

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA
I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT
BADAWCZY



STUDIA
I
RAPORTY
IUNG-PIB

45(19)

PROGRAM WIELOLETNI

2011-2015

PULAWY 2015

KSZTAŁTOWANIE
ŻYZNOŚCI GLEBY

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

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Dyrektor: *prof. dr hab. Wiesław Oleszek*

Redakcja naukowa: *dr Tamara Jadczyshyn*

Autorzy:

*dr Anna Gałzka, dr Tamara Jadczyshyn, dr Zuzanna Jarosz, dr Anna Kocoń,
prof. dr hab. Jan Kuś, dr inż. Andrzej Madej, dr Piotr Ochał,
prof. dr hab. Alicja Pecio, dr inż. Dorota Pikula, dr hab. Anna Podleśna,
dr Agnieszka Rutkowska*

Recenzenci:

*dr Anna Gajda, dr Anna Gałzka, prof. dr hab. Adam Harasim,
dr Tamara Jadczyshyn, dr Kazimierz Kęsik, dr Jerzy Kopiński,
dr Agnieszka Rutkowska, dr Bożena Smreczak*

Opracowanie redakcyjne i techniczne: *mgr Katarzyna Mikulska*

ISBN 978-83-7562-199-0

Egzemplarz bezpłatny

Nakład 300 egz., B5

Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG-PIB w Puławach

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

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

KSZTAŁTOWANIE ŻYZNOŚCI GLEBY

SPIS TREŚCI

Wstęp	7
1. P. O c h a l – Aktualny stan i zmiany żyzności gleb w Polsce	9
2. J. K u ś – Glebowa materia organiczna – znaczenie, zawartość i bilansowanie	27
3. A. R u t k o w s k a – Produkcyjne i środowiskowe skutki wieloletniego wyczerpywania gleb z fosforu i potasu	55
4. A. P e c i o, Z. J a r o s z – Wpływ zabiegów agrotechnicznych na wybrane właściwości chemiczne gleb	69
5. D. P i k u ł a – Wpływ wieloletniego nawożenia słomą na plonowanie roślin i żyzność gleby	85
6. A. P o d l e ś n a – Wpływ nawozów siarkowych na odczyn i zawartość gleb w składniki pokarmowe	97
7. A. K o c o ń, A. G a ł ą z k a – Wpływ preparatów z mikroorganizmami pożytecznymi na właściwości fizykochemiczne gleby oraz plon roślin	113
8. A. G a ł ą z k a, A. K o c o ń – Wpływ preparatów z mikroorganizmami pożytecznymi na liczebność i biomasę mikroorganizmów glebowych	127
9. A. G a ł ą z k a, A. K o c o ń – Ocena efektywności działania preparatów z mikroorganizmami pożytecznymi na aktywność enzymatyczną gleby	143
10. A. M a d e j – Ocena efektywności nawożenia mineralnego z uwzględnieniem ujęcia przestrzennego	155
11. T. J a d c z y s z y n – Chemiczne wskaźniki żyzności gleb Polski w świetle badań monitoringowych	173

Wstęp

Wyzwaniem dla współczesnego rolnictwa jest potrzeba zabezpieczenia żywnościowego rosnącej populacji ludności. Cel ten jest realizowany w warunkach zmniejszenia powierzchni gleb użytkowanych rolniczo w wyniku postępującej urbanizacji i zajmowania coraz większej powierzchni gruntów pod budowę dróg. Zwiększenie wolumenu produkcji możliwe jest zatem dzięki wzrostowi wydajności produkcji z jednostki powierzchni użytków rolnych. Wysokie plony roślin można uzyskiwać na glebach żyznych o optymalnym układzie cech fizycznych, fizykochemicznych i chemicznych. Najważniejszymi parametrami decydującymi o żyzności gleb są: skład granulometryczny i udział części koloidalnych, zawartość materii organicznej i odczyn. Pierwszy z wymienionych parametrów zależy od procesu glebotwórczego oraz rodzaju skały macierzystej i praktycznie nie poddaje się modyfikacji przez działalność człowieka. Pozostałe dwa parametry mogą być do pewnego stopnia kształtowane poprzez odpowiednie zabiegi agrotechniczne i racjonalne gospodarowanie na gruntach użytkowanych rolniczo.

W monografii poruszono wachlarz zagadnień związanych z kształtowaniem żyzności gleb. Przedstawiono aktualny stan agrochemiczny gleb w Polsce. Omówiono szeroko zagadnienia związane z gospodarowaniem materią organiczną, a także wpływem zabiegów agrotechnicznych na niektóre wskaźniki żyzności gleb. Dokonano oceny efektywności nawożenia mineralnego. Zaprezentowano także skutki nieracjonalnego gospodarowania składnikami pokarmowymi. Przedstawiono wyniki badań nad możliwością poprawy aktywności biologicznej gleb za pomocą preparatów mikrobiologicznych lansowanych intensywnie w ostatnich latach oraz wyniki monitoringu agrochemicznych wskaźników żyzności gleb.

Monografia jest wynikiem prac wykonanych w ramach trzech zadań programu wieloletniego IUNG-PIB:

2.3 – Monitorowanie wskaźników żyzności gleb z uwzględnieniem przemian strukturalnych i organizacyjnych w rolnictwie.

3.1 – System wspierania działań w zakresie gospodarki nawozowej w Polsce.

3.2 – Ocena kierunków i systemów produkcji rolniczej oraz możliwości ich wdrażania w regionach i gospodarstwach.

Kierownik zadania 2.3
dr Tamara Jadczyżyn

Kierownik zadania 3.1
dr Kazimierz Kęsik

Kierownik zadania 3.2
prof. dr hab. Jan Kuś

Piotr Ochal

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

AKTUALNY STAN I ZMIANY ŻYZNOŚCI GLEB W POLSCE*

Słowa kluczowe: zakwaszenie gleb, potrzeby wapnowania, zasobność gleb w fosfor, zasobność gleb w potas, zasobność gleb w magnez

Wstęp

Oceną stanu agrochemicznego gleb w Polsce na skalę masową zajmują się okręgowe stacje chemiczno-rolnicze. Warto przypomnieć, że pierwsze takie stacje powstały już w okresie międzywojennym (4, 24), a w latach 50. XX w. powołano do życia wszystkie istniejące do dzisiaj stacje chemiczno-rolnicze w liczbie 17 jednostek. Początkowa działalność stacji przypadająca na lata 1955–1975 miała charakter inwentaryzacyjny. W latach 1955–1968 przebadano w Polsce w zakresie odczynu i zawartości przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu wszystkie gleby użytkowane rolniczo (24). Wyniki tych badań udostępniane były w formie map gospodarstw państwowym i spółdzielczym oraz jednostkom administracji terenowej z zadaniem upowszechniania ich wśród rolników. Mapy wykonywano oddzielnie dla odczynu i zawartości poszczególnych składników mineralnych.

Po roku 1975 zaprzestano systematycznych badań masowych na rzecz badań w gospodarstwach, które wykazywały zapotrzebowanie na wyniki oznaczeń agrochemicznych właściwości gleby. Wpłynęło to negatywnie na liczbę pobieranych próbek i na zmniejszenie areалу objętego badaniami, a tym samym na reprezentatywność wyników w skalach regionalnych. Pozytywnym aspektem tej zmiany było jednak lepsze wykorzystanie wyników chemicznej analizy gleby przez zlecające je gospodarstwa (32).

Wyniki badań agrochemicznych są wykorzystywane do oceny stanu zasobności gleb w jednostkach administracyjnych i w skali całego kraju (24, 32). Ocena stanu agrochemicznego wykonywana jest średnio co 4 lata, w układzie skategoryzowanym

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

z wydzielaniem udziału próbek zaliczanych do jednej z przyjętych w Polsce kategorii (klasy) odczynu i zawartości poszczególnych składników mineralnych.

Ocena odczynu gleb oraz ich zasobność w składniki pokarmowe oceniana jest ilościowo z wykorzystaniem odpowiednich testów glebowych. Są to z reguły testy chemiczne polegające na pomiarze stężenia jonów wodorowych, ekstrakcji gleby określonymi roztworami i/lub zawartości innych jonów w roztworze ekstrakcyjnym. Procedury te są ściśle znormalizowane i dzięki temu dają powtarzalne wyniki. W Polsce do oznaczania zawartości przyswajalnego fosforu i potasu stosuje się test mleczanowy Egnera-Riehma DL, a test Schachtschabela do oznaczania przyswajalnego magnezu (33, 34, 35).

Już niedługo do oceny zasobności gleb w składniki pokarmowe w naszym kraju może być wykorzystywany uniwersalny test Mehlicha III. Wykazuje on wiele zalet w stosunku do testów stosowanych aktualnie w naszym kraju. Do wyciągu Mehlicha III przechodzą przyswajalne formy wszystkich makro- i mikroelementów stanowiących składniki pokarmowe roślin. Zasadę jego działania, zalety i korzyści wprowadzenia do praktyki rolniczej przedstawione zostały przez Fotymę i in. (11).

Odczyn gleb Polski

Jednym z najważniejszych czynników limitujących produkcję roślinną w Polsce jest duże zakwaszenie gleb (6, 8, 10, 18, 25). Przyczyniają się do niego zarówno warunki klimatyczno-glebowe, jak i działalność człowieka. Na większości obszaru kraju występują gleby wytworzone z kwaśnych skał osadowych, z których intensywnie następowało wymywanie kationów o charakterze zasadowym. Dodatkowo do tych procesów przyczyniają się opady oraz niskie temperatury, zwłaszcza w okresie jesienno-zimowym. Pogorszenie odczynu gleby następuje także w wyniku stosowania nawozów fizjologicznie kwaśnych oraz odprowadzania z plonem kationów zasadowych (2, 6, 8, 10, 25).

W Polsce do celów doradztwa nawozowego przyjęto oznaczanie odczynu w roztworze 1 mol $\text{KCl} \cdot \text{dm}^{-3}$. Na podstawie odczynu pH w KCl gleby dzieli się na 5 grup: bardzo kwaśne $\text{pH} < 4,5$; kwaśne $\text{pH} 4,6\text{--}5,5$; lekko kwaśne $\text{pH} 5,6\text{--}6,5$; obojętne $\text{pH} 6,6\text{--}7,2$ i zasadowe $\text{pH} > 7,2$ (36). Na podstawie wielkości pH i kategorii agromicznej (składu granulometrycznego) gleby przyjmuje się pięć klas potrzeb wapnowania i odpowiadających im dawek nawozów wapniowych (tab.1).

Tabela 1

Potrzeby wapnowania gleb mineralnych na gruntach ornych

Ocena potrzeb wapnowania	Kategoria agromiczna gleby – pH_{KCl}			
	b. lekkie	lekkie	średnie	ciężkie
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

cd. tab. 1

Ocena potrzeb wapnowania	Kategoria agronomiczna gleby – pH _{KCl}			
	b. lekkie	lekkie	średnie	ciężkie
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: PN-ISO 10390: 1997 (36)

Aktualny stan zakwaszenia gleb w Polsce

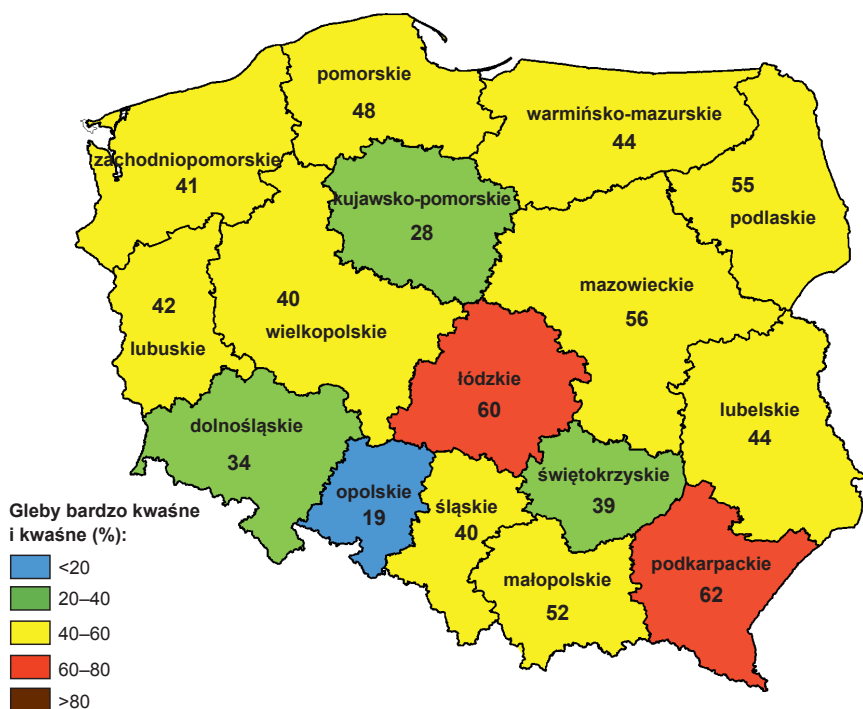
W tabeli 2 przedstawiono udział gleb w poszczególnych klasach odczynu, natomiast na rysunku 1 przestrzenne zróżnicowanie procentowego udziału próbek gleb o odczynie bardzo kwaśnym i kwaśnym. Udział tych gleb decyduje o zapotrzebowaniu na nawozy wapniowe. W kraju próbki gleb o odczynie: bardzo kwaśnym i kwaśnym stanowiły ok. 43%, lekko kwaśnym – 33%, obojętnym i zasadowym – ok. 24% (tab. 2). Najwięcej najsilniej zakwaszonych gleb (bardzo kwaśnych i kwaśnych) jest w województwach: podkarpackim, łódzkim, mazowieckim, podlaskim i małopolskim. Najmniej takich gleb występuje w województwach opolskim i kujawsko-pomorskim. Najwięcej gleb o odczynie obojętnym i zasadowym znajduje się w województwach kujawsko-pomorskim i świętokrzyskim.

Tabela 2

Struktura odczynu gleb w Polsce w latach 2010–2013

Województwo	Odczyn gleby w %				
	bardzo kwaśny pH < 4,5	kwaśny pH 4,6–5,5	lekko kwaśny pH 5,6–6,5	obojętny pH 6,6–7,2	zasadowy pH > 7,2
Dolnośląskie	9	25	42	17	7
Kujawsko- pomorskie	8	20	31	24	17
Lubelskie	17	27	25	15	16
Lubuskie	11	31	39	13	6
Łódzkie	26	34	26	10	4
Małopolskie	24	28	21	13	14
Mazowieckie	24	32	26	13	5
Opolskie	3	16	57	20	4
Podkarpackie	29	33	22	11	5
Podlaskie	20	35	26	14	5
Pomorskie	12	36	32	15	5
Śląskie	15	25	40	16	4
Świętokrzyskie	17	22	23	21	17
Warmińsko-mazurskie	12	32	32	19	5
Wielkopolskie	14	26	34	15	11
Zachodniopomorskie	11	30	34	15	10
Polska	15	28	33	16	8

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS, 2015 (19)



Rys. 1. Udział gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych w latach 2010–2013

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS, 2015 (19)

Aktualny stan potrzeb wapnowania gleb w Polsce

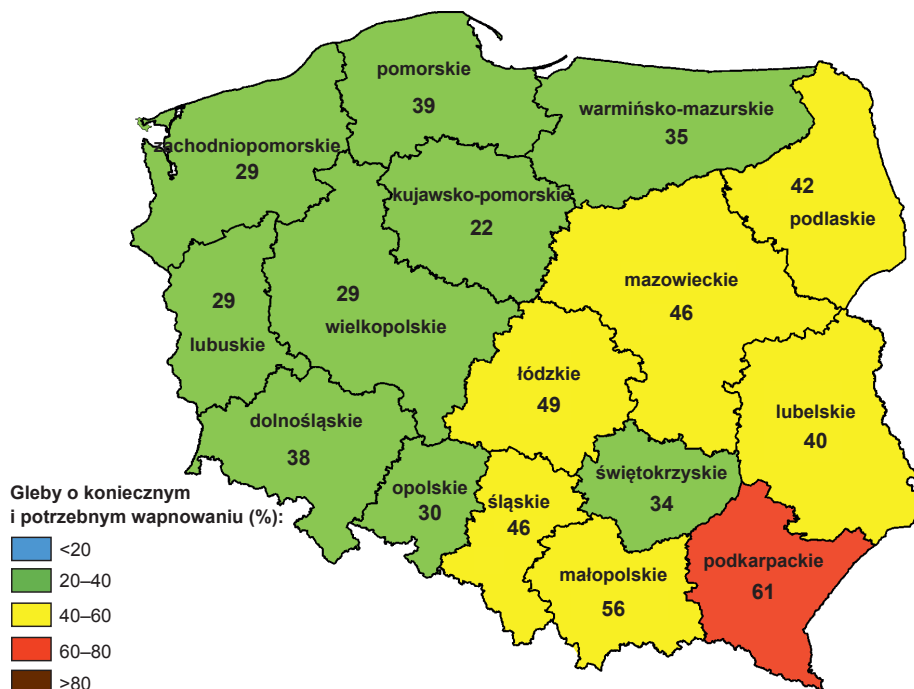
Udział gleb w grupach potrzeb wapnowania zależy od odczynu, jak i kategorii agronomicznej gleby. Jak wynika z badań stacji chemiczno-rolniczych, 37% gleb w Polsce charakteryzuje się potrzebami wapnowania koniecznymi i potrzebnymi, 18% gleb wskazanymi, 16% ograniczonymi, a 29% gleb zbędnymi (tab. 3; rys. 2). W ujęciu regionalnym najwięcej gleb użytkowanych rolniczo wymagających wapnowania koniecznego i potrzebnego znajduje się w województwach: podkarpackim, małopolskim, łódzkim, śląskim i mazowieckim. Najmniej takich gleb znajduje się w województwach: kujawsko-pomorskim, lubuskim, zachodniopomorskim, wielkopolskim oraz opolskim. W kategorii potrzeb wapnowania ograniczonego i zbędnego najlepiej prezentują się województwa: kujawsko-pomorskie, wielkopolskie, świętokrzyskie i zachodniopomorskie. Najmniej takich gleb występuje w województwach podkarpackim, małopolskim, śląskim i łódzkim.

