |                          |  |
| Podkarpackie        | 66,0        | 60,0        | 57,1        | 46,4        | 41,9        | 37,9        | 53,0        | 57         |                          |  |
| Podlaskie           | 109,4       | 116,3       | 125,4       | 129,6       | 127,4       | 135,3       | 123,8       | 124        |                          |  |
| Pomorskie           | 65,6        | 69,2        | 65,8        | 63,5        | 61,1        | 63,5        | 64,8        | 97         |                          |  |
| Śląskie             | 75,1        | 74,2        | 83,2        | 81,8        | 77,7        | 76,5        | 77,9        | 102        |                          |  |
| Świętokrzyskie      | 70,9        | 78,5        | 72,4        | 66,2        | 60,8        | 61,3        | 68,9        | 86         |                          |  |
| Warmińsko-mazurskie | 78,6        | 91,2        | 92,4        | 87,1        | 80,4        | 96,7        | 87,5        | 123        |                          |  |
| Wielkopolskie       | 123,8       | 135,8       | 134,3       | 127,8       | 135,2       | 148,6       | 134,2       | 120        |                          |  |
| Zachodniopomorskie  | 34,6        | 31,4        | 31,2        | 31,1        | 28,3        | 32,1        | 31,6        | 93         |                          |  |
| <b>Polska</b>       | <b>81,4</b> | <b>84,7</b> | <b>83,7</b> | <b>80,7</b> | <b>79,2</b> | <b>84,9</b> | <b>82,4</b> | <b>104</b> |                          |  |

\*lata 2002–2004 = 100%

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (24, 29)

Tabela 4  
 Zużycie składników pokarmowych w nawozach mineralnych i naturalnych łącznie w kg NPK·ha<sup>-1</sup> UR w dkr w województwach Polski w latach 2002–2019

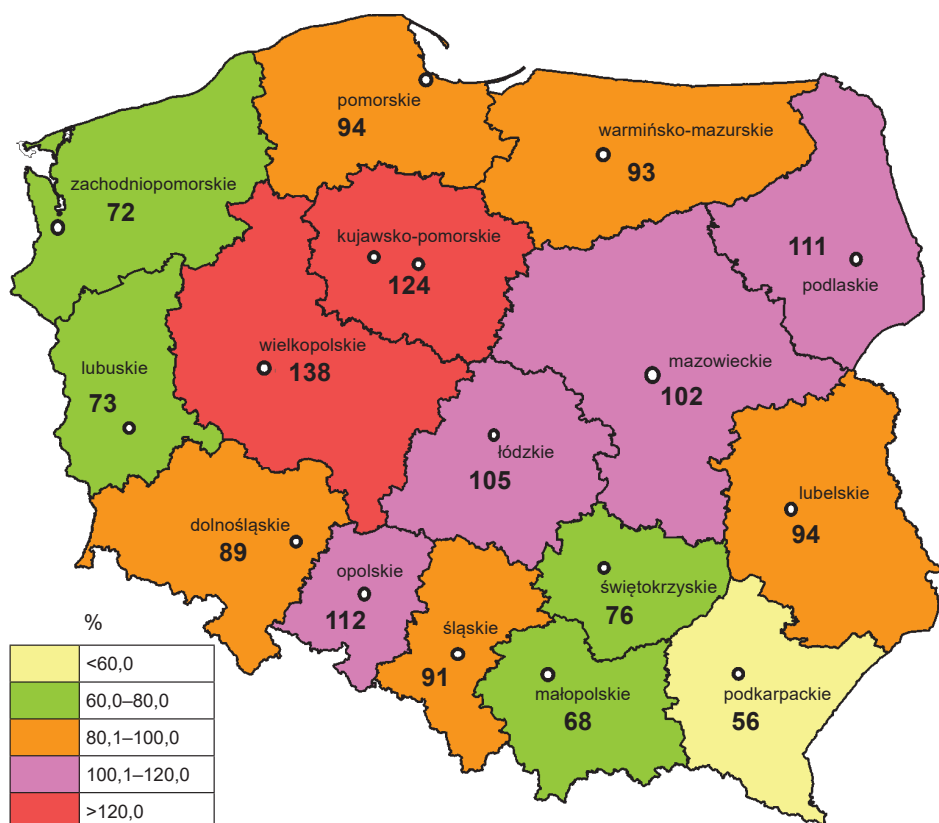
| Wyszczególnienie    | Lata       |           |           |           |           |           | Ogółem lata<br>2002–2019 | Relacja:<br>lata 2017–2019<br>do 2002–2004 |
|---------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------------|--|
|                     | 2002–2004* | 2005–2007 | 2008–2010 | 2011–2013 | 2014–2016 | 2017–2019 |                          |  |
| Dolnośląskie        | 126,1      | 149,6     | 199,7     | 195,2     | 194,5     | 199,7     | 175,9                    | 158  |
| Kujawsko-pomorskie  | 232,1      | 264,2     | 269,9     | 263,9     | 263,7     | 278,0     | 261,9                    | 120  |
| Lubelskie           | 161,2      | 180,9     | 170,9     | 181,0     | 182,6     | 211,4     | 181,1                    | 131  |
| Lubuskie            | 157,6      | 175,0     | 184,0     | 187,5     | 157,5     | 163,3     | 171,0                    | 104  |
| Łódzkie             | 189,6      | 232,0     | 227,8     | 241,5     | 229,5     | 236,7     | 225,5                    | 125  |
| Małopolskie         | 167,4      | 173,4     | 145,1     | 145,0     | 154,0     | 152,9     | 157,2                    | 91   |
| Mazowieckie         | 169,4      | 196,8     | 203,2     | 201,3     | 209,7     | 229,2     | 201,0                    | 135  |
| Opolskie            | 206,9      | 217,4     | 249,4     | 278,1     | 251,3     | 250,6     | 241,5                    | 121  |
| Podkarpackie        | 125,9      | 125,6     | 123,1     | 119,3     | 119,9     | 124,8     | 123,4                    | 99   |
| Podlaskie           | 191,5      | 206,3     | 224,7     | 229,5     | 229,4     | 249,8     | 221,6                    | 130  |
| Pomorskie           | 195,6      | 199,4     | 200,0     | 211,5     | 201,4     | 211,8     | 203,1                    | 108  |
| Śląskie             | 167,5      | 184,6     | 199,2     | 210,2     | 206,7     | 204,9     | 193,5                    | 122  |
| Świętokrzyskie      | 142,7      | 180,4     | 168,0     | 175,0     | 172,1     | 171,8     | 167,4                    | 120  |
| Warmińsko-mazurskie | 161,4      | 207,0     | 216,5     | 203,6     | 185,1     | 209,4     | 196,3                    | 130  |
| Wielkopolskie       | 231,8      | 281,9     | 295,2     | 293,0     | 296,2     | 310,2     | 284,4                    | 134  |
| Zachodniopomorskie  | 146,2      | 151,4     | 166,6     | 199,7     | 153,3     | 160,7     | 161,9                    | 110  |
| <b>Polska</b>       | 176,7      | 202,3     | 210,8     | 216,4     | 211,1     | 224,6     | 206,3                    | 127  |

\*lata 2002–2004 = 100%

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (23, 24, 29)

Relatywne zróżnicowanie zużycia składników pokarmowych w nawozach mineralnych i naturalnych w latach 2017–2019 przedstawiono na rysunku 1. W porównaniu ze średnią krajową znacznie wyższe nawożenie odnotowano w województwach: wielkopolskim, kujawsko-pomorskim, opolskim i podlaskim, gdzie poziom zużycia wynosił ponad 250 kg NPK·ha<sup>-1</sup> UR w dkr.

W kontekście racjonalizacji gospodarki nawozowej decydujące znaczenie ma poziom produkcji roślinnej (produkcyjność) warunkujący zapotrzebowanie na składniki pokarmowe (tab. 5). W analizowanym okresie we wszystkich województwach nastąpił wzrost produkcji roślinnej, który przeciętnie w Polsce wyniósł 28%, czyli był on zbliżony do wzrostu zużycia składników nawozowych NPK (patrz tab. 4). Widoczne jest również zróżnicowanie pomiędzy poszczególnymi okresami 3-letnimi, co na ogół było związane z przebiegiem pogody, a zwłaszcza z występowaniem suszy na znacznym obszarze Polski. Wiążący się z tym spadek produkcji głównych ziemiopłodów był jednak widoczny, mimo przyjęcia do porównań średnich plonów z 3 lat niwelujących różnice w plonowaniu roślin w latach.



Rys. 1. Relatywne zróżnicowanie zużycia składników pokarmowych w nawozach mineralnych i naturalnych (łącznie) w kg NPK·ha<sup>-1</sup> UR w dkr w województwach Polski w latach 2017–2019; Polska = 100%

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (23, 24, 29)

Tabela 5

Globalna produkcja roślinna (zebrana z pól) w j.zb. ·ha<sup>-1</sup> UR w dkr w województwach Polski w latach 2002–2019

| Wyszczególnienie    | Lata        |             |             |             |             |             |             |            | Ogółem lata<br>2002–2019 | Relacja:<br>lata 2017–2019<br>do 2002–2004 |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|--------------------------|--|
|                     | 2002–2004*  | 2005–2007   | 2008–2010   | 2011–2013   | 2014–2016   | 2017–2019   |             |            |                          |  |
| Dolnośląskie        | 34,7        | 37,1        | 41,1        | 44,1        | 48,0        | 45,8        | 41,6        | 132        |                          |  |
| Kujawsko-pomorskie  | 38,8        | 38,3        | 42,0        | 45,3        | 46,4        | 45,3        | 42,7        | 117        |                          |  |
| Lubelskie           | 30,7        | 28,6        | 32,8        | 34,7        | 39,8        | 41,6        | 34,6        | 135        |                          |  |
| Lubuskie            | 20,0        | 23,5        | 28,3        | 30,5        | 35,0        | 30,1        | 27,6        | 150        |                          |  |
| Łódzkie             | 27,3        | 27,6        | 32,7        | 34,4        | 35,8        | 34,1        | 31,8        | 125        |                          |  |
| Małopolskie         | 25,2        | 26,0        | 27,2        | 29,3        | 31,9        | 31,6        | 28,2        | 126        |                          |  |
| Mazowieckie         | 25,3        | 24,9        | 29,4        | 30,4        | 31,9        | 32,1        | 28,9        | 127        |                          |  |
| Opolskie            | 45,1        | 44,8        | 50,6        | 57,6        | 59,6        | 56,4        | 52,1        | 125        |                          |  |
| Podkarpackie        | 23,0        | 23,0        | 25,7        | 26,8        | 28,4        | 30,8        | 25,9        | 134        |                          |  |
| Podlaskie           | 23,8        | 25,2        | 28,8        | 29,2        | 28,6        | 29,1        | 27,4        | 122        |                          |  |
| Pomorskie           | 28,5        | 30,9        | 34,6        | 36,4        | 40,5        | 38,3        | 34,7        | 134        |                          |  |
| Śląskie             | 26,5        | 27,6        | 31,7        | 34,6        | 37,5        | 35,7        | 31,7        | 134        |                          |  |
| Świętokrzyskie      | 25,4        | 26,2        | 29,4        | 29,8        | 31,9        | 32,5        | 28,9        | 128        |                          |  |
| Warmińsko-mazurskie | 24,5        | 25,6        | 31,9        | 31,4        | 31,8        | 31,3        | 29,3        | 128        |                          |  |
| Wielkopolskie       | 35,3        | 36,6        | 40,3        | 42,5        | 44,9        | 40,7        | 40,0        | 115        |                          |  |
| Zachodniopomorskie  | 25,4        | 29,1        | 35,0        | 36,4        | 40,9        | 35,7        | 33,3        | 140        |                          |  |
| <b>Polska</b>       | <b>29,0</b> | <b>29,8</b> | <b>34,0</b> | <b>35,9</b> | <b>38,2</b> | <b>37,1</b> | <b>33,8</b> | <b>128</b> |                          |  |

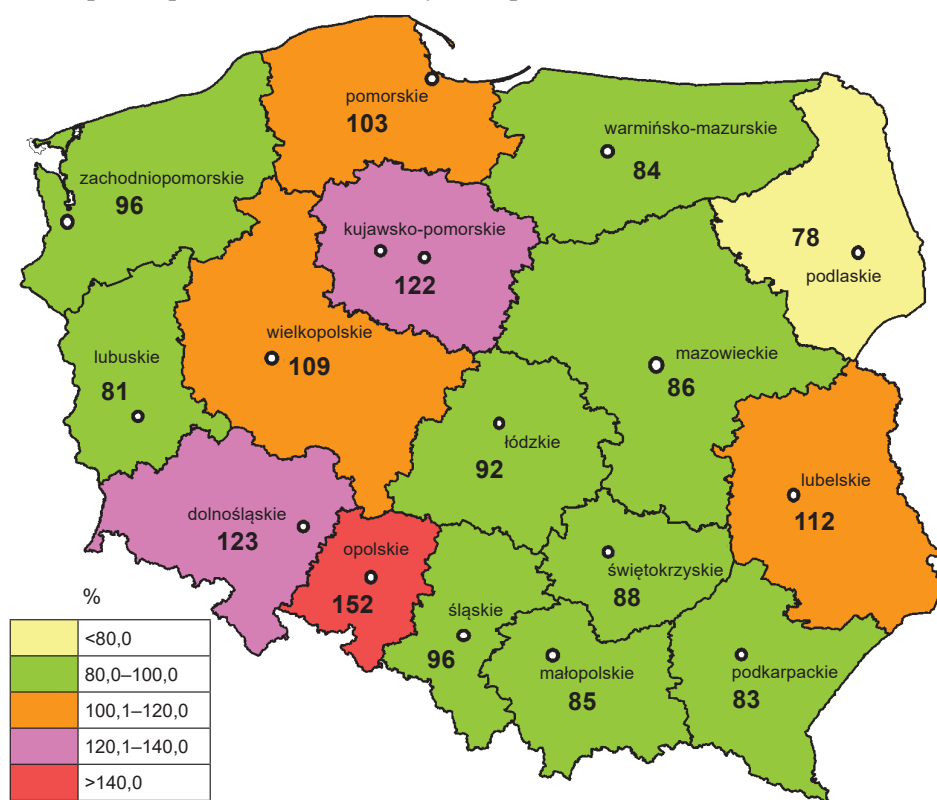
\*lata 2002–2004 = 100%

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (20, 21)

Na rysunku 2 przedstawiono relatywne zróżnicowanie globalnej produkcji roślinnej według danych z ostatniego okresu, tj. średnich w latach 2017–2019.

W grupie województw uzyskujących globalną produkcję roślinną powyżej średniej dla Polski obok opolskiego, dolnośląskiego, kujawsko-pomorskiego, pomorskiego i wielkopolskiego znalazło się także województwo lubelskie, w którym duże znaczenie w produkcji roślinnej ma uprawa rzepaku, buraka cukrowego, a głównie owoców i warzyw.

Przedstawione w tabeli 6 regionalne zróżnicowanie nawozochłonności całkowitej jest konsekwencją zróżnicowania poziomu nawożenia i globalnej produkcji roślinnej. Średnio w całym badanym okresie 2002–2019 najniższą nawozochłonnością charakteryzowały się województwa: dolnośląskie, opolskie oraz zachodniopomorskie, specjalizujące się w intensywnej towarowej produkcji roślinnej i uzyskujące relatywnie wysokie plony przy niskiej obsadzie zwierząt i niewielkim udziale towarowej produkcji zwierzęcej w strukturze towarowej produkcji rolniczej (16). Poza tymi województwami niską nawozochłonność, wynikającą z niskiego zużycia składników nawozowych szczególnie w ostatnich latach, miały województwa: lubelskie, małopolskie, podkarpackie oraz świętokrzyskie i pomorskie.



Rys. 2. Relatywne zróżnicowanie globalnej produkcji roślinnej (zebranej z pól) w j.zb.·ha<sup>-1</sup> UR w dkr w województwach Polski w latach 2017–2019; Polska = 100%

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (20, 21)

Tabela 6

Nawozochłonność całkowita produkcji roślinnej (zebrana z pól) w kg NPK<sub>j.zb.</sub><sup>-1</sup> w województwach Polski w latach 2002–2019

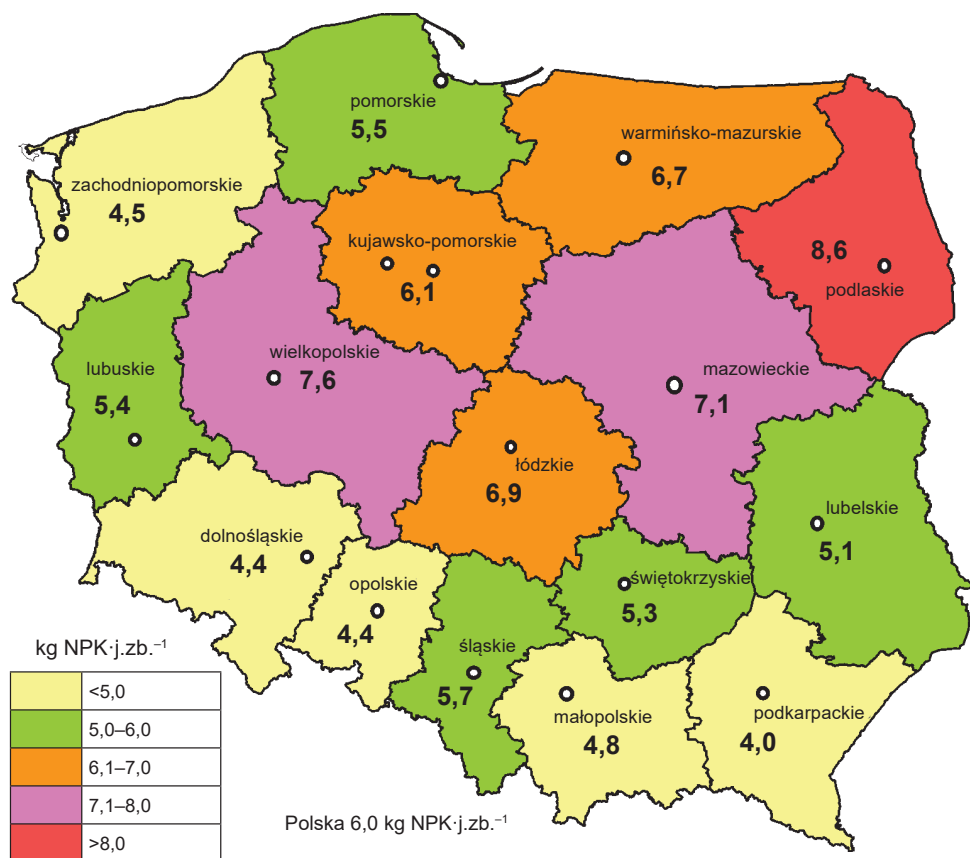
| Wyszczególnienie    | Lata       |            |            |            |            |            |            | Ogółem lata<br>2002–2019 | Relacja:<br>lata 2017–2019<br>do 2002–2004 |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------------------|--|
|                     | 2002–2004* | 2005–2007  | 2008–2010  | 2011–2013  | 2014–2016  | 2017–2019  |            |                          |  |
| Dolnośląskie        | 3,6        | 4,0        | 4,9        | 4,4        | 4,1        | 4,4        | 4,2        | 120                      |  |
| Kujawsko-pomorskie  | 6,0        | 6,9        | 6,4        | 5,8        | 5,7        | 6,1        | 6,1        | 103                      |  |
| Lubelskie           | 5,2        | 6,3        | 5,2        | 5,2        | 4,6        | 5,1        | 5,2        | 97                       |  |
| Lubuskie            | 7,9        | 7,5        | 6,5        | 6,1        | 4,5        | 5,4        | 6,2        | 69                       |  |
| Łódzkie             | 6,9        | 8,4        | 7,0        | 7,0        | 6,4        | 6,9        | 7,1        | 100                      |  |
| Małopolskie         | 6,7        | 6,7        | 5,3        | 4,9        | 4,8        | 4,8        | 5,6        | 73                       |  |
| Mazowieckie         | 6,7        | 7,9        | 6,9        | 6,6        | 6,6        | 7,1        | 7,0        | 107                      |  |
| Opolskie            | 4,6        | 4,8        | 4,9        | 4,8        | 4,2        | 4,4        | 4,6        | 97                       |  |
| Podkarpackie        | 5,5        | 5,5        | 4,8        | 4,5        | 4,2        | 4,0        | 4,8        | 74                       |  |
| Podlaskie           | 8,0        | 8,2        | 7,8        | 7,9        | 8,0        | 8,6        | 8,1        | 107                      |  |
| Pomorskie           | 6,9        | 6,5        | 5,8        | 5,8        | 5,0        | 5,5        | 5,8        | 81                       |  |
| Śląskie             | 6,3        | 6,7        | 6,3        | 6,1        | 5,5        | 5,7        | 6,1        | 91                       |  |
| Świętokrzyskie      | 5,6        | 6,9        | 5,7        | 5,9        | 5,4        | 5,3        | 5,8        | 94                       |  |
| Warmińsko-mazurskie | 6,6        | 8,1        | 6,8        | 6,5        | 5,8        | 6,7        | 6,7        | 101                      |  |
| Wielkopolskie       | 6,6        | 7,7        | 7,3        | 6,9        | 6,6        | 7,6        | 7,1        | 116                      |  |
| Zachodniopomorskie  | 5,7        | 5,2        | 4,8        | 5,5        | 3,7        | 4,5        | 4,9        | 78                       |  |
| <b>Polska</b>       | <b>6,1</b> | <b>6,8</b> | <b>6,2</b> | <b>6,0</b> | <b>5,5</b> | <b>6,0</b> | <b>6,1</b> | <b>99</b>                |  |

\*lata 2002–2004 = 100%

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (20, 21, 23, 24, 29)



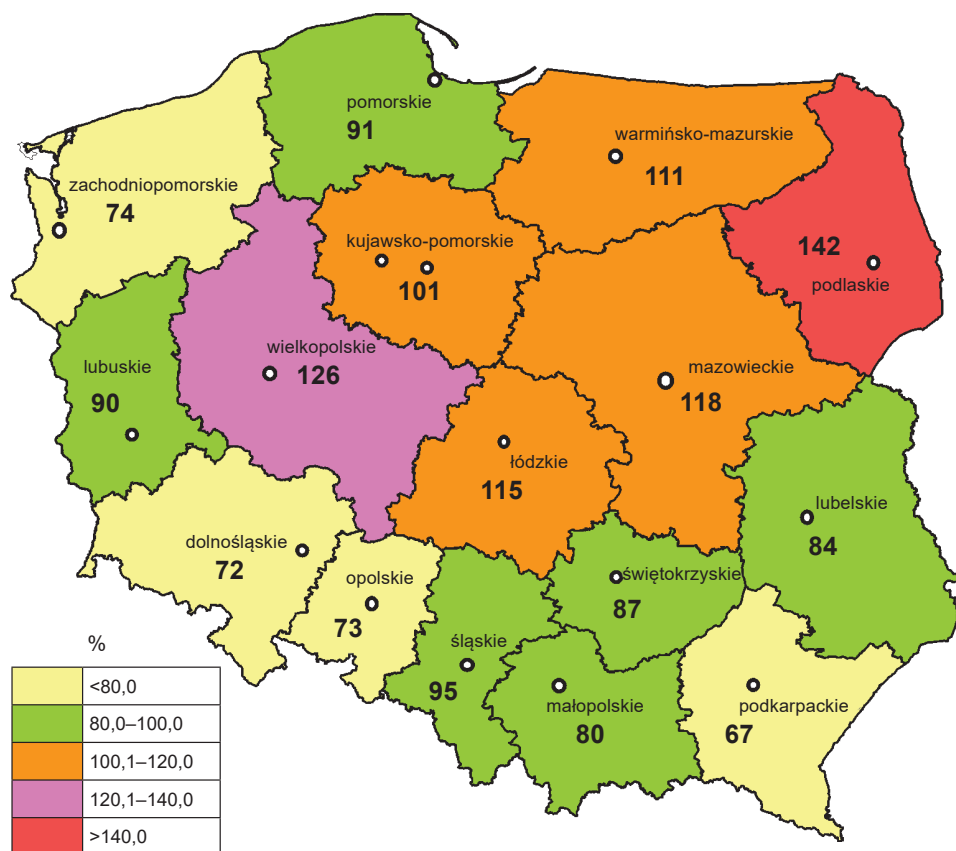
Regionalne zróżnicowanie nawozochłonności średnio w trzech latach 2017–2019 przedstawiono na rysunku 3. Porównanie to wskazuje, że większa nawozochłonność całkowita produkcji roślinnej była w województwach podlaskim, wielkopolskim i mazowieckim, które charakteryzują się znaczącym udziałem produkcji zwierzęcej w strukturze rolniczej. Są to województwa o wyższej obsadzie zwierząt gospodarskich, a co się z tym wiąże wyższym zużyciem nawozów naturalnych, odgrywających znaczącą rolę w bilansie nawozowym. Natomiast najniższa nawozochłonność występuje w południowych i zachodnich województwach Polski.



Rys. 3. Nawozochłonność całkowita produkcji roślinnej (zebranej z pól) w województwach Polski w latach 2017–2019

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (20, 21, 23, 24, 29)

Relatywne zróżnicowanie nawozochłonności całkowitej według województw, w odniesieniu do przeciętnej dla Polski średnio w okresie 2017–2019, przedstawiono na rysunku 4. Pod względem poziomu nawozochłonności różnice pomiędzy województwem podlaskim (8,6 kg NPK·j.zb.<sup>-1</sup>) a województwem podkarpackim (4,0 kg NPK·j.zb.<sup>-1</sup>) są ponad dwukrotne.

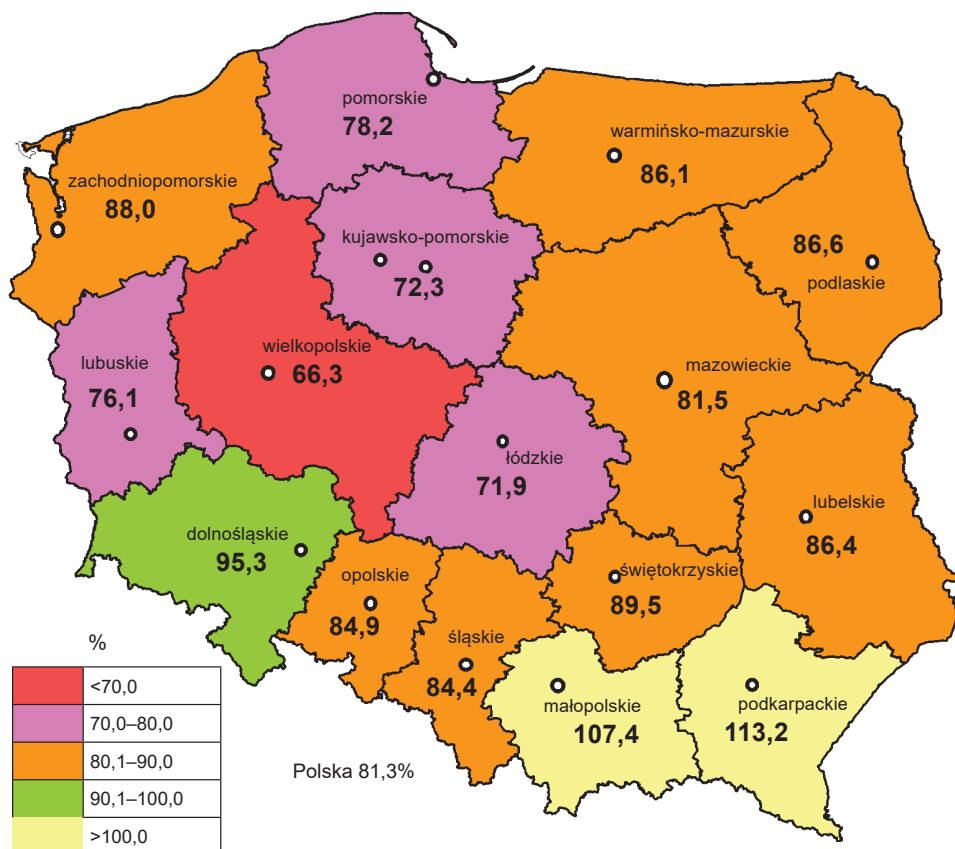


Rys. 4. Relatywne zróżnicowanie nawozochłonności całkowitej produkcji roślinnej (zebranej z pól) w kg NPK·j.zb.<sup>-1</sup> w województwach Polski w latach 2017–2019; Polska = 100%

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (20, 21, 23, 24, 29)

Ważną miarą racjonalności nawożenia i efektywności wykorzystania składników nawozowych jest relacja pobrania składników (NPK) w zbieranej z pól produkcji roślinnej do nawozochłonności całkowitej (rys. 5). W Polsce wskaźnik ten w całym analizowanym okresie wyniósł 81%, a także w większości województw, poza małopolskim i podkarpackim, relacja ta kształtowała się poniżej 100%, co wskazuje na nadmierne zaopatrzenie roślin w składniki pokarmowe. Natomiast wskaźniki dla rolnictwa województw małopolskiego i podkarpackiego wskazują, że stosowane nawożenie może być czynnikiem ograniczającym poziom uzyskanej produkcji roślinnej, gdyż w tym regionie następuje wyczerpywanie składników nawozowych z gleb. Taki proces utrudnia też poprawę stanu agrochemicznego gleb poprzez wzrost ich zasobności w fosfor i potas, szczególnie na gruntach o niskiej ich zasobności. W tych województwach celowa jest zatem umiarkowana intensyfikacja nawożenia,

w połączeniu z wapnowaniem przeciwdziałającym dużemu zakwaszeniu gleb (tab. 7), gdyż są to województwa o relatywnie najgorszych parametrach stanu agrochemicznego gleb. Jednak bardziej szczegółowa analiza stanu agrochemicznego gleb nie wskazuje jednoznacznego wpływu odczynu i zasobności gleb na regionalne zróżnicowanie nawozochłonności w okresie 2017–2019. Oznacza to jednak, że duży wpływ na nawozochłonność mogą mieć uwarunkowania organizacyjno-ekonomiczne (tab. 8–9).



Rys. 5. Relacja pobrania składników w produkcji roślinnej (zebranej z pól) do nawozochłonności rzeczywistej – wykorzystanie z nawozów wg województw w latach 2002–2019

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (20, 21, 23, 24, 29)

Tabela 7

Nawozochłonność całkowita produkcji roślinnej (zebrana z pól) w województwach Polski na tle stanu agrochemicznego gleb; lata 2017–2019

| Wyszczególnienie    | Nawozochłonność całk.<br>(kg NPK·j.zb. <sup>-1</sup> ) | Udział gleb kwaśnych<br>i bardzo kwaśnych<br>(%) <sup>*</sup> | Udział gleb o niskiej<br>i bardzo niskiej<br>zasobności (%) <sup>*</sup> |                  | Udział gleb słabych<br>i bardzo słabych (%) | Udział gleb o wysokiej<br>i bardzo wysokiej<br>zawartości próchnicy (%) |
|---------------------|--|---|--|------------------|---|---|
|                     |  |   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | K <sub>2</sub> O |   |   |
| Dolnośląskie        | 4,4  | 29  | 35   | 21               | 59  | 71,2  |
| Kujawsko-pomorskie  | 6,1  | 26  | 16   | 34               | 65  | 30,4  |
| Lubelskie           | 5,1  | 45  | 34   | 45               | 60  | 40,2  |
| Lubuskie            | 5,4  | 38  | 19   | 30               | 83  | 52,4  |
| Łódzkie             | 6,9  | 58  | 30   | 53               | 81  | 38,1  |
| Małopolskie         | 4,8  | 56  | 59   | 52               | 67  | 43,4  |
| Mazowieckie         | 7,1  | 56  | 30   | 54               | 82  | 35,9  |
| Opolskie            | 4,4  | 20  | 27   | 23               | 58  | 59,2  |
| Podkarpackie        | 4,0  | 61  | 53   | 50               | 70  | 58,9  |
| Podlaskie           | 8,6  | 63  | 42   | 60               | 93  | 42,3  |
| Pomorskie           | 5,5  | 40  | 28   | 35               | 72  | 67,2  |
| Śląskie             | 5,7  | 41  | 36   | 45               | 80  | 64,9  |
| Świętokrzyskie      | 5,3  | 40  | 43   | 43               | 68  | 40,5  |
| Warmińsko-mazurskie | 6,7  | 37  | 33   | 25               | 77  | 46,8  |
| Wielkopolskie       | 7,6  | 38  | 22   | 36               | 78  | 30,8  |
| Zachodniopomorskie  | 4,5  | 36  | 27   | 30               | 78  | 51,3  |
| <b>Polska</b>       | <b>6,0</b>   | <b>40</b>   | <b>27</b>  | <b>38</b>        | <b>74</b>                                   | <b>45,3</b>   |

\*dane dotyczą stanu agrochemicznego z lat 2016–2019

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych GUS (20, 21, 23, 24, 29) oraz Stuczyński, 2008 (22)

Tabela 8

Czynniki decydujące o regionalnym zróżnicowaniu nawozochłonności produkcji roślinnej (zebrana z pól) w województwach Polski w okresie lat 2017–2019

| Wyszczególnienie    | Nawozochłonność<br>całk.<br>(kg NPK·j·zb <sup>-1</sup> ) |                                  | Uwarunkowania – czynniki przyrodniczo-organizacyjne, produkcyjno-ekonomiczne |               |                  |                             |   |  | Towarowa<br>produkcja roślinna<br>(zt·ha <sup>-1</sup> UR) |                                     |                            |             |
|---------------------|--|----------------------------------|--|---------------|------------------|-----------------------------|---|--|--|-------------------------------------|----------------------------|-------------|
|                     | wskaznik wrp<br>wg IUNG (pkt.)                           | średnia pow.<br>gosp.<br>(ha UR) | Udział pow.<br>UR w gosp.  |               | udział TZ<br>(%) | Udział upraw<br>(sadow) (%) | obsada<br>zwierząt<br>(DJP·ha <sup>-1</sup> UR) | średni plon<br>zboż (dt·ha <sup>-1</sup> ) |  | udział w strukturze<br>zasiewów (%) |                            |             |
|                     |  |                                  | do 5<br>ha   | pow.<br>50 ha |                  |                             |   |  |  | pszenica                            | rzepak<br>burak<br>cukrowy |             |
| Dolnośląskie        | 4,4  | 15,86                            | 7,6  | 53,7          | 15,8             | 0,5                         | 0,17  | 47,0                                       | 35,1   | 16,4                                | 2,8                        | 2623        |
| Kujawsko-pomorskie  | 6,1  | 16,61                            | 5,1  | 34,5          | 9,1              | 1,1                         | 0,54  | 40,9                                       | 24,4   | 8,8                                 | 5,0                        | 2581        |
| Lubelskie           | 5,1  | 8,48                             | 16,6   | 18,7          | 15,5             | 5,1                         | 0,29  | 40,7                                       | 30,6   | 9,6                                 | 3,7                        | 3135        |
| Lubuskie            | 5,4  | 19,13                            | 5,9  | 58,8          | 25,4             | 0,8                         | 0,35  | 34,8                                       | 20,2   | 10,3                                | 0,5                        | 1932        |
| Łódzkie             | 6,9  | 7,96                             | 16,5   | 11,3          | 15,0             | 4,4                         | 0,56  | 32,0                                       | 15,4   | 3,1                                 | 0,7                        | 2409        |
| Małopolskie         | 4,8  | 4,12                             | 47,0   | 11,8          | 41,5             | 2,0                         | 0,36  | 39,3                                       | 32,3   | 3,6                                 | 0,5                        | 2474        |
| Mazowieckie         | 7,1  | 9,14                             | 13,5   | 14,2          | 27,2             | 5,9                         | 0,62  | 30,6                                       | 14,4   | 3,5                                 | 1,6                        | 2748        |
| Opolskie            | 4,4  | 19,32                            | 5,7  | 55,6          | 7,9              | 0,1                         | 0,32  | 53,7                                       | 32,9   | 16,1                                | 3,6                        | 2664        |
| Podkarpackie        | 4,0  | 4,55                             | 40,9   | 18,9          | 37,0             | 2,0                         | 0,22  | 38,3                                       | 30,5   | 8,0                                 | 1,3                        | 1317        |
| Podlaskie           | 8,6  | 13,83                            | 5,7  | 19,9          | 35,1             | 0,5                         | 0,83  | 27,9                                       | 9,7  | 2,5                                 | 0,0                        | 391         |
| Pomorskie           | 5,5  | 19,05                            | 4,5  | 49,3          | 17,1             | 0,6                         | 0,38  | 39,3                                       | 28,6   | 12,7                                | 1,6                        | 1963        |
| Śląskie             | 5,7  | 6,95                             | 23,6   | 28,8          | 22,2             | 0,8                         | 0,45  | 39,8                                       | 26,5   | 8,0                                 | 0,6                        | 2204        |
| Świętokrzyskie      | 5,3  | 5,75                             | 30,3   | 8,3           | 21,2             | 7,8                         | 0,38  | 30,8                                       | 25,4   | 3,1                                 | 1,2                        | 3774        |
| Warmińsko-mazurskie | 6,7  | 22,21                            | 3,4  | 49,9          | 33,7             | 0,5                         | 0,57  | 37,0                                       | 24,6   | 10,4                                | 0,5                        | 1043        |
| Wielkopolskie       | 7,6  | 14,43                            | 6,7  | 34,9          | 13,8             | 0,9                         | 0,80  | 37,7                                       | 15,6   | 6,7                                 | 3,4                        | 2658        |
| Zachodniopomorskie  | 4,5  | 28,51                            | 3,4  | 68,5          | 18,5             | 1,1                         | 0,20  | 39,1                                       | 28,1   | 13,7                                | 2,3                        | 1735        |
| <b>Polska</b>       | <b>6,0</b>   | <b>10,54</b>                     | <b>12,6</b>  | <b>31,3</b>   | <b>21,5</b>      | <b>2,4</b>                  | <b>0,50</b>                                     | <b>37,6</b>                                | <b>23,1</b>  | <b>8,3</b>                          | <b>2,2</b>                 | <b>2253</b> |

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych GUS (20, 21, 23, 24, 29)

Tabela 9  
Charakterystyka statystyczna wybranych zmiennych w kontekście nawozochłonności produkcji roślinnej (zebranej z pól) w województwach Polski w okresie 2017–2019

| Wyszczególnienie           | Uwarunkowani a czynniki organizacyjno-produkcyjne |      |                                |                               |                           |               |                |   |  |  | Towarowa produkcja<br>roślinna (zł·ha <sup>-1</sup> UR) |                                     |        |                  |
|----------------------------|---|------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------|---------------|----------------|---|--|--|---|-------------------------------------|--------|------------------|
|                            | Nawozochłonność<br>(kg NPK·j·zb. <sup>-1</sup> )  |      | wskaznik wrp<br>wg IUNG (pkt.) | średnia pow. gosp.<br>(ha UR) | udział pow.<br>UR w gosp. |               | udział TVZ (%) | udział upraw<br>trwałych (sądów)<br>(%) | obsada zwierząt<br>(DJP·ha <sup>-1</sup> UR) | średni plon zbóż<br>(dt·ha <sup>-1</sup> ) |   | udział w strukturze<br>zasiewów (%) |        |                  |
|                            | całk.   |      |                                |                               | do 5<br>ha                | pow.<br>50 ha |                |   |  |  |   | pszenica                            | rzepak | burak<br>cukrowy |
| Średnia                    | 5,8   | 67,4 | 13,5                           | 14,8                          | 33,6                      | 22,3          | 2,1            | 0,4                                     | 38,1   | 24,6                                       | 8,5   | 1,8                                 | 2228,2 |                  |
| Mediana                    | 5,5   | 66,9 | 14,1                           | 7,2                           | 31,7                      | 19,9          | 1,0            | 0,4                                     | 38,7   | 26,0                                       | 8,4   | 1,5                                 | 2441,5 |                  |
| Minimum                    | 4,0   | 55,0 | 4,1                            | 3,4                           | 8,3                       | 7,9           | 0,1            | 0,2                                     | 27,9   | 9,7  | 2,5   | 0,0                                 | 391,0  |                  |
| Maksimum                   | 8,6   | 81,4 | 28,5                           | 47,0                          | 68,5                      | 41,5          | 7,8            | 0,8                                     | 53,7   | 35,1                                       | 16,4  | 5,0                                 | 3774,0 |                  |
| Odechylenie<br>standardowe | 1,3   | 6,4  | 7,1                            | 13,8                          | 19,8                      | 10,2          | 2,3            | 0,2                                     | 6,4  | 7,5  | 4,6   | 1,5                                 | 826,3  |                  |
| Współczynnik<br>zmienności | 22,7  | 9,5  | 52,7                           | 93,6                          | 59,0                      | 45,7          | 109,7          | 45,2                                    | 16,7   | 30,6                                       | 54,1  | 80,4                                | 37,1   |                  |

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych GUS (20, 21, 23, 24, 29)

Z przeprowadzonej analizy wynika, że o regionalnym zróżnicowaniu nawozochłonności decydowały uwarunkowania przyrodniczo-organizacyjne, ale także produkcyjno-ekonomiczne (tab. 8). Wszystkie przedstawione w tabeli 8 wskaźniki charakteryzują specyfikę rolnictwa poszczególnych województw. Plon zbóż obrazuje efektywność wykorzystania rolniczej przestrzeni produkcyjnej, a jednocześnie jest miarą poziomu kultury rolnej. Odzwierciedla on także strukturę gatunkową uprawy zbóż w województwach. Z reguły wyższe średnie plony zbóż uzyskuje się w województwach o wysokim udziale pszenicy i kukurydzy, jako roślin wymagających relatywnie wyższych dawek nawozów i wyżej plonujących. Podobny wpływ na ogólne zużycie nawozów mają plony rzepaku i buraka cukrowego – roślin wysoko nawozochłonnych, i ich udział w strukturze zasiewów.

Charakterystykę statystyczną grupy uwarunkowań przyrodniczo-organizacyjnych i produkcyjno-ekonomicznych przedstawiono w tabeli 9. Największą zmiennością charakteryzował się udział w strukturze zasiewów użytków rolnych w gospodarstwach do 5 ha i powyżej 50 ha, upraw trwałych oraz rzepaku i buraka cukrowego. Znacznie zróżnicowana była też towarowa produkcja roślinna.

W tabeli 10 przedstawiono współczynniki korelacji pomiędzy nawozochłonnością a uwarunkowaniami przyrodniczo-organizacyjnymi i produkcyjno-ekonomicznymi. Z analizy korelacji wynika, że nawozochłonność w województwach Polski była istotnie ujemnie skorelowana z jakością rolniczej przestrzeni produkcyjnej, średnim plonem zbóż, udziałem pszenicy i rzepaku w strukturze zasiewów, a dodatnio – z obsadą zwierząt, czyli pośrednio ze zużyciem nawozów naturalnych.

Tabela 10

Macierz korelacji pomiędzy nawozochłonnością a wskaźnikami charakteryzującymi uwarunkowania przyrodniczo-organizacyjne i produkcyjno-ekonomiczne w województwach Polski w okresie 2017–2019

| Wyszczególnienie | Uwarunkowania – czynniki przyrodniczo-organizacyjne, produkcyjno-ekonomiczne |        |                              |                            |       |                        |       |                |                                   |   |   |                                  | Towarowa produkcja roślinna (zł·ha <sup>-1</sup> UR) x12 |    |    |
|------------------|--|--------|------------------------------|----------------------------|-------|------------------------|-------|----------------|-----------------------------------|---|---|----------------------------------|--|----|----|
|                  | Nawozochłonność (kg NPK·j.zb. <sup>-1</sup> ) całk.                          |        | wskaznik wrpp wg IUNG (pkt.) | średnia pow. gosp. (ha UR) |       | udział pow. UR w gosp. |       | udział TUZ (%) | udział upraw trwałych (sądów) (%) | obsada zwierząt (DJP·ha <sup>-1</sup> UR) | średni plon zbóż (dt·ha <sup>-1</sup> ) | udział w strukturze zasiewów (%) |  |    |    |
|                  | y1   | x1     |                              | x2                         | x3    | x4                     | x5    |                |                                   |   |   | x6                               |  | x7 | x8 |
| y1               | 1,00   | -0,76* | -0,01                        | -0,36                      | -0,30 | 0,10                   | 0,04  | 0,97           | -0,64                             | -0,91                                     | -0,59                                   | -0,23                            | -0,30  |    |    |
| x1               | 1,00   | 1,00   | 0,07                         | 0,11                       | 0,27  | -0,43                  | -0,07 | -0,67          | 0,87                              | 0,85                                      | 0,64                                    | 0,64                             | 0,47   |    |    |
| x2               |  |        | 1,00                         | -0,82                      | 0,91  | -0,33                  | -0,57 | -0,07          | 0,29                              | 0,04                                      | 0,67                                    | 0,24                             | -0,34  |    |    |
| x3               |  |        |                              | 1,00                       | -0,67 | 0,48                   | 0,25  | 0,44           | -0,51                             | -0,49                                     | -0,41                                   | -0,41                            | -0,24  |    |    |
| x4               |  |        |                              |                            | 1,00  | -0,36                  | 0,06  | 0,00           | -0,01                             | -0,06                                     | -0,11                                   | 0,30                             | 0,14   |    |    |
| x5               |  |        |                              |                            |       | 1,00                   | 0,01  | 0,09           | -0,47                             | -0,12                                     | -0,47                                   | -0,75                            | -0,53  |    |    |
| x6               |  |        |                              |                            |       |                        | 1,00  | -0,01          | -0,48                             | -0,16                                     | -0,56                                   | -0,06                            | 0,61   |    |    |
| x7               |  |        |                              |                            |       |                        |       | 1,00           | -0,55                             | -0,86                                     | -0,60                                   | -0,15                            | -0,25  |    |    |
| x8               |  |        |                              |                            |       |                        |       |                | 1,00                              | 0,77                                      | 0,82                                    | 0,59                             | 0,22   |    |    |
| x9               |  |        |                              |                            |       |                        |       |                |                                   | 1,00                                      | 0,65                                    | 0,31                             | 0,28   |    |    |
| x10              |  |        |                              |                            |       |                        |       |                |                                   |   | 1,00                                    | 0,46                             | -0,02  |    |    |
| x11              |  |        |                              |                            |       |                        |       |                |                                   |   |   | 1,00                             | 0,48   |    |    |
| x12              |  |        |                              |                            |       |                        |       |                |                                   |   |   |                                  | 1,00   |    |    |

\*pogrubioną czcionką zaznaczono korelacje istotne statystycznie przy  $\alpha > \alpha_{0,05} = 0,4973$

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych GUS (20, 21, 23, 24, 29)



Za pomocą analizy skupień metodą k-średnich wyodrębniono 3 grupy województw zróżnicowane pod względem całkowitej nawozochłonności produkcji roślinnej (rys. 6).

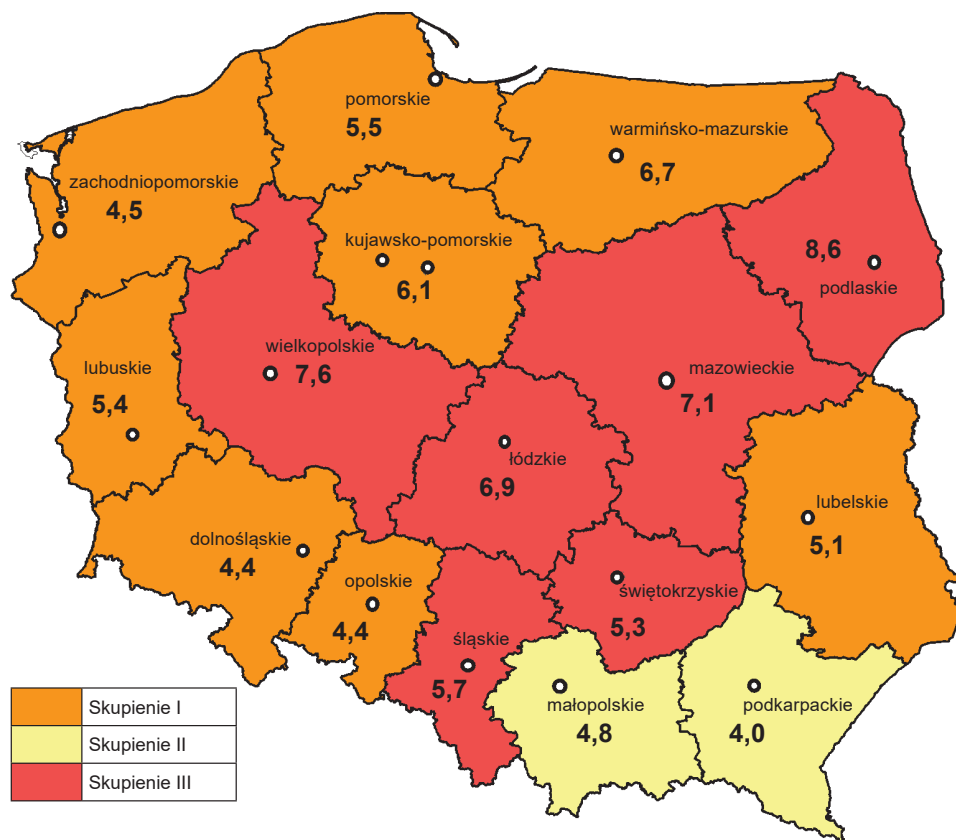
Skupienia (grupy) województw różnią się ze względu na zróżnicowanie nawozochłonności, która jest pochodną zużycia nawozów mineralnych i naturalnych wyrażonego w  $\text{kg NPK}\cdot\text{ha}^{-1}$  użytków rolnych i globalnej produkcji roślinnej wyrażonej w jednostkach zbożowych. Szczegółowe charakterystyki poszczególnych grup (skupień) przedstawiono w tabeli 11. Można je opisać w następujący sposób:

**W skupieniu 1** znalazło się osiem województw zróżnicowanych pod względem wskaźnika waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej. Cechą charakterystyczną tej grupy województw jest największa średnia powierzchnia gospodarstw w ha UR będąca efektem struktury obszarowej gospodarstw. Udział powierzchni użytków rolnych w gospodarstwach do 5 ha był w tym skupieniu najmniejszy, tylko 6,5%, natomiast największy był udział powierzchni użytków rolnych w gospodarstwach powyżej 50 ha. Województwa zaliczone do tej grupy uzyskiwały wyższe średnie plony zbóż, a także miały największy udział rzepaku i buraka cukrowego w strukturze zasiewów. Obsada zwierząt była niższa od średniej dla Polski. Cecha wspólna tej grupy województw to najwyższa globalna produkcja roślinna w  $\text{j.zb}\cdot\text{ha}^{-1}$  UR w dkr. Były to więc województwa wyspecjalizowane w intensywnej produkcji roślinnej.

**W skupieniu 2** znalazły się tylko dwa województwa, tj. małopolskie i podkarpackie. Charakteryzują się one najniższym zużyciem nawozów mineralnych i naturalnych (łącznie) i najniższym poziomem globalnej produkcji roślinnej w jednostkach zbożowych z 1 ha. Cechą tej grupy województw jest relatywnie wysoki udział trwałych użytków zielonych, w znacznej części niewykorzystywanych lub ekstensywnie użytkowanych. Jest to grupa o dużym rozdrobieniu gospodarstw, o czym świadczą najniższa średnia powierzchnia gospodarstwa oraz najwyższy, przekraczający 40%, udział użytków rolnych w gospodarstwach do 5 ha. Znaczny odsetek gospodarstw tych województw nie prowadzi produkcji zwierzęcej i w związku z tym skupienie to wyróżnia się najniższą obsadą zwierząt i co się z tym wiąże także niskim zużyciem nawozów naturalnych. Stosuje się także niskie nawożenie mineralne, ale uzyskuje się też niskie plony ziemiopłodów ze względu na wyczerpywanie gleb ze składników nawozowych. Niska nawozochłonność produkcji roślinnej w tych regionach jest odzwierciedleniem przede wszystkim ekstensywnego systemu gospodarowania znacznej liczby gospodarstw, a ocena stanu agrochemicznego gleb najłabsza w całym kraju.

**Do skupienia 3** zaliczono 6 województw zróżnicowanych pod względem wielu wskaźników, w tym średniej powierzchni gospodarstwa. Przede wszystkim w grupie tej znalazły się województwa wiodące w kraju pod względem produkcji zwierzęcej (podlaskie, wielkopolskie, mazowieckie, łódzkie), ale także śląskie i świętokrzyskie. Średnia nawozochłonność w tym skupieniu była najwyższa ze wszystkich grup. Kształtowała się ona powyżej tzw. nawozochłonności racjonalnej wynoszącej około  $6,4 \text{ kg NPK}\cdot\text{j.zb}^{-1}$  (3), jak i przeciętnej aktualnej ( $6,0 \text{ kg NPK}\cdot\text{j.zb}^{-1}$ ). Ta grupa

województw wyróżnia się na tle pozostałych najwyższym poziomem towarowej produkcji roślinnej. Decyduje o tym zapewne, obok wysokiej towarowości głównych ziemiopłodów, także znaczący udział towarowej produkcji owoców i warzyw (woj. mazowieckie, łódzkie, świętokrzyskie). W tym skupieniu znalazły się województwa o znacznym udziale gleb słabych i bardzo słabych oraz średnich, ale intensywnie nawożonych zarówno nawozami mineralnymi, jak i naturalnymi. Zjawisko to należy ocenić pozytywnie pod względem produkcyjnym, jednak pod względem środowiskowym na obszarze tego skupienia można się także spodziewać wystąpienia zagrożeń środowiskowych.



Rys. 6. Podział województw na skupienia o zróżnicowanej nawozochłonności, średnio w latach 2017–2019

Źródło: opracowanie własne

Tabela 11

Charakterystyka grup (skupień) województw o zróżnicowanej nawozochłonności – wartości zmiennych

| Skupienie | Województwa w skupieniach   | Nawozochłonność całkowita (kg NPK-j.zb. <sup>-1</sup> ) | Zużycie nawozów ogółem (kg NPK·ha <sup>-1</sup> UR) | Globalna prod. roślinna w j.zb. | Wskaźnik WRP wg IUNG (pkt.) | Średnia pow. gosp. (ha UR) | udział UR w gosp. |             | udział TUZ (%) | udział upraw trwałych (sądów) (%) | obsada zwierząt (DJP·ha <sup>-1</sup> UR) | średni plon zbóż (dt·ha <sup>-1</sup> ) | udział w strukturze zasiewów (%) |            |               | Towarowa produkcja roślinna (zł·ha <sup>-1</sup> UR) |
|-----------|---|---|---|---------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------|-------------|----------------|-----------------------------------|---|---|----------------------------------|------------|---------------|--|
|           |   |   |   |                                 |                             |                            | do 5 ha           | pow. 50 ha  |                |                                   |   |   | pszenica                         | rzepak     | burak cukrowy |  |
| I (8)     | dolnośląskie, kujawsko-pomorskie, lubelskie, lubuskie, opolskie, pomorskie, warmińsko-mazurskie, zachodniopomorskie | 5,3   | 210,6   | 40,6                            | 70,4                        | 18,65                      | 6,5               | 48,6        | 17,9           | 1,2                               | 0,35                                      | 41,6                                    | 28,1                             | 12,3       | 2,5           | 2210   |
| II (2)    | małopolskie, podkarpackie   | 4,4   | 138,9   | 31,2                            | 69,9                        | 4,34                       | 44,0              | 15,4        | 39,3           | 2,0                               | 0,29                                      | 38,8                                    | 31,4                             | 5,8        | 0,9           | 1896   |
| III (6)   | łódzkie, mazowieckie, podlaskie, śląskie, świętokrzyskie, wielkopolskie   | 6,9   | 233,8   | 34,0                            | 62,5                        | 9,68                       | 16,1              | 19,6        | 22,4           | 3,4                               | 0,61                                      | 33,1                                    | 17,8                             | 4,5        | 1,3           | 2364   |
|           | <b>Polska</b>   | <b>6,0</b>  | <b>224,6</b>  | <b>37,1</b>                     | <b>67,4</b>                 | <b>10,54</b>               | <b>12,6</b>       | <b>31,3</b> | <b>21,5</b>    | <b>2,4</b>                        | <b>0,50</b>                               | <b>37,6</b>                             | <b>23,1</b>                      | <b>8,3</b> | <b>2,2</b>    | <b>2253</b>  |

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych GUS (20, 21, 23, 24, 29)

Specyfika województw zaliczonych do poszczególnych skupień znajduje odzwierciedlenie w zróżnicowaniu nawozochłonności stanowiącej pochodną stosowanego nawożenia, czyli poziomu intensywności produkcji i uzyskiwanej globalnej produkcji roślinnej (produkcyjności). Porównanie województw zaliczonych do różnych skupień wskazuje, że istotny wpływ na zróżnicowanie nawozochłonności w Polsce mają uwarunkowania produkcyjne i organizacyjno-ekonomiczne, takie jak: struktura obszarowa gospodarstw, struktura produkcji czy intensywność gospodarowania, a także specjalizacja produkcyjna rolnictwa. Analiza potwierdziła znaczący dodatni wpływ na nawozochłonność zarówno produkcji zwierzęcej (obsady zwierząt), jak i udziału roślin towarowych, takich jak pszenica i rzepak w strukturze zasiewów, a ujemny wpływ plonowania zbóż, które dominują w strukturze zasiewów większości województw.

Istniejące zróżnicowanie nawozochłonności produkcji roślinnej jest i powinno być jednym z czynników doskonalenia gospodarki nawozowej, także w kontekście oceny kierunków potencjalnych oddziaływań środowiskowych i możliwości wykorzystania systemów doradztwa nawozowego. Może być zatem przydatne również do oceny wpływu rolnictwa na środowisko, a także prognozowania rozwoju sektora rolno-żywnościowego.

### Podsumowanie

Uwarunkowania produkcyjne i organizacyjno-ekonomiczne decydują o nawozochłonności produkcji roślinnej w Polsce i jej zróżnicowaniu regionalnym. Siła oddziaływania poszczególnych uwarunkowań i ich grup jest zróżnicowana. Regionalne zróżnicowanie nawozochłonności stanowi ważny problem w analizach stanu aktualnego i perspektyw rozwoju polskiego rolnictwa, uwzględniających m.in. założenia Wspólnej Polityki Rolnej na lata 2021–2027, w tym koncepcji *The European Green Deal* (Europejskiego Zielonego Ładu), strategii *Farm to Fork* (od pola do stołu) i bioróżnorodności. Problemy analizy nawozochłonności są w sposób wyraźny powiązane z dążeniami do ograniczenia negatywnego wpływu rolnictwa na środowisko przyrodnicze. Wyniki analiz mogą być również wykorzystane w ocenach racjonalności gospodarowania nawozami.