Tabela 3

Potrzeby wapnowania gleb w Polsce w latach 2010–2013

Województwo	Potrzeby wapnowania w %				
	konieczne	potrzebne	wskazane	ograniczone	zbędne
Dolnośląskie	22	16	21	19	22
Kujawsko- pomorskie	11	11	14	16	48
Lubelskie	26	14	13	13	34
Lubuskie	13	16	21	20	30
Łódzkie	29	20	17	14	20
Małopolskie	42	14	11	10	23
Mazowieckie	29	17	16	13	25
Opolskie	11	19	31	23	16
Podkarpackie	45	16	13	10	16
Podlaskie	23	19	16	13	29
Pomorskie	19	20	21	16	24
Śląskie	29	17	21	16	17
Świętokrzyskie	23	11	12	12	42
Warmińsko- mazurskie	18	17	18	17	30
Wielkopolskie	16	13	16	18	37
Zachodniopomorskie	14	15	18	18	35
Polska	21	16	18	16	29

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS, 2015 (19)



Rys. 2. Udział gleb o potrzebach wapnowania koniecznych i potrzebnych w latach 2010–2013

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS, 2015 (19)

Zasobność gleb Polski w fosfor przyswajalny

Ogólna zawartość fosforu w warstwie ornej gleb uprawnych waha się w granicach od 0,01 do 0,20% (9, 12, 30, 37). Zawartość tego pierwiastka w roślinach wynosi 0,2–0,5% suchej masy. Fosfor występuje w połączeniach organicznych i nieorganicznych, stanowiąc składnik kwasów nukleinowych (DNA), fosfolipidów i nośników energii (ATP). Nieorganiczne związki fosforu biorą udział w reakcjach enzymatycznych decydujących o wszystkich procesach metabolicznych rośliny (1, 22, 39).

W skali globalnej fosfor jest uważany za główny czynnik mogący limitować produkcję rolniczą, gdyż zasoby tego składnika są ograniczone i nieodnawialne. Szacuje się, że nadające się do eksploatacji złoża minerałów zawierających fosfor przy obecnym tempie ich zużycia w rolnictwie wystarczą na 100–250 lat (5). Fosfor odgrywa ważną rolę w kształtowaniu żyzności i urodzajności gleb, zwłaszcza w warunkach rolnictwa intensywnego (7).

Negatywną cechą fosforu jest to, że charakteryzuje się on niskim wykorzystaniem w pierwszym roku po zastosowaniu nawozów (37). Rośliny uprawne pobierają tylko 5–10% tego składnika zastosowanego w nawozie w pierwszym roku, a pozostała część pobranego fosforu pochodzi z resztek roślinnych znajdujących się w glebie (3, 39). Im wyższe stężenie fosforu w roztworze glebowym, tym sprawniejszy jest mechanizm zaopatrujący rośliny w ten pierwiastek. Natomiast zbyt niskie stężenie fosforu w roztworze glebowym jest czynnikiem ograniczającym jego mobilność (38).

Nadmierna akumulacja fosforu w glebie może powodować ujemne skutki w środowisku przyrodniczym, a niewykorzystane w produkcji związki fosforu mogą się przemieszczać do wód gruntowych i otwartych, prowadząc do eutrofizacji i biodegradacji zbiorników wodnych (17, 20, 21, 29, 39).

W Polsce do oznaczenia fosforu przyswajalnego stosuje się metodę Egnera-Riehma DL. Wycena zasobności gleb w ten składnik dokonywana jest w pięciostopniowej skali (tab. 4).

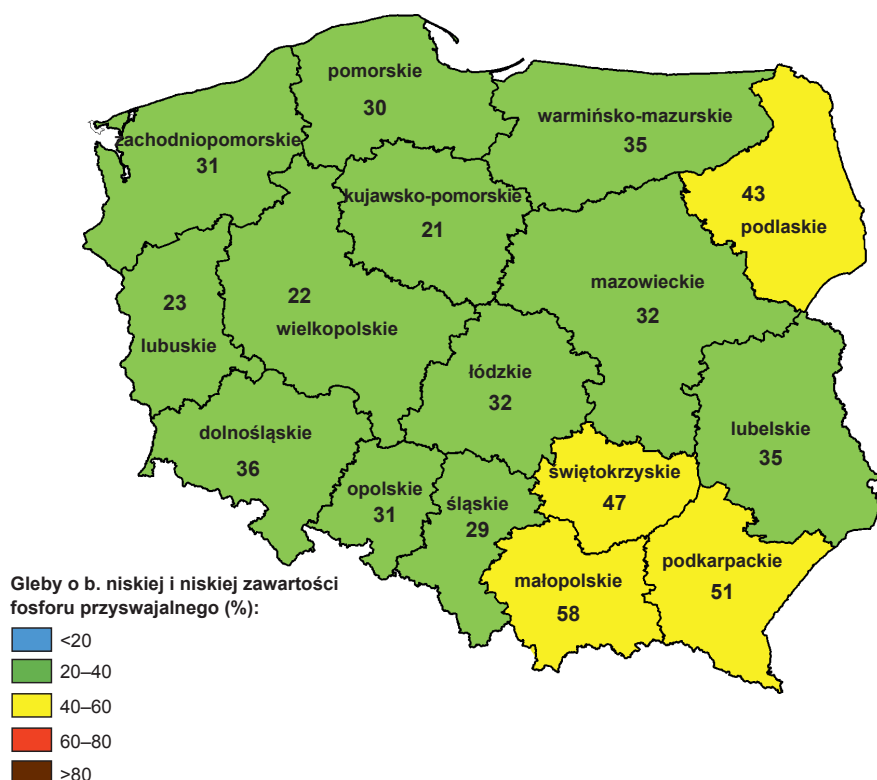
Tabela 4

Ocena zasobności gleb mineralnych w fosfor przyswajalny

Klasa zasobności	Gleby mineralne	Gleby węglanowe
	mg P ₂ O ₅ · 100 g ⁻¹ gleby	
Bardzo niska	<5,0	<5,0
Niska	5,1–10,0	5,1–10,0
Średnia	10,1–15,0	10,1–20,0
Wysoka	15,1–20,0	20,1–40,0
Bardzo wysoka	>20,1	>40,1

Źródło: PN-R-04023:1996 (34)

Na rysunku 3 i w tabeli 5 przedstawiono procentowy udział gleb w poszczególnych klasach zasobności w fosfor. W skali Polski 32% zbadanych próbek gleb charakteryzuje się bardzo niską i niską zawartością przyswajalnego fosforu. Najwięcej próbek gleb o zawartości bardzo niskiej i niskiej występuje w województwach: małopolskim, podkarpackim, świętokrzyskim i podlaskim. Najmniejszy udział tych gleb występuje w województwach: kujawsko-pomorskim, wielkopolskim i lubuskim. Udział gleb o wysokiej i bardzo wysokiej zawartości fosforu w skali Polski jest znaczący i wynosi ponad 42%. Najwyższą zasobnością w fosfor przyswajalny charakteryzują się województwa: kujawsko-pomorskie, wielkopolskie i śląskie. Najmniej gleb o wysokiej i bardzo wysokiej zasobności w ten składnik występuje w województwach małopolskim i podkarpackim.



Rys. 3. Udział gleb o bardzo niskiej i niskiej zasobności gleb w fosfor przyswajalny w latach 2010–2013

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS, 2015 (19)

Tabela 5

Przestrzenne zróżnicowanie udziału próbek (%) w klasach zawartości fosforu w województwach w latach 2010–2013

Województwo	Klasa zasobności				
	bardzo niska	niska	średnia	wysoka	bardzo wysoka
Dolnośląskie	12	24	23	16	25
Kujawsko-pomorskie	4	17	25	20	34
Lubelskie	10	25	27	18	20
Lubuskie	3	20	32	22	23
Łódzkie	6	26	27	17	24
Małopolskie	33	25	16	9	17
Mazowieckie	8	24	26	18	24
Opolskie	6	25	25	18	26
Podkarpackie	22	29	20	12	17
Podlaskie	14	29	25	15	17
Pomorskie	6	24	28	18	24
Śląskie	8	21	22	17	32
Świętokrzyskie	21	26	19	11	23
Warmińsko-mazurskie	8	27	26	17	22
Wielkopolskie	4	18	26	21	31
Zachodniopomorskie	6	25	32	19	18
Polska	9	23	26	18	24

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS (19)

Zasobność gleb w potas przyswajalny

Jednym z podstawowych elementów oceny stanu agrochemicznego gleb w Polsce jest zawartość potasu przyswajalnego. Niedobory potasu wymienia się na drugim miejscu po zakwaszeniu gleb jako czynnik najsilniej ograniczający żyzność gleby (14). Potas spełnia istotną rolę w procesach fotosyntezy, oddychania czy regulacji uwodnienia tkanek (31, 40).

Potas nie tworzy związków organicznych w glebie i występuje tylko w formie mineralnej, a zwłaszcza w strukturach krystalicznych glinokrzemianów (9). Zawartość potasu całkowitego w glebach Polski, według różnych autorów, mieści się w granicach 0,1–2,5% (9, 12, 13, 30). Zawartość potasu całkowitego jest uzależniona od składu mineralogicznego gleby i zawartości utworów koloidalnych oraz pylastych. Dlatego też większe ilości tego pierwiastka wykazują gleby ciężkie, o dużej pojemności kompleksu sorpcyjnego (30). Potas przyswajalny oznacza się metodą Egnera-Riehma DL, a wycena zasobności gleb uwzględnia dodatkowo ich kategorię agronomiczną (tab. 6).

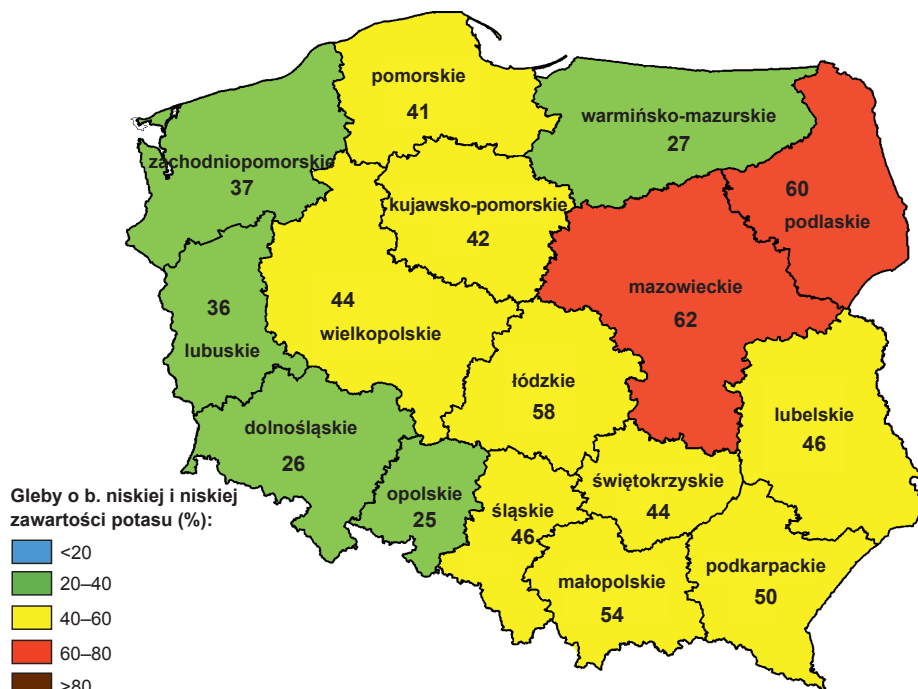
Tabela 6

Ocena zasobności gleb w potas przyswajalny

Klasa zasobności	mg K ₂ O · 100g ⁻¹ gleby, dla gleb:			
	bardzo lekkich	lekkich	średnich	ciężkich
Bardzo niska	do 2,5	do 5,0	do 7,5	do 10,0
Niska	2,5–7,5	5,1–10,0	7,6–12,5	10,1–15,0
Średnia	7,6–12,5	10,1–15,0	12,6–20,0	15,1–25,0
Wysoka	12,6–17,5	15,1–20,0	20,1–25,0	25,1–30,0
Bardzo wysoka	ponad 17,5	ponad 20,0	ponad 25,0	ponad 30,0

Źródło: PN-R-04022:1996/Az1: 2002 (35)

Na rysunku 4 i w tabeli 7 przedstawiono procentowy udział gleb w poszczególnych klasach zasobności w potas. W Polsce udział próbek gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości potasu przyswajalnego wynosi ok. 42%. Najwięcej takich gleb występuje w województwach: mazowieckim, podlaskim, łódzkim, małopolskim, opolskim, dolnośląskim i warmińsko-mazurskim. Gleby o wysokiej i bardzo wysokiej zawartości potasu stanowią w skali Polski niespełna 26%. Najlepiej pod tym względem wypadają województwa: warmińsko-mazurskie, dolnośląskie, lubskie i śląskie. Najmniej tych gleb występuje w województwach: mazowieckim, podlaskim oraz łódzkim (17%).



Rys. 4. Udział gleb o bardzo niskiej i niskiej zasobności w potas przyswajalny w latach 2010–2013

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS, 2015 (19)

Tabela 7

Przestrzenne zróżnicowanie udziału próbek gleb w klasach zawartości potasu w województwach w latach 2010–2013

Województwo	Bardzo niska	Niska	Średnia	Wysoka	Bardzo wysoka
	w % badanych próbek				
Dolnośląskie	9	17	36	17	21
Kujawsko-pomorskie	14	28	31	13	14
Lubelskie	17	29	30	11	13
Lubuskie	10	26	34	18	12
Łódzkie	23	35	25	10	7
Małopolskie	30	24	25	8	13
Mazowieckie	29	33	23	8	7
Opolskie	7	18	45	16	14
Podkarpackie	22	28	29	10	11
Podlaskie	25	35	25	9	6
Pomorskie	14	27	34	14	11
Śląskie	22	24	32	11	11
Świętokrzyskie	16	28	28	12	16
Warmińsko-mazurskie	8	19	35	19	19
Wielkopolskie	16	28	29	15	12
Zachodniopomorskie	10	27	36	16	11
Polska	16	26	32	13	13

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS, 2015 (19)

Zasobność gleb w magnez

Magnez ogólny stanowi w glebach Polski od 0,05 do 1,20%. Źródłem tego składnika są minerały, takie jak: oliwin, serpentyn, talk, biotyt, hornblenda, augit i dolomit. Niewielkie ilości magnezu, do 1% Mg ogólnego, występują w glebie w postaci organicznej, głównie fityny (9). Najniższą zawartość Mg stwierdza się w glebach piaszczystych, najwyższą zaś w glebach ilastych, gliniastych i lessowych. Zróżnicowanie zawartości magnezu ogółem w poziomach genetycznych różnych typów gleb w Polsce jest znaczne i przede wszystkim związane z procesami bielcowania i płowienia (9). Magnez przyswajalny oznacza się metodą Schachtschabela. Wycena zasobności gleb w magnez, podobnie jak i potasu, uwzględnia kategorię agronomiczną gleb (tab. 8).