### Literatura

1. Czuba R., Mazur T.: Wpływ nawożenia na jakość plonów. PWN, Warszawa 1988, ss. 359.
2. Fotyła M., Igras J., Kopieński J., Podyma W.: Ocena zagrożeń nadmiarem azotu pochodzenia rolniczego w Polsce na tle innych krajów europejskich. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2010, **20**: 53-75.
3. Fotyła M., Maćkowiak C.: Program dostosowania koncepcji oraz technik i technologii nawożenia mineralnego oraz organicznego do wymogów ochrony środowiska. Synteza. Program proekologicznego rozwoju wsi, rolnictwa i gospodarki żywnościowej do 2015 roku. Wyd. MRiGŻ, NFOŚiGW, Warszawa 1998, 154-162.

4. J a d c z y s z y n T., K o p i ń s k i J.: Nawożenie azotem w Polsce – aspekt produkcyjny i środowiskowy. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2013, **34(8)**: 125-143.
5. K l e p a c k i B.: Wybrane pojęcia z zakresu organizacji gospodarstw, produkcji i pracy w rolnictwie. SGGW, Warszawa 1997, ss. 148.
6. K o p i ń s k i J.: Bilans azotu brutto – agrośrodowiskowy wskaźnik oddziaływania rolnictwa na środowisko. Opis metodyki, omówienie wyników bilansu na poziomie NUTS-0, NUTS-2. Monografie i Rozprawy Naukowe, IUNG-PIB Puławy, 2017, **55**, ss. 116.
7. K o p i ń s k i J.: Stan aktualny oraz prognoza zmian różnych kierunków produkcji rolniczej w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2018a, **55(9)**: 47-75.
8. K o p i ń s k i J.: Stopień polaryzacji intensywności i efektywności produkcji rolniczej w Polsce w ostatnich 10 latach. Roczniki Naukowe SERiA, 2013, **15(1)**: 97-103.
9. K o p i ń s k i J.: Tendencje zmian intensywności produkcji rolniczej w Polsce w aspekcie oddziaływań środowiskowych. Zeszyty Naukowe SGGW, ser. Probl. Rol. Świat, Warszawa 2011, **11(4)**: 95-104.
10. K o p i ń s k i J.: Zróżnicowanie gospodarki nawozowej azotem w polskim rolnictwie. Polish Journal of Agronomy, IUNG-PIB Puławy, 2018b, **32**: 3-16.
11. K o p i ń s k i J., K r a s o w i c z S.: Regionalne zróżnicowanie warunków produkcji rolniczej w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2010, **22**: 9-29.
12. K o p i ń s k i J., N i e r ó b c a A., O c h a l P.: Ocen wpływu warunków pogodowych i zakwaszenia gleb w Polsce na kształtowanie produktywności roślinnej. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 2013, t. 13, **2(42)**: 53-63.
13. K o p i ń s k i J., W r z a s z c z W.: Gospodarowanie makroskładnikami nawozowymi pochodzenia mineralnego w polskim rolnictwie – wybrane zagadnienia. Management of nutrients from mineral fertilizers in the polish agriculture – selected issues. Polish Journal of Agronomy, IUNG-PIB Puławy, 2020, **43**: 11-25.
14. K o z y r a J., G ó r s k i T.: Wpływ zmian klimatu na uprawę roślin w Polsce. Klimat – Środowisko – Człowiek, Polski Klub Ekologiczny, 2004, s. 41-50.
15. K r a s o w i c z S., G ó r s k i T., B u d z y ń s k a K., K o p i ń s k i J.: Charakterystyka rolnicza obszaru Polski. W: Udział polskiego rolnictwa w emisji związków azotu i fosforu do Bałtyku. Wyd. IUNG-PIB, MIR., 2009, s. 37-104.
16. K r a s o w i c z S., M a t y k a M.: Regionalne zróżnicowanie towarowości polskiego rolnictwa. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2020, **62(16)**: 9-34.
17. M a t y k a M.: Zmiany poziomu i struktury produkcji w polskim rolnictwie. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2018, **55(9)**: 77-97.
18. M i c h a l c z y k J.: Główne przesłanki bezpieczeństwa żywnościowego Polski i próba jego pomiaru. Prace Naukowe UE we Wrocławiu, 2013, **315**: 577-591.
19. M i k u ł a A.: Bezpieczeństwo żywnościowe Polski. Roczniki Naukowe Ekonomii Rolnictwa i Rozwoju Obszarów Wiejskich, 2012, **99(4)**: 39-48.
20. Produkcja upraw rolnych i ogrodniczych (2002–2019), GUS, Warszawa 2003–2020.
21. Rocznik Statystyczny Rolnictwa. GUS, Warszawa, 2003–2020.
22. S t u c z y ń s k i T. (red.): Zestawienie udziału kategorii agronomicznych w pokrywie glebowej Polski. 2008, (materiały niepublikowane).
23. Środki produkcji w rolnictwie w roku gospodarczym 1999/2000...2019/2020. GUS, Warszawa, 2001–2021.
24. Użytkowanie gruntów, powierzchnia zasiewów i pogłowie zwierząt gospodarskich w 2002, ... 2017 roku. GUS, Warszawa, 2003–2020.
25. W r z a s z c z W., K o p i ń s k i J.: Gospodarka nawozowa w Polsce w kontekście zrównoważonego rozwoju rolnictwa. Studia i Monografie, IERiGŻ-PIB, 2019, **178**, ss. 145.
26. Zbiorowa: Ekspertyza (I etap) dla MRiRW pt. Analiza sposobu wdrożenia norm dobrej kultury rolnej zgodnej z ochroną środowiska (DKR, ang. GAEC. IUNG-PIB, Puławy 2019, ss. 132. (materiały niepublikowane).
27. Z e g a r J.S.: Konkurencyjność celów ekologicznych i ekonomicznych w rolnictwie, PW 2011–2014, IERiGŻ-PIB, Warszawa 2013, **93**: 28-44.

- 
28. Zięta W.: Wewnętrzne uwarunkowania rozwoju polskiego rolnictwa. Roczniki Nauk Rolniczych, Seria G, 2008, **94(2)**: 80-94.
29. Zwierzęta gospodarskie w 2014. 2019 roku. GUS, Warszawa 2014–2020.
- 

Adres do korespondencji:

*dr hab. Jerzy Kopiński, prof. dr hab. Stanisław Krasowicz*  
*Zakład Systemów i Ekonomiki Produkcji Roślinnej*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8*  
*24-100 Puławy*  
*tel. (81) 4786 821*  
*e-mail: jkop@iung.pulawy.pl; sk@iung.pulawy.pl*

---

| AUTOR               | ORCID               |
|---------------------|---------------------|
| Jerzy Kopiński      | 0000-0002-2887-4143 |
| Stanisław Krasowicz | 0000-0002-3949-1444 |



**Zuzanna Jarosz, Antoni Faber**

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

## WPLYW ZMIAN W METODYCE SZACOWANIA NA EMISJĘ PODTLENKU AZOTU Z PRODUKCJI ROLNICZEJ\*

**Słowa kluczowe:** emisja, podtlenek azotu, wytyczne IPCC, produkcja rolnicza

---

### Wstęp

Polska, ratyfikując Ramową konwencję Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (UNFCCC) w 1994 r. oraz Protokół z Kioto w 2002 r., włączyła się w międzynarodowe działania mające na celu zapobieganie zmianom klimatu i ograniczanie emisji gazów cieplarnianych (GHG). W ramach rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej 662/3014 z dnia 15 maja 2014 r. zobowiązani jesteśmy do raportowania rocznych krajowych emisji gazów cieplarnianych (14). Za opracowanie i raportowanie emisji GHG w naszym kraju odpowiada Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE).

Zgodnie z wytycznymi przyjętymi decyzją 24/CP.19 (3), w celu zachowania spójności, szacowanie wielkości emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych odbywa się na podstawie metodyki 2006 IPCC *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (6). Inwentaryzacja emisji i pochłaniania GHG obejmuje wiele gazów, a wśród nich: dwutlenek węgla, metan i podtlenek azotu, których źródłem emisji jest między innymi sektor rolny. Rokiem bazowym we wdrażaniu zobowiązań dla ww. gazów jest 1988 r. Coroczne raporty obejmują więc szacunki (emisje, wskaźniki) dla całego trendu od 1988 r. do roku n-2 (gdzie n jest rokiem przekazania raportu) oraz opisy wyników inwentaryzacji i zastosowaną metodykę. Od 2012 r. corocznie wykonywane są przeglądy inwentaryzacji emisji GHG raportowanych przez państwa członkowskie i sprawdzane jest wdrażanie zaleceń.

---

\*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.1 pt. „Nawożenie użytków rolnych” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2021 r.



W grudniu 2015 r. podczas konferencji klimatycznej w Paryżu (COP21) przyjęto tzw. porozumienie paryskie. Zgodnie z porozumieniem, w ramach polityki klimatyczno-energetycznej do 2030 r., Unia Europejska zobowiązała się do redukcji emisji gazów cieplarnianych o co najmniej 40% w stosunku do 1990 r.

Ograniczenie to jest realizowane za pomocą:

- unijnego systemu handlu uprawnieniami do emisji – redukcja emisji o 43% do 2030 r. w porównaniu z 2005 r. (4);
- rozporządzenia w sprawie wiążących rocznych redukcji gazów cieplarnianych przez państwa członkowskie (*Effort Sharing Regulation* – ESR) – redukcja emisji o 30% do 2030 r. w stosunku do 2005 r.; dla Polski redukcja wyniesie 7% (16);
- rozporządzenia w sprawie włączenia emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych w wyniku użytkowania gruntów, zmiany użytkowania gruntów i leśnictwa do ram polityki klimatyczno-energetycznej do 2030 r. – gwarancji, że emisje nie przewyższą pochłaniania w sektorze LULUCF – zasada „no debit” (15).

W maju 2019 r. przyjęte zostały nowe wytyczne aktualizujące metodykę IPCC dla inwentaryzacji GHG (8). Zaktualizowana metodologia IPCC opiera się na najnowszych osiągnięciach naukowych. Zawiera również zaktualizowane wartości niektórych współczynników emisji wykorzystywanych do powiązania emisji gazu cieplarnianego dla określonego źródła z aktywnością powodującą emisję. Zgodnie z 5 raportem IPCC oceniającym zmiany klimatu (tzw. AR5) zmianie ulegają także współczynniki ocieplenia globalnego (Global Warming Potential – GWP) (7). Współczynniki GWP dla podtlenku azotu zmniejszyły się z 298 do 265. Należy zatem sądzić, że emisje w sektorze rolnictwa zmieniają się w przyszłym raportowaniu zarówno z powodu zastosowania nowszych wytycznych metodycznych IPCC, jak i w wyniku przeliczenia emisji podtlenku azotu po innym współczynniku GWP.

Celem opracowania było przedstawienie zmian w metodyce szacowania emisji podtlenku azotu oraz wykazanie wpływu nowych wytycznych na wielkość emisji tego gazu z produkcji rolniczej.

### **Zmiany w metodyce szacowania emisji podtlenku azotu**

Całkowita emisja podtlenku azotu w Polsce w 2018 r. wyniosła 74,18 kt. Głównym źródłem tej emisji jest sektor rolny, którego udział wyniósł 79,6% (59,02 kt), z czego 69,5% (51,57 kt) stanowiła emisja z gleb rolnych, 10% (7,42 kt) związane było z odchodami zwierzęcymi, a 0,1% (0,04 kt) ze spalaniem resztek poźniwnych (11).

Podtlenek azotu emitowany jest z gleby wskutek zachodzących procesów nityfikacji i denityfikacji. Procesy te zależą od aktywności mikroorganizmów glebowych oraz temperatury i wilgotności gleby (2). Na wielkość emisji  $N_2O$  istotny wpływ wywiera ilość wnoszonego do gleby azotu (stosowanie nawozów mineralnych i organicznych, odchody zwierząt gospodarskich pozostawiane na pastwiskach, resztki poźniwne) oraz

zmiana sposobu użytkowania gruntów (praktyk gospodarowania). Niewykorzystany przez rośliny azot ulega przemianom generującym jego straty na drodze utleniania, wymywania i spływów powierzchniowych.

W obliczeniach całkowitej emisji  $N_2O$  z rolnictwa uwzględnia się bezpośrednią i pośrednią emisję tego gazu. Do obliczania emisji bezpośredniej podtlenku azotu z gleb rolnych stosuje się równanie (10):

$$N_2O_{\text{Direct}}-N = (F_{\text{SN}} + F_{\text{ON}} + F_{\text{CR}} + F_{\text{SOM}})EF_1 + F_{\text{OS}} \times EF_2 + F_{\text{PRP}} \times EF_{3\text{PRP}}$$

gdzie:

$N_2O_{\text{Direct}}-N$  – roczna bezpośrednia emisja  $N_2O-N$  z użytkowanych gleb rolnych (kg  $N_2O-N \cdot \text{rok}^{-1}$ );

$F_{\text{SN}}$  – roczne zużycie nawozów mineralnych (kg  $N \cdot \text{rok}^{-1}$ );

$F_{\text{ON}}$  – roczna ilość nawozu naturalnego, kompostu, osadów ściekowych i innych organicznych dodatków N zastosowanych na gleby (kg  $N \cdot \text{rok}^{-1}$ );

$F_{\text{CR}}$  – roczna ilość N w resztkach roślinnych (nad- i podziemnych), łącznie z roślinami bobowatymi, oraz z odnawiania łąk i pastwisk, zwrócona do gleby (kg  $N \cdot \text{rok}^{-1}$ );

$F_{\text{SOM}}$  – roczna ilość N w glebach mineralnych, która uległa mineralizacji w związku ze stratami węgla z substancji organicznej w glebie w wyniku zmian użytkowania gruntów (kg  $N \cdot \text{rok}^{-1}$ );

$F_{\text{OS}}$  – roczna powierzchnia użytkowanych/osuszanych gleb organicznych (ha);

$F_{\text{PRP}}$  – roczna ilość N w odchodach pozostawionych przez pasące się zwierzęta na pastwiskach i wygonach (kg  $N \cdot \text{rok}^{-1}$ );

$EF_1$  – wskaźnik emisji bezpośredniej  $N_2O$  z gleb (kg  $N_2O-N \cdot \text{kg}^{-1} N$ );

$EF_2$  – wskaźnik emisji  $N_2O$  z użytkowanych/osuszanych gleb organicznych (kg  $N_2O-N \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ );

$EF_{3\text{PRP}}$  – wskaźnik emisji  $N_2O$  z N w odchodach zwierząt pozostawionych na pastwiskach i wygonach (kg  $N_2O-N \cdot \text{kg}^{-1} N$ ).

W wytycznych IPCC 2019b (10) równanie to nie zostało zmienione, ale zaktualizowano wskaźniki emisji  $N_2O$  wykorzystywane w obliczeniach. Według IPCC 2006 szacunkowa wielkość emisji z nawozów mineralnych i naturalnych rośnie liniowo wraz z dawką, stanowiąc 1% wprowadzonego N w nawozach (6). Biorąc jednak pod uwagę rosnącą liczbę badań naukowych podkreślających rolę klimatu i typ nawozu (1, 13), w nowych założeniach metodycznych zmodyfikowano wskaźniki (tab. 1). W klimacie umiarkowanym chłodnym i wilgotnym (do takiej strefy została zaliczona Polska) wartość wskaźnika  $EF_1$  została ustalona na poziomie 16% dla wnoszonych nawozów mineralnych oraz 0,6% dla nawozów organicznych. Zwiększeniu uległ także wskaźnik emisji podtlenku azotu z N w odchodach zwierząt pozostawionych na pastwiskach i wygonach (tab. 1).

Tabela 1

Wskaźniki emisji N<sub>2</sub>O stosowane w szacowaniu emisji bezpośredniej

| Wskaźniki emisji N <sub>2</sub> O | IPCC 2006   | IPCC 2019b  |
|-----------------------------------|---|---|
| EF <sub>1</sub>                   | 0,01 kg N <sub>2</sub> O-N·kg <sup>-1</sup> N   | nawozy mineralne – 0,016 kg N <sub>2</sub> O-N·kg <sup>-1</sup> N<br>inne ładunki N – 0,006 kg N <sub>2</sub> O-N·kg <sup>-1</sup> N                  |
| EF <sub>2</sub>                   | 8 kg N <sub>2</sub> O-N·ha <sup>-1</sup> ·rok <sup>-1</sup>   | brak wskaźnika,<br>przyjęto – 8 kg N <sub>2</sub> O-N·ha <sup>-1</sup> ·rok <sup>-1</sup>   |
| EF <sub>3PRP</sub>                | 0,02 kg N <sub>2</sub> O-N·kg <sup>-1</sup> N<br>dla bydła, świń i drobiu<br>0,01 kg N <sub>2</sub> O-N·kg <sup>-1</sup> N<br>dla kóz, owiec i koni | 0,006 kg N <sub>2</sub> O-N·kg <sup>-1</sup> N<br>dla bydła, świń i drobiu<br>0,003 kg N <sub>2</sub> O-N·kg <sup>-1</sup> N<br>dla kóz, owiec i koni |

Źródło: opracowano na podstawie IPCC, 2019b (10)

Jedynym równaniem zaktualizowanym w szacowaniu bezpośredniej emisji N<sub>2</sub>O z użytkowania gleb jest wzór cząstkowy dotyczący obliczania ilości azotu związanego z pozostałościami resztek roślinnych (nad- i podziemnych) z roślin uprawnych oraz z odnawiania łąk i pastwisk (F<sub>CR</sub>):

$$F_{CR} = \sum_T \{ (AGR_{(T)} \times N_{AG(T)} \times (1 - \text{Frac}_{\text{Remove}(T)} - (\text{Frac}_{\text{Burnt}(T)} \times C_f))) + BGR_{(T)} \times N_{BG(T)} \}$$

$$AGR_{(T)} = AG_{DM(T)} \times \text{Area}_{(T)} \times \text{Frac}_{\text{Renew}}$$

$$BGR_{(T)} = (\text{Crop}(T) + AG_{DM(T)}) \times RS_{(T)} \times \text{Area}_{(T)} \times \text{Frac}_{\text{Renew}(T)}$$

$$AG_{DM(T)} = \text{Crop}_{(T)} \times R_{AG(T)}$$

gdzie:

F<sub>CR</sub> – roczna ilość N w resztkach roślinnych pozostałych w glebie (nad- i podziemnych), łącznie z roślinami bobowatymi oraz odnowieniami łąk i pastwisk, zwróconego do gleb rocznie (kg N·rok<sup>-1</sup>);

AGR<sub>(T)</sub> – roczna ilość nadziemnych resztek roślinnych dla uprawy T (kg s.m.·rok<sup>-1</sup>);

N<sub>AG(T)</sub> – zawartość N w resztkach nadziemnych uprawy T (kg N·kg<sup>-1</sup> s.m.);

Frac<sub>Remove(T)</sub> – ułamek nadziemnych resztek roślinnych uprawy T usuniętych rocznie z pola na potrzeby paszowe, ścióły, budownictwa;

Frac<sub>Burnt(T)</sub> – ułamek spalonych rocznie resztek roślinnych danej uprawy T;

C<sub>f</sub> – współczynnik spalania;

BGR<sub>(T)</sub> – roczna ilość podziemnych resztek uprawy T (kg s.m.·rok<sup>-1</sup>);

N<sub>BG(T)</sub> – zawartość N w resztkach podziemnych uprawy T (kg N·kg<sup>-1</sup> s.m.);

AG<sub>DM(T)</sub> – ilość nadziemnych resztek roślinnych w suchej masie (kg s.m.·ha<sup>-1</sup>);

Crop<sub>(T)</sub> – roczna wielkość zbiorów danej uprawy T w suchej masie (kg s.m.·ha<sup>-1</sup>);

R<sub>AG(T)</sub> – stosunek resztek nadziemnych w suchej masie (AG<sub>DM(T)</sub>) do plonu uprawy T (Crop<sub>(T)</sub>) (kg s.m.·ha<sup>-1</sup>/kg s.m.·ha<sup>-1</sup>);

Area<sub>(T)</sub> – roczna powierzchnia uprawy T (ha·rok<sup>-1</sup>);

Frac<sub>Renew(T)</sub> – ułamek całkowitej powierzchni pod uprawą T odnawianą corocznie; dla krajów gdzie pastwiska są odnawiane co X lat, Frac<sub>Renew</sub> = 1/X;

RS<sub>(T)</sub> – stosunek biomasy podziemnej do biomasy nadziemnej dla uprawy T (kg s.m.·ha<sup>-1</sup>);

T – typ uprawy.

W nowych wytycznych również wzory do szacowania emisji pośredniej podtlenku azotu z gleb nie uległy zmianie w stosunku do wytycznych IPCC 2006 (6). Zaktualizowane zostały natomiast wskaźniki wykorzystywane w obliczeniach (tab. 2). Wzrósł wskaźnik emisji  $EF_4$  z depozycji azotu utleniającego się z pól w formie  $NO_x$  i  $NH_3$  oraz wskaźnik emisji  $EF_5$  z azotu traconego w wyniku wymywania i spływu powierzchniowego. Obniżono udział całkowitych strat azotu z powodu wymywania i spływów powierzchniowych (tab. 2).

Tabela 2

Wskaźniki emisji  $N_2O$  stosowane w szacowaniu emisji pośredniej

| Wskaźniki emisji $N_2O$  | IPCC 2006  | IPCC 2019b  |
|--|--|---|
| $EF_4$   | 0,01 kg $N_2O$ -N/kg $NH_3$ -N + $NO_x$ -N ulotniony | 0,014 kg $N_2O$ -N/kg $NH_3$ -N + $NO_x$ -N ulotniony |
| $EF_5$   | 0,0075 kg $N_2O$ -N/kg N wypłukany/odpływ            | 0,011 kg $N_2O$ -N/kg N wypłukany/odpływ              |
| $Frac_{GASF}$<br>(ulatnianie z nawozów mineralnych)  | 0,10 kg $NH_3$ -N + $NO_x$ -N·kg <sup>-1</sup> N     | 0,11 $NH_3$ -N + $NO_x$ -N·kg <sup>-1</sup> N         |
| $Frac_{GASM}$<br>(ulatnianie z nawozów organicznych oraz odchodów pozostawionych na pastwiskach) | 0,20 $NH_3$ -N + $NO_x$ -N·kg <sup>-1</sup> N        | 0,21 $NH_3$ -N + $NO_x$ -N·kg <sup>-1</sup> N         |
| $Frac_{LEACH(H)}$<br>(straty N z wymywania/odpływu)  | 0,30 kg N·kg <sup>-1</sup> N                         | 0,24 kg N·kg <sup>-1</sup> N                          |

Źródło: opracowano na podstawie IPCC, 2019b (10)

Istotnym źródłem emisji podtlenku azotu są także odchody zwierząt gospodarskich. Nawozy naturalne z jednej strony stanowią cenne źródło substancji organicznej, z drugiej zaś mogą stwarzać problemy środowiskowe. Odchody zwierząt inwentarskich zawierają przeważnie kilkanaście procent materii organicznej, w której zawartość Corg. oscyluje w granicach 40%, a azotu ogólnego wynosi około 5%. Równoczesne wprowadzenie do gleby łatwo dostępnego azotu i węgla zawartego w odchodach wzmaga procesy denitryfikacji, a tym samym emisje  $N_2O$ . Beztlenowy proces denitryfikacji powoduje, że azotyny i azotany są przekształcane do  $N_2O$  i  $N_2$ . Nasila się również wymywanie azotanów oraz utlenianie amoniaku, tj. powstawanie emisji pośrednich podtlenku azotu.

Szacowanie bezpośredniej emisji  $N_2O$  z odchodów zwierzęcych odbywa się według równania (9):

$$N_2O_{D(mm)} = \left( \sum_S \left( \sum_{T,P} (N_{(T,P)} \times Nex_{(T,P)} \times AWMS_{(T,S,P)} + N_{cdg(s)}) \times EF_{3(s)} \right) \right) \times \frac{44}{28}$$

gdzie:

$N_2O_{D(mm)}$  – bezpośrednia emisja  $N_2O$  z gospodarki odchodami ( $kg N_2O \cdot rok^{-1}$ );

$N_{(T,P)}$  – pogłowie zwierząt dla gatunku/kategorii zwierząt T w systemie produkcyjnym P;

$Nex_{(T,P)}$  – średnia roczna wielkość azotu wydalanego przez gatunek/kategorię zwierząt T w systemie produkcyjnym P ( $kg N \cdot szt^{-1} \cdot rok^{-1}$ );

$AWMS_{(T,S,P)}$  – udział systemu utrzymania zwierząt dla danego VS dla gatunku/kategorii zwierząt T oraz systemu utrzymania zwierząt S w systemie produkcyjnym P;

$N_{cdg(s)}$  – ilość N we wsadzie podlegająca współfermentacji w biogazowniach ( $kg N \cdot rok^{-1}$ );

$EF_{3(s)}$  – wskaźnik bezpośredniej emisji  $N_2O$  dla systemu utrzymania zwierząt S ( $kg N_2O \cdot N^{-1} \cdot kg^{-1} N$ );

S – system utrzymania zwierząt;

T – gatunek/kategoria zwierząt;

P – wysoko- lub niskoprodukcyjny system stosowany w zaawansowanej metodzie Tier 1a;

44/28 – współczynnik przeliczeniowy emisji ( $N_2O$ -N) na emisję  $N_2O$ .

Badania wykazały, że w wielu rejonach Polski występuje duży potencjał surowcowy do produkcji biogazu rolniczego (5). Znaczne ilości odchodów produkują farmy wielkotowarowe, które często nie posiadają żadnych gruntów, na których odchody mogłyby być zagospodarowane. Coraz częściej odchody te są wykorzystywane w procesie fermentacji do produkcji biogazu. Dlatego też należy zwrócić uwagę, że ww. równanie zostało uzupełnione o ilość azotu, która podlega procesom współfermentacji w biogazowniach ( $N_{cdg(s)}$ ). W przypadku braku informacji o ilości azotu z odchodów przetwarzanych w biogazowniach przyjmuje się, że całość nawozów naturalnych jest stosowana na polach.

Porównując wskaźniki emisji  $N_2O$  dla różnych systemów utrzymania zwierząt ( $EF_3$ ), stwierdzono jedynie różnicę dla przyz obornika. Wartość wskaźnika według nowych wytycznych IPCC 2019a jest dwukrotnie wyższa (tab. 3).

Tabela 3

Wskaźniki emisji bezpośredniej  $N_2O$  z gospodarki odchodami zwierząt według systemów utrzymania

| Systemy utrzymania zwierząt                        | $EF_3$<br>wskaźnik emisji ( $kg N_2O \cdot N^{-1} \cdot kg^{-1} N$ ) |            |
|--|--|------------|
|  | IPCC 2006  | IPCC 2019a |
| Płynny/gnojowica z naturalnym kożuchem/przykryciem | 0,005  | 0,005      |
| Płynny/gnojowica bez naturalnego kożucha           | 0  | 0          |
| Przemy obornika                                    | 0,005  | 0,010      |
| Zbiornik na odchody pod pomieszczeniem zwierząt    | 0,002  | 0,002      |
| Drób – odchody ze ściółą i bez                     | 0,001  | 0,001      |

Źródło: opracowano na podstawie IPCC, 2019a (9)

Taką samą modyfikację wprowadzono we wzorach wykorzystywanych do obliczania emisji pośredniej  $N_2O$  z odchodów zwierzęcych. Ponadto w szacunkach emisji pośredniej podtlenku azotu według nowych wytycznych uwzględniono straty azotu w formie  $N_2$  w wyniku denitryfikacji.

Straty azotu określa się więc na podstawie zaktualizowanego wzoru (9):

$$N_{MMSAvb} = \sum S \{ \sum (T) ( (N_{(T)} \times Nex_{(T)} \times AWMS_{(T,S)} + N_{cdg}) \times (1 - \text{Frac}_{\text{LossMS}(T,S)}) + (N_{(T)} \times AWMS_{(T,S)} \times N_{\text{beddingMS}(T,S)}) \}$$

gdzie:

$N_{MMSAvb}$  – ilość N w nawozach naturalnych dostępna do zastosowania na glebach lub na paszę, paliwo lub do budownictwa ( $\text{kg N} \cdot \text{rok}^{-1}$ );

$N_{(T)}$  – pogłowie zwierząt dla gatunku/kategorii zwierząt T w systemie produkcyjnym P;

$Nex_{(T)}$  – średnia roczna wielkość azotu wydalanego przez gatunek/kategorię zwierząt T w systemie produkcyjnym P ( $\text{kg N} \cdot \text{szt.}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ );

$AWMS_{(T,S)}$  – udział systemu utrzymania zwierząt dla danego VS dla gatunku/kategorii zwierząt T oraz systemu utrzymania zwierząt S w systemie produkcyjnym P;

$\text{Frac}_{\text{LossMS}(T,S)}$  – ułamek N z odchodów dla gatunku/kategorii zwierząt T oraz systemu utrzymania zwierząt S;

$N_{\text{beddingMS}(T,S)}$  – ilość N pochodzącego ze ściółkowania pomieszczeń dla zwierząt ( $\text{kg N} \cdot \text{szt.}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ );

$N_{\text{cdg}}$  – ilość N we wsadzie do biogazowni, tj. odpadów spożywczych lub roślin uprawnych ( $\text{kg N} \cdot \text{rok}^{-1}$ );

S – system utrzymania zwierząt;

T – gatunek/kategoria zwierząt.