Tabela 8

Ocena zasobności gleb w magnez przyswajalny

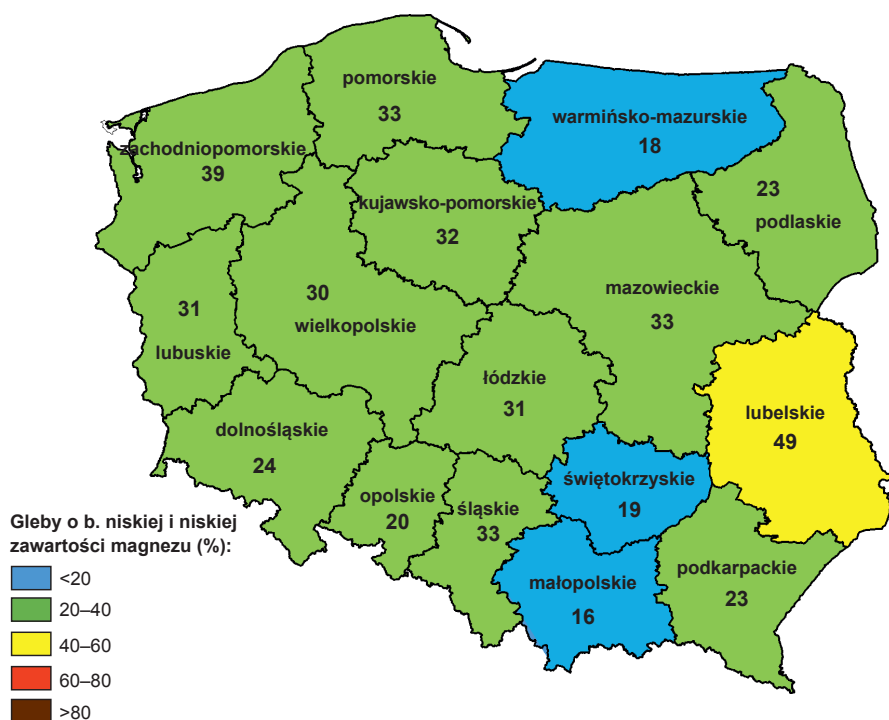
Ocena zawartości	mg Mg·100g ⁻¹ gleby, dla gleb:			
	bardzo lekkich	lekkich	średnich	ciężkich
Bardzo niska	do 1,0	do 2,0	do 3,0	do 4,0
Niska	1,1–2,0	2,1–3,0	3,1–5,0	4,1–5,0
Średnia	2,1–4,0	3,1–5,0	5,1–7,0	6,1–10,0

cd. tab. 8

Ocena zawartości	mg Mg·100g ⁻¹ gleby, dla gleb:			
	bardzo lekkich	lekkich	średnich	ciężkich
Wysoka	4,1–6,0	5,1–7,0	7,1–9,0	10,1–14,0
Bardzo wysoka	ponad 6,0	ponad 7,0	ponad 9,0	ponad 14,0

Źródło: PN-R-04020:1994/Az1: 2004 (33)

Na rysunku 5 i w tabeli 9 przedstawiono procentowy udział gleb w poszczególnych klasach zawartości magnezu przyswajalnego. Udział próbek gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości magnezu wynosi 29% (tab. 9). Najwięcej gleb ubogich w magnez odnotowano w województwach lubelskim i zachodniopomorskim. Najmniej próbek gleb ubogich w magnez jest w województwach: małopolskim, warmińsko-mazurskim i świętokrzyskim. Średnio w kraju 42% gleb charakteryzuje się wysoką i bardzo wysoką zasobnością w magnez. Najlepszą zasobnością w ten składnik charakteryzują się gleby województwa małopolskiego, podkarpackiego i świętokrzyskiego. Najmniejszym udziałem gleb o wysokiej i bardzo wysokiej zasobności w ten składnik charakteryzują się województwa lubelskie i zachodniopomorskie.



Rys. 5. Udział gleb o bardzo niskiej i niskiej zasobności w magnez przyswajalny w latach 2010–2013

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS, 2015 (19)

Tabela 9

Przestrzenne zróżnicowanie udziału próbek (%) gleb w klasach zawartości magnezu
w województwach w latach 2010–2013

Województwo	Klasa zasobności				
	bardzo niska	niska	średnia	wysoka	bardzo wysoka
Dolnośląskie	8	16	27	21	28
Kujawsko-pomorskie	10	22	31	19	18
Lubelskie	24	25	24	14	13
Lubuskie	12	19	33	19	17
Łódzkie	13	18	28	20	21
Małopolskie	6	10	23	17	44
Mazowieckie	13	20	28	18	21
Opolskie	5	15	37	25	18
Podkarpackie	9	14	18	15	44
Podlaskie	8	15	29	22	26
Pomorskie	15	18	26	18	23
Śląskie	15	18	29	18	20
Świętokrzyskie	5	14	23	19	39
Warmińsko-mazurskie	5	13	29	24	29
Wielkopolskie	11	19	32	21	17
Zachodniopomorskie	15	24	32	17	12
Polska	11	18	29	19	23

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS, 2015 (19)

Zmiany wskaźników agrochemicznych w latach 1955–2013

Zmiana odczynu gleb

W tabeli 10 przedstawiono zmiany odczynu gleb. Z zestawień wyników badań dla lat 1955–2013 wynika, że procentowy udział próbek gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych ulega systematycznemu zmniejszeniu, z 58% w latach 50. do 43% w chwili obecnej. Nieznacznie, o kilka procent, wzrósł udział próbek w klasach odczynu lekko kwaśnego i obojętnego. Poprawa odczynu gleb w okresie ponad 60-ciu lat jest niewielka i dokonała się zwłaszcza w ostatnim okresie (lata 2000–2013). Stan ten prawdopodobnie wynika ze zmiany podejścia do badań agrochemicznych z inwentaryzacyjnego (cały obszar kraju) na usługowy. Jest to tym bardziej realne, gdyż zużycie nawozów wapniowych w Polsce jest bardzo niskie i aktualnie wynosi ok. 47,9 kg·ha⁻¹, a według potrzeb powinno wynosić przynajmniej 200 kg CaO·ha⁻¹.

Tabela 10

Zestawienie zmian odczynu gleb w latach 1955–2013

pH _{KCl}	Lata						
	1955–1965	1966–1975	1976–1993	1994–1999	2000–2004	2005–2008	2010–2013
Bardzo kwaśny + kwaśny	58	56	56	55	53	49	43
Lekko kwaśny	25	26	26	26	28	28	33
Obojętny + zasadowy	17	18	18	19	19	23	24

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Hayghart i in., 1998 (19); Lipiński, 2000 (23); Ochal, 2012 (32)

Zmiany zasobności gleb w fosfor przyswajalny

Do połowy lat 90. następowała wyraźna poprawa zasobności gleb w fosfor przyswajalny dla roślin (tab. 11). Udział gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości składnika uległ obniżeniu z ponad 55 do ok. 30%, a udział gleb o zawartości wysokiej i bardzo wysokiej zwiększył się z ok. 15% w połowie lat 60. do ponad 40% w pierwszej połowie dekady lat 90. W okresie od połowy lat 90. do połowy pierwszej dekady XXI wieku zasobność gleb w fosfor uległa ponownemu pogorszeniu, osiągając stan niemal z połowy dekady lat 70. XX w. Wiąże się to z bardzo znacznym spadkiem zużycia nawozów fosforowych i wzrostem ujemnego salda tego składnika (15, 16). W ostatnich dwóch rotacjach badań obejmujących lata 2005–2013 stwierdzono dosyć znaczną poprawę zasobności gleb w fosfor.

Zmiany zasobności gleb w potas przyswajalny

Do połowy lat 90. następowała systematyczna poprawa zasobności gleb w potas (tab. 11). Od połowy lat 90. w początkowym okresie transformacji ustrojowej zużycie nawozów potasowych (14), podobnie jak fosforowych, bardzo znacznie spadło co spowodowało ponowny wzrost procentowy udziału gleb (próbek) o bardzo niskiej i niskiej zasobności oraz obniżenie udziału gleb o wysokiej zasobności w ten składnik. Od 1994 r. udział gleb o wysokiej i bardzo wysokiej zasobności w potas utrzymuje się na stałym poziomie 24–26% badanych gleb.

Zmiany zasobności gleb w magnez przyswajalny

Zasobność gleb w magnez w analizowanym okresie ponad 60 lat uległa stosunkowo niewielkim zmianom. W praktyce do 2004 r. po ok. 1/3 ogólnego areалу gleb (próbek) wykazywała odpowiednio: bardzo niską i niską, średnią oraz wysoką i bardzo wysoką zawartość tego składnika (tab. 11). Po tym okresie nastąpił znaczny wzrost gleb zasobnych w magnez, do 42% w ostatniej rotacji badań, przy jednoczesnym spadku udziału gleb ubogich w ten składnik do 29%.

Tabela 11

Zestawienie zmian zawartości fosforu, potasu i magnezu przyswajalnego w latach 1955–2013

Cecha	Klasa zasobności	Lata						
		1955–1965	1966–1975	1976–1993	1994–1999	2000–2004	2005–2008	2010–2013
P ₂ O ₅	bardzo niska + niska	56	47	29	38	38	33	32
	średnia	29	33	27	27	26	26	26
	wysoka + bardzo wysoka	15	20	44	35	24	41	42
K ₂ O	bardzo niska + niska	65	53	41	49	47	42	42
	średnia	28	30	28	27	29	31	32
	wysoka + bardzo wysoka	7	17	31	24	24	27	26
Mg	bardzo niska + niska	33	43	42	35	34	34	29
	średnia	33	43	26	29	28	27	29
	wysoka + bardzo wysoka	34	23	32	36	29	39	42

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Hayghart i in., 1998 (19); Lipiński, 2000 (23); Ochal, 2012 (32)

Podsumowanie

Na podstawie badań prowadzonych przez okręgowe stacje chemiczno-rolnicze w pracy przedstawiono ocenę stanu agrochemicznego gleb w Polsce, na którą składa się: stan zakwaszenia, potrzeby wapnowania oraz zasobność w przyswajalny fosfor, potas i magnez. Omówiono również zmiany stanu żyzności gleb od początku prowadzenia badań chemiczno-rolniczych przez OSChR-y.

Próbki gleb o odczynie bardzo kwaśnym i kwaśnym stanowią obecnie w kraju ok. 43%, o odczynie lekko kwaśnym – 33%, a odczynie obojętnym i zasadowym ok. 24%. Gleby najsilniej zakwaszone (bardzo kwaśne i kwaśne) występują w województwach: podkarpackim (62%), łódzkim (60%), mazowieckim (56%), podlaskim (55%) i małopolskim (52%).

Jak wynika z badań stacji chemiczno-rolniczych, 37% gleb kraju charakteryzuje się potrzebami wapnowania koniecznymi i potrzebnymi, 18% wskazanymi, 16% ograniczonymi, a 29% gleb zbędnymi. W ujęciu regionalnym najwięcej gleb użytkowanych rolniczo wymagających wapnowania koniecznego i potrzebnego znajduje się w województwach: podkarpackim (61%), małopolskim (56%), łódzkim (49%) oraz śląskim i mazowieckim (po 46%).

W skali Polski 32% próbek gleb charakteryzuje się bardzo niską i niską zawartością przyswajalnego fosforu. Najwięcej próbek gleb o zawartości bardzo niskiej i niskiej występuje w województwach: małopolskim (58%), podkarpackim (51%), świętokrzyskim (47%) i podlaskim (43%). Udział gleb o wysokiej i bardzo wysokiej zawartości fosforu w Polsce jest znaczący i wynosi ponad 42%.

W Polsce udział próbek gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości potasu przy-swalnego wynosi ok. 42%. Najwięcej takich gleb występuje w województwach: mazowieckim (62%), podlaskim (60%), łódzkim (58%), małopolskim (54%), opol-skim, dolnośląskim i warmińsko-mazurskim (odpowiednio: 25, 26 i 27%). Gleby o wysokiej i bardzo wysokiej zawartości potasu stanowią w Polsce niespełna 26%.

Udział próbek gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości magnezu wynosi 29%. Najwięcej gleb ubogich w magnez odnotowano w województwach lubelskim (49%) i zachodniopomorskim (39%). Najmniejszy udział próbek gleb ubogich w magnez mają województwa: małopolskie (16%), warmińsko-mazurskie (18%) i świętokrzy-skie (19%). Średnio w kraju 42% gleb charakteryzuje się wysoką i bardzo wysoką zasobnością w magnez.

Analiza zmian właściwości agrochemicznych gleb dla wszystkich omawianych cech w ujęciu historycznym wskazuje na ich systematyczną poprawę z niewielkimi tendencjami spadkowymi mającymi miejsce na przełomie lat 80. i 90., w okresie przemiany ustrojowej kraju. Wyrażna poprawa badanych parametrów gleb nastąpiła po roku 2004, co można wiązać z akcesją Polski do Unii Europejskiej i wzrostem zużycia nawozów mineralnych.

Literatura

1. Barker A.V., Pilbeam D.J.: Handbook of plant nutrition. Taylor & Francis Boca Raton, London, New York. 2006, pp. 662.
2. Bednarek W., Lipiński W.: Kationy wymienne w glebie poddanej oddziaływaniu zróżnicowanego nawożenia mineralnego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1998, **456**: 147-151.
3. Csatho P.: Phosphorus balance in Hungary and selected European countries. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 2002, **13**: 83-104.
4. Czuba R., Boguszevska M.: Historia i zadania Stacji Chemiczno Rolniczych w Polsce Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 2000, **3a**: 7-18.
5. EFMA: Understanding phosphorus and its use in agriculture. Brussels 2006.
6. Filipiek T.: Przyrodnicze i antropogeniczne przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 2001, **8**: 5-26.
7. Filipiek T.: Zarządzanie zasobami fosforu w środowisku rolniczym. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 2002, **13**: 247-258.
8. Filipiek T.: Dynamika antropogenicznych przyczyn zakwaszenia gleb w Polsce w ostatnich latach. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 2005, **23**: 67-83.
9. Filipiek T. (red.): Chemia rolna. AR Lublin, 2006, ss. 282.
10. Filipiek T., Fotyma M., Lipiński W.: Stan, przyczyny i skutki zakwaszenia gleb ornych w Polsce. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 2006, **27**: 7-38..
11. 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.
12. Fotyma M., Mercik S., Faber A.: Chemiczne podstawy żyzności gleb i nawożenia. PWRiL Warszawa 1987, ss. 320.
13. Fotyma M., Mercik S.: Chemia rolna. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 1995, ss. 356.

14. F o t y m a M., G o s e k S.: Zmiany w zużyciu nawozów potasowych i ich konsekwencje dla żyzności gleby i poziomu produkcji roślinnej w Polsce. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 2000, **2**: 1-55.
15. F o t y m a M.: Zrównoważona gospodarka fosforem w rolnictwie Polskim. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 2002, **13**: 160-172.
16. G a j R.: Zużycie nawozów fosforowych w Polsce. J. Elementol, 2003, **9(4)** Suppl.: 77-82.
17. G b u r e k W.J., S h a r p l e y A.N., H e a t h w a i t e L., F o l m a r G.J.: Phosphorus management at the watershed scale: modification of phosphorus index. J. Environ. Quality, 2000, **29**: 130-144.
18. G r z e b i s z W., D i a t t a J.B., S z c z e p a n i a k W.: Produkcyjne i ekologiczne uwarunkowania wapnowania gleb gruntów ornych. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 2006, **27**: 69-85.
19. GUS: Środki produkcji w rolnictwie, 2015, ss. 43.
20. H a y g h a r t P.M., H e p w o r t h L., J a r v i s S.C.: Form of phosphorus transfer and hydrological pathways from soil under grazed grassland. Eur. J. Soil. Sci., 1998, **49**: 65-62.
21. I g r a s J.: Ocena strat fosforu pochodzącego z produkcji rolniczej w Polsce. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 2002, **13**: 275-284.
22. K i r k b y E.A., R o m h e l d V.: Physiological aspects of plant phosphorus in relation to its acquisition from the soil by crop plants. Int. Fertilizer Soc., 2006, **588**.
23. L i p i ń s k i W.: Odczyn i zasobność gleb w świetle badań stacji chemiczno-rolniczych. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 2000, **3**: 89-105.
24. L i p i ń s k i W.: Pięćdziesiąt lat działalności stacji chemiczno rolniczych w Polsce. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 2005a, **23**: 7-25.
25. L i p i ń s k i W.: Odczyn gleb Polski. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 2005, **23**: 33-40.
26. L i p i ń s k i W.: Zasobność gleb Polski w fosfor przyswajalny. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 2005b, **23**: 49-54.
27. L i p i ń s k i W.: Zasobność gleb Polski w potas przyswajalny. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 2005c, **23**: 55-60.
28. L i p i ń s k i W.: Zasobność gleb Polski w magnez przyswajalny. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 2005d, **23**: 61-66.
29. M c D o w e l l R.W., S h a r p l e y A.N., K l e i n m a n P.J.A.: Integrating phosphorus and nitrogen decision management at watershed scales. J. Am. Water Resour. Assoc., 2002, **38(2)**: 479-491.
30. M e r c i k S. (red.): Chemia rolna. SGGW Warszawa, 2004, ss. 287.
31. M e r s c h n e r H.: Function of mineral nutrients: macronutrients (potassium). Mineral Nutrition of Higher Plants, Hohenheim 1995, 299-312.
32. O c h a l P.: Wykorzystanie syntetycznego wskaźnika do oceny stanu agrochemicznego gleb w Polsce. Praca doktorska. IUNG-PIB, Puławy 2012, ss.108
33. PN-R-04020:1994/Az1: Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego magnezu. 2004.
34. PN-R-04023:1996: Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego fosforu w glebach mineralnych. 1996.
35. PN-R-04022:1996/Az1: Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego potasu w glebach mineralnych. 2002.
36. PN-ISO 10390: Jakość gleby - oznaczanie pH. 1997.
37. P o t a r z y c k i J.: Fosfor w glebie. J. Elementol. 2003, **8(3)**Suppl.: 19-32.

38. Rutkowska B., Łabętowicz J., Szulc W.: Stężenie fosforu w roztworze glebowym w zróżnicowanych warunkach glebowych i nawozowych. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 2002, **13**: 285-296.
 39. Sharples A.N.: Soil phosphorus dynamics: agronomic and environmental impacts. Ecol. Engin., 1995, **5**: 261-279.
 40. Syers J.K.: Soil and plant potassium in agriculture. Fertiliser Soc., 1998, pp. 38.
-

Adres do korespondencji:

dr Piotr Ochal
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. 81 4786 842
e-mail: pochal@iung.pulawy.pl

Jan Kuś

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

GLEBOWA MATERIA ORGANICZNA – ZNACZENIE, ZAWARTOŚĆ I BILASOWANIE*

Słowa kluczowe: próchnica, glebowa materia organiczna, bilans glebowej materii organicznej, reprodukcja i degradacja glebowej materii organicznej, nawozy naturalne, nawozy organiczne, obsada zwierząt, specjalizacja gospodarstw

Wstęp

Problem zachowania żyzności i urodzajności gleb w ostatnim okresie znajduje odzwierciedlenie w dokumentach światowych, europejskich i krajowych. Zagadnień tych dotyczą: deklaracja przyjęta na Szczycie Ziemi w Rio de Janeiro w 1992 r., konwencja ONZ w sprawie przeciwdziałania pustynnieniu i suszy uchwalona w 1994 r., Tematyczna Strategia Ochrony Gleb UE z 2003 r. oraz Strategia Zrównoważonego Rozwoju obowiązująca w Polsce od 2001 r. (2). Według tych dokumentów głównymi zagrożeniami dla żyzności gleb są: erozja, spadek zawartości materii organicznej (próchnicy), zanieczyszczenie ze źródeł lokalnych i rozproszonych, zasklepienie (zabudowa powierzchni), spadek bioróżnorodności, zasolenie oraz powodzie i masowe ruchy ziemi.

Podstawowym wskaźnikiem żyzności gleby jest zawartość próchnicy, która stabilizuje strukturę, zmniejsza podatność gleby na zagęszczenie oraz erozję wodną i wietrzną. Z mineralizacją glebowej materii organicznej wiąże się również zwiększona emisja CO₂ do atmosfery, co nasila efekt cieplarniany. Czynniki te powodują, że zawartość materii organicznej w glebach jest powszechnie traktowana jako ważny wskaźnik oceny poprawności gospodarowania w rolnictwie.

W skład glebowej materii organicznej wchodzi nierozłożone w pełni nawozy organiczne i naturalne, martwe resztki roślinne i zwierzęce oraz produkty ich rozkładu i wtórnej syntezy powstające w wyniku działalności życiowej mikroflory i fauny glebowej. Ta część glebowej materii organicznej, która utraciła anatomiczną

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 3.2 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

oraz morfologiczną strukturę tkanek i stanowi bezpostaciową substancję organiczną o ciemnej barwie jest określana jako próchnica (humus). W glebach użytkowanych rolniczo próchnica stanowi 80–90% całkowitej ilości glebowej materii organicznej (17). Powszechnie przyjmuje się, że pojęcie glebowa materia organiczna jest synonimem próchnicy. Zawartość próchnicy ma decydujący wpływ na fizyczne, fizykochemiczne i biologiczne właściwości gleby:

- dodatni jej wpływ na fizyczne właściwości wiąże się z tworzeniem wodoodpornej, gruzelkowatej struktury warunkującej korzystne stosunki wodno-powietrzne i termiczne gleby. Taka struktura zwiększa zdolność retencyjną gleby, ogranicza spływy powierzchniowe i nasilenie erozji oraz rozluźnia gleby cięższe, czyli ułatwia wykonywanie zabiegów uprawowych. Próchnica posiada dużą pojemność wodną i zatrzymuje 3–5-krotnie więcej wody dostępnej dla roślin w stosunku do swojej masy. Nadaje również glebie ciemniejszą barwę, co przyspiesza ogrzewanie się powierzchni gleby wiosną i stwarza korzystniejsze warunki wschodów i początkowego wzrostu roślin;
- wpływ próchnicy na właściwości fizykochemiczne i chemiczne wynika z dużej jej pojemności sorpcyjnej. Koloidalna struktura związków próchnicznych pozwala na sorpcję składników pokarmowych roślin w stopniu 4–12 razy większym niż mineralnych koloidów glebowych. Dzięki tym właściwościom regulują one stężenie kationów w roztworze glebowym i ich dostępność dla roślin. Związki próchniczne mają także właściwości buforowe i w glebach słabo kwaśnych, obojętnych i zasadowych umożliwiają utrzymanie stałego odczynu. Próchnica wykazuje również duże zdolności adsorpcji na swojej powierzchni metali ciężkich i innych toksycznych substancji (np. pestycydów), które następnie ulegają powolnemu rozkładowi przez mikroorganizmy glebowe;
- glebowa materia organiczna kształtuje również aktywność biologiczną gleby, gdyż jest źródłem węgla i azotu oraz innych składników pokarmowych dla mikroorganizmów żyjących w glebie. W glebach zasobnych w humus występują liczne populacje różnych grup mikroorganizmów, które często wykazują antagonistyczne oddziaływanie w stosunku do patogenów i zmniejszają ich przeżywalność w glebie, co ogranicza nasilenie niektórych chorób (biologiczna kontrola agrofagów). Gleby takie charakteryzują się również dużą różnorodnością flory i fauny glebowej.

Glebowa materia organiczna jest także ważnym źródłem niezbędnych dla roślin składników pokarmowych, gdyż zawiera ona ok. 6% azotu, 1,2% fosforu, 0,9% siarki oraz wiele mikroelementów niezbędnych dla roślin (20).

Zawartość materii organicznej w glebach Polski

Zawartość materii organicznej w glebach zależy od dwóch grup czynników:

- **siedliskowych (naturalnych)**, które determinuje skała macierzysta, z jakiej powstała gleba (skład granulometryczny i mineralogiczny), warunki klimatyczne

kształtujące stosunki wodne i powietrzne oraz naturalna pokrywa roślinna i topografia terenu. Występuje wyraźna korelacja pomiędzy udziałem frakcji spławialnej i ilu w składzie granulometrycznym gleby a zawartością próchnicy. Również w rejonach o niższych temperaturach i większych opadach jej zawartość jest większa niż w rejonach ciepłych i suchych, gdzie próchnica ulega szybkiej mineralizacji.

- **antropogenicznych** związanych przede wszystkim z regulacją stosunków wodno-powietrznych (melioracje) oraz agrotechniką. Podstawowymi elementami agrotechniki decydującymi o tempie akumulacji (reprodukcji) i rozkładu (degradacji) próchnicy są: nawozy naturalne (obornik lub gnojowica) i organiczne (słoma, nawozy zielone i komposty), dobór uprawianych roślin i płodozmian, a szczególne znaczenie ma udział roślin wieloletnich i okopowych oraz intensywność uprawy roli (głębokość i ilość mechanicznych zabiegów uprawowych).

Porównując informacje o zawartości glebowej substancji organicznej (MOG), przyjmuje się, że:

1% glebowej materii organicznej (MOG) = 0,58% węgla organicznego w glebie (C org.);

1% węgla organicznego w glebie (C org.) = 1,72% glebowej materii organicznej (MOG).

Europejskie Biuro Gleb – ESB (2) przyjmuje następujące kryteria oceny zawartości węgla organicznego w glebach Europy (tab. 1):

- bardzo niska <1,0% C org. = <1,72% MOG;
- niska 1,0–2,0% C org. = 1,72–3,44% MOG;
- średnia 2,0–6,0% C org. = 3,44–10,32% MOG;
- wysoka >6,0% C org. = >10,32% MOG.

Przyjęto również, że dla gleb zawierających poniżej 2,0% C organicznego (3,4% MOG) powinien być określony i wprowadzony sposób ich użytkowania sprzyjający wzrostowi zawartości materii organicznej, gdyż uznano takie gleby za zagrożone pustynnieniem.

Inne kryteria oceny zawartości glebowej materii organicznej stosuje się w Polsce, gdzie dominują gleby lekkie, wytworzone z różnego rodzaju piasków, w których następuje szybka mineralizacja próchnicy, przy małych możliwościach jej akumulacji (tab. 1). W Polsce 56% gruntów ornych charakteryzuje się niską i średnią zawartością materii organicznej, w granicach 1–2% (0,58–1,16% C org.). Według kryteriów oceny ESB są to gleby o bardzo niskiej zawartości próchnicy. Następne 33% gruntów ornych zawiera od 2,0 do 3,5% MOG (1,17–2,03% C org.), co dla naszych warunków przyjęto jako zawartość wysoką, zaś według klasyfikacji ESB odpowiada klasie niskiej zawartości C org. Wyższa zawartość glebowej materii organicznej (powyżej 3,5%) występuje jedynie w czarnoziemach, czarnych ziemiach, rędzinach i ciężkich madach, które stanowią ok. 11% ogółu naszych gleb (23).

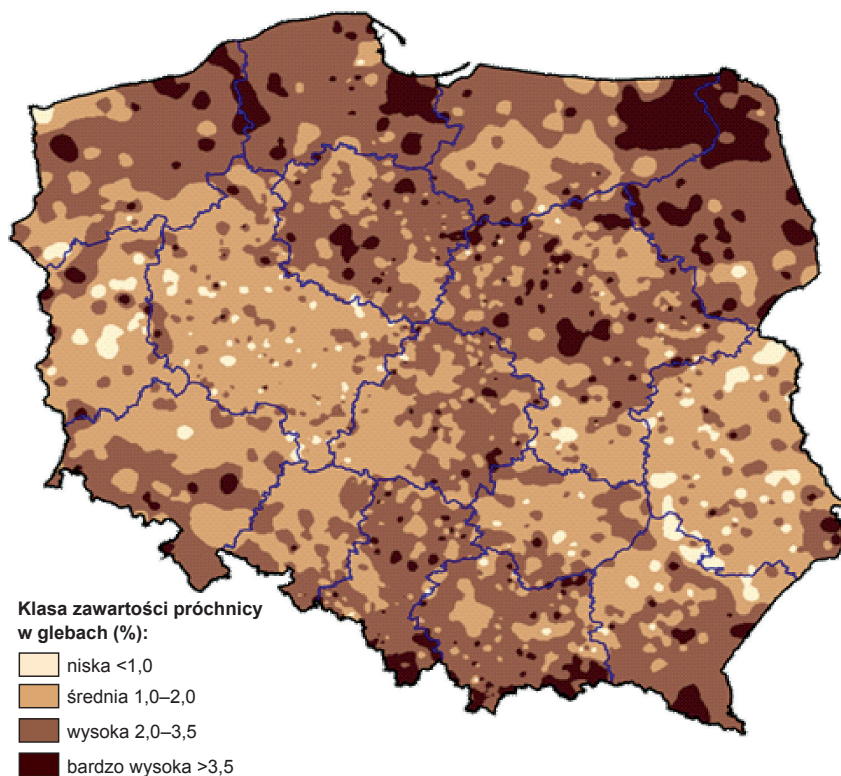
Tabela 1

Kryteria oceny zawartości węgla organicznego w glebach Polski i Europy

Klasa zawartości	Według IUNG ¹			Europejskie Biuro Gleb (ESB) ² zawartość C organicznego (%)
	materia organiczna GSO (%)	węgiel organiczny Corg.(%)	udział gleb (%)	
Niska	<1,0	<0,58	6	<1,0 bardzo niska
Średnia	1,0–2,0	0,58–1,16	50	
Wysoka	2,0–3,5	1,17–2,03	33	1,0–2,0 niska
Bardzo wysoka	>3,5	>2,04	11	2,1–6,0 średnia

Źródło: ¹ Terelak, 2001 (24); ² Gonet, 2007 (2)

Na obszarze Polski występuje bardzo duże przestrzenne zróżnicowanie zawartości glebowej materii organicznej (rys. 1). Największym udziałem gleb o niskiej i średniej zawartości próchnicy wyróżniają się województwa usytuowane w środkowym pasie kraju: lubuskie, wielkopolskie, świętokrzyskie, mazowieckie i lubelskie. Natomiast relatywnie mniej takich gleb jest w województwach położonych wzdłuż południowej i północnej granicy Polski.



Rys. 1. Przestrzenne rozmieszczenie gleb o różnej zawartości próchnicy w Polsce

Źródło: Jadczyzsyn, 2010 (mapa niepublikowana)

W Polsce brak jest systematycznego monitoringu zawartości próchnicy w glebach. W latach 2002–2007 w IUNG przeprowadzono badania porównawcze ok. 1000 profili wzorcowych, które pierwotnie analizowano 40–50 lat temu w trakcie prac związanych z klasyfikacją gleb. Generalnie stwierdzono tendencję spadku zawartości próchnicy, który był szczególnie wyraźny na glebach o opadowo-gruntowym typie gospodarki wodnej. W przypadku tych gleb o spadku zawartości materii organicznej zadecydowała zmiana stosunków wodnych w następstwie melioracji, które przeprowadzono już po klasyfikacji. Z kolei na typowych gruntach ornych, wytworzonych głównie z piasków ubogich w próchnicę, odnotowano w tym okresie tendencję przyrostu jej zawartości, co można wiązać z większą ilością resztek poźniwnych w następstwie wyższego nawożenia i większych plonów (22).

Zasoby węgla organicznego w glebach użytkowanych rolniczo w Polsce

W skali globalnej najwięcej węgla jest zakumulowane w oceanach (ok. 38000 mld t), a drugim jego rezerwuarem są gleby. Szacuje się, że glebowa materia organiczna zawiera w sumie ponad 2-krotnie większą ilość węgla od całkowitej jego ilości występującej w atmosferze w formie CO₂, odpowiednio: 1500 i 750 mld t (25). W związku z tym spadek zawartości materii organicznej w glebach zwiększa emisję CO₂ do atmosfery, czyli nasila efekt cieplarniany, natomiast wzrost jej ilości w glebach (sekwestracja) jest czynnikiem ograniczającym to niekorzystne zjawisko, gdyż węgiel związany w MOG jest na dłuższy okres czasu wyłączony z globalnego obiegu. Szczególnie duże ilości węgla są zgromadzone w torfach oraz pozostałych glebach organicznych i organiczno-mineralnych, zaś mniejsze w glebach mineralnych.

Całkowita ilość węgla organicznego zawarta w materii organicznej powierzchniowej warstwy gleb (0–30 cm) użytkowanych rolniczo w Polsce przekracza 1 mld t, a wynika to z następującego oszacowania:

Grunty orne. Przeciętna zawartość glebowej materii organicznej (MOG) w warstwie powierzchniowej naszych gruntów ornych wynosi 1,95% (24). W związku z tym jej ilość na powierzchni 1 ha można wyliczyć w następujący sposób:

$$\begin{aligned} & \text{miąższość warstwy orno-próchnicznej} - 0,30 \text{ m} \times \text{gęstość gleby w tej warstwie} - \\ & 1,60 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3} \times \text{zawartość MOG} - 1,95\% \times 10000 \text{ m}^2 \text{ (powierzchnia 1 ha)} = 93,6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \\ & \text{MOG (glebowej materii organicznej)} \times 0,58\% \text{ (zawartość węgla w MOG)} = \\ & 54,3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ węgla organicznego.} \end{aligned}$$

Można przyjąć, że zawartość MOG w gruntach ornych waha się od ok. 1% w glebach bardzo lekkich wytworzonych z piasków słabo gliniastych do ok. 3,5% w glebach zasobnych w próchnicę (czarnoziemy, mady i czarne ziemie). Tym samym ilość glebowej materii organicznej zawarta na powierzchni 1 ha gruntów ornych oscyluje w granicach od 48,0 do 168,9 t MOG, co w przeliczeniu na węgiel organiczny wynosi od 27,8 do 98,0 t·ha⁻¹.

Powierzchnia gruntów ornych (pod zasiewami, ugorowane, uprawy trwałe) w 2014 r. według GUS wynosiła ok. 11,3 mln ha, czyli zawierały one w sumie (11,3 mln ha $\times$ 54,3 t $\cdot$ ha $^{-1}$ Corg.) ok. 614 mln t węgla organicznego.

Trwałe użytki zielone zawierają zdecydowanie więcej MOG w powierzchniowej warstwie gleby niż grunty orne, a szczególnie duża jej ilość występuje w glebach organicznych (torfowych), na których znajduje się część naszych łąk. W 2014 r. TUZ zajmowały łączną powierzchnię ok. 3,1 mln ha, w tym łąki trwałe – 2,63 oraz pastwiska trwałe – 0,49 mln ha. Przystępując do wyliczenia zasobów węgla organicznego w glebach zajętych przez TUZ, założono, że 0,8 mln ha łąk leży na glebach torfowo-murszowych, zaś pozostałe na glebach mineralnych (17).

- a) TUZ na glebach mineralnych – przyjęto, że zawartość glebowej substancji organicznej w powierzchniowej warstwie (0–30 cm) wynosi 3,2% (17, 23). W zawiązku z tym jej ilość na powierzchni 1 ha wyliczono w następujący sposób:

$$\begin{aligned} \text{miąższość warstwy orno-próchnicznej} &= 0,30 \text{ m} \times \text{gęstość gleby w tej warstwie} - \\ &= 1,60 \text{ t} \cdot \text{m}^3 \times 10000 \text{ m}^2 \text{ (powierzchnia 1 ha)} \times \text{zawartość GSO} - 3,2\% = 153,6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \\ \text{MOG} &= 89,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ węgla organicznego.} \end{aligned}$$

Trwałe użytki zielone na glebach mineralnych zawierają w sumie (2,3 mln ha $\times$ 89,1 t $\cdot$ ha $^{-1}$ Corg.) 205 mln t węgla organicznego.