Aktualizacja ww. równania spowodowała wprowadzenie dwóch dodatkowych wzorów do obliczeń. Równanie do obliczania strat azotu w różnych formach (9):

$$\text{FRAC}_{\text{LossMS}(T,S)} = \text{FRAC}_{\text{GASMS}(T,S)} + \text{FRAC}_{\text{LEACHMS}(T,S)} + \text{FRAC}_{\text{N}_2\text{MS}(S)} + \text{EF}_{3(S)}$$

gdzie:

$\text{FRAC}_{\text{LossMS}(T,S)}$  – całkowity ułamek N w odchodach zwierzęcych dla gatunku/kategorii zwierząt T w systemie utrzymania S;

$\text{FRAC}_{\text{GASMS}(T,S)}$  – ułamek N w odchodach dla gatunku/kategorii zwierząt T utracony przez ułatnianie się jako  $\text{NH}_3$  lub  $\text{NO}_x$  w systemie utrzymania S;

$\text{FRAC}_{\text{LEACHMS}(T,S)}$  – ułamek N w odchodach dla gatunku/kategorii zwierząt T utracony przez wymywanie i odpływ w systemie utrzymania S;

$\text{FRAC}_{\text{N}_2\text{MS}(S)}$  – ułamek N w odchodach utracony jako  $\text{N}_2$  w systemie utrzymania S;

$\text{EF}_{3(S)}$  – wskaźnik bezpośredniej emisji  $\text{N}_2O$  w systemie utrzymania S.

Równanie do obliczania strat azotu w formie  $\text{N}_2$  (9):

$$\text{FRAC}_{\text{N}_2\text{MS}(S)} = R_{\text{N}_2(\text{N}_2O)} \times \text{EF}_{3(S)}$$

gdzie:

$\text{FRAC}_{\text{N}_2\text{MS}(S)}$  – ułamek N w odchodach utracony jako  $\text{N}_2$  w systemie utrzymania S;

$\text{EF}_{3(S)}$  – wskaźnik bezpośredniej emisji  $\text{N}_2O$  w systemie utrzymania S ( $\text{kg N}_2O\text{-N} \cdot \text{kg}^{-1} \text{N}$ );

$R_{\text{N}_2(\text{N}_2O)}$  – stosunek emisji  $\text{N}_2:\text{N}_2O$ ; domyślna wartość wynosi  $3 \text{ kg N}_2\text{-N} \cdot \text{kg}^{-1} \text{N}_2O\text{-N}$ .

Niewielkie ilości podtlenu azotu uwalniane są podczas spalania resztek poźniwnych. Ocena emisji ze spalania resztek poźniwnych nie została zmieniona. Emisja podtlenu azotu jest nieznaczna i wynosi 0,04 kt  $N_2O$ .

W szacunkach emisji podtlenu azotu z produkcji rolnej wykorzystuje się podstawowe dane z krajowej statystyki publicznej GUS (zużycie nawozów mineralnych, zbiory, plony, powierzchnia upraw, pogłowie zwierząt gospodarskich). W obliczeniach (w miarę możliwości) stosuje się własne parametry i wskaźniki, które pochodzą z opracowań krajowych lub uzgodnień z ekspertami wspomagającymi prace w tym zakresie (11, 12). W przypadku ich braku, wykorzystywane są dane literaturowe lub domyślne współczynniki IPCC.

### Wpływ wdrożenia proponowanych zmian na wyniki emisji podtlenu azotu

Emisję podtlenu azotu z produkcji rolnej w 2018 r., oszacowaną zgodnie z nowymi wytycznymi IPCC 2019a i 2019b (9, 10), porównano z wynikami obliczonymi według metodyki IPCC 2006 (6) i prezentowanymi w raporcie NIR 2020. Emisja  $N_2O$  z gleb rolnych obliczona według nowych proponowanych wytycznych IPCC 2019a i 2019b (9, 10) wyniosła 59,08 kt  $N_2O$  i w porównaniu z dotychczasowym szacunkiem na poziomie 51,57 kt  $N_2O$  wzrosła o 7,51 kt (14,6%). W całkowitej emisji podtlenu azotu z gleb rolnych 47,82 kt  $N_2O$  stanowiła emisja bezpośrednia, a 11,26 kt  $N_2O$  – emisja pośrednia (tab. 4). Szacunki wykazały wzrost emisji bezpośredniej o 14,2% i pośredniej o 16,0%, w porównaniu z wielkością emisji obliczoną według IPCC 2006 (6). Powodem tych wzrostów jest zastosowanie wyższych wartości wskaźników emisji  $N_2O$  ze stosowania nawozów, zwłaszcza mineralnych, które są głównym źródłem emisji  $N_2O$  z gleb rolnych (tab. 1).

Tabela 4

Emisja podtlenu azotu dla roku 2018 na podstawie metodyk IPCC 2006 (6) oraz IPCC 2019a i 2019b (9, 10)

| 2018<br>(kt)                | $N_2O$    |                    |
|-----------------------------|-----------|--------------------|
|                             | IPCC 2006 | IPCC 2019a i 2019b |
| Rolnictwo łącznie           | 59,02     | 69,00              |
| Gleby rolne                 | 51,57     | 59,08              |
| – emisja bezpośrednia       | 41,86     | 47,82              |
| – emisja pośrednia          | 9,71      | 11,26              |
| Nawozy organiczne           | 7,41      | 9,88               |
| – emisja bezpośrednia       | 3,51      | 6,57               |
| – emisja pośrednia          | 3,90      | 3,31               |
| Spalanie resztek roślinnych | 0,04      | 0,04               |

Źródło: opracowano na podstawie IPCC, 2006 (6), IPCC, 2019a i 2019b (9 i 10)

Podobną sytuację stwierdzono w szacunkach emisji podtlenku azotu z nawozów organicznych. Wartość wskaźnika emisji  $N_2O$  z przym obornika wzrosła dwukrotnie (tab. 3). Zmiana ta spowodowała wzrost emisji bezpośredniej z nawozów organicznych z poziomu 3,51 kt do 6,57 kt  $N_2O$ , czyli o 87,2%. Natomiast zastosowanie zaktualizowanych wzorów do obliczania emisji pośredniej z odchodów wpłynęło na obniżenie emisji o 15,4% (z 3,90 do 3,31 kt), ale nie wywołało istotnego wpływu na wielkość całkowitej emisji podtlenku azotu z nawozów organicznych. Emisja  $N_2O$  z gospodarki odchodami wyniosła 9,88 kt  $N_2O$  i była o 33,3% wyższa w porównaniu z wielkością 7,41 kt oszacowaną według metodyki IPCC 2006. Całkowita emisja podtlenku azotu z sektora rolnego wyniosła 69,0 kt, a więc wzrosła o 16,9% w stosunku do 59,02 kt  $N_2O$ . Zmiana w metodyce szacowania wpłynęła na zmianę udziału poszczególnych źródeł emisji  $N_2O$  w całkowitej emisji z rolnictwa. Udział emisji z gleb rolnych zmalał z 87,4 do 85,6%. Natomiast udział emisji  $N_2O$  z nawozów organicznych wzrósł z 12,5 do 14,3%.

Jak wspomniano, w piątym raporcie IPCC (AR5) (7) zaproponowano zmianę wielkości wskaźników globalnego ocieplenia (GWP). Z definicji GWP jest to wskaźnik służący do ilościowej oceny wpływu danej substancji na efekt cieplarniany. Porównuje ilość ciepła zatrzymanego przez określoną masę gazu do ilości ciepła zatrzymanego przez podobną masę dwutlenku węgla. GWP jest przeliczany dla określonego przedziału czasu, zwykle 20, 100 lub 500 lat. GWP dla dwutlenku węgla wynosi 1. W dotychczasowej metodyce wskaźnik GWP do przeliczania podtlenku azotu na ekwiwalent  $CO_2$  przyjmowany był na poziomie 298. Według nowej propozycji jego wielkość została obniżona do 265 (7).

Szacunki emisji podtlenku azotu zaprezentowane w tabeli 4 przeliczono na ekwiwalent  $CO_2$  z obecnie stosowanym wskaźnikiem  $GWP = 298$  oraz z proponowanym  $GWP = 265$  i zaprezentowano w tabeli 5.

Tabela 5  
Emisja podtlenku azotu dla 2018 r. oszacowana na podstawie metodyk IPCC 2006 (6), IPCC 2019a i 2019b (9, 10) oraz z uwzględnieniem potencjałów GWP

| kt ekw. $CO_2$              | IPCC 2006<br>GWP = 298 | IPCC 2019a i 2019b<br>GWP = 298 | IPCC 2019a i 2019b<br>GWP = 265 |
|-----------------------------|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Rolnictwo łącznie           | 17589,0                | 20562,0                         | 18285,0                         |
| Gleby rolne                 | 15367,9                | 17605,8                         | 15656,2                         |
| – emisja bezpośrednia       | 12474,3                | 14250,4                         | 12672,3                         |
| – emisja pośrednia          | 2893,6                 | 3355,5                          | 2983,9                          |
| Nawozy organiczne           | 2208,2                 | 2944,2                          | 2618,2                          |
| – emisja bezpośrednia       | 1046,0                 | 1957,9                          | 1741,1                          |
| – emisja pośrednia          | 1162,2                 | 986,4                           | 877,2                           |
| Spalanie resztek roślinnych | 11,9                   | 11,9                            | 10,6                            |

Źródło: opracowano na podstawie IPCC, 2006 (6), IPCC, 2019a i 2019b (9 i 10)



Przedstawione wyniki wskazują, że zastosowanie nowego wskaźnika GWP = 265 spowodowało obniżenie szacunków emisji N<sub>2</sub>O według nowej metodyki IPCC 2019a i 2019b (9, 10) o 11,1%.

### Podsumowanie

Wdrożenie nowej metodyki IPCC 2019a i 2019b (9, 10) do szacowania podtlenku azotu z produkcji rolniczej spowodowało wzrost emisji o 16,9% dla całego sektora rolnego, o 14,6% z użytkowania gleb rolnych i o 33,3% z gospodarowania odchodami. Wprawdzie zastosowanie nowego wskaźnika GWP = 265 wpłynęło na zmniejszenie emisji oszacowanych zgodnie z metodyką IPCC 2019a i 2019b (9, 10), to jednak były one większe w porównaniu z szacunkami wykonanymi według obecnie stosowanej metodyki IPCC 2006 (6). Przeprowadzona analiza wykazała, że zmiana metodyki szacowania może zwiększyć wartości inwentaryzowanej emisji podtlenku azotu. Dążąc zatem do ograniczenia emisji i spełnienia wymogów, należy podejmować jeszcze intensywniejsze działania wpływające na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych.

### Literatura

1. Aguilera E., Lassaletta L., Sanz-Cobena A., Garnier J. & Vallejo A.: The potential of organic fertilizers and water management to reduce N<sub>2</sub>O emissions in Mediterranean climate cropping systems. A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2013, **164**: 32-52.
2. Butterbach-Bahl K., Baggs E. M., Dannenmann M., Kiese R., Zechmeister-Boltenstern S.: Nitrous oxide emissions from soils: How well do we understand the processes and their controls? *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 2013, **368**: 20130122.
3. Decyzja Komisji UE z dnia 10 sierpnia 2017 r. zmieniająca decyzję 2013/162/UE w celu skorygowania rocznych limitów emisji państw członkowskich na okres od 2017 r. do 2020 r. Dz.U.L. 209/53 z 12.08.2017.
4. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady UE z dnia 14 marca 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2003/87/WE w celu wzmocnienia efektywnych pod względem kosztów redukcji emisji oraz inwestycji niskoemisyjnych oraz decyzję (UE) 2015/1814. Dz.U.L. 76/3 z 19.03.2018.
5. Golaś P.: Gospodarstwa rolne jako producenci substratów do produkcji biogazu rolniczego. *Annals PAAAE*, 2014, **16(6)**: 132-136.
6. IPCC, 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Institute for Global Environmental Strategies.
7. IPCC, 2014. AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.
8. IPPC, 2019. <https://www.ipcc.ch/2019/05/13/ipcc-2019-refinement/>.
9. IPCC, 2019a. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 10: EMISSIONS FROM LIVESTOCK AND MANURE MANAGEMENT. [https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4\\_Volume4/19r\\_V4\\_Ch10\\_Livestock.pdf](https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19r_V4_Ch10_Livestock.pdf)
10. IPCC, 2019b. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 11: N<sub>2</sub>O EMISSIONS FROM MANAGED SOILS, AND CO<sub>2</sub> EMISSIONS FROM LIME AND UREA APPLICATION [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4\\_Volume4/19r\\_V4\\_Ch11\\_Soils\\_N2O\\_CO2.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19r_V4_Ch11_Soils_N2O_CO2.pdf)
11. NIR 2020 PL. Krajowy Raport Inwentaryzacyjny 2020. Inwentaryzacja gazów cieplarnianych dla lat 1988–2018. Raport syntetyczny wykonany na potrzeby Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu oraz Protokołu z Kioto. KOBIZE IOŚ-PIB. Warszawa 2020.

12. Olecka A., Kargulewicz I., Skośkie wicz J.: Oszacowanie wpływu zastosowania wytycznych IPCC 2019 Refinement na emisję GHG w sektorze rolnictwa w Polsce. IOS-PIB. Warszawa 2020.
13. Rochette P., Liang B.C., Pelster D., Bergeron O., Lemke R., Kroebel R., MacDonald D., Yan W. & Fleming C.: Soil nitrous oxide emissions from agricultural soils in Canada: exploring relationships with soil, crop and climatic variables. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2018, **254**: 69-81.
14. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z dnia 15 maja 2014 r. zmieniające rozporządzenie (UE) nr 525/2013 w odniesieniu do technicznego wykonania Protokołu z Kioto do Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu. Dz.U.L 189/155 z 27.06.2014.
15. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z dnia 30 maja 2018 r. w sprawie włączenia emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych w wyniku działalności związanej z użytkowaniem gruntów, zmianą użytkowania gruntów i leśnictwem do ram polityki klimatyczno-energetycznej do roku 2030 i zmieniające rozporządzenie (UE) nr 525/2013 oraz decyzję nr 529/2013/UE. Dz.U.L 156/1 z 19.06.2019.
16. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z dnia 30 maja 2018 r. w sprawie wiążących rocznych redukcji emisji gazów cieplarnianych przez państwa członkowskie od 2021 r. do 2030 r. przyczyniających się do działań na rzecz klimatu w celu wywiązania się z zobowiązań wynikających z Porozumienia paryskiego oraz zmieniające rozporządzenie (UE) nr 525/2013. Dz.U.L 156/26 z 19.06.2019.

---

Adres do korespondencji:

*dr Zuzanna Jarosz; prof. dr hab. Antoni Faber*  
*Zakład Biogospodarki i Analiz Systemowych*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8,*  
*24-100 Puławy*  
*tel.: 81 47 86 766; 81 47 86 767*  
*e-mail: zjarosz@iung.pulawy.pl,*  
*faber@iung.pulawy.pl*

---

| AUTOR          | ORCID               |
|----------------|---------------------|
| Zuzanna Jarosz | 0000-0002-3428-5804 |
| Antoni Faber   | 0000-0002-3055-1968 |



**Zuzanna Jarosz, Antoni Faber**

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

## WPLYW ZMIAN W METODYCE SZACOWANIA NA EMISJE METANU Z ROLNICTWA W POLSCE\*

**Słowa kluczowe:** emisja, metan, wytyczne IPCC

### Wstęp

Międzynarodowe zobowiązania Polski w zakresie polityki klimatycznej opierają się na trzech umowach: Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych (UNFCCC) w sprawie zmian klimatu z 1992 r., Protokołu z Kioto z 1997 r. i Porozumienia paryskiego, które weszło w życie 4 listopada 2016 r. W Porozumieniu paryskim określono ogólnosięwiatowy plan działania obejmujący:

- utrzymanie wzrostu średniej temperatury na świecie znacznie niższego niż 2°C powyżej poziomu sprzed epoki przemysłowej,
- dążenia do ograniczenia wzrostu temperatury do 1,5°C, co znacznie obniżyłoby ryzyko i skutki zmiany klimatu,
- konieczność jak najszybszego osiągnięcia w skali świata punktu zwrotnego maksymalnego poziomu emisji – przy założeniu, że krajom rozwijającym się zajmie to dłużej,
- doprowadzenie do szybkiej redukcji emisji, aby do 2050 r. osiągnąć neutralność klimatyczną.

W październiku 2014 r. Rada Europy zatwierdziła porozumienie w sprawie ram polityki klimatycznej do 2030 r. (Pakiet klimatyczno-energetyczny 2030). Zgodnie z porozumieniem emisje gazów cieplarnianych (GHG) w Unii Europejskiej powinny zostać ograniczone o co najmniej 40% w porównaniu z rokiem 1990 (1). Jednocześnie w działania dotyczące ochrony klimatu i ograniczania emisji gazów cieplarnianych

\*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.1 pt. „Nawożenie użytków rolnych” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2021 r.

włączone zostały sektory nieobjęte systemem handlu emisjami (non-ETS). Dla sektorów (w tym rolnictwa) nieobjętych systemem handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych ustalono redukcję emisji na poziomie 30% w stosunku do roku 2005, a w przypadku Polski ograniczenie to ma wynosić 7% (10). Aktualnie w ramach Europejskiego Zielonego Ładu Komisja zaproponowała zwiększenie docelowego poziomu redukcji GHG do co najmniej 55% do 2030 r. w stosunku do poziomu z 1990 r. Nowy cel oznacza, że UE przyspiesza na swojej drodze do neutralności klimatycznej, którą zamierza osiągnąć do roku 2050. Do osiągnięcia tego celu będą musiały przyczynić się wszystkie kraje i wszystkie sektory gospodarki. W tej perspektywie przeciwdziałanie zmianom klimatu będzie również udziałem rolnictwa, a zwłaszcza produkcji zwierzęcej.

Polska jako strona Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu ma obowiązek raportowania Konferencji Stron wielkości emisji gazów cieplarnianych (9). Jednostką odpowiedzialną za wykonywanie inwentaryzacji gazów cieplarnianych, obliczanie wartości emisji, dobór i rozwój metodyki zgodny z wytycznymi, wybór aktywności będących źródłem emisji oraz określanie współczynników, jest Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE). Metodyka szacowania emisji gazów cieplarnianych wykorzystywana przez KOBiZE została opracowana przez Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu – IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) i opisana w dokumencie *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (2). Zgodnie z metodyką szacunki można wykonywać na różnym poziomie szczegółowości (poziom 1, 2 i 3), a za najbardziej szczegółową uważa się metodę 3 – zastosowanie modeli.

W związku ze wzrostem poziomu ambicji w zakresie redukcji emisji gazów cieplarnianych do 2030 r. i 2050 r. powstaje pytanie o możliwości technologiczne zwiększenia udziału polskiego sektora rolnego w realizacji krajowych i unijnych celów w tym zakresie. Niestety metodyki stosowane przez KOBiZE nie zawierają algorytmów pozwalających na udzielenie bezpośredniej odpowiedzi na tak zadane pytanie. Bazując na podręczniku IPCC 2006 (2), uwzględniają one jedynie zmiany populacyjne, surowcowe, obszarowe, a w nikłym stopniu technologiczne i produkcyjne.

W celu zapewnienia zaktualizowanej i solidnej podstawy naukowej wspierającej przygotowywanie i ciągłe doskonalenie krajowych inwentaryzacji gazów cieplarnianych w 2019 r. IPCC przyjęło udoskonaloną metodykę szacowania GHG (4). Zaproponowano także zmianę współczynników globalnego ocieplenia (GWP) służących do ilościowej oceny wpływu danej substancji na efekt cieplarniany, a stosowanych do przeliczenia emisji danego gazu na ekwiwalent CO<sub>2</sub> (3). Należy się więc spodziewać, że od 2023 r. (czyli dla inwentaryzacji za 2021 r.) zalecane będzie stosowanie nowych wytycznych i współczynników GWP.

Celem opracowania było przedstawienie zmian (aktualizacji wzorów, wskaźników, parametrów) w metodyce szacowania emisji metanu oraz wykazanie wpływu nowych wytycznych na wielkość emisji tego gazu z sektora rolnego.

## Zmiany w metodyce szacowania emisji metanu

Jednym z gazów objętych raportowaniem przez KOBiZE jest metan. Całkowita emisja metanu z sektora rolnego w Polsce w 2018 r. wyniosła 583,53 kt. Głównym źródłem tej emisji jest fermentacja jelitowa, a jej udział wyniósł 89,5% (522,34 kt). Pozostała emisja związana była z odchodami zwierzęcymi – 60,20 kt (10,3%) oraz 0,98 kt (0,2%) ze spalaniem resztek poźniwnych (7).

Podstawowym źródłem metanu pochodzenia rolniczego jest fermentacja jelitowa, a jego ilość zależy od układu pokarmowego zwierząt oraz rodzaju i składu dawki paszowej. Najwięcej metanu wytwarzają zwierzęta przeżuwające (z wielokomorowym żołądkiem, np. krowy, kozy), w żołądkach których bytuje duża liczba mikroorganizmów rozkładających beztlenowo włókno roślinne, odporne na działanie enzymów trawiennych. W mniejszym stopniu metan wytwarzają zwierzęta z żołądkiem jednokomorowym (np. trzoda chlewna, konie). Szczególnie istotne jest zatem wprowadzanie odpowiednich praktyk żywieniowych: zwiększenie koncentracji dawki pokarmowej przeżuwaczy, zastąpienie kiszzonek zbożowych (kukurydza) kiszonkami z traw, zmiana żywienia, poprawa jakości pastwiska (11). Hamowanie emisji metanu wpływa na wzrost wykorzystania paszy przez zwierzęta. Stanowi to korzyść zarówno dla opłacalności produkcji, jak i dla środowiska. W przypadku emisji  $\text{CH}_4$  pochodzącej z hodowli krów nie bez znaczenia pozostaje wydajność mleka. Ze wzrostem produkcji mleka maleje wielkość uwalnianego  $\text{CH}_4$  (8, 12).

Jak wspomniano, szacunki emisji można wykonywać na różnym poziomie szczegółowości. Do oszacowania emisji metanu z fermentacji jelitowej zwierząt zastosowano 2 typy metod. Do obliczania emisji  $\text{CH}_4$  dla koni, owiec, kóz i świń wykorzystano najbardziej uproszczoną metodę Tier 1, a do jej wykonania niezbędne są tylko informacje o wielkości pogłowia poszczególnych kategorii zwierząt i odpowiednie wskaźniki emisji (2). W nowych wytycznych IPCC 2019 Ref. wskaźniki te zostały zaktualizowane (5). Wzrosły wskaźniki wykorzystywane w szacunkach dla kóz i owiec (tab. 1)

Tabela 1

Wskaźniki emisji  $\text{CH}_4$  stosowane w szacowaniu emisji z fermentacji jelitowej

| Zwierzęta | IPCC 2006   | IPCC 2019 Ref.  |
|-----------|---|---|
| Owce      | 8,0 kg $\text{CH}_4 \cdot \text{zwierzę}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$<br>(kraje rozwinięte)                          | 9,0 kg $\text{CH}_4 \cdot \text{zwierzę}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$<br>(systemy wysokoprodukcyjne) |
| Kozy      | 5,0 kg $\text{CH}_4 \cdot \text{zwierzę}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$<br>(kraje rozwinięte)                          | 9,0 kg $\text{CH}_4 \cdot \text{zwierzę}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$<br>(systemy wysokoprodukcyjne) |
| Świnie    | 1,5 kg $\text{CH}_4 \cdot \text{zwierzę}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ (kraje rozwinięte)/(systemy wysokoprodukcyjne) |   |
| Konie     | 18,0 kg $\text{CH}_4 \cdot \text{zwierzę}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$   |   |

Źródło: opracowano na podstawie IPCC, 2019 Ref. (5)

Emisję metanu z fermentacji jelitowej bydła oblicza się za pomocą bardziej szczegółowej metody Tier 2. W ramach tej metody, biorąc pod uwagę dzienne zapotrzebowanie na energię zwierząt, zostały opracowane krajowe wskaźniki emisji CH<sub>4</sub> na podstawie równania:

$$EF = GE \times (Y_m/100) \times 365/55,65$$

gdzie:

EF – wskaźnik emisji (kg CH<sub>4</sub>·szt.<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>);

GE – zapotrzebowanie na energię (MJ·szt.<sup>-1</sup>·dzień<sup>-1</sup>);

Y<sub>m</sub> – współczynnik konwersji do metanu (% GE w paszy przekształcony w CH<sub>4</sub>);

55,65 – współczynnik określający zawartość energetyczną metanu (MJ·kg<sup>-1</sup> CH<sub>4</sub>).

Określenie współczynnika konwersji (Y<sub>m</sub>), czyli stopnia w jakim energia paszy jest przekształcana w CH<sub>4</sub> zależy od wzajemnie oddziałujących czynników paszowych (rodzaj i jakość) i zwierzęcych (rasa i genetyka). Wprowadzenie ulepszonych pasz i koncentratów do diet dla przeżuwaczy wpływa na zmniejszenie produkcji metanu (6, 13).

Współczynnik konwersji do metanu Y<sub>m</sub> według nowych wytycznych (5) został bardziej zróżnicowany dla różnych kategorii bydła. Dla opasów i buhajów współczynnik wzrósł z 6,5% do 7,0% (tab. 2). Dla pozostałych kategorii współczynnik zmalał z 6,5% do 4,0 lub 6,3%.

Zmiana współczynników Y<sub>m</sub> wpłynęła na wielkość obliczanych wskaźników emisji (tab. 3).

Tabela 2

Współczynniki konwersji do metanu Y<sub>m</sub>

| IPCC 2006   | IPCC 2019 Ref.  |
|---|---|
| 6,5% krowy mleczne z cielętami  | 6,3% krowy o wydajności 5–8,5 tys. kg mleka·rok <sup>-1</sup>   |
| 6,5% pozostałe bydło karmione głównie niską jakością pasz i pastwiskowane | 4,0% przy DE ≥ 72 (cielęta do 1 roku)<br>6,3% przy DE 62–71 (młode bydło 1–2 lata, jałówki > 2 lat)<br>7,0% przy DE ≤ 62 (opasy i buhaje) |

DE – strawność paszy wyrażona jako ułamek energii brutto (energia strawna/energia brutto)

Źródło: opracowano na podstawie IPCC, 2019 Ref. (5)

Tabela 3

Współczynniki emisji metanu (EF) według obu wytycznych (kg CH<sub>4</sub>·szt.<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>)

| Podkategorie bydła     | IPCC 2006 | IPCC 2019 Ref. |
|------------------------|-----------|----------------|
| Krowy mleczne          | 126,608   | 122,712        |
| Cielęta do 1 roku      | 32,109    | 19,759         |
| Młode bydło 1–2 lata   | 67,288    | 65,217         |
| Jałówki > 2 lat        | 48,650    | 47,154         |
| Opasy i buhaje > 2 lat | 75,593    | 81,408         |

Źródło: opracowano na podstawie IPCC, 2019 Ref. (5)

Emisja metanu z fermentacji jelitowej drobiu nie jest szacowana ze względu na brak (w obu wytycznych) wskaźników emisji  $\text{CH}_4$ .

Drugim istotnym źródłem metanu jest beztlenowy rozkład odchodów zwierzęcych. Ilość powstającego metanu zależy przede wszystkim od technologii odbioru i przechowywania odchodów (stałe, ciekłe, dostęp tlenu itd.). W zależności od rodzaju nawozu i jego przechowywania emitowane są różne ilości metanu i podtlenku azotu. Nawóz suchy emituje większe ilości  $\text{N}_2\text{O}$ , ciekły zaś – więcej  $\text{CH}_4$ . Bieżące zagospodarowanie odchodów, zwłaszcza gnojowicy, zmniejsza zagrożenia dla środowiska. Nowe możliwości ekologiczne i ekonomiczne stwarza wykorzystanie gnojowicy do produkcji biogazu rolniczego.

Do szacowania emisji metanu z odchodów zwierzęcych koni, owiec, kóz i drobiu proponuje się zastosowanie metody Tier 1a. W wytycznych IPCC 2019 Ref. równanie określające wielkość emisji  $\text{CH}_4$  z odchodów zwierzęcych zostało zaktualizowane o nowe zmienne (5):

$$\text{CH}_{4(\text{mm})} = (\sum(\text{N}_{(\text{T,P})} \times \text{VS}_{(\text{T,P})} \times \text{AWMS}_{(\text{T,S,P})} \times \text{EF}_{(\text{T,S,P})})/1000)$$

gdzie:

$\text{CH}_{4(\text{mm})}$  – roczna emisja  $\text{CH}_4$  z gospodarki odchodami ( $\text{kg CH}_4 \cdot \text{rok}^{-1}$ );

$\text{N}_{(\text{T,P})}$  – pogłowie zwierząt dla gatunku/kategorii zwierząt T w systemie produkcyjnym P;

$\text{VS}_{(\text{T,P})}$  – średnia roczna ilość wydalanych lotnych substancji z odchodów stałych dla kategorii zwierząt T w systemie produkcyjnym P ( $\text{kg VS} \cdot \text{szt.}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ );

$\text{AWMS}_{(\text{T,S,P})}$  – udział systemu utrzymania zwierząt dla danego VS dla kategorii zwierząt T oraz systemu utrzymania zwierząt S w systemie produkcyjnym P;

$\text{EF}_{(\text{T,S,P})}$  – wskaźnik bezpośredniej emisji  $\text{CH}_4$  z gospodarki odchodami dla kategorii zwierząt T oraz systemu utrzymania zwierząt S w systemie produkcyjnym P ( $\text{g CH}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ VS}$ );

S – system utrzymania zwierząt;

T – kategoria zwierząt;

P – wysoko- lub niskoprodukcyjny system stosowany w metodzie Tier 1a.

Do obliczania ilości wydalanych lotnych substancji z odchodów stałych VS stosuje się równanie (5):

$$\text{VS}_{(\text{T,P})} = (\text{VS}_{\text{rate}(\text{T,P})} \times \text{TAM}_{\text{T,P}}/1000) \times 365$$

gdzie:

$\text{VS}_{(\text{T,P})}$  – średnia roczna ilość wydalanych lotnych substancji z odchodów stałych dla kategorii zwierząt T w systemie produkcyjnym P ( $\text{kg VS} \cdot \text{szt.}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ );

$\text{VS}_{\text{rate}(\text{T,P})}$  – domyślny współczynnik wydalania VS dla kategorii zwierząt T w systemie produkcyjnym P ( $\text{kg VS} \cdot 1000 \text{ kg}^{-1}$  wagi zwierzęcia);

$\text{TAM}_{\text{T,P}}$  – typowa waga dla kategorii zwierząt T w systemie produkcyjnym P ( $\text{kg} \cdot \text{szt.}^{-1}$ ).



W tabeli 3 przedstawiono ilość wydalanych lotnych substancji z odchodów zwierząt gospodarskich VS według obu metodyk, a stosowanych w szacowaniu emisji metanu.

Tabela 3

Ilość lotnych substancji wydalanych przez zwierzęta (Vs) według IPCC 2006 i IPCC 2019 Ref.

| Zwierzęta       | IPCC 2006  | IPCC 2019 Ref.   | IPCC 2019 Ref.   |
|-----------------|--|--|------------------|
|                 | V <sub>s</sub><br>(kg VS·szt. <sup>-1</sup> ·dzień <sup>-1</sup> ) | V <sub>s,rate</sub><br>(kg VS·1000 kg <sup>-1</sup> wagi<br>zwierz. <sup>-1</sup> ·dzień <sup>-1</sup> ) | TAM<br>waga (kg) |
| Krowy mleczne   | 4,5  | 6,7  | 550              |
| Pozostałe bydło | 2,7  | 7,6  | 389              |
| Owce            | 0,4  | 8,2  | 40               |
| Kozy            | 0,3  | 9,0  | 36               |
| Konie           | 2,13   | 5,65   | 377              |
| Świnie tuczniki | 0,3  | 4,9  | 59               |
| Świnie lochy    | 0,5  | 2,0  | 204              |
| Drób nioski     | 0,2  | 9,4  | 1,9              |
| Drób brojlery   | 0,1  | 16,0   | 1,1              |

Źródło: opracowano na podstawie IPCC, 2019 Ref. (5)

Do obliczania krajowych wskaźników emisji metanu z odchodów bydła i trzody chlewnej wykorzystuje się bardziej szczegółową metodę Tier 2, stosując równanie (5):

$$EF_{(T)} = (VS_T \times 365) \times (BO_{(T)} \times 0,67 \times \Sigma MCF_{S,k} / 100 \times AWMS_{(T,S,k)})$$

gdzie:

$EF_{(T)}$  – wskaźnik emisji metanu dla kategorii zwierząt T (kg CH<sub>4</sub>·szt.<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>);

$VS_T$  – wskaźnik ilości wydalanych lotnych substancji z odchodów stałych dla kategorii zwierząt T (kg s.m.·szt.<sup>-1</sup>·dzień<sup>-1</sup>);

$BO_{(T)}$  – wskaźnik maksymalnej emisji CH<sub>4</sub> z odchodów dla kategorii zwierząt T (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>·kg<sup>-1</sup> VS);  
0,67 – współczynnik konwersji metanu z m<sup>3</sup>·kg<sup>-1</sup> CH<sub>4</sub>;

$MCF_{S,k}$  – współczynnik konwersji do metanu dla systemów przechowywania odchodów zwierząt S w klimacie k (%);

$AWMS_{(T,S,k)}$  – udział kategorii zwierząt T dla systemów przechowywania odchodów zwierząt S w klimacie k.

Natomiast do obliczania ilości wydalanych lotnych substancji z odchodów stałych (wskaźnik VS wykorzystywany w powyższym wzorze) stosuje się zaktualizowane równanie (5):

$$VS = (GE \times (1 - DE/100) + (UE \times GE)) \times ((1 - ASH)/18,45)$$

gdzie:

VS – wskaźnik ilości wydalanych lotnych substancji z odchodów stałych na bazie suchej masy organicznej (kg VS·dzień<sup>-1</sup>);

GE – zapotrzebowanie na energię (MJ·dzień<sup>-1</sup>);

DE – strawność energii (np. 60%);

UE × GE – energia moczu wyrażona jako ułamek GE; dla większości przeżuwaczy GE = 0,04;

ASH – zawartość popiołu w paszy obliczona jako ułamek pobranej paszy wyrażonej w s.m.; dla bydła – 0,08, a dla loch – 0,06;

18,45 – współczynnik konwersji dla GE na kg s.m. (MJ·kg<sup>-1</sup>); wielkość stosunkowo stała dla różnego typu paszy spożywanej przez zwierzęta.

Należy przy tym zwrócić uwagę, że został zweryfikowany współczynnik MCF (współczynnik konwersji do metanu dla systemów przechowywania odchodów). Porównanie współczynników według metodyk IPCC 2006 i IPCC 2019 Ref. przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4

Współczynniki MCF dla systemów utrzymania zwierząt

| MCF                            | IPCC 2006                        | IPCC 2019 Ref.                     |
|--------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Płynny/gnojowica               | 10%<br>(z naturalnym kożuchem)   | 12,6%<br>(przykryte)               |
|                                | 17%<br>(bez naturalnego kożucha) | 21%<br>(składowanie do 6 miesięcy) |
| Stały/obornik                  | 2%                               | 2%                                 |
| Pastwisko                      | 1%                               | 0,47%                              |
| Drób – odchody ze ściółą i bez | 1,5%                             | 1,5%                               |

Źródło: opracowano na podstawie IPCC, 2019 Ref. (5)

Ostatnim, mało istotnym, źródłem metanu jest spalanie resztek poźniwnych. Jego udział w całkowitej emisji z rolnictwa wynosi około 0,2%.

### Wpływ wprowadzonych zmian w metodyce na szacunki emisji metanu

Do określenia wpływu wdrożenia zaktualizowanej metodyki IPCC 2019 Ref. na emisję metanu z rolnictwa oszacowaną według dotychczas stosowanych wytycznych IPCC 2006 wybrano rok 2018. Przeprowadzona analiza wykazała, że wprowadzenie

zmian w metodyce spowodowało zmniejszenie całkowitej emisji  $\text{CH}_4$  z poziomu 583,53 do 557,29 kt, tj. o 4,5% (tab. 5). Aktualizacja i zróżnicowanie współczynnika konwersji do metanu  $Y_m$  spowodowało znaczne obniżenie wskaźników emisji  $\text{CH}_4$  prawie dla wszystkich kategorii bydła (tab. 3). Wprawdzie współczynniki emisji metanu z fermentacji jelitowej dla kóz i owiec według nowych wytycznych zostały podwyższone, to jednak z powodu znacznie większego pogłowia bydła w porównaniu z pozostałymi kategoriami zwierząt, łączna emisja z fermentacji jelitowej zmniejszyła się z 533,34 do 489,29 kt, czyli o 6,3% (tab. 5). Natomiast emisja metanu z nawozów organicznych wzrosła o 11,3% (z 60,21 do 67,02 kt  $\text{CH}_4$ ). Głównym powodem tego wzrostu była aktualizacja współczynników MCF dla systemów utrzymania zwierząt (tab. 4). W szacunkach  $\text{CH}_4$  według wytycznych IPCC 2019 Ref. uwzględniono współczynniki dla zbiorników na gnojowicę z przykryciem oraz przyjęto składowanie do 6 miesięcy.

Tabela 5

Zmiany w wielkościach emisji metanu dla roku 2018 oszacowanych na podstawie metodyk IPCC 2006 i IPCC 2019 Ref.

| 2018<br>(kt)                | $\text{N}_2\text{O}$ |                |
|-----------------------------|----------------------|----------------|
|                             | IPCC 2006            | IPCC 2019 Ref. |
| Rolnictwo łącznie           | 583,53               | 557,29         |
| Fermentacja jelitowa        | 522,34               | 489,29         |
| Nawozy organiczne           | 60,21                | 67,02          |
| Spalanie resztek roślinnych | 0,98                 | 0,98           |

Źródło: opracowano na podstawie IPCC, 2006 (2), IPCC, 2019 Ref. (4)

Obecnie, zgodnie z decyzjami Konferencji Stron Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, do przeliczania emisji metanu na ekwiwalent  $\text{CO}_2$  stosowany jest wskaźnik globalnego ocieplenia na poziomie  $\text{GWP} = 25$ . Jednak od pewnego czasu trwają przygotowania do wdrożenia zaktualizowanych wskaźników pochodzących z Piątego Raportu IPCC – AR5 (3). W AR5 wskaźnik  $\text{GWP}$  dla metanu został podwyższony z  $\text{GWP} = 25$  do  $\text{GWP} = 28$ .

Analizując wyniki przedstawione w przeliczeniu na ekwiwalent  $\text{CO}_2$ , należy stwierdzić, że wdrażając nowe wytyczne IPCC 2019 Ref., można spodziewać się redukcji metanu o 4,5%, zwłaszcza z fermentacji jelitowej, która jest głównym źródłem emisji tego gazu (spadek z 13058,5 do 12232,3 kt ekw.  $\text{CO}_2$ , tj. o 6,3%) (tab. 6). Natomiast emisja metanu z nawozów organicznych zwiększyła się z 1505,3 do 1675,5 kt ekw.  $\text{CO}_2$ , tj. o 11,3%. Zaktualizowanie wskaźnika globalnego ocieplenia  $\text{GWP}$  do wartości 28 powoduje wzrost emisji  $\text{CH}_4$  i to zarówno w porównaniu z szacunkami wykonanymi według aktualnie obowiązującej metodyki IPCC 2006, jak i zaktualizowanej IPCC 2019 Ref. Reasumując, należy stwierdzić, że proponowane zmiany (wytycznych,  $\text{GWP}$ ) przyczynią się do wzrostu całkowitej emisji metanu z sektora rolnego o 7%.

Tabela 6

Zmiany w wielkościach emisji metanu dla roku 2018 oszacowanych na podstawie metodyk IPCC 2006 i IPCC 2019 Ref. oraz z uwzględnieniem potencjałów GWP

| kt ekw. CO <sub>2</sub>     | IPCC 2006<br>GWP = 25 | IPCC 2019 Ref.<br>GWP = 25 | IPCC 2019 Ref.<br>GWP = 28 |
|-----------------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|
| Rolnictwo łącznie           | 14588,3               | 13932,3                    | 15604,1                    |
| Fermentacja jelitowa        | 13058,5               | 12232,3                    | 13700,1                    |
| Nawozy organiczne           | 1505,3                | 1675,5                     | 1876,6                     |
| Spalanie resztek roślinnych | 24,5                  | 24,5                       | 27,4                       |

Źródło: opracowano na podstawie IPCC, 2006 (2), IPCC, 2019 Ref. (4)

### Podsumowanie

Przeprowadzona analiza wykazała, że jednoczesne wdrożenie zaktualizowanej metodyki (5) oraz zmiana współczynników globalnego ocieplenia spowoduje wzrost emisji CH<sub>4</sub> z rolnictwa. Dotychczas głównym powodem redukcji metanu z produkcji rolniczej było zmniejszenie pogłowia zwierząt gospodarskich. Jednak liczne badania wskazują, że sposobem na ograniczanie emisji CH<sub>4</sub> może być wdrażanie praktyk żywieniowych (wprowadzanie udziału roślin bobowatych w dawkach pokarmowych bydła i zwierząt monogastrycznych, wzrost udziału pasz treściwych itp.), odpowiednie utrzymanie zwierząt gospodarskich (szybkie usuwanie gnojowicy z budynków inwentarskich, systemy rusztowe) oraz właściwe przechowywanie i stosowanie nawozów naturalnych (przykrywanie miejsc przechowywania, bezrozbrzygowa aplikacja). Inną możliwością ograniczenia emisji metanu jest bezpośrednie wykorzystanie gnojowicy jako surowca do produkcji biogazu.

### Literatura

1. European Commission, 2016: Proposal for an Effort Sharing Regulation 2021–2030. [https://ec.europa.eu/clima/policies/effort/regulation\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/effort/regulation_en)
2. IPCC, 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. A report prepared by the Task Force on National Greenhouse Gas Inventories (TFI) of the IPCC. 2006, Hayama, Japan: IGES.
3. IPCC, 2014. AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.
4. IPCC, 2019. <https://www.ipcc.ch/2019/05/13/ipcc-2019-refinement/>
5. IPCC, 2019. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 10: EMISSIONS FROM LIVESTOCK AND MANURE MANAGEMENT. [https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4\\_Volume4/19R\\_V4\\_Ch10\\_Livestock.pdf](https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch10_Livestock.pdf)
6. Kebrab E., Tedeschi L., Dijkstra J., Ellis J.L., Bannink A., France J.: Modeling Greenhouse Gas Emissions from Enteric Fermentation. Synthesis and Modeling of Greenhouse Gas Emissions and Carbon Storage in Agricultural and Forest Systems to Guide Mitigation and Adaptation, 2016, 6: 173-195.
7. NIR 2020 PL. Krajowy Raport Inwentaryzacyjny 2020. Inwentaryzacja gazów cieplarnianych dla lat 1988–2018. Raport syntetyczny wykonany na potrzeby Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu oraz Protokołu z Kioto. KOBiZE IOS-PIB. Warszawa 2020.

8. Richardson C., Baes C., Amer P., Quinton C., Martin P., Osborne V., Pryce J.E., Miglior F.: Determining the economic value of daily dry matter intake and associated methane emissions in dairy cattle. *Animal*, 2020, **14**: 171-179.
9. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z dnia 15 maja 2014 r. zmieniające rozporządzenie (UE) nr 525/2013 w odniesieniu do technicznego wykonania Protokołu z Kioto do Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu. Dz.U.L 189/155 z 27.06.2014.
10. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z dnia 30 maja 2018 r. w sprawie wiążących rocznych redukcji emisji gazów cieplarnianych przez państwa członkowskie od 2021 r. do 2030 r. przyczyniających się do działań na rzecz klimatu w celu wywiązania się z zobowiązań wynikających z Porozumienia paryskiego oraz zmieniające rozporządzenie (UE) nr 525/2013. Dz.U.L 156/26 z 19.06.2019.
11. Walczak J.: Precyzyjny chów zwierząt, a środowisko naturalne. *Przegląd Hodowlany*, 2019, **5**: 1-6.
12. Winnicki S., Jugowar J.L., Karłowski J.: Monitorowanie gospodarstw rolnych jako źródeł emisji rolniczych. Raport z realizacji umowy pomiędzy Ministerstwem Rolnictwa i Rozwoju Wsi a Instytutem Technologiczno-Przyrodniczym w Falentach, Poznań 2010.
13. Zeitz J.O., Soliva C.R., Kreuzer M.: Swiss diet types for cattle: how accurately are they reflected by the Intergovernmental Panel on Climate Change default values? *Journal of Integrative Environmental Science*, 2012, **9**: 199-216.

---

Adres do korespondencji:

*dr Zuzanna Jarosz; prof. dr hab. Antoni Faber*  
*Zakład Biogospodarki i Analiz Systemowych*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8,*  
*24-100 Puławy*  
*tel.: 81 47 86 766; 81 47 86 767*  
*e-mail: zjarosz@iung.pulawy.pl,*  
*faber@iung.pulawy.pl*

---

| AUTOR          | ORCID               |
|----------------|---------------------|
| Zuzanna Jarosz | 0000-0002-3428-5804 |
| Antoni Faber   | 0000-0002-3055-1968 |

**Alicja Pecio**

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

## TEORETYCZNE PODSTAWY OKREŚLANIA WYMAGAŃ POKARMOWYCH ROŚLIN I POTRZEB NAWOŻENIA\*

**Słowa kluczowe:** potrzeby pokarmowe roślin, potrzeby nawożenia, testy glebowe, testy roślinne

### Wstęp

Nawożenie jest jednym z najważniejszych czynników decydujących o poziomie plonowania i jakości produktów roślinnych, a jednocześnie jest elementem znaczącej ingerencji człowieka w środowisko naturalne. Najważniejszym z działań ograniczających straty biogenów z rolnictwa jest optymalizacja nawożenia, czyli dostosowanie dawek nawozów do rzeczywistych potrzeb oraz stosowanie nawozów we właściwym czasie i w odpowiedni sposób. Zagrożeniem dla środowiska wodnego są bowiem składniki dostarczane na pola uprawne w nawozach, lecz niewykorzystane przez rośliny. W warunkach optymalnych dla wzrostu, rośliny pobierają duże ilości składników pokarmowych, czego efektem są wysokie plony. Działanie czynników ograniczających wzrost sprawia, że duża część zastosowanej dawki nawozów pozostaje w glebie i może przedostawać się do środowiska wodnego. Dlatego też we współczesnym rolnictwie dąży się do tzw. nawożenia zrównoważonego, co oznacza, że ilości składników dostarczane w nawozach powinny odpowiadać ich pobraniu z plonami roślin. Dobór właściwych dawek nawozów opiera się na określaniu potrzeb pokarmowych roślin i potrzeb nawozowych uwzględniających glebowe zasoby składników pokarmowych.

### Potrzeby pokarmowe roślin

Potrzeby pokarmowe roślin odpowiadają ilości składnika, jaką roślina musi pobrać, aby wydać osiągalny plon, tzn. plon możliwy do uzyskania na glebie danego

\*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.1 pt. „Nawożenie użytków rolnych” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2021 r.

kompleksu przydatności rolniczej przy normalnym przebiegu pogody i optymalnym zaopatrzeniu w składniki pokarmowe, względnie plon oszacowany przez rolnika na podstawie własnego doświadczenia. Określane są przez pobranie z plonem, a wyznaczane jako iloczyn prognozowanego w danych warunkach plonu i jednostkowego pobrania składnika, tzn. pobrania potrzebnego do wyprodukowania jednostki plonu. Pobranie jednostkowe wynika z procentowej zawartości składników pokarmowych w plonie głównym i ubocznym oraz ze stosunku masy plonu głównego i ubocznego (tab. 1):

$$\text{Potrzeby pokarmowe} = \text{prognozowany plon} \times \text{pobranie jednostkowe}$$

Tabela 1

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

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

\*świeża masa

Źródło: Kocoń, 2014 (12), Rozporządzenie..., 2020 (15)

### Potrzeby nawozowe

Potrzeby nawozowe określają ilość składników, jaką należy dostarczyć roślinom, aby mogły pokryć swoje potrzeby pokarmowe. Mogą one być częściowo zaspokojone z rezerw składników nagromadzonych w glebie, z nawozów organicznych lub z przyoranych produktów ubocznych przedplonu itp. Pozostałą część należy uzupełnić w nawozach mineralnych, których dawki można wyznaczać trzema metodami: z wykorzystaniem funkcji produkcji, na podstawie testów glebowych lub roślinnych oraz opierając się na bilansie składników nawozowych.

### Funkcje produkcji

Funkcja produkcji opisuje zależność pomiędzy plonem rośliny a zastosowaną dawką nawozu, z wykorzystaniem funkcji matematycznej i odpowiadającego jej wykresu. Funkcje wyznaczane są na podstawie wyników doświadczeń ścisłych

z możliwie dużą liczbą dawek składnika. Liczba funkcji matematycznych jest bardzo duża, a wyboru jednej z nich dokonuje się na podstawie analizy statystycznej oceniającej odchylenie danych doświadczalnych od danych wyznaczonych z funkcji. Im odchylenia są mniejsze, tym funkcja jest lepiej dopasowana. Obok tego zasadniczego kryterium bierze się pod uwagę także prostotę posługiwania się funkcją i możliwość wyznaczenia ekstremum. Do najczęściej wykorzystywanych funkcji należy funkcja wielomianowa kwadratowa, o ogólnej postaci:

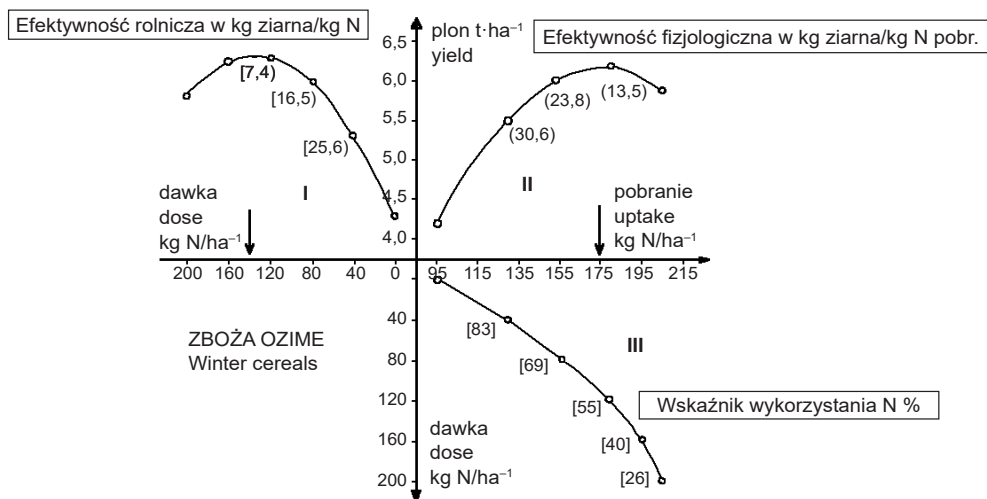
$$\text{Plon} = a + b \times \text{dawka azotu} \times c \times \text{dawka azotu}^2$$

gdzie:

a, b, c – współczynniki regresji.

Ekstremum funkcji odpowiada optymalnej produkcyjnie dawce nawozu, która zapewnia uzyskanie maksymalnego plonu. Po przekroczeniu tej dawki następuje spadek plonu. Plon i dawka mogą być wyrażone w mierniku wartościowym i wówczas ekstremum funkcji odpowiada optymalnej ekonomicznie dawce nawozów, która zapewnia maksymalny zysk.

Funkcje produkcji można przedstawić w postaci trzyczęściowych diagramów, jak na rysunku 1, gdzie obok zależności plon–dawka (część I) zaprezentowano zależności plon–pobranie azotu (część II) oraz dawka–pobranie azotu (część III). Umożliwia to odniesienie uzyskanych wyników do warunków innych od tych, w jakich było prowadzone doświadczenie.



Rys. 1. Diagram efektywności nawożenia zbóż azotem

Źródło: Fotyma, 2000 (3)



## Testy glebowe

W grupie testów glebowych wiodącą pozycję zajmują testy chemiczne polegające na ekstrakcji i oznaczaniu zawartości tzw. przyswajalnych form składników mineralnych, które stanowią sumę składników w formie aktywnej i określonej ich ilości w formie ruchomej (6). Forma aktywna obejmuje jony proste i kompleksowe danego pierwiastka, znajdujące się w roztworze glebowym. Forma ruchoma to składniki w związkach rozpuszczalnych lub adsorbowane przez fazę stałą gleby. Składniki w formie aktywnej są bezpośrednio dostępne dla korzeni roślin, ale ich aktualne stężenie w roztworze glebowym jest na ogół zbyt małe w zestawieniu z potrzebami pokarmowymi roślin. Składniki w formie aktywnej są uzupełniane z formy ruchomej w wyniku procesów rozpuszczania lub desorpcji z fazy stałej gleby. Procesy te zachodzą stosunkowo szybko w skali jednego okresu wegetacyjnego.

Opracowanie testu glebowego przebiega w trzech etapach: wybór metody analitycznej, kalibracja testu oraz wyznaczenie wielkości dawek nawozów dla przedziałów (klas) wartości testu. Wybór metody analitycznej w przypadku chemicznych testów glebowych dotyczy przede wszystkim rodzaju ekstrahenta, który decyduje o tym, jakie formy składnika będą oznaczane.

W Polsce badania odczynu i zasobności gleb w przyswajalne formy makro- i mikroelementów prowadzone są według jednolitej metodyki opartej na Polskich Normach i wytycznych IUNG w Puławach. W tym celu, dla określenia podstawowych właściwości chemicznych gleb mineralnych wykorzystuje się następujące metody:

- pH – 1 mol KCl·dm<sup>-3</sup>
- fosfor i potas przyswajalny – metoda Egnera-Riehma (DL),
- magnez przyswajalny – metoda Schachtschabela (CaCl<sub>2</sub> 0,0125 mol·dm<sup>-3</sup>).

Dodatkowo coraz częściej badany jest azot mineralny, do którego ekstrakcji stosuje się 1% roztwór K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, a także mikroelementy. Te ostatnie oceniano po ekstrakcji gleby wyciągiem 1 mol HCl·dm<sup>-3</sup> metodą Rinkinsa. Metoda ta jest jednak dość często krytykowana, aczkolwiek umożliwia ekstrakcję wszystkich niezbędnych dla roślin mikroelementów – B, Cu, Mn, Fe, Zn. Aktualnie stacje chemiczno-rolnicze mają możliwość oznaczania zawartości zarówno makroskładników (P, K, Mg), jak i mikroelementów (B, Cu, Fe, Mn, Zn) w jednym wyciągu według metody Mehlich 3.

Kalibracja testu polega na wyznaczeniu jego wartości (lub przedziału) krytycznej oraz przedziałów zawartości niedoborowych i nadmiarowych. Najczęściej dokonywana jest na podstawie wyników doświadczeń, w których wyznacza się zależność pomiędzy reakcją roślin na nawożenie i wartością testu. Górną granicą zawartości optymalnej jest wartość, powyżej której nie obserwuje się przyrostu plonu pod wpływem nawożenia danym składnikiem. Przedziały zawartości niskich są w zasadzie określane arbitralnie w zależności od stopnia redukcji plonu. Dla testów glebowych stosowanych powszechnie w Polsce do oceny pH i zawartości podstawowych makro-

składników wyznaczono 5 przedziałów odczynu i zasobności. Wyznaczenie wielkości optymalnej dawki nawozu dla przedziałów wartości testu wymaga prowadzenia doświadczeń ze wzrastającymi dawkami nawozów na tle zróżnicowanej zawartości składników w glebie lub roślinie. W tym miejscu metoda testów łączy się z metodą funkcji produkcji.

Do 2020 r. ocena odczynu i zasobności gleb w składniki mineralne dokonywana była na podstawie liczb granicznych zawartych w polskich normach: PN-ISO 10390 (pH), PN-R-04023 (fosfor), PN-R-04022 (potas) i PN-R-04020 (magnez). Liczby graniczne przedstawia się zależnie od kategorii agronomicznej gleby, którą wyznacza zawartość części spławialnych (frakcja <0,02 mm) (tab. 2–7).