- b) TUZ na glebach torfowo-murszowych. Gleby torfowe różnią się stopniem uwilgotnienia oraz miąższością warstwy torfu. W związku z tym wyliczenie wykonano tylko dla powierzchniowej warstwy gleby, aby wyniki były porównywalne z pozostałymi użytkami rolnymi. Do dalszych wyliczeń przyjęto na podstawie innych opracowań (1, 17) następujące wartości:

$$\begin{aligned} \text{gęstość gleby organicznej} &= 0,25 \text{ t} \cdot \text{m}^3 \times \text{zawartość materii organicznej} - 80\% \times \\ \text{miąższość ocenianej warstwy gleby} &= 0,30 \text{ m} \times 10000 \text{ m}^2 \text{ (powierzchnia 1 ha)} \\ &= 600 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ MOG, która zawiera ok. 50\% węgla organicznego, czyli } 300 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}. \end{aligned}$$

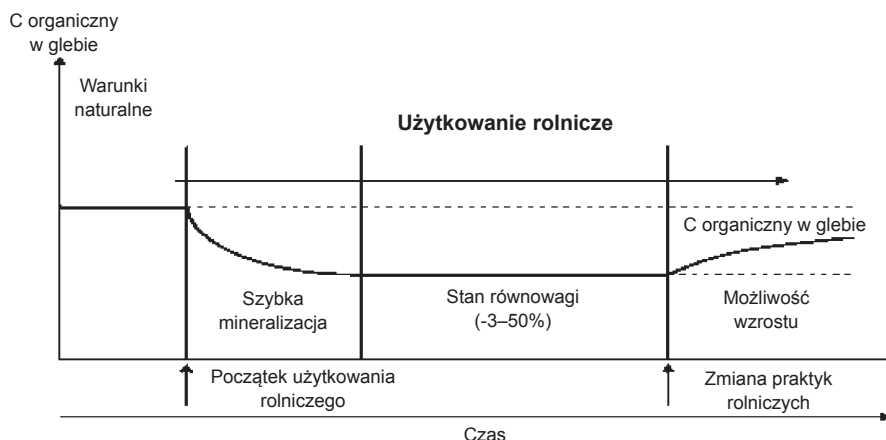
Trwałe użytki zielone położone na glebach torfowo-murszowych (0,8 mln ha $\times$ 300 t $\cdot$ ha $^{-1}$) w warstwie gleby do głębokości 30 cm zawierają w sumie ok. 240 mln t węgla organicznego.

Należy podkreślić, że wyliczona ilość węgla organicznego w warstwie powierzchniowej TUZ położonych na glebach torfowo-murszowych stanowi poniżej 30% całkowitej jego ilości oszacowanej dla ogółu torfowisk niskich w Polsce (1).

Z przeprowadzonego szacunku wynika, że powierzchniowa warstwa (0–30 cm) gleb użytkowanych rolniczo w Polsce zawiera w sumie ok. 1059 mln t węgla organicznego. Należy dodatkowo podkreślić, że pewne ilości węgla organicznego zawierają również głębsze warstwy gleby (podorne). Ilość ta jest największa na glebach organicznych o dużej miąższości złoża torfu, a także na głębokich czarnoziemach i czarnych ziemiach, zaś zdecydowanie mniejsza na pozostałych glebach mineralnych. Warstwy te pominięto w prowadzonej ocenie, ponieważ wpływ sposobu gospodarowania na zmiany zawartość MOG w tych warstwach gleby są małe.

W glebowej materii organicznej jest względnie stały stosunek C:N, który wynosi ok. 10:1. Oznacza to, że na powierzchni 1 ha gruntów ornych MOG zawiera średnio ok. 5,5 t azotu związanego w różnych związkach organicznych, zaś na trwałych użytkach zielonych ilość ta jest odpowiednio większa.

W glebach użytkowanych rolniczo zawartość próchnicy utrzymuje się na względnie stałym poziomie, natomiast szybki spadek jej zawartości następuje w przypadku zmiany sposobu użytkowania gruntu, co w schematyczny sposób przedstawiono na rysunku 2. Szacuje się, że przekształcenie użytków naturalnych (łąka, las) w grunty orne wiąże się z utratą ok. 30–50% węgla organicznego zakumulowanego w powierzchniowej warstwie gleby pod użytkiem naturalnym. Szczególnie szybka mineralizacja MOG następuje w pierwszych latach po zmianie sposobu zagospodarowania. Mechaniczna uprawa zwiększa napowietrzenie gleby, co drastycznie przyspiesza mineralizację MOG oraz zwiększa dostępność składników nawozowych, a głównie azotu dla roślin. W kolejnych latach proces ten ulega stopniowemu spowolnieniu i ustala się nowy stan równowagi dla ornego użytkowania danego gruntu, po stracie 30–50% wyjściowej zawartości MOG. Okres ten w warunkach klimatu umiarkowanego wynosi ok. 40–60 lat, zaś w tropiku tylko 5–10 lat i w tamtych warunkach jest on dodatkowo silnie wzmagany przez procesy erozyjne (15). W stanie równowagi pewna ilość glebowej substancji organicznej – ok. 1–2% jej całkowitej ilości, ulega rozkładowi w ciągu roku i podobna jej ilość powstaje w wyniku działalności mikroflory i fauny glebowej, dla której pożywienie stanowią korzenie i reszki poźniwne uprawianych roślin oraz nawozy naturalne i organiczne.



Rys. 2. Zmiany zawartości węgla organicznego w glebie w czasie jej użytkowania jako grunt orny
Źródło: opracowanie własne

Szczególnie duże ilości materii organicznej ulegają mineralizacji w przypadku włączenia do użytkowania rolniczego gleb organicznych (torfowych) i organiczno-mineralnych. W glebach tych akumuluje się duża ilość masy organicznej, której rozkład jest ograniczony dzięki ochronnemu działaniu wody (warunki beztlenowe).

Wraz z obniżeniem poziomu wód gruntowych i zmniejszeniem uwilgotnienia tych gleb (np. melioracje) następuje szybka mineralizacja materii organicznej. Szacuje się, że roczne obniżenie się miąższości torfowiska spowodowane mineralizacją może przekraczać nawet 1,0 cm, czemu towarzyszy ubytek ponad $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ materii organicznej (ok. $5,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ węgla organicznego). Oszacowano, że średnio dla 816 tys. ha łąk na torfowiskach w latach 1945–2000 każdego roku ubywało ok. $1,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ MOG (1, 21).

Z transformacją TUZ na grunt orny wiąże się spadek zawartości próchnicy w powierzchniowej warstwie gleby (0–30 cm) z ok. 3,20 do 1,95% (średnie zawartości dla TUZ i gruntów ornych), co oznacza mineralizację ok. $35 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ węgla organicznego. Wynika to z różnicy jego zawartości w warstwie gleby 0–30 cm pomiędzy TUZ na glebach mineralnych a gruntami ornymi (**$89,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$** węgla organicznego dla TUZ oraz **$54,3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$** dla gruntów ornych).

W UE wdraża się regulacje prawne, które powinny ograniczać transformację w użytkowaniu gruntów prowadzące do zwiększonej mineralizacji glebowej materii organicznej i dużych emisji CO_2 do atmosfery. Zgodnie z Rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1307/2013 z 13.12.2013 r. jednym z komponentów płatności bezpośrednich jest zazielenienie (*greening*), które zobowiązuje rolników do utrzymywania stałej powierzchni trwałych użytków zielonych (19). W celu przeciwdziałania pozyskiwaniu dodatkowych gruntów pod uprawę roślin na cele energetyczne poprzez likwidację lasów lub użytków zielonych wprowadzono dla biopaliw silnikowych obowiązek ich certyfikacji pod względem emisji gazów cieplarnianych w następstwie pośrednich zmian w użytkowaniu gruntów – dyrektywa Indirect Land Use Change, ILUC (6).

Bilans glebowej materii organicznej

Racjonalna gospodarka glebową materią organiczną powinna zapewniać utrzymanie zrównoważonego jej bilansu w ramach zmianowania lub gospodarstwa, który wylicza się z następującego równania:

$$\text{saldo MOG} = a - b$$

gdzie:

a – przychód (reprodukcja) z nawozów naturalnych oraz nawozów organicznych, a także uprawy roślin wieloletnich i międzyplonów;

b – mineralizacja (degradacja) powodowana przez uprawę roślin w kolejnych latach rotacji zmianowania.

Celem łatwiejszego bilansowania glebowej materii organicznej wyznacza się liczbowe wskaźniki jej degradacji oraz reprodukcji. Do wyznaczenia tych współczynników wykorzystuje się wyniki wieloletnich doświadczeń nawozowych – prowadzonych zwykle przez okres ponad 20–30 lat oraz modele matematyczne. Prace te są najbardziej zaawansowane w Niemczech, gdzie szczególnie liczna jest sieć trwałych doświadczeń nawozowych. Pierwsze wartości takich współczynników obejmują-

cych w całościowy sposób bilansowanie glebowej materii organicznej opracowano w 1981 r. (12). W 2004 r. z inicjatywy VDLUFA (Stowarzyszenie Niemieckich Instytutów Naukowych i Badawczo-Wdrożeniowych) ukazało się poszerzone i zaktualizowane opracowanie na ten temat (9). Kolejna aktualizacja tych współczynników, wydana również przez VDLUFA, została opublikowana w 2014 r. (5).

Konieczność modyfikacji współczynników wynika ze zmian w technologii produkcji roślinnej, takich jak: skrócenie źdźbła umożliwiające większe zagęszczenie łanów roślin zbożowych, kombajnowy zbiór zwiększający ilość resztek poźniwnych pozostających na polu, nowe generacje maszyn umożliwiające ograniczanie liczby zabiegów uprawowych oraz coraz powszechniejsze stosowanie uprawy bezorkowej, pozostawianie na polu liści buraka cukrowego, coraz powszechniejsza uprawa międzyplonów, dodatni bilans azotu na większości pól itp. Czynniki te wpływają na ilość pozostających resztek poźniwnych oraz tempo ich przemian w glebie, a w konsekwencji na bilans glebowej materii organicznej.

Wartości współczynników podane w tabelach 2 i 3 informują o ilości ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) glebowej materii organicznej (próchnicy), o którą zostanie gleba zubożona (mineralizacja) lub wzbogacona (reprodukcja) w okresie roku w następstwie uprawy poszczególnych gatunków roślin. Z kolei w tabeli 4 podano wskaźniki reprodukcji glebowej materii organicznej w następstwie zastosowania różnych nawozów naturalnych i organicznych. Wartość współczynnika informuje o ile kg przyrośnie ilość glebowej materii organicznej w następstwie zastosowania 1 tony świeżej masy wymienionych nawozów. Wartości tych współczynników wyraźnie zależą od zawartości suchej masy w stosowanym nawozie.

Tabela 2

Wartości współczynników ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}$) degradacji glebowej materii organicznej dla poszczególnych gatunków roślin

Gatunek/Grupa roślin	Degradacja glebowej materii organicznej		
	wartości niskie ¹	wartości średnie ²	wartości wysokie ³
Burak cukrowy i pastewny	–760	–1300	–1840
Ziemniak, warzywa kapustne, por, seler, ogórek, cukinia, pomidor itp.	–760	–1000	–1240
Kukurydza na ziarno i kiszonkę, cykoria, papryka, czosnek, marchew itp.	–560	–800	–1040
Zboża, oleiste, fasola szparagowa, groszek zielony, cebula, pietruszka oraz zioła i rośliny przyprawowe	–280	–400	–520

¹ gleby w dobrej kulturze o niedoborze wilgoci i ograniczonym nawożeniu azotowym;

² gleby w dobrej kulturze przy poprawnej gospodarce nawozowej;

³ gleby w niskiej kulturze lub gospodarowanie ukierunkowane na duże wykorzystanie azotu glebowego (np. rolnictwo ekologiczne).

Źródło: VDLUFA, 2014 (5)

Tabela 3

Wartości współczynników ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$) reprodukcji glebowej materii organicznej dla roślin wzbogacających glebę w materię organiczną

Gatunek/Grupa roślin	Reprodukcja glebowej materii organicznej	
	niski poziom plonów ¹	wysoki poziom plonów ²
Motylkowate wieloletnie, ich mieszanki z trawami i trawy w uprawie polowej:		
każdy rok użytkowania	600	800
rok wysiewu, jako:		
– wsiewka	200	300
– zasiew czysty wiosną	400	500
– zasiew czysty latem	100	150
Strączkowe na nasiona (łącznie ze słomą i resztkami poźniwnymi)	160	
Międzyplony – ozime	140	
– ścierniskowe	100	
– wsiewki	250	

¹ plon poniżej $50 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$; ² plon powyżej $50 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ zielonej masy na rok użytkowania

Źródło: VDLUFA, 2014 (5)

Tabela 4

Reprodukcja glebowej materii organicznej w kg na 1 t świeżej masy różnych nawozów naturalnych i organicznych

Rodzaj nawozu	Zawartość suchej masy (%)	Współczynnik reprodukcji MOG* ($\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$ nawozu)
Słoma	86	100
Liście buraka, marchewki, nawozy zielone, trawa z innych użytków	10 20	8 16
Obornik świeży	20 30	28 40
Obornik przefermentowany	25 35	40 56
Gnojowica świńska	4 8	4 8
Gnojowica bydłęca	4 7 10	6 9 12
Pomiot od drobiu	15 25 35 45	12 22 30 38
Odpady organiczne świeże	20 40	30 62
Odpady organiczne przekompostowane	40 50 60	46 58 70

cd. tab. 4

Rodzaj nawozu	Zawartość suchej masy (%)	Współczynnik reprodukcji MOG* (kg·t ⁻¹ nawozu)
Osady ściekowe stabilizowane wapnem	20	16
	25	20
	35	36
	45	46
	55	56
Osad pofermentacyjny z biogazowni rolniczej – płynny	4	6
	7	9
	10	12
Osad pofermentacyjny z biogazowni rolniczej – odwodniony	25	36
	35	50
Osad pofermentacyjny z biogazowni rolniczej – przekompostowany	30	40
	60	70

* glebowa materia organiczna

Źródło: VDLUFA, 2014 (5)

W tabeli 5 podano przyjęte przez VDLUFA w 2014 r. oceny i zalecenia w warunkach różnych wartości salda glebowej materii organicznej. W przypadku gospodarowania z dużą ujemną wartością salda (grupa A – powyżej 200 kg w okresie roku) następuje degradacja żyzności gleby i spadek plonów uprawianych roślin, a także zwiększona jest emisja CO₂ z gleby. Bardzo wysokie dodatnie saldo (grupa E) jest również niekorzystne, gdyż wówczas występuje nadmierna mineralizacja materii organicznej w glebie poza okresem wegetacji, czemu towarzyszy zwiększone uwalnianie składników nawozowych, których nie pobierają w tym czasie rośliny. Następstwem jest niebezpieczeństwo przemieszczania biogenów, głównie azotu i fosforu w okresie jesienno-zimowym, do wód gruntowych i powierzchniowych. Ponadto w takich warunkach niska jest efektywność nawożenia mineralnego.

Tabela 5

Ocena wielkości salda glebowej materii organicznej – następstwa i zalecenia

Saldo glebowej materii organicznej (kg·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹)	Grupa oceny wielkości salda	Następstwa i zalecenia
Poniżej –200	A bardzo niskie	spadek żyzności gleby i plonów – konieczne zwiększenie dopływu do gleby materii organicznej
Od –200 do –76	B niskie	okresowo dopuszczalne na glebach próchnicznych, jednak wskazana korekta nawożenia organicznego
Od –75 do 100	C optymalne	stan optymalny – nie wymaga korekt
Od 101 do 300	D wysokie	okresowo uzasadnione na glebach ubogich w próchnicę – w dłuższym okresie wskazana korekta nawożenia
Powyżej 300	E bardzo wysokie	nadmierna mineralizacja materii organicznej, możliwe duże straty azotu i ewentualnie fosforu oraz niska efektywność nawożenia mineralnego

Źródło: VDLUFA, 2014 (5)

Bilans glebowej materii organicznej w skali kraju, regionu i gospodarstwa

Wykorzystując współczynniki podane w tabelach 2–4, wyliczono bilans glebowej materii organicznej dla Polski w okresie ostatnich 30 lat, dla poszczególnych województw za lata 2007–2010 oraz dla przykładowych gospodarstw o różnych kierunkach produkcji. Bilanse dla kraju lub województw mają charakter informacyjny (poglądowy) i mogą być wykorzystywane do podejmowania działań z zakresu polityki rolnej oraz działań rolnośrodowiskowych, zaś analiza wykonana dla gospodarstwa służy rolnikowi do podejmowania konkretnych decyzji organizacyjnych i produkcyjnych. Do wyliczeń przyjęto średnie wartości współczynników degradacji glebowej (tab. 2) oraz mniejszy poziom plonów dla roślin wzbogacających glebę w materię organiczną (tab. 3).

Poziom kraju. W latach 1980–2010 odnotowano w Polsce duże zmiany w strukturze zasiewów (tab. 6). Łącznie udział zbóż i rzepaku, czyli upraw o małym ujemnym wpływie na bilans próchnicy, wzrósł w tym okresie z 56 do prawie 78%. Powierzchnia rzepaku szczególnie szybko przyrasta w ostatnim 10-leciu w związku z rozwojem produkcji biopaliw. Z kolei udział upraw prowadzących do szybszej degradacji próchnicy (ziemniak, burak, kukurydza i warzywa), w tym samym okresie, zmniejszył się w strukturze zasiewów z 25,8 do 14,2%. Szczególnie silnie, bo aż 4-krotnie spadł udział ziemniaka w zasiewach i 2-krotnie buraka cukrowego. Znaczący wpływ na bilans próchnicy ma także ograniczenie udziału w strukturze zasiewów roślin wieloletnich z 11 do 4%. Powyższe zmiany w strukturze zasiewów były następstwem drastycznego spadku w latach 90. pogłowia bydła i owiec, co ograniczyło zapotrzebowanie na pasze objętościowe. Z kolei w żywieniu trzody chlewnej ziemniaki zastąpiono ziarnem zbóż, a o spadku powierzchni uprawy buraka cukrowego zadecydowała głównie reforma rynku cukru wprowadzana w UE.