Tabela 2

## Kategorie agronomiczne gleby

| Kategoria               | Grupa                          | Zawartość części spławialnych (%) |
|-------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| I – gleby bardzo lekkie | pl, plp, ps, psp               | 0–10                              |
| II – gleby lekkie       | pgl, pglp, pgm, pgmp, plp, plz | 11–20                             |
| III – gleby średnie     | gl, glp, plg                   | 21–35                             |
| IV – gleby ciężkie      | gs, gsp, gc, gcp, pli, i, ip   | >35                               |

Źródło: Zalecenia nawozowe, 1990 (22)

Tabela 3

## Ocena odczynu gleby

| pH      | Ocena zakwaszenia gleb |
|---------|------------------------|
| <4,5    | bardzo kwaśne          |
| 4,6–5,5 | kwaśne                 |
| 5,6–6,5 | lekko kwaśne           |
| 6,6–7,2 | obojętne               |
| >7,2    | zasadowe               |

Źródło: Zalecenia nawozowe, 1990 (22)

Tabela 4

## Ocena zasobności gleb w magnez przyswajalny

| Klasa zasobności | Zasobność     | mg Mg·100 g <sup>-1</sup> gleby |         |         |           |
|------------------|---------------|---------------------------------|---------|---------|-----------|
|                  |               | bardzo lekkie                   | lekkie  | średnie | ciężkie   |
| V                | bardzo niska  | <1,0                            | <2,0    | <3,0    | <4,0      |
| IV               | niska         | 1,1–2,0                         | 2,1–3,0 | 3,1–5,0 | 4,1–6,0   |
| III              | średnia       | 2,1–4,0                         | 3,1–5,0 | 5,1–7,0 | 6,1–10,0  |
| II               | wysoka        | 4,1–6,0                         | 5,1–7,0 | 7,1–9,0 | 10,1–14,0 |
| I                | bardzo wysoka | >6,1                            | >7,1    | >9,1    | >14,1     |

Źródło: Zalecenia nawozowe, 1990 (22)

Tabela 5

Ocena zasobności gleb organicznych w magnez przyswajalny

| Klasa zasobności | Zasobność     | mg Mg · 100 g <sup>-1</sup> suchej masy gleby |
|------------------|---------------|---|
| V                | bardzo niska  | <20   |
| IV               | niska         | 21–40   |
| III              | średnia       | 41–80   |
| II               | wysoka        | 81–120  |
| I                | bardzo wysoka | >121  |

Źródło: Fotyma, 1987 (7)

Tabela 6

Ocena zawartości fosforu oznaczonego metodą Egnera-Riehma (mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> · 100 g<sup>-1</sup> gleby) w glebach mineralnych i węglanowych

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

Źródło: Zalecenia nawozowe, 1990 (22)

Tabela 7

Ocena zawartości potasu oznaczonego metodą Egnera-Riehma (mg K<sub>2</sub>O · 100 g<sup>-1</sup> gleby) w glebach mineralnych

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

Źródło: Zalecenia nawozowe, 1990 (22)

## Test Nmin

Test glebowy azotu mineralnego (Nmin) (2, 6) polega na oznaczeniu zawartości mineralnych form azotu w warstwie gleby, w której umieszczona jest główna masa korzeni roślin. Zawartość azotu mineralnego (suma N-NO<sub>3</sub> i N-NH<sub>4</sub>) wyrażana jest w kg · ha<sup>-1</sup> do głębokości 60 lub 90 cm w profilu glebowym na powierzchni 1 ha i w przeciwieństwie do testów dla fosforu i potasu bezpośrednio odnieszona do potrzeb pokarmowych roślin. Przedziały zawartości Nmin w warstwie 0–60 cm w zależności od kategorii agronomicznej gleby zamieszczono w tabeli 8.

Tabela 8

Zawartość azotu mineralnego w glebie ( $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) do głębokości 60 cm wczesną wiosną zależnie od kategorii agronomicznej

| Kategoria agronomiczna gleby | Zawartość w glebie |       |         |        |               |
|------------------------------|--------------------|-------|---------|--------|---------------|
|                              | bardzo niska       | niska | średnia | wysoka | bardzo wysoka |
| Bardzo lekka                 | $\leq 30$          | 31–50 | 51–70   | 71–90  | $> 90$        |
| Lekka                        | $\leq 40$          | 41–60 | 61–80   | 81–100 | $> 100$       |
| Średnia i ciężka             | $\leq 50$          | 51–70 | 71–90   | 91–100 | $> 100$       |

Źródło: Jadczyzyn i in., 2012 (11)

Test opracowano przede wszystkim na potrzeby doradztwa nawozowego i stosowany jest do uściślenia pierwszej dawki nawozów azotowych. Jeśli wykonano analizę zawartości  $N_{\text{min}}$  w glebie, można wykorzystać jej wynik do korekty planowanej dawki nawozów azotowych:

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

## Mikroelementy

Do oceny zawartości mikroelementów dotychczas stosowano trzystopniową skalę oceny zawartości: niska, średnia i wysoka (tab. 9). Aktualnie zarówno dla metody 1 M HCl, jak i dla metody Mehlich 3, wprowadzono skalę dwustopniową: zawartość niska i wystarczająca. Obydwie metody wymagają różnych liczb granicznych ze względu na zróżnicowany poziom zawartości mikroelementów oznaczany tymi metodami (tab. 9–10). Jeśli wynik analizy gleby jest mniejszy od liczby granicznej podanej w tabeli, to zawartość klasyfikujemy jako niską, przy której nawożenie danym mikroelementem jest konieczne. Zawartość składnika w glebie większa lub równa liczbie granicznej uznawana jest za wystarczającą, przy której nawożenie danego gatunku rośliny nie jest potrzebne.

Tabela 9

Liczby graniczne niskiej zawartości mikroelementów w glebie oznaczonych metodą 1 M HCl dla pszenicy i kukurydzy

| Gatunek rośliny | Bor (B)            |                                  | Miedź (Cu)  |                                  | Żelazo (Fe) |                                  | Mangan (Mn) |                                  | Cynk (Zn)   |                                  |
|-----------------|--------------------|----------------------------------|-------------|----------------------------------|-------------|----------------------------------|-------------|----------------------------------|-------------|----------------------------------|
|                 | cecha gleby        | zawartość (mg·kg <sup>-1</sup> ) | cecha gleby | zawartość (mg·kg <sup>-1</sup> ) | cecha gleby | zawartość (mg·kg <sup>-1</sup> ) | cecha gleby | zawartość (mg·kg <sup>-1</sup> ) | cecha gleby | zawartość (mg·kg <sup>-1</sup> ) |
| Pszenica        | kat. agron.        |                                  | Corg (%)    |                                  | Corg (%)    |                                  | pH          |                                  | pH          |                                  |
|                 | b. lekkie i lekkie | <0,4                             | ≤1,0        | <2,2                             | ≤1,0        | <700                             | ≤5,5        | <60                              | ≤5,5        | <4,5                             |
|                 | średnie            | <0,7                             | 1,1-1,5     | <3,0                             | 1,1-1,5     | <800                             | 5,6-6,5     | <100                             | 5,6-6,5     | <6,0                             |
|                 | ciężkie            | <0,9                             | 1,6-2,0     | <3,4                             | 1,6-2,0     | <900                             | 6,6-7,2     | <130                             | 6,6-7,2     | <7,5                             |
|                 |                    |                                  | ≥2,1        | <4,2                             | ≥2,1        | <1000                            | ≥7,3        | <150                             | ≥7,3        | <8,5                             |
| Kukurydza       | kat. agron         |                                  | Corg (%)    |                                  | Corg (%)    |                                  | pH          |                                  | pH          |                                  |
|                 | b. lekkie i lekkie | <0,5                             | ≤1,0        | <1,8                             | ≤1,0        | <700                             | ≤5,5        | <70                              | ≤5,5        | <6,0                             |
|                 | średnie            | <0,9                             | 1,1-1,5     | <2,5                             | 1,1-1,5     | <900                             | 5,6-6,5     | <100                             | 5,6-6,5     | <7,0                             |
|                 | ciężkie            | <1,4                             | ≥1,6        | 3,8                              | ≥1,6        | <1100                            | ≥6,6        | <130                             | ≥6,6        | <9,0                             |

Źródło: Korzeniowska i in., 2021 (13)

Tabela 10

Liczby graniczne niskiej zawartości mikroelementów w glebie oznaczonych metodą Mehlich 3 dla pszenicy i kukurydzy

| Gatunek rośliny | Bor (B)                                  |                                  | Miedź (Cu)                         |                                  | Żelazo (Fe)                            |                                  | Mangan (Mn)                        |                                  | Cynk (Zn)                              |                                  |
|-----------------|--|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--|----------------------------------|
|                 | cecha gleby                              | zawartość (mg·kg <sup>-1</sup> ) | cecha gleby                        | zawartość (mg·kg <sup>-1</sup> ) | cecha gleby                            | zawartość (mg·kg <sup>-1</sup> ) | cecha gleby                        | zawartość (mg·kg <sup>-1</sup> ) | cecha gleby                            | zawartość (mg·kg <sup>-1</sup> ) |
| Pszenica        | pH                                       |                                  | Corg (%)                           |                                  | P <sub>M3</sub> (mg·kg <sup>-1</sup> ) |                                  | pH                                 |                                  | P <sub>M3</sub> (mg·kg <sup>-1</sup> ) |                                  |
|                 | ≤5,5<br>5,6–6,5<br>6,6–7,2<br>≥7,3       | <0,10<br><0,25<br><0,40<br><0,55 | ≤1,0<br>1,1–1,5<br>1,6–2,0<br>≥2,1 | <1,4<br><1,6<br><1,8<br><2,2     | ≤100<br>101–200<br>≥201                | <190<br><240<br><280             | ≤5,5<br>5,6–6,5<br>6,6–7,2<br>≥7,3 | <30<br><45<br><60<br><75         | ≤100<br>101–200<br>201–3002<br>≥301    | <3,0<br><3,5<br><4,5<br><6,0     |
| Kukurydza       | kat. agron                               |                                  | Corg (%)                           |                                  | P <sub>M3</sub> (mg·kg <sup>-1</sup> ) |                                  | pH                                 |                                  | P <sub>M3</sub> (mg·kg <sup>-1</sup> ) |                                  |
|                 | b. lekkie i lekkie<br>średnie<br>ciężkie | <0,20<br><0,40<br><0,80          | ≤1,0<br>1,1–2,0<br>≥2,1            | <1,0<br><1,3<br><1,6             | ≤100<br>101–200<br>≥201                | <160<br><230<br><270             | ≤5,5<br>≥5,6                       | <35<br><55                       | ≤100<br>101–200<br>201–300<br>≥301     | <3,0<br><4,0<br><5,0<br><7,0     |

Źródło: Korzeniowska i in., 2021 (13)

## Testy roślinne

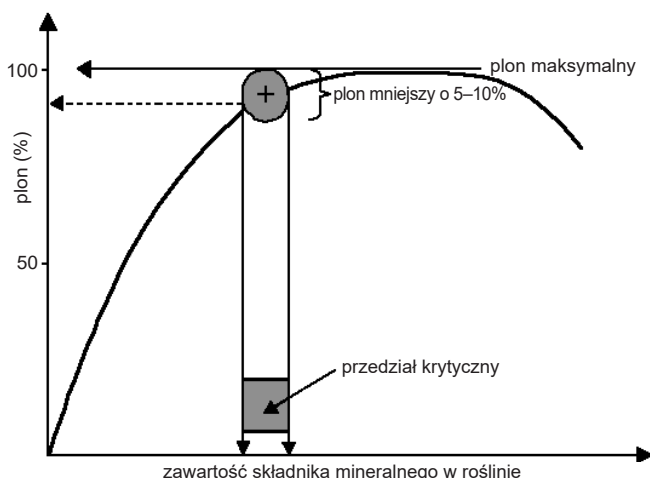
### Metody bezpośrednie

Testy roślinne służące do bezpośredniej oceny stanu odżywienia roślin opierają się na analizach chemicznych. Pozwalają one określić całkowitą zawartość badanego składnika lub też jego formę w wybranych częściach wskaźnikowych roślin, np. w liściach czy korzeniach oraz w całych częściach nadziemnych roślin. Uzyskane wyniki podaje się w procentach zawartości (makroelementy) lub w  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (mikroelementy), najczęściej w odniesieniu do suchej masy. Analizy chemiczne zawartości pierwiastków wykonuje się w masie roślin oraz niekiedy w soku komórkowym. Wynik analizy jest zależny od fazy rozwojowej rośliny i badanego jej organu, gdyż zawartości poszczególnych pierwiastków ulegają ciągłym zmianom w okresie wegetacji. Wraz z wiekiem rośliny udział trzech głównych makroskładników: azotu, fosforu i potasu maleje, a zawartość wapnia, magnezu i siarki oraz mikroskładników – na ogół wzrasta.

Wśród metod opartych na analizach suchej masy roślin w praktyce stosuje się najczęściej metodę przedziałów krytycznych, test NNI i metodę DRIS.

### Metoda przedziałów krytycznych

Przedział krytyczny określa poziom zawartości składnika pokarmowego w roślinie, który zapewnia uzyskanie plonu lub szybkości wzrostu rośliny na poziomie 95–100% wartości maksymalnych. W metodzie tej zakłada się istotny wpływ fazy rozwojowej rośliny i jej stanu odżywienia na realizację 95–100% plonu maksymalnego uprawianej odmiany, zgodnie ze schematem na rysunku 2.



Rys. 2. Graficzna ilustracja przedziału krytycznego składnika mineralnego w roślinie

Przedział krytyczny (przedział zawartości optymalnych) dla danego gatunku wyznaczany jest za pomocą dwóch parametrów oceny szybkości wzrostu rośliny: względnej szybkości wzrostu (RGR, ang. *Relative Growth Rate*) i absolutnej szybkości wzrostu łanu (ACGR, ang. *Absolute Crop Growth Rate*). Wskaźniki te służą do wyznaczania dwóch faz krytycznych tej samej rośliny. W przypadku zbóż RGR osiąga największe wartości w końcu fazy krzewienia (BBCH 28-29), a ACGR w fazie od początku ukazywania się jęczyczka liścia flagowego (BBCH 37) do końca kłoszenia (BBCH 59). W obu tych fazach krytycznych azot pełni określone funkcje plonotwórcze. W pierwszej – koniec fazy krzewienia – azot buduje potencjał plonowania (wpływa na wzrost liczby źdźbeł w roślinie i kłosek w kłosie), w drugiej, tj. od końca fazy strzelania w źdźbło do początku kłoszenia, kiedy ustala się rzeczywista struktura plonu ziarna, azot kontroluje tempo redukcji liczby kłosek w kłosie oraz płodnych kwiatków w kłosie. Z praktycznego punktu widzenia, o ile podanie azotu w pierwszym terminie (gdy wynik analizy chemicznej jest poniżej przedziału krytycznego) istotnie wpłynie na tworzenie elementów struktury plonu, o tyle w drugim tylko skoryguje wcześniej ustalony poziom plonowania (9).

Tabela 11

Przedziały krytyczne zawartości składników pokarmowych w suchej masie nadziemnej części roślin pszenicy ozimej w fazie strzelanie w źdźbło–liść flagowy (BBCH 35-37)

| Makroelementy (% s.m.) |          |         |          |          | Mikroelementy (mg·kg <sup>-1</sup> ) |         |      |        |
|------------------------|----------|---------|----------|----------|--------------------------------------|---------|------|--------|
| N                      | P        | K       | Ca       | Mg       | B                                    | Mo      | Cu   | Mn     |
| 2,3–3,8                | 0,25–0,5 | 3,3–4,5 | 0,35–1,0 | 0,1–0,23 | 5–10                                 | 0,1–0,3 | 5–10 | 30–100 |

Źródło: Wach, 2015 (18)

## Test NNI

Test NNI – indeks stanu odżywienia azotem (ang. *Nitrogen Nutrition Index*) stanowi uściślenie metody przedziałów krytycznych. Według Lemaira (14), podstawą tego testu jest założenie, że w rozwoju ontogenetycznym roślin istnieje ścisła zależność pomiędzy zawartością azotu i nagromadzoną suchą masą. Test NNI wyrażany jest jako iloraz aktualnej i krytycznej zawartości azotu w roślinach, przy określonym plonie ich suchej masy według następującego wzoru:

$$NNI = N_{akt} / N_{kryt},$$

gdzie:

$N_{akt}$  – aktualna zawartość N w roślinie,

$N_{kryt}$  – krytyczna zawartość N w roślinie.

Krytyczną zawartość N wylicza się ze wzoru:

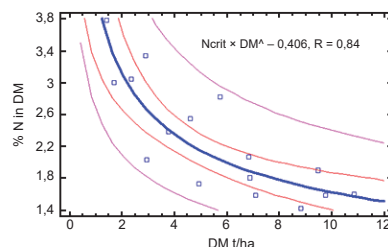
$$N_{kryt} = a(SM)^{-b}$$

gdzie:

$N_{kryt}$  – zawartość azotu ogólnego w suchej masie roślin optymalnie odżywionych azotem,

SM – plon suchej masy (t·ha<sup>-1</sup>),

a i b – współczynniki równania.





Równanie to zostało uznane za „krzywą rozcieńczenia azotu”. Za krytyczne zawartości azotu w suchej masie roślin przyjmowane są najmniejsze zawartości N ogólnego, które zapewniają maksymalne tempo wzrostu roślin. Krzywe rozcieńczenia azotu określono jak dotąd dla kilku roślin uprawnych (8). W Polsce zostały wyznaczone dla zbóż przez Fotymę i Pecio (5):

kukurydza:  $a = 3,4$ ;  $b = -0,37$  (wg Plenneta i Lemaire 1999, za Gastali Lemaire (8))

pszenica ozima:  $a = 4,56$ ;  $b = -0,483$

pszenżyto ozime:  $a = 4,69$ ;  $b = -0,518$

pszenica jara:  $a = 4,31$ ;  $b = -0,444$

jęczmień jary:  $a = 3,501$ ;  $b = -0,486$

Wartość ilorazu pomiędzy zawartością aktualną i krytyczną azotu bliska jedności świadczy o optymalnym odżywieniu roślin tym pierwiastkiem. Zawartość azotu w analizowanej próbce materiału roślinnego mniejsza od krytycznej (wartość  $NNI < 1$ ) świadczy o niedostatecznym stanie odżywienia roślin tym składnikiem. Trzeba wówczas zastosować uzupełniającą dawkę azotu.

Interpretacja testu NNI nie jest związana z fazą rozwojową zbóż, ale próbka roślinna musi być pobrana w sposób ilościowy, ponieważ konieczne jest oznaczenie aktualnego plonu suchej masy. W celu oceny stanu odżywienia roślin azotem należy również oznaczyć aktualną zawartość azotu ogólnego, a także dysponować odpowiednią krzywą krytyczną.

W badaniach Fotymy i Bezduszniaka (4) wartości wskaźników NNI dla zbóż ozimych zwiększały się w miarę wzrostu dawek azotu, co było związane z poprawą stanu odżywienia roślin i zwiększaniem plonu ziarna (tab. 12). Wartości NNI dla pszenicy jarej również zwiększały się wraz ze wzrostem dawki azotu, ale po zastosowaniu dawki  $125 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  wartość wskaźnika przewyższała 1, co świadczy o nadmiernym odżywieniu roślin azotem, przy czym plon ziarna zwiększał się tylko do dawki  $100 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  i rośliny były optymalnie odżywione azotem – wartość  $NNI = 1$ .

Tabela 12

Średnie wartości wskaźnika NNI dla zbóż zależnie od dawki azotu

| Dawka N ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) | Pszenica ozima | Pszenżyto ozime | Żyto | Pszenica jara |
|--|----------------|-----------------|------|---------------|
| 0  | 0,58           | 0,51            | 0,52 | 0,58          |
| 25   | 0,65           | 0,64            | 0,65 | 0,64          |
| 50   | 0,78           | 0,68            | 0,73 | 0,79          |
| 75   | 0,87           | 0,79            | 0,81 | 0,92          |
| 100  | 0,96           | 0,84            | 0,89 | 1,00          |
| 125  | 1,01           | 0,90            | 0,98 | 1,11          |

Źródło: Fotyma i Bezduszniak, 2000 (4)

## Metoda DRIS

Istotą metody DRIS (ang. *Diagnosis and Recommendation Integrated System*), czyli Zintegrowanego Systemu Diagnozy i Zaleceń, są relacje pomiędzy zawartością

poszczególnych pierwiastków występujących w roślinie. Procedura diagnostyczna składa się z dwóch etapów: obliczania indeksów oraz interpretacji uzyskanych norm DRIS. Indeksy DRIS są względną miarą niedoboru lub nadmiaru składników pokarmowych w badanej roślinie w stosunku do przyjętej normy. Normy DRIS są to stosunki składników pokarmowych dla populacji o wysokich plonach, uwzględniające gatunek i fazę rozwojową rośliny. Podaje się je w formie dwóch liczb: średniej arytmetycznej i współczynnika zmienności lub wariancji (tab. 13).

Tabela 13

Normy DRIS dla pszenicy i żyta w fazie strzelania w źdźbło

| Parametry analizy roślin | pszenica ozima |           | żyto    |           |
|--------------------------|----------------|-----------|---------|-----------|
|                          | średnia        | wariancja | średnia | wariancja |
| N/P*                     | 7,72           | 2,455     | 6,90    | 1,221     |
| N/K                      | 0,89           | 0,032     | 0,98    | 0,038     |
| N/Ca                     | 7,73           | 2,966     | 8,23    | 2,744     |
| N/Mg                     | 28,12          | 72,440    | 27,87   | 32,692    |
| P/K                      | 0,12           | 0,000     | 0,14    | 0,000     |
| P/Ca                     | 1,06           | 0,145     | 1,23    | 0,120     |
| P/Mg                     | 3,82           | 2,264     | 4,08    | 6,655     |
| K/Ca                     | 9,09           | 8,035     | 8,80    | 8,971     |
| K/Mg                     | 31,76          | 45,825    | 29,08   | 46,76     |
| Ca/Mg                    | 3,68           | 0,687     | 3,48    | 0,682     |

\*jest to stosunek procentowy zawartości N w s.m. do procentowej zawartości P w s.m.

Źródło: Faber i in., 1988 (1)

Podstawowym założeniem metody DRIS jest odniesienie uzyskanych wyników, przedstawiających rzeczywiste relacje zachodzące między pierwiastkami, do ściśle zdefiniowanych stosunków w grupie wysokich plonów. Prowadzona ocena sprowadza się do poszukiwania pierwiastka lub pierwiastków, które z powodu niedoboru lub nadmiaru zakłócają stan równowagi żywieniowej rośliny. Metoda DRIS opiera się na założeniu, że suma indeksów z uwzględnieniem znaków zawsze równa się zeru. Duża (powyżej 15) wartość bezwzględna sumy indeksów świadczy o niezrównoważonym stanie odżywienia rośliny. Metoda ta pozwala również uszeregować indeksy od najmniejszych (ujemnych) do największych (dodatnich), co odpowiada uszeregowaniu pierwiastków od największego niedoboru do największego nadmiaru.

### Metody pośrednie – polowe metody instrumentalne

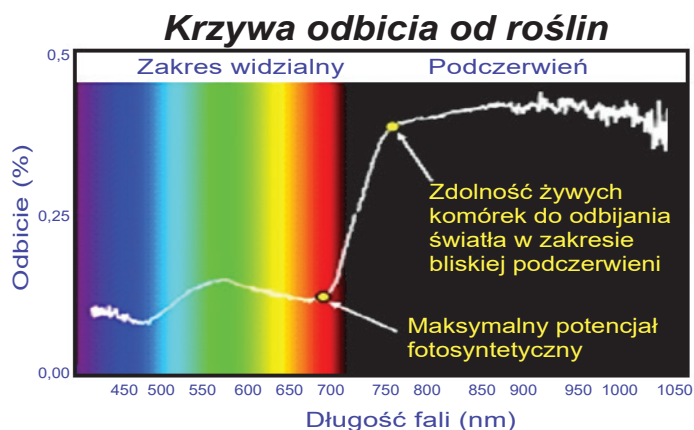
Dzięki postępowi technicznemu do oceny zawartości składników mineralnych (głównie azotu) w roślinach można zastosować aparaturę wykorzystującą zjawiska związane z charakterystyką światła (pochłanianie, odbicie). U podstaw funkcjonowania wskaźników wegetacji leżą właściwości występujących w każdej roślinie barwników asymilacyjnych (tab. 14).

Wybrane wskaźniki wegetacji i ich twórcy

| Wskaźnik wegetacji   | Twórca i rok wynalezienia     |
|--|-------------------------------|
| $RVI = R/NIR$  | Jordan (1969)                 |
| $NDVI = (NIR - R)/(NIR + R)$                                 | Rouse et al. (1974)           |
| $PVI = (NRI - aR - b)/(1 + a^2)^{1/2}$                       | Richardson and Wiegand (1977) |
| $SAVI = (1 + L)(NIR - R)/(NIR + R + L)$                      | Huete (1988)                  |
| $MSAVI = (NIR + 1) - (1/2)[(2NIR + 1)^2 - 8(NIR - R)]^{1/2}$ | Qi et al. (1994)              |

Źródło: Mikołowicz, 2008 (16)

Barwniki asymilacyjne absorbują promieniowanie elektromagnetyczne w zakresie od 400 do 700 nm. Zakres promieniowania biorący udział w fotosyntezie określa się jako PAR (ang. *Photosynthetically Active Radiation*). Każda zmiana zawartości barwników asymilacyjnych w roślinach oraz wody ma swoje przełożenie na wartości odbicia i absorpcji promieniowania elektromagnetycznego w poszczególnych długościach fal, co z kolei powoduje zmiany wartości wskaźników wegetacji. W zakresie widma odpowiadającego czerwieni odbicie promieniowania od roślin jest bardzo niskie, natomiast pochłanianie promieniowania – wysokie. Jest to spowodowane tym, że w zakresie promieniowania czerwonego swoje maksimum absorpcji ma chlorofil. Im większa jest zawartość chlorofilu, tym więcej promieniowania jest on w stanie pochłoniąć, co jednocześnie zmniejsza wartość odbicia promieniowania czerwonego od roślin. Wartość odbicia promieniowania czerwonego dla roślin będących w dobrej kondycji wynosi średnio około kilku procent. Każdy stres wpływający na roślinę i powodujący zmniejszenie zawartości, spadek aktywności chlorofilu lub uaktywnienie innych barwników asymilacyjnych powoduje wzrost odbicia promieniowania przy tej długości fali.



Rys. 3. Krzywa odbicia promieniowania słonecznego od roślin

Źródło: Mikołowicz, 2008 (16)

Zawartość chlorofilu w liściach roślin ma ścisły związek z zawartością azotu (20). Do metod wykorzystujących tę zależność należą testy SPAD i NDVI. Z praktycznego punktu widzenia istotną zaletą pomiarów NDVI i SPAD jest łatwość ich wykonania bez konieczności pobierania próbek roślinnych i przeprowadzania analiz chemicznych. Pomiary te są wykonywane bezpośrednio w polu.

### Test SPAD

Test SPAD (ang. *Soil Plant Analysis Development*), tzw. indeks zieloności liścia albo zawartości chlorofilu, służy do oceny stanu odżywienia roślin azotem. Pomiary wykonuje się bezpośrednio w polu na liściach roślin bez potrzeby ich zrywania, przy użyciu instrumentu SPAD 502, nazywanego też chlorofilometrem lub N-testerem (rys. 4).



Rys. 4. N-tester SPAD 502

Źródło: Alicja Pecio

Test SPAD polega na pomiarze różnic pomiędzy ilością światła absorbowanego (o długości fali 650 nm) i przepuszczanego (o długości fali 940 nm) przez tkankę liścia. Iloraz tych różnic, zgodnie z poniższym wzorem, jest indeksem SPAD:

$$\text{SPAD} = (940 \text{ nm} - 650 \text{ nm}) / (650 \text{ nm} - 940 \text{ nm})$$

Obliczenia, na podstawie 30 prawidłowo wykonanych pomiarów, wykonuje wbudowany w N-tester mikroprocesor. Wynik wyświetlany na ekranie aparatu w jednostkach SPAD określa średnią zawartość chlorofilu w skali 0–800. Przy takim samym stanie odżywienia roślin azotem odczyty są charakterystyczne dla gatunków, a nawet odmian roślin uprawnych. Różnice wartości indeksu pomiędzy gatunkami roślin są uwarunkowane genetycznie.

W celu umożliwienia wykorzystywania testu do oceny stanu odżywienia roślin azotem, wyznaczono wartości krytyczne indeksu odpowiadające optymalnemu stanowi odżywienia tym składnikiem (tab. 15). Jeżeli zmierzone wartości SPAD są niższe od krytycznych, wskazane jest nawożenie uzupełniające. Test SPAD znalazł zastosowanie w korekcie nawożenia pogłównego roślin uprawnych azotem, szczególnie w fazie strzelania w źdźbło zbóż (BBCH 30-31).

Tabela 15

Wartości odczytów SPAD dla zbóż w zależności od dawek azotu

| Dawka N<br>(kg·ha <sup>-1</sup> ) | Pszemica ozima |           | Pszemżyto |           | Żyto |           | Pszemica jara |           |
|-----------------------------------|----------------|-----------|-----------|-----------|------|-----------|---------------|-----------|
|                                   | SPAD           | odch. st. | SPAD      | odch. st. | SPAD | odch. st. | SPAD          | odch. st. |
| 0                                 | 369            | 40        | 473       | 98        | 462  | 15        | 364           | 10        |
| 25                                | 443            | 25        | 480       | 70        | 474  | 28        | 405           | 39        |
| 50                                | 486            | 16        | 500       | 70        | 500  | 21        | 450           | 26        |
| 75                                | 532            | 14        | 555       | 49        | 521  | 18        | 474           | 37        |
| 100                               | 545            | 14        | 585       | 42        | 529  | 21        | 500           | 34        |
| 125                               | 560            | 14        | 600       | 42        | 560  | 16        | 510           | 29        |

Źródło: Fotyma i Bezdusznik, 2000 (4)

## Test NDVI

Test NDVI (ang. *Normalized Difference Vegetation Index* – Znormalizowany Wskaźnik Wegetacji) jest podstawowym indeksem roślinnym stosowanym w tele-detekcji. Obliczany jest według wzoru:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

gdzie:

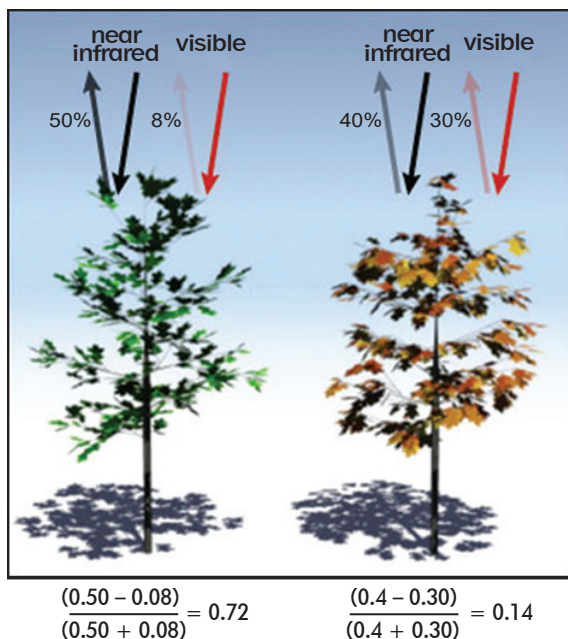
R – wartość odbicia promieniowania w paśmie czerwonym (widzialnym),

NIR – wartość odbicia promieniowania w bliskiej podczerwieni.

Wskaźnik NDVI przyjmuje wartości od –1 do 1, najczęściej waha się w przedziale od 0,4 do 0,9. Im większa jest różnica pomiędzy wartością odbicia promieniowania w paśmie czerwieni i odbicia promieniowania w podczerwieni, tym wyższe wartości przyjmuje wskaźnik NDVI. Na rysunku 5 przedstawiono zasadę tworzenia wskaźnika NDVI. Rośliny w dobrej kondycji (odżywione, bez działających na nie stresów) pochłaniają ponad 92% światła widzialnego, a odbijają 50% promieniowania podczerwonego (NDVI = 0,72). Gdy stan równowagi w roślinie zostaje zachwiany, np. na skutek działania niekorzystnych czynników, relacje te zmieniają się. Pochłanianie promieniowania widzialnego może zmniejszyć się do 70% i jednocześnie zmniejsza się do 40% ilość światła odbitego w zakresie bliskiej podczerwieni (NDVI = 0,14).

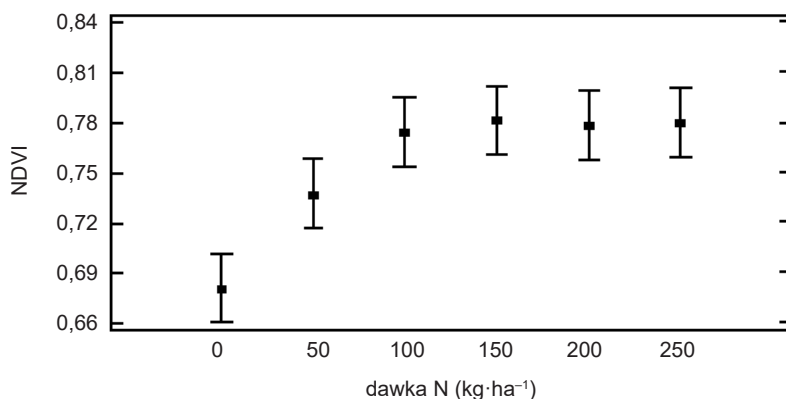
Test NDVI służy głównie do oceny stanu i kondycji łanu roślin, ale może być również używany do określenia stanu odżywienia azotem. Wyniki wielu badań mających na celu określenie relacji pomiędzy zawartością azotu w roślinach, zawartością

chlorofilu a charakterystyką promieniowania odbitego od roślin wykazały zależności pomiędzy nawożeniem azotem a charakterystyką spektralną roślin zbożowych (19, 21). Stwierdzono również istotny wpływ dawki N na zawartość chlorofilu w roślinach (20) oraz istotną zależność pomiędzy zawartością chlorofilu w roślinach a ich wskaźnikami wegetacji (17, 21) (rys. 6).



Rys. 5. Zasada tworzenia wskaźnika zieleni NDVI

Źródło: Mikołowicz, 2008 (16)



Rys. 6. Wpływ dawki N na wskaźnik NDVI kukurydzy mierzony instrumentem GreenSeeker

Źródło: Mikołowicz, 2008 (16)

Wskaźnik NDVI znalazł zastosowanie szczególnie w rolnictwie precyzyjnym. Urządzenia mierzące ten wskaźnik są montowane na ciągnikach i połączone z komputerem sterującym rozsiewaczem bądź opryskiwaczem. Pozwala to korygować dawkę nawozu lub środka ochrony roślin w trakcie zabiegu agrotechnicznego.

Przykładem urządzenia wykorzystywanego do pomiaru wskaźników wegetacji jest GreenSeeker, produkowany przez firmę NTech (rys. 7). Przyrząd emituje promieniowanie o długości fali 600 nm (czerwień) oraz 770 nm (bliska podczerwień). Detektor rejestruje promieniowanie odbite od roślin. Wartości te przeliczane są na wskaźniki zieleni i zapisywane w pamięci wewnętrznego komputera.



Rys. 7. GreenSeeker umieszczony na dachu ciągnika

Źródło: Alicja Pecio

## Bilans składników nawozowych

W kolejnej z wymienionych metod określania potrzeb nawozowych roślin, tj. metodzie bilansowej, dawki nawozów oblicza się z różnicy pomiędzy przychodem i rozchodem składników pokarmowych. Bilans składników pokarmowych w układzie gleba – roślina jest podstawą systemu doradztwa nawozowego NAW. Po stronie rozchodu uwzględnia się pobranie składnika z plonem, natomiast po stronie przychodu – zasoby glebowe składników, ilość składników wnoszonych w nawozach organicznych, a w przypadku azotu, także wiązanie biologiczne oraz efekt azotu resztkowego (działanie następcze azotu z nawozów mineralnych zastosowanych pod przedplon). Mankamentem tej metody jest niemożność uwzględnienia w bilansie wszystkich źródeł przychodu (np. opad z atmosfery, wiązanie biologiczne, mineralizacja substancji organicznej etc.) oraz wszystkich rozchodów (straty w wyniku wymywania, spływu powierzchniowego, straty gazowe).

## Bilans azotu

W bilansie azotu po stronie przychodów oprócz azotu z gleby (pobranie z plonem minimalnym) uwzględnia się także działanie nawozowe N z innych źródeł oraz azot pozostający w glebie po uprawie roślin bobowatych. Dawkę  $N_{\min}$  oblicza się według następującego wzoru:

$$\text{Dawka } N_{\min} = \text{plon osiągalny w gospodarstwie rolnym [t·ha}^{-1}] \times \text{pobranie jednostkowe azotu [kg N·t}^{-1}] - \sum N \text{ z innych źródeł} \times \text{równoważnik nawozowy} - \text{korekta dla roślin uprawianych po przedplonach lub międzyplonach bobowatych}/0,7 \text{ (współczynnik wykorzystania N z nawozów azotowych mineralnych) (15).}$$

Pobranie jednostkowe azotu dla wybranych roślin przedstawiono w tabeli 1.

Azot pochodzący z tych źródeł przelicza się na tzw. azot działający, to znaczy wykazujący takie samo działanie nawozowe jak azot z nawozów mineralnych. Do przeliczeń stosuje się prosty wzór:

$$N_D = N_{og} \times R$$

gdzie:

$N_D$  – azot działający,

$N_{og}$  – azot całkowity pochodzący z danego źródła,

R – równoważnik nawozowy azotu dla tego źródła.

Równoważnik nawozowy określa wartość 1 kg N z danego źródła w jednostkach azotu z nawozów mineralnych (tab. 16). Wartość równoważnika 0,5 oznacza na przykład, że 1 kg składnika z danego źródła (np. z nawozu organicznego) odpowiada działaniu 0,5 kg składnika w nawozie mineralnym. Równoważniki nawozowe azotu wyznaczone na podstawie wyników odpowiednio zaplanowanych doświadczeń polowych (10).

Tabela 16  
Równoważniki nawozowe azotu z wybranych źródeł w zależności od terminu stosowania

| Źródło azotu | Termin stosowania |        |
|--------------|-------------------|--------|
|              | jesień            | wiosna |
| Obornik      |                   |        |
| Bydło        | 0,35              | 0,40   |
| Świnie       | 0,40              | 0,45   |
| Gnojowica    |                   |        |
| Bydło        | 0,50              | 0,60   |
| Świnie       | 0,60              | 0,70   |
| Gnojówka     |                   |        |
| Bydło        | 0,55              | 0,75   |
| Świnie       | 0,65              | 0,80   |



| Źródło azotu                             | Termin stosowania |                  |
|--|-------------------|------------------|
|  | jesień            | wiosna           |
| Frakcja stała po separacji gnojowicy     |                   |                  |
| Bydło                                    | 0,20              | 0,25             |
| Świnie                                   | 0,25              | 0,30             |
| Frakcja ciekła po separacji gnojowicy    |                   |                  |
| Bydło                                    | 0,70              | 0,80             |
| Świnie                                   | 0,75              | 0,85             |
| Inne                                     |                   |                  |
| Produkt pofermentacyjny (frakcja płynna) | 0,60              | 0,7              |
| Produkt pofermentacyjny (frakcja stała)  | 0,30              | 0,4              |
| Kompost i inne nawozy organiczne         | 0,30              |                  |
| Azot mineralny z zasobów glebowych       | 0,9 <sup>1</sup>  | 0,6 <sup>2</sup> |

<sup>1</sup>w uprawach roślin ozimych do nawożenia wiosną; <sup>2</sup>w uprawach roślin jarych

Źródło: Rozporządzenie..., 2020 (15)

Tabela 17

Ilość azotu pozostającego działającego po uprawie roślin bobowatych

| Rodzaj przedplonu                       | Bobowate w czystym siewie   |   | Bobowate w mieszankach z trawami lub zbożami |            | Przyorane liście roślin korzeniowych |
|---|---|---|--|------------|--------------------------------------|
|   | plon główny   | międzyplon  | plon główny                                  | międzyplon |                                      |
| Przyorane resztki poźniwne              | 30 kg   | 15 kg   | 20 kg  | 10 kg      | 25 kg                                |
| Przyorane całe rośliny na zielony nawóz | łubin żółty – 74 kg<br>groch – 77 kg<br>seradela – 65 kg<br>pozostałe – 60 kg | koniczyna czerw. – 30 kg<br>koniczyna b. – 27 kg<br>seradela – 33 kg<br>pozostałe – 30 kg | 50 kg  | 20 kg      | -                                    |

Źródło: Rozporządzenie..., 2020 (15)

Saldo bilansu azotu, czyli różnica pomiędzy potrzebami pokarmowymi roślin a ilością składnika pobieraną z gleby i innych źródeł (przeliczona na azot działający), wyznacza potrzeby nawozowe na azot z nawozów mineralnych. Zalecana dawka nawozów azotowych powinna być wyższa niż wyliczone potrzeby nawozowe na N z nawozów mineralnych z uwagi na fakt, iż rośliny wykorzystują tylko część składnika dostarczonego w nawozach. Wynika to częściowo z rozbieżności pomiędzy terminem stosowania nawozów i tempem pobierania składników przez rośliny, przestrzennym rozmieszczeniem nawozów i systemu korzeniowego, a częściowo związane jest ze stratami azotu (wymywanie i straty gazowe). Dawkę nawozów azotowych obliczamy, mnożąc wyliczone potrzeby nawozowe na azot z nawozów mineralnych przez odwrotność współczynnika wykorzystania N z tych nawozów.

## Bilans fosforu, potasu i magnezu

Potrzeby nawożenia P, K, Mg uwzględniają potrzeby pokarmowe roślin oraz zasobność gleby w przyswajalne formy składników. Na glebach o niskiej zawartości składników pobranie przez rośliny jest mniejsze niż zastosowana dawka nawozów, co wynika z immobilizacji części składników nawozowych i całkowite zapotrzebowanie nawozowe musi być zwiększone. Na glebach zasobnych pobranie przez rośliny może przewyższać ich dopływ w nawozach dzięki wykorzystaniu rezerw glebowych i całkowite potrzeby nawozowe mogą być odpowiednio zmniejszone. Na podstawie wyników doświadczeń wieloletnich wyznaczono optymalne wartości stosunku całkowitych potrzeb nawozowych do potrzeb pokarmowych roślin:

$$B = \text{całkowite potrzeby nawozowe/potrzeby pokarmowe}$$

Wartość B określana jest jako współczynnik bilansowy danego składnika. Wielkość tego współczynnika zależy od kategorii agronomicznej gleby i od zawartości w niej przyswajalnych form składników (8). Wartości współczynników bilansowych dla gleb ubogich w składniki pokarmowe przyjmują wartości większe od 1, dla gleb o optymalnej zawartości składników – wartości bliskie 1 i dla gleb zasobnych – wartości mniejsze od 1. Mnożąc całkowite potrzeby nawozowe roślin przez współczynnik bilansowy, oblicza się ostatecznie ilość składnika w nawozach mineralnych i organicznych, którą należy zastosować, aby uzyskać optymalny plon roślin. Od wyznaczonej w taki sposób całkowitej ilości składników odejmuje się ilość składników działających w nawozach organicznych. Działanie nawozów organicznych rozkłada się na okres dwóch lat. Ilość składników działających w kolejnych latach oblicza się jako iloczyn dawki nawozu organicznego, zawartości procentowej składnika i równoważnika nawozowego (10).

Wyliczone w ten sposób potrzeby nawozowe w odniesieniu do fosforu, potasu i magnezu z nawozów mineralnych odpowiadają zalecanej dawce tych nawozów. W przeciwieństwie do azotu nie uwzględnia się tutaj współczynnika wykorzystania P, K i Mg z nawozów mineralnych, gdyż został on pośrednio uwzględniony we współczynniku bilansowym.

## Podsumowanie

W pracy przedstawiono teoretyczne podstawy wyznaczania potrzeb pokarmowych i potrzeb nawożenia roślin uprawnych. Potrzeby pokarmowe roślin to ilość składnika, jaką roślina musi pobrać, aby wydać osiągalny plon. Wyznaczane są jako iloczyn prognozowanego w danych warunkach plonu i wielkości pobrania składnika potrzebnego do wyprodukowania jednostki produktu. Potrzeby nawozowe określają ilość składników, jaką należy dostarczyć roślinom, aby mogły pokryć swoje potrzeby pokarmowe. Mogą one być częściowo zaspokojone z rezerw składników nagromadzonych w glebie, z nawozów organicznych lub z przyoranych pozostałości

przedplonu. Pozostałą część należy uzupełnić w nawozach mineralnych, których dawki można wyznaczyć z wykorzystaniem funkcji produkcji, na podstawie testów glebowych lub roślinnych oraz opierając się na bilansie składników nawozowych. Funkcja produkcji opisuje zależność pomiędzy plonem rośliny a zastosowaną dawką nawozu, z wykorzystaniem funkcji matematycznej i odpowiadającego jej wykresu. Wśród testów glebowych wiodącą pozycję zajmują testy chemiczne polegające na ekstrakcji i oznaczaniu zawartości tzw. przyswajalnych form składników mineralnych, które stanowią sumę składników w formie aktywnej i określonej ich ilości w formie ruchomej. Testy roślinne można podzielić na dwie grupy, tj. służące do bezpośredniej oceny stanu odżywienia roślin na podstawie analizy chemicznej materiału roślinnego (metoda przedziałów krytycznych, test NNI i metoda DRIS) oraz metody pośrednie, wykorzystujące zjawiska pochłaniania i odbicia światła, związane z występowaniem barwników roślinnych (testy SPAD i NDVI).

### Literatura

1. Faber A., Filipiak K., Kryszkowska T.: Zalecenia nawozowe. Cz. III. Kontrola stanu odżywienia roślin metodą DRIS. IUNG, Puławy 1988, **P(37)**: 1-35.
2. Fotyma E.: Przydatność glebowego testu Nmin w nawożeniu zbóż ozimych. *Fragmenta Agronomica*, 1995, **3**: 59-78.
3. Fotyma E.: Zasady nawożenia azotem z wykorzystaniem testów glebowych i roślinnych. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization*, 2000, **3(4)**: 17-37.
4. Fotyma E., Bezdusznik D.: Wykorzystanie testu NNI i testu SPAD do oceny stanu odżywienia zbóż azotem. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization*, 2000, **4(5)**: 78-90.
5. Fotyma E., Pecio A. Zależność pomiędzy zawartością azotu a nagromadzeniem suchej masy przez zboża. *Pam. Puł.* 1999, 114: 93-100.
6. Fotyma E., Wilkos G., Pietruch C.: Test glebowy azotu mineralnego – możliwości praktycznego wykorzystania. *Mat. Szkol. IUNG, Puławy*, 1998, **69**: 1-48.
7. Fotyma M.: Przewidywalność składników pokarmowych dla roślin. W: *Chemiczne podstawy żywności gleb i nawożenia*, M. Fotyma, S. Mercik i A. Faber (red). PWRiL, Warszawa 1987, ss. 22-33.
8. Gastal F., Lemaire G.: N uptake and distribution in crop: an agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany*, 2002, **53**: 789-799.
9. Grzebiś W.: Nawożenie roślin uprawnych. PWRiL Poznań, 2008, **cz. 2**, ss. 131-141.
10. Jadczyzyn T.: Podstawy naukowe doradztwa nawozowego. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization*, 2000, **4(5)**: 185-205.
11. Jadczyzyn T., Kowalczyk J., Lipiński W.: Nawożenie mineralne na gruntach ornych i trwałych użytkach zielonych. Instrukcja upowszechnieniowa, IUNG-PIB, Puławy 2012, **184**: 1-24.
12. Kocón A.: Potrzeby pokarmowe roślin. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, Puławy 2014, **37(11)**: 19-31.
13. Korzeniowska J., Stanisławska-Glubiak E., Jadczyzyn T., Lipiński W.: Nawożenie upraw rolniczych mikroelementami. Nowe liczby graniczne do oceny zawartości mikroelementów w glebie. Instrukcja upowszechnieniowa, IUNG-PIB, Puławy 2021, **249**: 1-28.
14. Lemaire G., Cruz P., Gosse G., Chartier M.: Study on the relationship between the nitrogen uptake dynamics of alfalfa (*Medicago sativa* L). *Agronomy (In French)*, 1995, **5**: 685-692.
15. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 12 lutego 2020 r. poz. 243 w sprawie przyjęcia „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu”, (Dz.U., poz. 243, 2020).
16. Mikołowicz P.: Porównanie trzech metod oznaczania indeksu NDVI w łanie roślin. *Fragmenta Agronomica*, 2008, **2**: 93-107.

17. S i m s D. A., G a m o n J. A.: relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and development stages. *Remote Sensing of Environment*, 2002, **81**: 337-354.
  18. W a c h D.: Metody oceny stanu odżywienia roślin. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, Puławy 2015, **42(16)**: 53-68.
  19. W a l b u r g G., B a u e r M. E., D a u g h t r y C. S. T., H o u s l e y T. L.: Effect of nitrogen nutrition on the growth, yield and reflectance characteristic of corn canopies. *Agronomy Journal*, 1982, **74**: 667-683.
  20. W o o d C. W., R e e v e r s D. W., H i m e l r i c k D. G.: Relationship between chlorophyll meter readings and leaf chlorophyll concentration, N status and crop yield: a Review. *Proc. Agron. Soc. New Zeland*, 1993, **23**: 1-9.
  21. Y o d e r B. J., P e t t i g r e w - C r o s b y R. E.: Predicting nitrogen and chlorophyll content and concentrations from reflectance spectra (400-2500 nm) at leaf and canopy scales. *Remote Sensing of Environment*, 1995, **53**: 199-211.
  22. Zalecenia nawozowe. Cz. I. Liczby graniczne do wyceny zawartości w glebach makro- i mikroelementów. Puławy 1990, Seria P, **44**: 26.
- 

Adres do korespondencji:

*prof. dr hab. Alicja Pecio*  
*Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8,*  
*24-100 Puławy*  
*tel. 81 4786 831*  
*e-mail: alicja.pecio@iung.pulawy.pl*

---

AUTOR  
Alicja Pecio

ORCID  
0000-0001-7780-8313



**Jerzy Kopiński, Stanisław Krasowicz**

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

## NAWOZOCHLONNOŚĆ PRODUKCJI ROŚLINNEJ W RÓŻNYCH TYPACH GOSPODARSTW ROLNICZYCH\*

**Słowa kluczowe:** gospodarka nawozowa, nawozochłonność, produktywność, gospodarstwa rolnicze, kierunek produkcji

### Wstęp

Jednym z wyznaczników zrównoważenia rolnictwa jest racjonalna gospodarka nawozowa. Głównym źródłem składników nawozowych są nawozy mineralne, naturalne i organiczne. Stosowanie nawożenia jest niezbędne w celu zapewnienia wzrostu i rozwoju roślin oraz uzyskania odpowiedniego poziomu plonów roślin uprawnych bez pogarszania żyzności gleb (1). Struktura zasiewów i poziom plonów uprawianych roślin decydują o produktywności rolniczej przestrzeni produkcyjnej. Łączne zużycie składników nawozowych i produktywność rolniczej przestrzeni produkcyjnej wyrażona w jednostkach zbożowych (j.zb.) (7) są podstawą oceny nawozochłonności produkcji roślinnej. Wskaźnik ten jest odwrotnością efektywności technicznej nawożenia (3, 8). Jego miarą jest zużycie składników nawozowych N, P, K w przeliczeniu na jednostkę podstawowej produkcji roślinnej. Nawozochłonność jest jednym z kryteriów oceny racjonalności gospodarki nawozowej, także w kontekście dążeń do ograniczenia negatywnego wpływu rolnictwa na środowisko przyrodnicze (2). Jest ona uwarunkowana intensywnością produkcji, której miarą jest zużycie nawozów wyrażone w kg NPK na ha użytków rolnych (UR) oraz strukturą i wydajnością produkcji roślinnej sumarycznie wyrażonej w jednostkach zbożowych.

W literaturze można spotkać analizy regionalnego zróżnicowania nawozochłonności produkcji roślinnej (3, 9, 10). Daje się natomiast zauważyć brak ocen nawozo-

---

\*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.3 pt. „Doskonalenie internetowej bazy danych o produktach nawozowych” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2021 r.

chłonności produkcji roślinnej w zależności od typów produkcyjnych gospodarstw. Znacznie więcej uwagi poświęca się ocenie kierunków specjalizacji gospodarstw i ich wpływu na sytuację ekonomiczną rodzin rolniczych. Jednocześnie w założeniach Wspólnej Polityki Rolnej (WPR) na lata 2023–2027 zwraca się uwagę na ograniczenia niekorzystnego wpływu rolnictwa na środowisko. Problem ten jest jedną z przesłanek koncepcji tzw. Europejskiego Zielonego Ładu (2), wskazującej na potrzebę racjonalnego nawożenia. Jej podstawowym warunkiem jest dostosowanie zużycia składników nawozowych pochodzących ze wszystkich źródeł i form nawozów do ilości pobieranej przez rośliny w formie oczekiwanych plonów (11).

O nawozochłonności jako ilorazie zużycia składników nawozowych i produktywności roślinnej decyduje specyfika różnych typów (kierunków) gospodarstw rolniczych wyrażająca się ich specjalizacją produkcyjną. Typ gospodarstwa wpływać może na poziom i strukturę nawozochłonności.

Celem opracowania była ocena nawozochłonności różnych typów gospodarstw rolniczych.

### **Material i założenia metodyczne**

Podstawę analizy stanowiły wyniki badań ekonomiczno-organizacyjnych prowadzonych w latach 2016–2019, w 38 gospodarstwach współpracujących z IUNG-PIB w Puławach, zlokalizowanych w województwach: dolnośląskim, lubelskim, podlaskim i wielkopolskim. W celu zebrania danych umożliwiających wykonanie analizy w gospodarstwach tych przeprowadzono badanie ankietowe. Omawiana zbiorowość gospodarstw charakteryzuje się niewielką liczebnością i nie zapewnia reprezentatywności regionalnej, jednak czteroletni okres badań umożliwia dokonywanie porównań pomiędzy poszczególnymi grupami.

Głównym kryterium podziału celowego gospodarstw na 4 grupy był kierunek produkcji. Gospodarstwa te reprezentowały następujące kierunki: wielokierunkowe (A) (6 gosp.), produkcja mleka (B) (13 gosp.), produkcja trzody chlewnej (C) (4 gosp.) i produkcja roślinna (bezinwentarzowe) (D) (15 gosp.). Kryterium specjalizacji gospodarstw stanowił udział poszczególnych gałęzi w strukturze produkcji końcowej brutto.

Do oceny warunków organizacyjnych i efektów produkcyjnych oraz ekonomicznych badanych gospodarstw wybrano wskaźniki analityczne proponowane przez Harasima (6, 7). W celu zapewnienia porównywalności wyników zastosowano jednolitą metodę analizy i identyczne kryteria oceny wszystkich gospodarstw. W celu wyeliminowania zmian w latach za podstawę porównań oceny przyjęto średnie wskaźniki z 4 lat. W obliczeniach nie uwzględniono plonów ubocznych roślin oraz dopływu składników pokarmowych wnoszonych w formie przyorywanej słomy czy liści buraka cukrowego.

### Omówienie wyników

Badane typy gospodarstw różniły się pod względem szeregu wskaźników charakteryzujących wyniki produkcyjne i ekonomiczne, uwarunkowania organizacyjne oraz zasoby podstawowych czynników produkcji rolniczej, to jest: ziemi, pracy, kapitału.

Charakterystykę badanych typów gospodarstw przedstawiono w tabeli 1. Porównanie zamieszczonych w niej danych wskazuje, że największą powierzchnię w ha użytków rolnych miały gospodarstwa specjalizujące się w produkcji roślinnej. Gospodarstwa o wielokierunkowym charakterze produkcji i specjalizujące się w produkcji mleka miały zbliżony, największy udział trwałych użytków zielonych (TUZ) w strukturze użytków rolnych (UR). Miały też relatywnie wyższe zatrudnienie na 100 ha UR. Wyraźnie wyższym wskaźnikiem bonitacji gleb wyróżniała się grupa gospodarstw wyspecjalizowanych w produkcji roślinnej. Największą wartością środków trwałych w przeliczeniu na 1 ha UR charakteryzowały się gospodarstwa specjalizujące się w produkcji mleka, a najniższą ukierunkowane na produkcję roślinną. Gospodarstwa specjalizujące się w produkcji trzody chlewnej uzyskiwały około 3-krotnie wyższą produkcję rolną wyrażoną w jednostkach zbożowych z 1 ha UR w porównaniu z gospodarstwami wielokierunkowymi i reprezentującymi typ produkcji roślinnej. Ta grupa gospodarstw miała też blisko dwukrotnie większą, od średniej dla całej badanej zbiorowości, wielkość ekonomiczną.

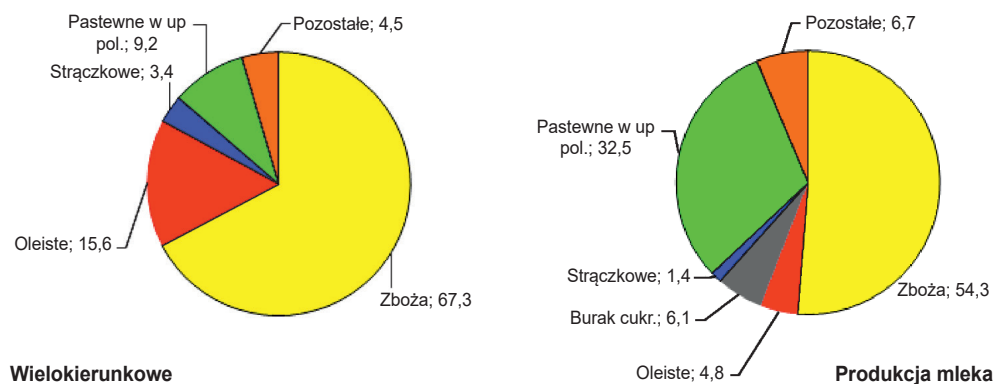
Tabela 1  
Podstawowe cechy i wskaźniki charakteryzujące zasoby czynników produkcji badanych grup gospodarstw w latach 2016–2019

| Wyszczególnienie  | Kierunki produkcji gospodarstw |                 |                      |                    | Gospodarstwa razem |
|---|--------------------------------|-----------------|----------------------|--------------------|--------------------|
|   | wielokierunkowe                | produkcja mleka | chów trzody chlewnej | produkcja roślinna |                    |
| Powierzchnia gospodarstwa (ha UR)                       | 27,6                           | 32,5            | 38,8                 | 58,0               | 41,6               |
| Udział TUZ (%)  | 18,7                           | 17,7            | 6,9                  | 2,8                | 8,5                |
| Wskaźnik bonitacji (pkt)                                | 0,81                           | 0,86            | 0,84                 | 0,99               | 0,91               |
| Środki trwałe (tys. zł; zł·ha <sup>-1</sup> UR), w tym: | 1293                           | 1917            | 1793                 | 2356               | 1952               |
| – maszyny i narzędzia                                   | 46,8                           | 59,0            | 46,2                 | 40,6               | 46,9               |
| – budynki i budowle gospodarskie                        | 232                            | 522             | 413                  | 577                | 480                |
|   | 8,4                            | 16,1            | 10,6                 | 9,9                | 11,5               |
| – ziemia  | 436                            | 455             | 558                  | 417                | 451                |
|   | 15,8                           | 14,0            | 14,4                 | 7,2                | 10,8               |
|   | 625                            | 940             | 822                  | 1362               | 1021               |
|   | 22,6                           | 28,9            | 21,2                 | 23,5               | 24,5               |
| Zatrudnienie (AWU·100 ha <sup>-1</sup> UR)              | 6,6                            | 6,5             | 4,4                  | 3,6                | 4,8                |
| Produkcja rolna (j.zb.·ha <sup>-1</sup> UR)             | 61,5                           | 114,5           | 185,7                | 68,7               | 94,2               |
| Wielkość ekonomiczna gospodarstwa SO (tys. €)           | 31,0                           | 85,8            | 143,6                | 68,8               | 77,5               |

Źródło: opracowanie własne

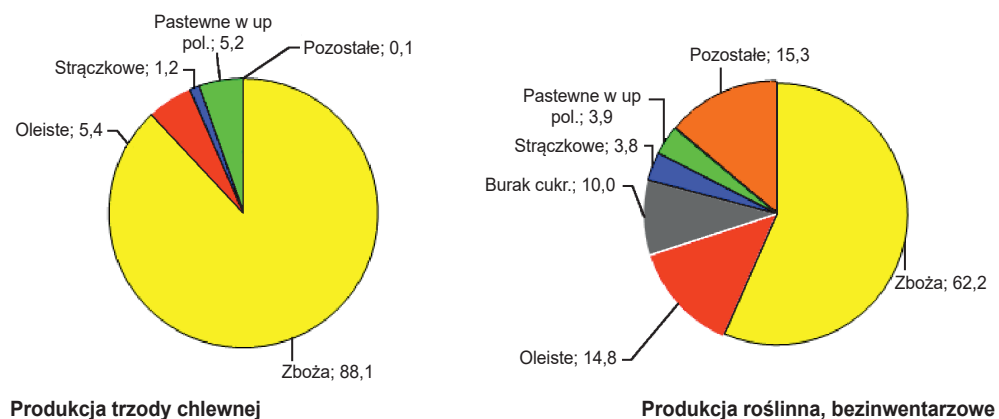


Typ gospodarstw warunkowany ich specjalizacją znalazł też odzwierciedlenie w strukturze zasiewów (rys. 1 i 2). Najwyższym udziałem zbóż w strukturze zasiewów charakteryzowała się grupa gospodarstw wyspecjalizowanych w produkcji trzody chlewnej, a najniższym – grupa gospodarstw ukierunkowanych na produkcję mleka. Wiązało się to ze specyfiką systemów żywienia inwentarza. W przypadku trzody chlewnej głównym źródłem pasz było ziarno zbóż uzupełniane nasionami roślin strączkowych i koncentratem białkowym z zakupu. Z kolei w gospodarstwach ukierunkowanych na produkcję mleka, aż 32,5% w strukturze zasiewów miały rośliny pastewne w uprawie polowej, głównie kukurydza uprawiana na kiszonkę, stanowiąca ważne źródło pasz energetycznych dla bydła. W gospodarstwach tych ponad 6% powierzchni zasiewów było przeznaczanych pod uprawę buraka cukrowego, również częściowo zaspokajającego zapotrzebowanie na paszę dla bydła w postaci wysłodków.