Wpływ zmian w strukturze zasiewów na bilans glebowej materii organicznej był jednak mały, gdyż w następstwie uprawy roślin w analizowanym okresie ulegało mineralizacji od 380 w 2009 r. do 408 kg·ha⁻¹ MOG w 2010 r. w przeliczeniu na 1ha gruntów ornych, średnio w kraju (tab. 6).

Tabela 6

Bilans glebowej materii organicznej na gruntach ornych (kg·ha⁻¹·rok⁻¹), średnio dla Polski w latach 1980–2010

Grupy upraw roślin	Współczynnik (kg·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹)	Lata			
		1980	1990	2000	2010
struktura zasiewów (%):					
Zboża bez kukurydzy	–400	54,0	59,5	69,8	70,7
Rzepak	–400	2,2	3,5	3,5	7,0
Kukurydza na ziarno i kiszonkę	–800	4,7	2,7	2,5	6,8
Warzywa	–1000	1,8	1,8	2,0	1,5

cd. tab. 6

Grupy upraw roślin	Współczynnik ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$)	Lata			
		1980	1990	2000	2010
Ziemniak	–1000	16,1	12,9	10,1	4,2
Burak cukrowy	–1300	3,2	3,1	2,7	1,7
Strączkowe	160	2,3	1,7	1,8	1,1
Rośliny wieloletnie	800	11,4	9,7	4,8	4,4
Średnia degradacja MOG ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}$)		388	380	395	408
Średnia obsada zwierząt ($\text{DJP} \cdot \text{ha}^{-1} \text{UR}$)		0,75	0,68	0,41	0,42
Średnia dawka obornika na GO ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}$)		9,4	8,5	5,1	5,2
Reprodukcja MOG z obornika ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)		376	340	204	208
Saldo bilansu MOG bez przyoranej słomy ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)		–12	–40	–191	–200

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS o strukturze zasiewów i obsadzie zwierząt (3) oraz współczynników podanych w tabelach 2–4

Większy wpływ na końcowy bilans glebowej materii organicznej miały zmiany w pogłowie zwierząt i możliwości reprodukcji ubytku próchnicy nawozami naturalnymi (tab. 6). W sumie w okresie 1980–2010 obsada zwierząt zmniejszyła się, średnio w kraju z 0,75 do 0,42 $\text{DJP} \cdot \text{ha}^{-1}$ użytków rolnych. Przyjęto, że DJP (duża jednostka przeliczeniowa zwierząt) produkuje w ciągu roku 10 t obornika. Założono również, że nawozy naturalne stosuje się głównie na gruntach ornych. W tej sytuacji ich średnia dawka w skali kraju zmniejszyła się w ocenianym 30-leciu z ok. 9 $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ w latach 90. do ok. 5 $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ gruntów ornych w ostatnich latach. Dawka obornika wynosząca 9–10 $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ praktycznie całkowicie kompensuje mineralizację glebowej materii organicznej powodowaną uprawą roślin przy średniej strukturze zasiewów występującej w kraju. Zmniejszenie jej natomiast do ok. 5 $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$, czyli do stanu występującego w ostatnich latach, prowadzi już do ujemnego salda glebowej materii organicznej wynoszącego ok. 200 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Zgodnie z zaleceniami podanymi w tabeli 5, taka wartość salda może występować tylko okresowo na glebach próchnicznych. Utrzymanie natomiast takiego stanu w dłuższym okresie czasu prowadzi do spadku ich żyzności, co jest szczególnie groźne na glebach o małej zawartości próchnicy, jakie dominują w Polsce.

Należy podkreślić, że zaprezentowana analiza nie jest precyzyjna, gdyż brak jest informacji dotyczących ilości stosowanych nawozów organicznych (słoma, liście buraka), powierzchni uprawy międzyplonów itp. oraz ilości nawozów naturalnych, a głównie gnojowicy, które stosuje się na użytkach zielonych. Analiza ta wskazuje jednak na ogólną tendencję występującą w praktyce i powinna wskazywać na celowość promocji działań rolnośrodowiskowych sprzyjających poprawie bilansu glebowej materii organicznej.

Poziom regionu. W poszczególnych województwach występuje znaczne zróżnicowanie salda bilansu MOG, o czym decyduje struktura zasiewów, a przede wszystkim obsada zwierząt (tab. 7).

Tabela 7

Saldo bilansu glebowej materii organicznej dla poszczególnych województw (średnio 2007–2010)

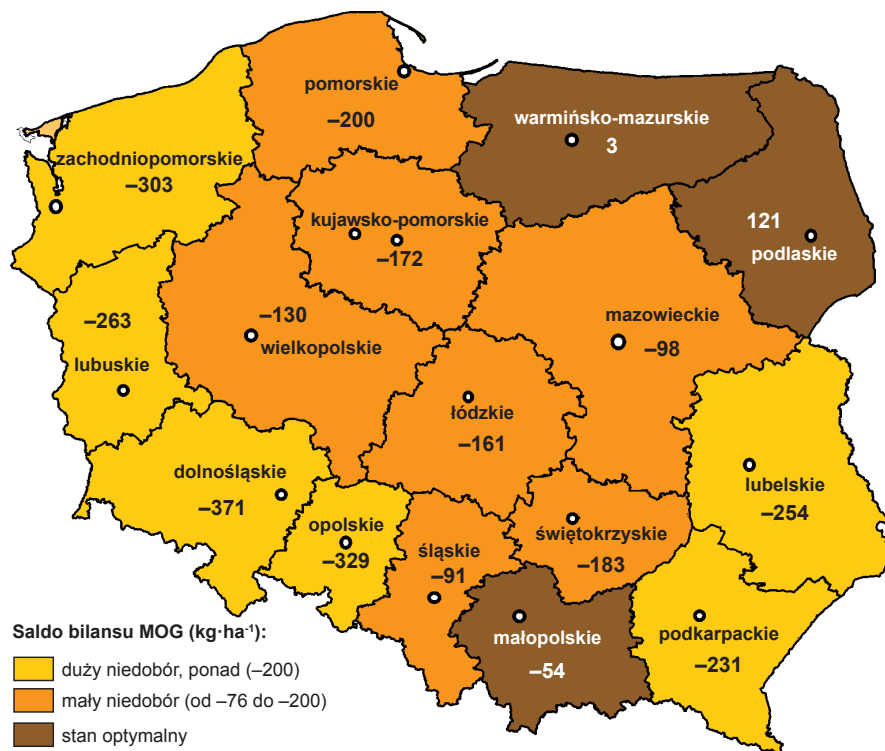
Województwo	Degradacja MOG (kg·ha ⁻¹ GO)	Obsada (DJP·ha ⁻¹ UR)	Dawka obornika (t·ha ⁻¹ GO)	Reprodukcja MOG z obornika (kg·ha ⁻¹ GO)	Saldo bilansu MOG (kg·ha ⁻¹ GO)
Dolnośląskie	451	0,17	2,0	80	–371
Kujawsko-pomorskie	412	0,52	6,0	240	–172
Lubelskie	402	0,31	3,7	148	–254
Lubuskie	379	0,23	2,9	116	–263
Łódzkie	393	0,49	5,8	232	–161
Małopolskie	322	0,41	6,7	268	–54
Mazowieckie	378	0,51	7,0	280	–98
Opolskie	457	0,30	3,2	128	–329
Podkarpackie	399	0,28	4,2	168	–231
Podlaskie	323	0,69	11,1	444	121
Pomorskie	372	0,35	4,3	172	–200
Śląskie	287	0,39	4,9	196	–91
Świętokrzyskie	371	0,37	4,7	188	–183
Warmińsko-mazurskie	285	0,48	7,2	288	3
Wielkopolskie	430	0,65	7,5	300	–130
Zachodniopomorskie	379	0,16	1,9	76	–303
Polska	408	0,42	5,2	208	–200

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS o strukturze zasiewów i obsadzie zwierząt (3) oraz współczynników podanych w tabelach 2–4

Niższe wartości wskaźnika degradacji MOG powodowanej uprawą roślin odnotowano w trzech województwach, tj. warmińsko-mazurskim, małopolskim i podlaskim, w których ok. 10% gruntów ornych zajmowały rośliny wieloletnie – bobowate z trawami oraz trawy w uprawie polowej. Z kolei w województwie dolnośląskim i opolskim zwiększoną degradację glebowej materii organicznej należy wiązać dużym udziałem w strukturze zasiewów kukurydzy i buraka cukrowego (łącznie ok. 15%), przy znikomej powierzchni roślin wieloletnich.

Niski stan pogłowia zwierząt w kilku województwach dodatkowo ogranicza możliwości reprodukcji glebowej materii organicznej z nawozów naturalnych. Obsada zwierząt w ostatnich latach waha się od ok. 0,2 DJP·ha⁻¹ UR w województwach zachodniopomorskim, dolnośląskim i lubuskim do powyżej 0,6 DJP·ha⁻¹ w województwach wielkopolskim i podlaskim (13). Jeszcze większe zróżnicowanie obsady zwierząt występuje przy przeliczeniu jej na powierzchnię gruntów ornych, na które stosuje się głównie nawozy naturalne. Wynika to z różnego udziału TUZ w strukturze użytkowania gruntów, który waha się od 9–15% w 4 województwach

(opolskie, wielkopolskie, kujawsko-pomorskie i śląskie) do 30–40% w kolejnych 4 województwach (warmińsko-mazurskie, podkarpackie, podlaskie i małopolskie). W sumie średnia dawka obornika w przeliczeniu na 1 ha gruntów ornych waha się od ok. 2–3 t (zachodniopomorskie, dolnośląskie, lubuskie i opolskie) do ponad 7 t w warmińsko-mazurskim i wielkopolskim oraz aż 11 t w woj. podlaskim.



Rys. 2. Saldo bilansu glebowej materii organicznej (kg·ha⁻¹ gruntów ornych) w latach 2007–2010 w poszczególnych województwach

Źródło: opracowanie własne

W dwóch województwach (warmińsko-mazurskie i mazowieckie) saldo bilansu glebowej materii organicznej mieści się w przedziale wartości optymalnych – grupa A (tab. 5). W województwie podlaskim tylko nieznacznie przekracza zakres wartości optymalnych, jednak w tym rejonie występują liczne gospodarstwa specjalizujące się w produkcji mleka, w których gnojowica jest stosowana do nawożenia TUZ. W tej sytuacji faktyczne zużycie nawozów naturalnych na gruntach ornych jest mniejsze i saldo MOG można zaliczyć do grupy optymalnych. W 7 województwach wartość salda waha się od –75 do –200 kg·ha⁻¹, czyli mieści się w grupie B (niskie). Taka sytuacja może występować jedynie okresowo na glebach próchnicznych i konieczna jest korekta nawożenia organicznego. W następnych 6 województwach występuje bardzo niska wartość salda MOG (grupa A), gdzie deficyt glebowej materii organicznej

w skali roku przekracza $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ gruntów ornych. Szczególnie niekorzystana sytuacja występuje w 3 województwach (dolnośląskie, opolskie i zachodnio-pomorskie), w których wartość ujemnego salda MOG przekracza $300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ GO. W tych województwach w celu zrównoważenia bilansu glebowej materii organicznej konieczne jest nawożenie słomą w dawce ok. $3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ w przeliczeniu na każdy ha gruntów ornych.

Poziom gospodarstwa. Przeanalizowano 6 przykładowych gospodarstw: 3 o roślinnym kierunku produkcji różniące się warunkami siedliskowymi i doбором uprawianych roślin i 3 prowadzące produkcję zwierzęcą (wielokierunkowe, mleczne i trzodowe).

W gospodarstwie A o najsłabszych glebach w strukturze zasiewów 6% zajmował ziemniak, zaś pozostałe grunty orne obsiewano zbożami i rzepakiem (tab. 8). W następstwie uprawy roślin mineralizacji ulegało w ciągu roku $419 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ glebowej materii organicznej. W gospodarstwie B kukurydzą zbieraną na ziarno obsiewano 20% gruntów ornych, co zwiększyło degradację glebowej materii organicznej do $488 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Jeszcze gorsza sytuacja występowała w gospodarstwie C, w którym kukurydza zajmowała 32%, a burak cukrowy kolejne 10% gruntów ornych. Następstwem takiej struktury zasiewów jest degradacja MOG wynosząca aż $670 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$.

W przypadku tych gospodarstw dla wyrównania ubytków próchnicy należało przyorywać od ok. 4 (gosp. A) do prawie 7 (gosp. C) $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ słomy. Można szacować, że przy osiąganey wydajności stanowi to 75–85% całego plonu słomy wszystkich uprawianych roślin.

Tabela 8

Bilans glebowej materii organicznej w gospodarstwach o roślinnym kierunku produkcji

Wyszczególnienie	Gospodarstwo		
	A	B	C
1. Średnia powierzchnia UR (ha)	113	84	117
2. Wskaźnik bonitacji gleb	0,80	0,98	1,15
3. Struktura zasiewów (%):			
– kłosowe	74	63	46
– kukurydza (na ziarno)	0	20	32
– rzepak	17	10	12
– burak cukrowy	0	0	10
– ziemniak	6	3	0
– międzyplony ścierniskowe	5	3	0
– międzyplony ozime	0	0	8
4. Wydajność w jedn. zbożowych	38,7	44,4	65,2
5. Degradacja MOG przez uprawiane rośliny ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$)	–419	–488	–670
6. Obsada zwierząt ($\text{DJP} \cdot \text{ha}^{-1}$)	0	0	0
7. Potrzeba przyorywania słomy ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$)	4,2	4,9	6,7

Źródło: opracowanie własne

Odmierna sytuacja występuje w gospodarstwach z produkcją zwierzęcą (tab. 9). W gospodarstwach o wielokierunkowej produkcji mineralizacja glebowej materii organicznej w następstwie uprawy roślin wyliczona na podstawie podanych współczynników (tab. 2 i 3) wynosiła $371 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ (tab. 9). Obsada zwierząt w przeliczeniu na cały areal użytków rolnych wynosiła $0,85 \text{ DJP} \cdot \text{ha}^{-1}$, a produkcja obornika ok. $11,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ gruntów ornych. Taka ilość obornika zapewniała utrzymanie optymalnej wartości salda MOG.

Tabela 9

Bilans glebowej materii organicznej w gospodarstwach specjalizujących się w produkcji zwierzęcej

Wyszczególnienie	Kierunek produkcji		
	mieszany	mleczny	trzodowy
1. Powierzchnia GO	23,5	24,6	35,6
2. Powierzchnia TUZ (ha)	8,2	12,0	2,3
3. Struktura zasiewów (%):			
– zboża	79	37	92
– pastewne wieloletnie	6	27	0
– kukurydza na kiszonkę	0	35	0
– burak cukrowy	7	0	0
– ziemniak	2	1	1
– strączkowe	4	0	7
4. Wydajność w jedn. zbożowych	40,9	47,8	44,4
5. Degradacja MOG przez uprawiane rośliny ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$)	371	225	367
6. Obsada zwierząt ($\text{DJP} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$)	0,85	1,01	1,46
7. Produkcja obornika ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ GO}$)	11,5	15,0	15,5
8. Reprodukacja MOG z nawozów naturalnych ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ GO}$)	445	600	620
9. Saldo bilansu MOG ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ GO}$)	+74	+375	+253

Źródło: opracowanie własne

W gospodarstwie specjalizującym się w produkcji mleka, dzięki uprawie roślin wieloletnich degradacja MOG była mniejsza, gdyż wynosiła średnio $225 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Przy obsadzie zwierząt $1,0 \text{ DJP} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$ oraz 33% udziale TUZ produkcja obornika wynosiła $15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ gruntów ornych. W tej sytuacji dodatnie saldo MOG dochodziło do $375 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ gruntów ornych. Jest to wartość bardzo wysoka – grupa E (tab. 6). Stan taki prowadzi do dużego rozproszenia azotu i ewentualnie fosforu w środowisku, co zagraża czystości wód. W przypadku tego gospodarstwa dobrym rozwiązaniem jest stosowanie nawozów naturalnych również na trwałych użytkach zielonych.

W gospodarstwie specjalizującym się w tuczu trzody chlewnej bazującym na własnych paszach, gdzie obsada zwierząt wynosiła $1,46 \text{ DJP} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$ występuje również wysokie (grupa D – tab. 6) dodatnie saldo MOG ($253 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ gruntów ornych). Stan taki może okresowo występować na glebach ubogich w próchnicę, natomiast

w dłuższym okresie wskazana jest korekta nawożenia organicznego. W tym przypadku dobrym rozwiązaniem może być sprzedaż części nawozów naturalnych.

W zaprezentowanej powyżej analizie uwzględniono jedynie bilans glebowej materii organicznej, a dla sformułowania pełniejszych zaleceń praktycznych konieczne jest wyliczenie bilansu NPK, czyli opracowanie planu nawozowego. Z nawozami naturalnymi wnosi się również duże ilości składników nawozowych, które powinny być także bilansowane.