Rys. 1. Struktura zasiewów na GO (%) w analizowanych grupach gospodarstw; średnio w latach 2016–2019

Źródło: opracowanie własne



Rys. 2. Struktura zasiewów na GO (%) w analizowanych grupach gospodarstw; średnio w latach 2016–2019

Źródło: opracowanie własne

W gospodarstwach wielokierunkowych i roślinnych średnio około 15% w strukturze zasiewów miały rośliny oleiste. Uprawa ziemniaka we wszystkich porównywanych typach gospodarstw nie miała większego znaczenia, poza zużyciem na potrzeby własne gospodarstw domowych, i została uwzględniona w grupie roślin „pozostałych” wraz z warzywami i roślinami specjalnymi.

Kierunek specjalizacji gospodarstw wpłynął też na obsadę inwentarza w DJP na ha UR i strukturę pogłównia ocenianą poprzez obsadę bydła i trzody chlewnej (tab. 2). Najwyższą obsadą zwierząt charakteryzowały się gospodarstwa prowadzące chów trzody chlewnej, co wiązało się z cyklem produkcji i rotacją (obrotem) stada, a także zasobnością kapitału i posiadaną infrastrukturą budowlaną. Gospodarstwa wyspecjalizowane w produkcji mleka utrzymywały wyłącznie bydło, którego obsada wynosiła 1,17 DJP·ha<sup>-1</sup> UR. Ta grupa gospodarstw wyróżniała się relatywnie wysoką wydajnością mleczną krów. Wskaźnik ten najwyższą wartość osiągnął w gospodarstwach prowadzących chów trzody chlewnej, mimo małej skali produkcji i utrzymywania niewielkiego pogłównia bydła. W grupie gospodarstw ukierunkowanych na chów bydła znalazły się także gospodarstwa ekologiczne, o mniejszej intensywności żywienia krów. W gospodarstwach tych dominującym kierunkiem produkcji zwierzęcej była produkcja żywca wieprzowego. Znalazło to wyraz w wielkości produkcji żywca wieprzowego w kg·ha<sup>-1</sup> UR i bardzo wysokiej produkcji zwierzęcej wyrażonej w j.zb·ha<sup>-1</sup> UR, natomiast produkcja mleka była kierunkiem dodatkowym.

Tabela 2

Obsada i struktura pogłównia oraz wskaźniki produkcji zwierzęcej badanych grup gospodarstw w latach 2016–2019

| Wyszczególnienie  | Kierunki produkcji gospodarstw |                 |                      |                    | Gospodarstwa razem |
|---|--------------------------------|-----------------|----------------------|--------------------|--------------------|
|   | wielokierunkowe                | produkcja mleka | chów trzody chlewnej | produkcja roślinna |                    |
| Obsada zwierząt (DJP·ha <sup>-1</sup> UR), w tym:                 | 0,46                           | 1,17            | 1,39                 | 0,08               | 0,54               |
| – bydła (DJP·ha <sup>-1</sup> UR)                                 | 0,29                           | 1,17            | 0,28                 | 0,07               | 0,39               |
| – trzody chlewnej (DJP·ha <sup>-1</sup> UR)                       | 0,10                           | 0,00            | 1,11                 | 0,01               | 0,14               |
| – pozostałych (DJP·ha <sup>-1</sup> UR)                           | 0,07                           | 0,00            | 0,00                 | 0,00               | 0,01               |
| Wydajność mleczna krów (l·szt. <sup>-1</sup> ·rok <sup>-1</sup> ) | 4490                           | 6640            | 7785                 | 3305               | 6067               |
| Produkcja żywca wołowego (kg·ha <sup>-1</sup> UR)                 | 77,1                           | 192,9           | 50,8                 | 18,0               | 71,4               |
| Produkcja żywca wieprzowego (kg·ha <sup>-1</sup> UR)              | 198,6                          | 2,0             | 2345,3               | 9,0                | 322,5              |
| Produkcja żywca pozostałego (kg·ha <sup>-1</sup> UR)              | 19,2                           | 5,4             | 0                    | 1,5                | 3,7                |
| Produkcja zwierzęca (j.zb·ha <sup>-1</sup> UR)                    | 21,3                           | 52,7            | 134,0                | 3,4                | 38,9               |

Źródło: opracowanie własne

Warto podkreślić, że zróżnicowanie obsady zwierząt wywarło też znaczący wpływ na ilość składników nawozowych wnoszonych w postaci nawozów naturalnych, a także na nawozochłonność produkcji roślinnej.

W tabeli 3 przedstawiono porównanie intensywności produkcji roślinnej mierzonej poziomem zużycia kg NPK w nawozach mineralnych na 1 ha UR oraz produktywność roślin ocenianą w jednostkach zbożowych z 1 ha UR. Najwyższym zużyciem nawozów mineralnych charakteryzowała się grupa gospodarstw prowadzących produkcję mleka, a następnie wyspecjalizowana w produkcji roślinnej. W gospodarstwach wielokierunkowych, bez wyraźnej specjalizacji, zużycie nawozów mineralnych kształtowało się na poziomie średniej dla Polski (12).

Tabela 3

Intensywność produkcji i produktywność roślin badanych grup gospodarstw w latach 2016–2019

| Wyszczególnienie   | Kierunki produkcji gospodarstw |                 |                      |                    | Gospodarstwa razem |
|--|--------------------------------|-----------------|----------------------|--------------------|--------------------|
|  | wielokierunkowe                | produkcja mleka | chów trzody chlewnej | produkcja roślinna |                    |
| Nawożenie mineralne (kg NPK · ha <sup>-1</sup> UR), w tym:   | 139,1                          | 323,6           | 175,3                | 262,1              | 256,1              |
| – azotowe (N kg · ha <sup>-1</sup> )   | 85,3                           | 155,4           | 107,8                | 135,1              | 133,7              |
| – fosforowe (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg · ha <sup>-1</sup> )                                 | 25,8                           | 64,0            | 30,6                 | 47,7               | 47,3               |
| – potasowe (K <sub>2</sub> O kg · ha <sup>-1</sup> )   | 28,1                           | 104,2           | 36,9                 | 79,0               | 75,6               |
| Nawozochłonność prod. roślin. z nawozów mineralnych (kg NPK · j. zb. prod. roślin. <sup>-1</sup> ) | 3,2                            | 5,5             | 3,0                  | 4,0                | 4,1                |
| Relatywne zróżnicowanie nawozochłonności (%) (średnia ogółu = 100%)                                | 76                             | 131             | 71                   | 95                 | 100                |
| Produkcja roślinna (j. zb. · ha <sup>-1</sup> UR)  | 43,2                           | 59,2            | 58,5                 | 66,0               | 61,3               |
| Relatywne zróżnicowanie produkcji roślinnej (%) (średnia ogółu = 100%)                             | 70                             | 97              | 95                   | 108                | 100                |

Źródło: opracowanie własne

We wszystkich grupach gospodarstw i łącznie w całej badanej zbiorowości w strukturze zużywanych nawozów dominował azot. W przypadku gospodarstw mlecznych jego zużycie w nawozach mineralnych wynosiło niemal 155 kg · ha<sup>-1</sup> UR, co przy uwzględnieniu znacznego dopływu azotu w nawozach naturalnych, można uznać za potencjalnie duże zagrożenie dla środowiska przyrodniczego. Nawozochłonność produkcji roślinnej wynikająca tylko ze stosowania nawożenia mineralnego była o 36% wyższa od średniej dla całej badanej zbiorowości. Natomiast produkcja roślinna,

wyrażona w j.zb·ha<sup>-1</sup> UR, kształtowała się na poziomie zbliżonym do średniej dla całej ocenianej zbiorowości i była niższa o ok. 10% w porównaniu z gospodarstwami wyspecjalizowanymi w produkcji roślinnej.

W tabeli 4 przedstawiono porównanie nawozochłonności produkcji roślinnej w analizowanych typach gospodarstw, z uwzględnieniem dwóch głównych źródeł dopływu składników pokarmowych (nawozowych) dla uprawianych roślin, tj. nawozów mineralnych i naturalnych. Najwyższą nawozochłonnością wyróżniały się gospodarstwa wyspecjalizowane w produkcji mleka, stosujące bardzo wysokie nawożenie mineralne, a jednocześnie dostarczające relatywnie znacznych dawek nawozów naturalnych. Najwyższym dopływem składników nawozowych NPK z nawozów naturalnych charakteryzowały się gospodarstwa wyspecjalizowane w chowie trzody chlewnej. Jednak w tej grupie gospodarstw, z uwagi na relatywnie niższe zużycie nawozów mineralnych, nawozochłonność całkowita kształtowała się na poziomie 6,3 kg NPK·j.zb.<sup>-1</sup>. Jest to poziom uznawany przez wielu autorów (4, 5) za racjonalny w warunkach przyrodniczo-produkcyjnych Polski. W grupie gospodarstw wielokierunkowych (bez wyraźnej specjalizacji) i w grupie gospodarstw specjalizujących się w produkcji roślinnej nawozochłonność całkowita kształtowała się, średnio w analizowanym okresie, w granicach 4,1–4,5 kg NPK·j.zb.<sup>-1</sup>.

Tabela 4

Nawozochłonność produkcji roślinnej z uwzględnieniem zużycia nawozów mineralnych i naturalnych badanych grup gospodarstw w latach 2016–2019

| Wyszczególnienie  | Kierunki produkcji gospodarstw |                 |                      |                    | Gospodarstwa razem |
|---|--------------------------------|-----------------|----------------------|--------------------|--------------------|
|   | wielokierunkowe                | produkcja mleka | chów trzody chlewnej | produkcja roślinna |                    |
| Produkcja roślinna (j.zb·ha <sup>-1</sup> UR)   | 43,2                           | 59,2            | 58,5                 | 66,0               | 61,3               |
| Nawozochłonność całk. prod. roślin. (kg NPK·j.zb. prod. roślin. <sup>-1</sup> ), w tym: | 4,5                            | 7,9             | 6,3                  | 4,1                | 5,3                |
| – azotu (kg N·j.zb. <sup>-1</sup> )   | 2,5                            | 3,6             | 3,1                  | 2,1                | 2,6                |
| – fosforu (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ·j.zb. <sup>-1</sup> )                      | 0,9                            | 1,7             | 1,3                  | 0,8                | 1,1                |
| – potasu (kg K <sub>2</sub> O·j.zb. <sup>-1</sup> )                                     | 1,1                            | 2,6             | 1,9                  | 1,2                | 1,6                |
| Nawozochłonność naw. min. prod. roślin. (kg NPK·j.zb. prod. roślin. <sup>-1</sup> )     | 3,2                            | 5,5             | 3,0                  | 4,0                | 4,1                |
| Nawozochłonność naw. nat. prod. roślin. (kg NPK·j.zb. prod. roślin. <sup>-1</sup> )     | 1,3                            | 2,4             | 3,3                  | 0,1                | 1,2                |

Źródło: opracowanie własne

Przedstawiona w tabeli 4 struktura nawozochłonności, wyrażona zużyciem N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i K<sub>2</sub>O, potwierdza wyniki badań Wrzaszcz i Kopińskiego (13), wskazując

na możliwość wystąpienia zagrożeń powodowanych przez zbyt wysokie dawki nawozów i nadwyżki bilansowe, zwłaszcza azotu wnoszonego do gleby.

Należy przypuszczać, że na działania rolników mające na celu optymalizację nawożenia w gospodarstwach wpływać będą zmiany cen nawozów i ich relacja do cen produktów rolnych. Analizy nawozochłonności produkcji roślinnej prowadzone na podstawie średnich wskaźników dla niewielkich liczebnie grup gospodarstw o różnych typach mają charakter wstępny, a zarazem uproszczony. Obiektywną ocenę można uzyskać, analizując nawozochłonność w odniesieniu do konkretnego gospodarstwa, z uwzględnieniem jego specyfiki organizacyjno-ekonomicznej i produkcyjnej.

### Wnioski

1. Dopływ składników pokarmowych (nawozowych) z nawozów mineralnych i naturalnych jest zróżnicowany w zależności od kierunku specjalizacji gospodarstwa.
2. Specjalizacja gospodarstw w towarowej produkcji zwierzęcej przy jednoczesnym wysokim poziomie nawożenia mineralnego może prowadzić do nieracjonalnego wykorzystania składników nawozowych, skutkując potencjalnymi zagrożeniami ze strony biogenów dla środowiska przyrodniczego spowodowanymi wysokimi nadwyżkami bilansowymi azotu.
3. Nawozochłonność produkcji roślinnej wyrażona w  $\text{kg NPK} \cdot \text{j.zb.}^{-1}$  produkcji roślinnej może być jednym z kryteriów oceny racjonalności nawożenia, a także możliwości zrównoważenia produkcji w różnych typach gospodarstw rolniczych.
4. Analizy nawozochłonności produkcji roślinnej prowadzone na podstawie średnich wskaźników dla niewielkich liczebnie grup gospodarstw o różnych typach mają charakter wstępny, a zarazem uproszczony. Obiektywną ocenę można uzyskać, analizując nawozochłonność w odniesieniu do konkretnego gospodarstwa, z uwzględnieniem jego specyfiki organizacyjno-ekonomicznej i produkcyjnej.
5. Ocena nawozochłonności produkcji roślinnej w gospodarstwach obok znaczenia informacyjno-poznawczego może być przesłanką podejmowania decyzji, a w efekcie racjonalizacji ponoszonych kosztów i nakładów w postaci nawozów, co jest m.in. jedną z przesłanek koncepcji Strategii Europejskiego Zielonego Ładu (EZŁ).

### Literatura

1. Czuba R., Mazur T.: Wpływ nawożenia na jakość plonów. PWN, Warszawa 1988, ss. 359.
2. EC (European Commission). 2020. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu regionów. Strategia „od pola do stołu” na rzecz sprawiedliwego, zdrowego i przyjaznego dla środowiska systemu żywnościowego. COM(2020) 381 final, 20.5.2020.
3. Fotyła M., Igras J., Kopiński J., Podyma W.: Ocena zagrożeń nadmiarem azotu pochodzenia rolniczego w Polsce na tle innych krajów europejskich. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2010, 20: 53-75.

4. F o t y m a M., Maćkowiak C.: Program dostosowania koncepcji oraz technik i technologii nawożenia mineralnego oraz organicznego do wymogów ochrony środowiska. Synteza. Program proekologicznego rozwoju wsi, rolnictwa i gospodarki żywnościowej do 2015 roku. Wyd. MRiGŻ, NFOŚiGW, Warszawa 1998, s. 154-162.
5. F o t y m a M., K r a s o w i c z S.: Potencjalna produktywność gleb gruntów ornych w ujęciu regionalnym. Pamiętnik Puławski, 2001, **124**: 99-129.
6. H a r a s i m A.: Przewodnik ekonomiczno-rolniczy w zarysie. IUNG-PIB, Puławy 2006, ss. 171.
7. H a r a s i m A.: Wskaźniki oceny regionalnego zróżnicowania rolnictwa. Pamiętnik Puławski, 2001, **124**: 161-169.
8. K l e p a c k i B.: Wybrane pojęcia z zakresu organizacji gospodarstw, produkcji i pracy w rolnictwie. SGGW, Warszawa 1997, ss. 148.
9. K o p i ń s k i J.: Zróżnicowanie gospodarki nawozowej azotem w polskim rolnictwie. Polish Journal of Agronomy, 2018, **32**: 3-16.
10. K o p i ń s k i J., K r a s o w i c z S.: Regionalne zróżnicowanie nawozochłonności produkcji roślinnej w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2021, **65(19)**: 123-149 (w druku).
11. R u t k o w s k a A.: Racjonalne i efektywne nawożenie azotem. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2014, **37(11)**: 33-46.
12. Środki produkcji w rolnictwie w roku gospodarczym 1999/2000...2019/2020. GUS, Warszawa 2001–2021.
13. W r z a s z c z W., K o p i ń s k i J.: Gospodarka nawozowa w Polsce w kontekście zrównoważonego rozwoju rolnictwa. Studia i Monografie, IERiGŻ-PIB, 2019, **178**: 1-145.

---

Adres do korespondencji:

*dr hab. Jerzy Kopiński; prof. dr hab. Stanisław Krasowicz*  
*Zakład Systemów i Ekonomiki Produkcji Roślinnej*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy*  
*tel.: (81) 4786 821*  
*e-mail: jkop@iung.pulawy.pl;*  
*sk@iung.pulawy.pl*

---

| AUTOR               | ORCID               |
|---------------------|---------------------|
| Jerzy Kopiński      | 0000-0002-2887-4143 |
| Stanisław Krasowicz | 0000-0002-3949-1444 |



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

1. *Wybrane aspekty agrochemicznych badań gleby*. Puławy, 2006.
2. *Zasady wprowadzania nawozów do obrotu*. Puławy, 2006.
3. *Regionalne zróżnicowanie produkcji rolniczej w Polsce*. Puławy, 2006.
4. *Monitoring skutków środowiskowych planu rozwoju obszarów wiejskich*. Puławy, 2007.
5. *Sprawdzenie przydatności wskaźników do oceny zrównoważonego gospodarowania zasobami środowiska rolniczego w wybranych gospodarstwach, gminach i województwach*. Puławy, 2007.
6. *Możliwości rozwoju rolnictwa ekologicznego w Polsce*. Puławy, 2007.
7. *Współczesne uwarunkowania organizacji produkcji w gospodarstwach rolniczych*. Puławy, 2007.
8. *Efektywne i bezpieczne metody regulacji zachwaszczenia, nawożenia i uprawy roli*. Puławy, 2007.
9. *Wybrane elementy technologii produkcji roślinnej*. Puławy, 2007.
10. *Problem erozji gleb w procesie przemian strukturalnych na obszarach wiejskich*. Puławy, 2008.
11. *Uprawa roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce*. Puławy, 2008.
12. *Wybrane zagadnienia systemów informacji przestrzennej i obszarów problemowych rolnictwa w Polsce*. Puławy, 2008.
13. *Tworzenie postępu biologicznego w hodowli tytoniu i chmielu*. Puławy, 2008.
14. *Kierunki zmian w produkcji roślinnej w Polsce do roku 2020*. Puławy, 2009.
15. *Wybrane elementy regionalnego zróżnicowania rolnictwa w Polsce*. Puławy, 2009.
16. *Systemy wspomagania decyzji w zrównoważonej produkcji roślinnej*. Puławy, 2009.
17. *Stan i kierunki zmian w produkcji rolniczej (wybrane zagadnienia)*. Puławy, 2009.
18. *Produkcyjne i środowiskowe aspekty współczesnych metod nawożenia i regulacji zachwaszczenia*. Puławy, 2009.
19. *Oddziaływanie rolnictwa na środowisko przyrodnicze w warunkach zmian klimatu*. Puławy, 2010.
20. *Ocena zrównoważenia gospodarowania zasobami środowiska rolniczego w wybranych gospodarstwach, gminach, powiatach i województwach*. Puławy, 2010.
21. *Możliwości rozwoju obszarów problemowych rolnictwa (OPR) w świetle PROW 2007–2013*. Puławy, 2010.
22. *Możliwości rozwoju gospodarstw o różnych kierunkach produkcji rolniczej w Polsce*. Puławy, 2010.
23. *Związki fitogeniczne jako naturalna alternatywa antybiotykowych promotorów wzrostu*. Puławy, 2010.
24. *Wybrane aspekty przemian strukturalnych na obszarach wiejskich*. Puławy, 2010.
25. *Stan obecny i perspektywy nawożenia roślin w Polsce w aspekcie regulacji prawnych*. Puławy, 2010.
26. *Stan obecny i perspektywy rozwoju rolnictwa ekologicznego w Polsce*. Puławy, 2010.
- 27(1). *Środowiskowe skutki działalności rolniczej i wdrażania PROW na obszarach problemowych rolnictwa*. Puławy, 2011.



- 28(2). *Techniki i technologie stosowane w produkcji roślinnej a środowisko przyrodnicze*. Puławy, 2012.
- 29(3). *Problemy zrównoważonego gospodarowania w produkcji rolniczej*. Puławy, 2012.
- 30(4). *Doskonalenie integrowanych technologii produkcji zbóż jarych i roślin pastewnych ze szczególnym uwzględnieniem początkowych elementów agrotechniki*. Puławy, 2012.
- 31(5). *Rola badań naukowych w kształtowaniu postępu w produkcji chmielu i tytoniu*. Puławy, 2012.
- 32(6). *Wybrane aspekty zrównoważonego rozwoju i specjalizacji gospodarstw rolniczych*. Puławy, 2013
- 33(7). *Działalność Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa-PIB w Puławach w zakresie wspierania doradztwa i praktyki rolniczej*. Puławy, 2013.
- 34(8). *Problemy gospodarki nawozowej w Polsce*. Puławy, 2013.
- 35(9). *Zagrożenia dla prawidłowego funkcjonowania gleb użytkowanych rolniczo – wybrane zagadnienia*. Puławy, 2013.
- 36(10). *Zmiany w technologiach produkcji roślinnej – oceny i wpływ na środowisko rolnicze*. Puławy, 2014.
- 37(11). *Dobre praktyki w nawożeniu*. Puławy, 2014.
- 38(12). *Jakość informacji w systemach wspomagania decyzji*. Puławy, 2014.
- 39(13). *Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii pochodzenia rolniczego i ich wpływ na środowisko*. Puławy, 2014.
- 40(14). *Wybrane problemy rolnictwa polskiego z uwzględnieniem stanu jego zrównoważenia*. Puławy, 2014.
- 41(15). *Technologie produkcji zbóż i roślin pastewnych warunkujące wysoki plon i dobrą jakość*. Puławy, 2014.
- 42(16). *Podstawy nowoczesnego doradztwa nawozowego w Polsce*. Puławy, 2015.
- 43(17). *Wybrane problemy produkcji rolniczej z uwzględnieniem aspektu dóbr publicznych*. Puławy, 2015.
- 44(18). *Wybrane zagadnienia produkcji roślinnej w Polsce*. Puławy, 2015.
- 45(19). *Kształtowanie żyzności gleby*. Puławy, 2015.
- 46(20). *Wybrane zagadnienia związane z ochroną gleb przed degradacją*. Puławy, 2015.
- 47(1). *Problemy produkcji rolniczej w Polsce w kontekście ich oddziaływania na środowisko*. Puławy, 2016.
- 48(2). *Innowacje w nawożeniu*. Puławy, 2016.
- 49(3). *Siedliskowe i agrotechniczne uwarunkowania produkcji roślinnej w Polsce*. Puławy, 2016.
- 50(4). *Technologie produkcji roślinnej w warunkach zmieniającego się klimatu*. Puławy, 2016.
- 51(5). *Krajowe bazy danych o glebach*. Puławy, 2017.
- 52(6). *Redukcja emisji gazów cieplarnianych i amoniaku oraz metody adaptacji do zmian klimatu (wybrane zagadnienia)*. Puławy, 2017.
- 53(7). *Nawożenie a środowisko*. Puławy, 2017.
- 54(8). *Jakość gleb użytkowanych rolniczo i wskaźniki jej oceny*. Puławy, 2017.
- 55(9). *Uwarunkowania i kierunki zmian produkcji rolniczej w Polsce*. Puławy, 2018.
- 56(10). *Aktualne problemy nawożenia*. Puławy, 2018.
- 57(11). *Technologie produkcji roślinnej w warunkach zmieniającego się klimatu*. Puławy, 2018.

- 58(12).** *Stan zagrożeń dla jakości gleb w Polsce.* Puławy, 2018.
- 59(13).** *Środowiskowe aspekty gospodarki nawozowej.* Puławy, 2019.
- 60(14).** *Znaczenie postępu biologicznego i technologicznego w produkcji zbóż i roślin strączkowych.* Puławy, 2019
- 61(15).** *Wybrane zagadnienia agrotechniki roślin uprawnych.* Puławy, 2020.
- 62(16).** *Uwarunkowania i perspektywy rozwoju produkcji rolniczej w różnych regionach Polski.* Puławy, 2020.
- 63(17).** *Nawożenie – aspekty produkcyjne i środowiskowe.* Puławy, 2020.
- 64(18).** *Zagrożenia dla jakości gleb w Polsce – część II.* Puławy, 2020.

## WSKAZÓWKI DLA AUTORÓW

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

### **Wydruk tekstu do recenzji:**

czcionka 12 p., z odstępem 1,5-wierszowym.

### **Przygotowanie do druku:**

- tekst i tabele w programie Word,
- czcionka – Times New Roman
- układ pracy: słowa kluczowe, wstęp, wyniki i dyskusja bądź omówienie wyników, podsumowanie lub wnioski, literatura, dane kontaktowe, nr ORCID

### **tekst**

- czcionka – 11 p. (spis pozycji literatury – 9 p.)
- wcięcie akapitowe – 0,5 cm

### **tabele**

- podział na wiersze i kolumny (z funkcji tworzenia tabel)
- szerokość dokładnie 13 cm (tabele w pionie) lub 19 cm (tabele w poziomie)
- czcionka 9 p., pojedyncze odstępki międzywierszowe
- pod tabelą przypis ze wskazaniem źródła danych (autorstwa)

### **rysunki/fotografie**

- czarno-białe/kolorowe (możliwie duża rozdzielczość)
- wykresy w programie Word lub Excel
- wymiary w zakresie 13 cm × 19 cm
- w podpisach czcionka 9 p.
- na nośniku lub w oddzielnych plikach
- pod rysunkiem przypis ze wskazaniem źródła danych (autorstwa)

### **jednostki miary**

- system SI
- jednostki zapisywać potęgowo (np. t·ha<sup>-1</sup>)

### **literatura**

- spis literatury na końcu pracy w układzie alfabetycznym wg nazwisk autorów, w kolejności: nazwisko (pismo rozstrzelone), pierwsza litera imienia, tytuł pracy, miejsce publikacji: tytuł wydawnictwa (wg ogólnie przyjętych skrótów tytułów czasopism), rok, numer (pismo pogrubione), strony,
- cytowanie w tekście – jako numer pozycji ze spisu literatury (w nawiasach okrągłych) lub dodatkowo z nazwiskiem autora (pismo rozstrzelone).

Pracę do recenzji należy złożyć w 1 egzemplarzu. Po recenzji oryginalny egzemplarz recenzowany złożyć/przesłać do Redakcji, a ostateczną wersję pracy, uwzględniającą uwagi recenzenta i redaktora, przesłać e-mailem.

Dane kontaktowe:

mgr Ewa Decka-Cywińska

Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG-PIB

ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy

e-mail: edeka@iung.pulawy.pl



ISBN 978-83-7562-359-8

Egzemplarz bezpłatny