Słoma – ważne źródło reprodukcji glebowej materii organicznej

Słoma jest podstawowym nawozem organicznym w gospodarstwach bezinwentarzowych. W Polsce w 2010 r. produkcji zwierzęcej nie prowadziło 42% ogółu gospodarstw rolnych, a w ich użytkowaniu znajdowało się ponad 30% ogółu gruntów ornych. Odsetek takich gospodarstw wahał się od ok. 20% w grupie gospodarstw średnich i większych (10–50 ha UR) do 55% w grupie gospodarstw dużych – powyżej 100 ha. Również drobne gospodarstwa, produkujące głównie na samozaopatrzenie, coraz częściej rezygnują z chowu zwierząt (14).

W celu ustalenia bilansu glebowej materii organicznej konieczne jest określenie ilości słomy wykorzystywanej jako nawóz organiczny. Ustalenie plonu słomy jest trudne, gdyż zależy od gatunku i odmiany uprawianego zboża, jakości gleby, przebiegu pogody oraz stosowanej technologii produkcji (nawożenie azotowe, przedplon, stosowanie regulatorów wzrostu itp.), a także wysokości koszenia i terminu zbioru słomy. Do określenia plonu słomy najczęściej wykorzystuje się współczynniki przeliczeniowe (indeksy) opisujące stosunek plonu ziarna do plonu słomy. W tabeli 10 podano wartości takich indeksów wyznaczonych na podstawie kilkuletnich pomiarów wykonanych w zakładach doświadczalnych IUNG (4). Przyjęto trzy grupy indeksów: najwyższe (grupa A) w przypadku wykorzystywania słomy jako nawozu organicznego, wówczas na polu pozostaje ściern, plewy, pokruszone reszki liści itp.; niższe (grupa B) w przypadku zbioru słomy bezpośrednio po omłocie na paszę, ściółkę, podłoża do produkcji grzybów itp. oraz najniższe (grupa C) przyjęto dla tzw. „szarej słomy” wykorzystywanej na cele energetyczne. Wówczas słomę pozostawia się na polu na okres kilkunastu dni, aby deszcz i rosa wyługowały związki chloru, potasu i siarki, co ogranicza korozyjne oddziaływanie spalin na kotły energetyczne. Taka słoma podczas zbioru kruszy się silnie, co obniża wielkość zebranego jej plonu.

Tabela 10

Współczynniki (indeksy) do szacowania plonu słomy na podstawie wielkości plonu ziarna
dla różnych sposobów zagospodarowania słomy

Gatunek zboża	A – słoma pozostająca na polu jako nawóz organiczny	B – słoma zbierana tuż po omłocie	C – słoma „szara” zbierana 7–14 dni po omłocie
Zboża ozime:			
– pszenica	1,2	0,9	0,6
– pszenżyto	1,3	1,0	0,7
– żyto	1,5	1,2	0,8
– jęczmień	1,1	0,8	0,5
Zboża jare:			
– pszenica	1,2	0,9	0,6
– pszenżyto	1,2	0,9	0,6
– jęczmień	1,1	0,8	0,5
– owies	1,4	1,1	0,7
– mieszanki	1,2	0,9	0,6
Rzepak*	1,5	0,8	-
Kukurydza na ziarno i CCM*	1,1	0,9	-

* szacunki autora opracowania

Źródło: Harasim, 2011 (4)

Obok tradycyjnych roślin zbożowych, słoma pozostaje również po zbiorze rzepaku oraz kukurydzy uprawianej na ziarno lub CCM. Można oszacować, że masa resztek pożywnych rzepaku (ściern, łuszczyzny, zaschłe liście itp.) pozostających na powierzchni pola jest co najmniej o 50% większa od zebranego polu nasion (tab. 10). Natomiast w przypadku zbioru rzepaczanki na inne cele jej plon jest ok. 10–20% mniejszy od plonu nasion. Plon słomy kukurydzy zbieranej na ziarno lub CCM jest zbliżony do plonu ziarna. Nie uwzględniono plonu słomy roślin strączkowych zbieranych na nasiona, gdyż przyjęty współczynnik reprodukcji glebowej materii organicznej dla tej grupy roślin (tab. 3) zakłada, że pokruszona słoma pozostaje na polu.

Słoma zbóż, w zależności od gatunku, zawiera: 45–55% celulozy (błonnika), 26–32% hemicelulozy (pentozy) i 16–21% ligniny (11). W chemicznym składzie słomy dominuje węgiel, który stanowi 44–47% jej suchej masy (tab. 11). Słoma zawiera również znaczne ilości potasu, ok. 12–16 kg K_2O w 1 tonie, oraz mniejsze ilości azotu i fosforu, a rzepaczanka dodatkowo jest dość zasobna w siarkę. Ze słomą wnosi się do gleby również pewne ilości mikroelementów niezbędnych dla wzrostu i rozwoju roślin.

Tabela 11

Skład chemiczny słomy podstawowych roślin uprawnych

Rodzaj słomy	Zawartość (% suchej masy)							Stosunek C:N
	C ¹	H ¹	O ¹	S ¹	N ²	P ₂ O ₅ ²	K ₂ O ²	
Żytnia	46,6	6,0	41,9	0,085	0,58	0,25	1,20	80:1
Pszenna	45,6	5,8	42,1	0,082	0,64	0,23	1,26	71:1
Pszenżytnia	43,9	5,9	43,5	0,056	0,61	0,25	1,28	72:1
Jęczmienna	47,5	5,9	45,6	0,089	0,73	0,25	1,61	63:1
Kukurydziana	45,7	5,3	41,1	0,117	0,72	0,46	1,25	38:1
Rzepakowa	47,1	5,9	39,3	0,270	1,09	0,30	2,12	55:1

Źródło: ¹ Harasim, 2011 (4), ² Maćkowiak, 1998 (16)

Czynnikiem spowalniającym rozkład słomy w glebie jest mała zawartość azotu, bo tylko 0,5–0,6% w słomie roślin kłosowych oraz 0,7–0,8% w rzepaczance i ok. 1,0% i kukurydziance (tab. 11). W słomie kłosowych stosunek C:N wynosi 60–80:1, zaś w słomie rzepaku i kukurydzy ok. 40–50:1. W próchnicy stosunek ten wynosi 10:1, a w przefermentowanym oborniku, nawozach zielonych lub liściach buraka ok. 20:1.

Przyjmuje się, że jeżeli stosunek C:N w biomase wprowadzanej do gleby jest szerszy niż 33:1, to jej rozkład w glebie jest bardzo spowolniony, a drobnoustroje ją rozkładające pobierają azot z zasobów glebowych, co może prowadzić do deficytu tego pierwiastka dla uprawianych roślin (uwstecznianie, zbiałczanie azotu). Sytuacja taka występuje w przypadku przyorywania słomy i w celu przyspieszenia tempa jej rozkładu konieczne jest stosowanie dodatkowego nawożenia azotem w dawce ok. 6–7 kg w przeliczeniu na 1 t przyorywanej słomy. Zwiększa to pulę azotu przypadającą na 1 t słomy do 12–13 kg (6 kg azotu zawartego w słomie + 6–7 kg wprowadzonego w nawozach mineralnych) i obniża stosunek C:N do ok. 35:1. Należy również podkreślić, że niedobór azotu może być czynnikiem ograniczającym powstawanie związków próchnicznych w glebie, pomimo znacznego dopływu do gleby nawozów organicznych zasobnych w węgiel.

W doświadczeniach wieloletnich prowadzonych głównie w Niemczech nie uzyskano jednoznacznej zależności pomiędzy ilością zastosowanej słomy w celach nawozowych a przyrostem zasobów glebowej materii organicznej (7). Na ogół większe jej przyrosty uzyskiwano na glebach cięższych, o większej zawartości próchnicy i większej aktywności biologicznej, a mniejsze na glebach lekkich, na których rozkład słomy z uwagi na deficyt wody jest spowolniony. Również dodatnie saldo azotu sprzyjało wzrostowi transformacji związków organicznych słomy w glebową materię organiczną.

Nawożenie słomą poprawia przede wszystkim bilans glebowej materii organicznej, natomiast jej oddziaływanie na pozostałe fizykochemiczne właściwości jest znacznie słabsze, co uwidacznia się szczególnie wyraźnie w porównaniu z obornikiem lub roślinami wieloletnimi (tab. 12). Na szczególne podkreślenie zasługuje wielostronny wpływ roślin bobowatych wieloletnich oraz ich mieszanek z trawami na cały kompleks

właściwości fizykochemicznych gleby. We współczesnym rolnictwie czynniki ekonomiczno-organizacyjne eliminują jednak tę grupę roślin z uprawy, co jest szczególnie niekorzystne dla żyzności gleb.

Tabela 12

Oddziaływanie różnych form nawozów organicznych i resztek poźniwnych na właściwości gleby
(oddziaływanie: x – słabe; xx – średnie; xxx – duże)

Wyszczególnienie	Obornik	Słoma	Międzyplony		Bobowate wieloletnie
			bobowate	krzyżowe	
Rozluźnienie podglebia	-	-	x	-	xx
Poprawa struktury	xx	x	x	x	xxx
Wzrost zawartości próchnicy	xx	xx	x	x	xxx
Wzrost zawartości N w glebie	xx	-	xx	-	xxx
Poprawa zasobności gleby w P, K, Ca, Mg i mikroelementy	xx	x	-	-	x

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Kahnt, 1981 (8)

W ostatnim okresie wzrasta również zainteresowanie alternatywnym zagospodarowaniem słomy, co zwiększa jej cenę. Najwięksi potencjalni jej odbiorcy to:

- wytwórcy podłoży do produkcji pieczarek i innych grzybów, którzy zużywają rocznie ok. 1 mln t słomy. Z rolniczego punktu widzenia jest to korzystny sposób zagospodarowania słomy, gdyż po zakończeniu cyklu produkcyjnego grzybów podłoża są wykorzystywane w rolnictwie jako wartościowy nawóz organiczny;
- producenci ciepła i energii elektrycznej. Sprzedają słomy dla energetyki są zainteresowane głównie większe gospodarstwa, w których do jej zbioru można wykorzystać wysoko wydajne maszyny. Wykorzystanie słomy w procesie współspalania (łącznie spalanie z miałem węglowym) jest szczególnie niekorzystne, gdyż wszystkie składniki nawozowe trafiają do żużlu i są tracone. W przypadku spalania samej słomy lub łącznie z inną biomasą, popiół jest wartościowym nawozem, gdyż zawiera wszystkie składniki mineralne zawarte w słomie z wyjątkiem azotu.

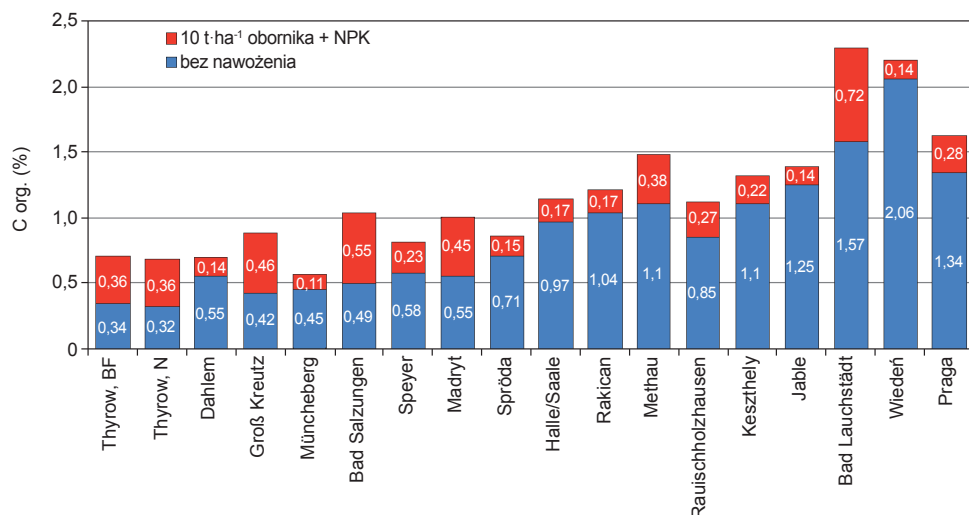
Należy sugerować, aby decyzja o sprzedaży słomy była poprzedzona opracowaniem bilansu glebowej materii organicznej dla całego gospodarstwa. Dopiero w przypadku dodatniego salda jej bilansu sprzedaż słomy może być uzasadniona, natomiast nieprzestrzeganie tej zasady może prowadzić do trwałego spadku żyzności gleb.

Praktyki rolnicze zwiększające zawartość materii organicznej w glebie

Zawartość materii organicznej w glebie jest uzależniona przede wszystkim od jej właściwości wodno-powietrznych. W warunkach rolniczego użytkowania gruntów można ją regulować tylko w stosunkowo małym zakresie, ale nawet te niewielkie zmiany wywierają znaczący wpływ na cały kompleks właściwości gleby i rolniczą wartość.

Tezę o względnie stałej zawartości węgla organicznego w gruntach ornych potwierdzają wyniki 18 wieloletnich doświadczeń nawozowych prowadzonych w różnych krajach europejskich (rys. 2). Poszczególne doświadczenia prowadzono przez okres od przynajmniej 50 do ponad 100 lat. Na rysunku 2 zaprezentowano wyniki z obiektu z optymalnym nawożeniem – obornik $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ i dodatkowo nawożenie mineralne NPK oraz z obiektu kontrolnego (bez nawożenia). Na obiektach z optymalnym nawożeniem zawartość węgla organicznego w ornej warstwie gleby w poszczególnych miejscowościach była większa od 0,11 do 0,72% w porównaniu ze stwierdzoną na obiekcie bez nawożenia, a średnio dla wszystkich 18 doświadczeń różnica ta wynosiła 0,3%. Różne przyrosty zawartości Corg. odnotowane w poszczególnych miejscowościach pod wpływem optymalnego nawożenia należy wiązać ze stanem wyjściowym gleby przed rozpoczęciem doświadczeń. W warunkach wysokiej początkowej zasobności gleby w próchnicę przyrosty te były małe, zaś przy niskiej – odpowiednio większe. Nie stwierdzono natomiast zależności pomiędzy składem granulometrycznym gleby a akumulacją węgla organicznego uzyskaną pod wpływem nawożenia.

Oznacza to, że pod wpływem systematycznego stosowania optymalnego nawożenia organiczno-mineralnego ilość węgla organicznego w glebie wzrosła w poszczególnych miejscowościach od 4,9 do $34,6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, zaś średnio dla wszystkich miejscowości przyrost ten wyniósł $14,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ w porównaniu z obiektami bez nawożenia. Taki przyrost zawartości węgla organicznego w glebie, to sekwestracja od 18 do $127 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ CO}_2$ atmosferycznego.



Rys. 2. Zawartość węgla organicznego (%) w glebie 18 trwałych doświadczeń nawozowych prowadzonych w różnych krajach europejskich – gleby uszeregowano na podstawie wzrastającej zawartości części koloidalnych, a analizy gleby wykonano w latach 2001–2010

Źródło: Körschens, 2010 (10)

Stosunkowo małe zmiany w zawartości próchnicy w glebie mogą powodować znaczącą poprawę fizykochemicznych właściwości gleby (tab. 13). W wieloletnim doświadczeniu prowadzonym na bardzo lekkiej glebie w Thyrow stosowanie przez okres 70 lat pełnego nawożenia organiczno-mineralnego zwiększyło zawartość węgla organicznego w glebie z 0,42 do 0,72%. Następstwem tego był wyraźny wzrost pojemności wodnej gleby oraz zawartości wody dostępnej dla roślin. Istotnie poprawiły się także właściwości sorpcyjne gleby. Na obiektach, gdzie stosowano tylko nawozy mineralne lub sam obornik przyrost zawartości węgla organicznego w glebie był mniejszy oraz słabsze oddziaływanie na właściwości retencyjne gleby.

Tabela 13

Wpływ długotrwałego stosowania zróżnicowanego nawożenia na zawartość węgla organicznego i zdolność retencyjną gleby (dośw. w Thyrow założone w 1937 r.)

Nawożenie	Zawartość węgla organicznego (%)	Półowa pojemność wodna gleby (%)	Woda dostępna dla roślin (%)
Bez nawożenia	0,42a*	21,6a	17,8a
NPK + Ca	0,48b	22,6a	18,8a
Obornik (10 t·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹)	0,57b	23,5a	19,3b
Obornik + NPK i Ca	0,72c	25,5b	20,5b

* wyniki oznaczone różnymi literami różnią się istotnie

Źródło: Körschens, 2010 (10)

Wpływ różnych praktyk rolniczych na przyrost zasobów glebowej materii organicznej można uszeregować w następującej kolejności:

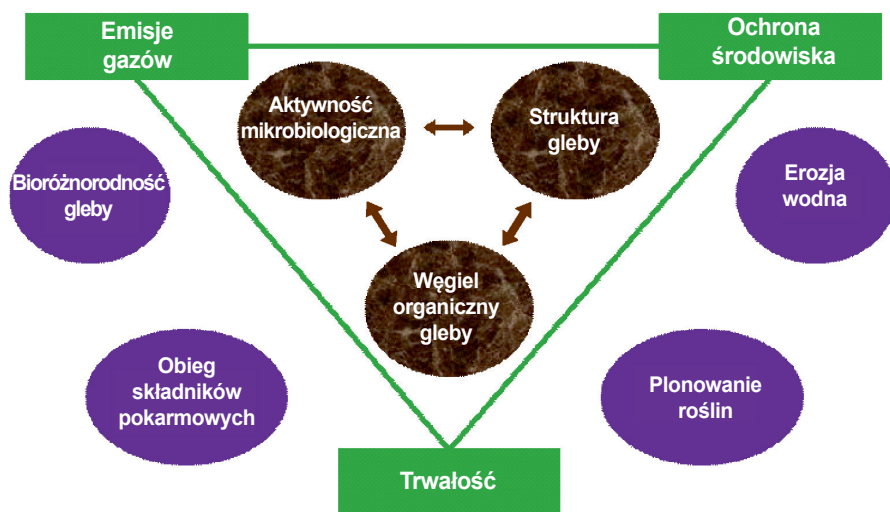
1. Zmiana sposobu użytkowania – zalesienie, założenie trwałego użytku zielonego lub przemienne użytkowanie.
2. Uprawa roślin bobowatych wieloletnich oraz ich mieszanek z trawami lub samych traw.
3. Stosowanie nawozów naturalnych, w szczególności obornika.
4. Stosowanie nawozów organicznych (słoma, liście buraka, osad pofermentacyjny z biogazowni, nawozy zielone itp.).
5. Uprawa międzyplonów.
6. Stosowanie bezorkowej uprawy roli lub siewu bezpośredniego.

W następstwie zmiany sposobu użytkowania (np. zalesienia gruntu ornego albo trwałego zadarnienia) następuje szybki przyrost zawartości glebowej materii organicznej wynoszący 1,0–1,5 t·ha⁻¹ w ciągu roku, w zależności od jakości gleby i szaty roślinnej. Przyrosty są największe w pierwszym okresie po transformacji użytkowania gruntu, a następnie systematycznie zmniejszają się do czasu powstania stanu równowagi typowej dla nowego sposobu użytkowania gruntu. Wartości liczbowe opisujące wpływ roślin wieloletnich (bobowate i trawy), różnych nawozów naturalnych i organicznych oraz uprawy międzyplonów na reprodukcję glebowej materii organicznej podano w tabelach 3 i 4. Pewnego komentarza wymaga natomiast znaczenie bezorkowej uprawy roli, której praktyczne znaczenie szybko wzrasta, szczególnie

w większych gospodarstwach. Można szacować, że w warunkach stosowania uprawy bezorkowej (konserwująca uprawa roli) mineralizacja glebowej materii organicznej jest mniejsza o ok. $150\text{--}200\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$, w porównaniu z tradycyjną uprawą płużną. Jej akumulacja następuje głównie w powierzchniowej warstwie gleby $0\text{--}5\text{ cm}$. Większe różnice mogą występować w przypadku stosowania sewu bezpośredniego, jednak to rozwiązanie w naszych warunkach ma małe praktyczne znaczenie.

Należy również podkreślić, że zwiększenie zawartości glebowej materii organicznej jest trudne i możliwe do osiągnięcia po kilku latach poprawnego gospodarowania z dodatnim jej saldem. Można szacować, że zwiększenie zawartości glebowej materii organicznej o $0,01\%$ (np. z $1,50$ do $1,51\%$) oznacza przyrost jej masy w ornej warstwie gleby na powierzchni 1 ha o 480 kg , co odpowiada 278 kg węgla organicznego. Oznacza to również sekwestrację ponad 1 t CO_2 i wyłączenie go z globalnego obiegu. Uwzględniając stosunkowo małe możliwości zmian zawartości próchnicy glebowej oraz ilości wiążanego w niej CO_2 , należy wskazać, że ten sposób obniżania globalnego efektu cieplarnianego ma ograniczone znaczenie, które jednak w praktyce także należy wykorzystywać.

W przeszłości gospodarkę glebową materią organiczną traktowano głównie jako element żyzności gleby decydujący o jej strukturze, aktywności biologicznej gleby i plonowaniu roślin (rys. 3). We współczesnym gospodarowaniu zagadnienie to powinno być oceniane w szerszej perspektywie, gdyż spadek zawartości materii organicznej w glebie oznacza wzrost jej podatności na erozję wodną i wietrzną, ogranicza zdolność retencyjną gleby, zwiększa niebezpieczeństwo rozproszenia biogenów w środowisku, a także emisję CO_2 do atmosfery, nasilając efekt cieplarniany itp. Można więc wskazać, że ochrona glebowej materii organicznej w skali globalnej staje się ważnym elementem zrównoważonego rozwoju.



Rys. 3. Znaczenie glebowej materii organicznej dla rozwoju zrównoważonego

Źródło: Stuczynski, 2012 (23)

Wnioski

1. Gleby będące w użytkowaniu rolniczym w Polsce charakteryzują się stosunkowo małą zawartością glebowej materii organicznej (próchnicy), wynoszącą średnio ok. 2%. Jest to spowodowane dominacją gleb lekkich, wytworzonych z różnego rodzaju piasków, w których następuje szybka mineralizacja próchnicy przy małych możliwościach jej akumulacji. Akumulacji próchnicy w naszych warunkach dodatkowo nie sprzyja również mała ilość opadów i niski poziom zalegania wód gruntowych na przeważającym obszarze kraju.
2. Użytki rolne Polski, pomimo małej zawartości glebowej materii organicznej, zawierają w powierzchniowej warstwie gleby (0–30 cm) w sumie ponad 1 miliard ton węgla, związanego w różnych związkach organicznych, głównie w próchnicy. Szczególnie duże jego ilości zawierają gleby organiczne i organiczno-mineralne (wytworzone z torfów), zaś zdecydowanie mniej gleby mineralne. Racjonalna gospodarka tym zasobem ma decydujące znaczenie dla utrzymania żyzności i urodzajności gleb, ale wywiera także wpływ na emisję CO_2 do atmosfery. Przyspieszona mineralizacja próchnicy zwiększa emisję tego gazu do atmosfery, zaś wiązanie w glebowej materii organicznej (sekwestracja) wyłącza go na dłuższy okres czasu z globalnego obiegu, co może ograniczać „efekt cieplarniany”.
3. Podstawą racjonalnego gospodarowania glebową materią organiczną jest zrównoważony jej bilans w ramach gospodarstwa. Po stronie przychodowej bilansu występuje reprodukcja próchnicy z nawozów naturalnych i organicznych oraz uprawy roślin wieloletnich i międzyplonów, zaś po stronie rozchodowej jej mineralizacja (degradacja) powodowana przez uprawę roślin w kolejnych latach rotacji zmianowania, a szczególne znaczenie mają tu rośliny okopowe i kukurydza. W celu łatwiejszego bilansowania glebowej materii organicznej wyznacza się odpowiednie wskaźniki jej degradacji oraz reprodukcji.
4. W okresie ostatnich 30 lat stwierdza się w Polsce znaczne pogorszenie salda bilansu glebowej materii organicznej. Jest to spowodowane przede wszystkim spadkiem pogłowia zwierząt. Obsada zwierząt w latach 1980–2010, średnio w kraju, zmniejszyła się z 0,75 do 0,43 $\text{DJP} \cdot \text{ha}^{-1}$ UR.
5. Saldo bilansu glebowej materii organicznej jest również bardzo zróżnicowane regionalnie, co wynika głównie z różnej obsady zwierząt, która w ostatnich latach waha się od poniżej 0,2 w województwach zachodniopomorskim i dolnośląskim do 0,6–0,7 $\text{DJP} \cdot \text{ha}^{-1}$ UR w województwach wielkopolskim i podlaskim.
6. Problemy w gospodarowaniu glebową materią organiczną pogłębia postępująca specjalizacja gospodarstw rolnych. W ostatnim okresie ponad 30% gruntów ornych użytkują gospodarstwa bezinwentarzowe, w których podstawowym nawozem organicznym jest słoma. Z kolei gospodarstwa specjalizujące się w produkcji zwierzęcej posiadają zbyt dużą obsadę zwierząt i produkują zbyt dużo nawozów naturalnych, aby właściwie je zagospodarować, zgodnie z zasadami dobrej praktyki rolniczej.

7. Zwiększenie zawartości glebowej materii organicznej jest możliwe do osiągnięcia po kilku latach poprawnego gospodarowania z dodatnim jej saldem. Można szacować, że zwiększenie jej zawartości tylko o 0,01% (np. z 1,50 do 1,51%) oznacza przyrost jej masy w ornej warstwie gleby na powierzchni 1 ha o 480 kg, w tym 278 kg węgla organicznego.

Literatura

1. Czapla I., Dembek W.: Torfowiska Polski jako źródło emisji dwutlenku węgla. Zesz. Eduk., IMUZ Falenty, 2000, **6**: 61-71.
2. Gonet S.: Materia organiczna w tematycznej strategii ochrony gleb w Unii Europejskiej. Rocz. Glebozn., 2007, **58(3/4)**: 15-26.
3. GUS: Rocznik statystyczny rolnictwa. 2000, 2010 i 2014.
4. Harasim A.: Gospodarowanie słomą. IUNG-PIB Puławy, 2011, ss. 77.
5. Humusbilanzierung, VDLUFA-Standpunkt, 2014.
6. Jabłońska M.: Ocena wpływu wdrożenia koncepcji ILUC na rozwój przemysłu biopaliw. Nafta-Gaz, 2014, **70(4)**: 243-255.
7. Joschko M. et al.: Bewertung der Humusreproduktionsleistung (Abbaustabilität) von Stroh. W. Schlussbericht „Humusbilanzierung landwirtschaftlicher Böden – Einflussfaktoren und deren Auswirkungen“. VDELUFA, 2014, 91-86.
8. Kahnt G.: Grundriss der Bodenkunde. DLG-Verlag, Frankfurt (Main) 1981.
9. Körschens M. et al.: Humusbilanzierung. Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. Standpunkt VDELUFA (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs und Forschungsanstalten), Bonn 2004.
10. Körschens M.: Der organische Kohlenstoff im Boden (Corg) – Bedeutung, Bestimmung, Bewertung. Arch. Agron. Soil Sci., 2010, **56(4)**: 375-392.
11. Król M., Smagacz J.: Rozkład resztek poźniowych w glebie. Monografie i Rozprawy Naukowe IUNG-PIB, 2008, **21**.
12. Kunder P. et al.: Regeln und Richtwerte zur Echoing der Bodenfruchtbarkeit. Akademie der Landwirtschaftswissenschaft der DDR, agrabuch, Markkleeberg, 1981.
13. Kuś J., Kopyński J.: Gospodarowanie glebową materią organiczną we współczesnym rolnictwie. Zag. Doradz. Roln., 2012, **2(68)**: 5-26.
14. Kuś J., Matyka M.: Zmiany organizacyjne w polskim rolnictwie w ostatnim 10-leciu na tle rolnictwa UE. Zag. Ekon. Roln., 2014, **4(341)**: 50-67.
15. Lal R.: Węgiel glebowy i nasilenie efektu cieplarnianego. Zesz. Eduk., IMUZ Falenty, 2000, **6**: 22-36.
16. Maćkowiak C.: Słoma jako nawóz w gospodarstwie bezinwentarzowym. Wieś Jutra, 1998, **5**: 46-48.
17. Mazur T.: Rolnicze i ekologiczne znaczenie glebowej substancji organicznej. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 1995, **422**: 9-19.
18. Miątkowski Z. i in.: Prognozy zmian aktywności w sektorze rolnictwa, zawierające informacje niezbędne do wyliczenia szacunkowej wielkości emisji gazów cieplarnianych. Raport dla MRiRW. IT-P Falenty, 2010.

19. MRiRW: Projekt systemu płatności bezpośrednich w Polsce w latach 2015–2020. Warszawa 2014.
 20. Pałosz T.: Rolnicze i środowiskowe znaczenie próchnicy glebowej i metodyka jej bilansu. Wyd. Środkowo-Pomorskiego Towarzystwa Naukowego Ochrony Środowiska, 2009, **11**: 329-338.
 21. Sapiek B.: Gleba jako źródło i „pułapka” na gazy cieplarniane. Zesz. Eduk., IMUZ Falenty, 2000, **6**: 52-60.
 22. Stuczynski T. i in.: Przyrodnicze uwarunkowania produkcji rolniczej w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2007, **7**: 77-115.
 23. Stuczynski T.: Current status and perspectives of organic matter management in European Soils. 2012, www.soilconference.eu/pl/pages/materialy-konferencyjne.php.
 24. Terelak H. i in.: Mapa zawartości substancji organicznej w glebach użytków rolniczych Polski. IUNG Puławy, 2001.
 25. www.global-greenhouse-warming.com/global-carbon-cycle
-

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Jan Kuś
Zakład Systemów i Ekonomiki Produkcji Roślinnej
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. 81 47 86 806
e-mail: jankus@iung.pulawy.pl

Agnieszka Rutkowska

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

PRODUKCYJNE I ŚRODOWISKOWE SKUTKI WIELOLETNIEGO WYCZERPYWANIA GLEB Z FOSFORU I POTASU*

Słowa kluczowe: nawożenie azotem, potas przyswajalny, fosfor przyswajalny, bilanse składników pokarmowych, doświadczenie wieloletnie

Wstęp

Przy opracowywaniu zaleceń nawozowych dotyczących azotu, zakłada się optymalne zaopatrzenie roślin w pozostałe składniki pokarmowe, przy uregulowanym odczynie gleby. Praktyka rolnicza wskazuje jednak na szczególne preferowanie nawożenia azotem, który jest podstawowym czynnikiem plonotwórczym, kosztem zaniechania wapnowania i znacznego ograniczenia zużycia nawozów fosforowych i potasowych. Zgodnie z danymi GUS średnie zużycie nawozów mineralnych w Polsce w 2012/2013 wyniosło 141 kg NPK · ha⁻¹ UR w dobrej kulturze, przy stosunku N:P:K równym 1,0:0,3:0,3. Zjawisko to wydaje się szczególnie niebezpieczne, mając na uwadze fakt, że 32% gleb Polski należy do klasy o bardzo niskiej i niskiej zasobności w fosfor i magnez, a 42% – niskiej i bardzo niskiej zasobności w potas (25). Ponadto preferowane obecnie wysokoplonujące odmiany roślin wykazują duże potrzeby w stosunku do wszystkich składników pokarmowych, co nasila proces wyczerpywania gleb. Dążenie do zachowania zrównoważonego bilansu azotu przy jednoczesnym wyczerpywaniu rezerw pozostałych makroskładników z gleby może prowadzić z jednej strony do zaburzeń funkcji fizjologicznych roślin, a w konsekwencji do redukcji plonów, z drugiej zaś strony do znacznego zubożenia środowiska glebowego (4, 7, 17).

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

Zasoby fosforu w glebie

Fosfor w glebie występuje w postaci związków organicznych i mineralnych. Frakcja organiczna stanowi od 20 do 70% całkowitej puli tego składnika, a jej źródłem są głównie fosfolipidy, kwasy nukleinowe i fityny (13). Mineralizacja fosforu organicznego jest ściśle związana z warunkami środowiska, a na tempo rozkładu organicznych związków fosforu wpływa przede wszystkim odczyn gleby i temperatura. Proces ten zachodzi pod wpływem enzymów wydzielanych przez bakterie i korzenie roślin (29, 33). Fosfor nieorganiczny występuje głównie w postaci soli żelaza, glinu, wapnia, magnezu oraz w minerałach, takich jak apatyt, strengit i frankolit (3, 6). W roztworze glebowym fosfor występuje przeważnie w postaci jonów ortofosforanowych bezpośrednio dostępnych dla roślin. W czasie wegetacji roślin zachodzi uwalnianie fosforu z ruchomych rezerw tego składnika (fosforanów glinu, żelaza, wapnia i magnezu oraz fosforanów związanych z minerałami ilastymi i substancją organiczną), przy czym proces ten uzależniony jest głównie od odczynu gleby. Najwięcej fosforu ruchomego znajduje się w glebach o odczynie lekko kwaśnym (14).

Ze względu na mnogość związków fosforu w glebie wyróżnia się kilka form o zróżnicowanej dostępności dla roślin, określanych frakcjami fosforu (10, 11).

Frakcja mobilna występuje w roztworze glebowym w postaci związków nieorganicznych (jonów). Frakcja fosforu mobilnego (P_i) określana jako fosfor rozpuszczalny, aktywny, jest bezpośrednio dostępna dla roślin, stąd odgrywa zasadniczą rolę w ogólnej puli fosforu glebowego. Zasilana jest głównie przez fosfor zawarty w nawozach mineralnych, częściowo w nawozach naturalnych oraz uwalniany z frakcji labilnej gleby

Frakcja labilna obejmuje świeżo strącone fosforany adsorbowane na powierzchni cząstek stałej fazy gleby i labilne formy związków organicznych. Frakcja ta uzupełniana jest głównie fosforem pochodzącym z nawozów naturalnych i resztek pozbiorowych roślin.

Frakcja zapasowa obejmuje strącone fosforany żelaza i glinu oraz trwałe organiczne połączenia fosforu. Frakcje labilna i zapasowa związane są z fazą stałą gleby.

Rośliny pobierają fosfor wyłącznie w formie jonów $H_2PO_4^-$, które występują w szerokim zakresie pH gleby, ale za przedział optymalny występowania tych jonów przyjmuje się pH 5,5–7,2 (1, 30). W warunkach niedoboru jonów $H_2PO_4^-$, pod wpływem wydzielin korzeniowych, są one przekształcane w jony $H_2PO_4^-$. Całkowita zawartość fosforu w glebie waha się w granicach 500–800 mg $P \cdot kg^{-1}$, ale ilość P bezpośrednio dostępnego dla roślin wynosi zaledwie 0,03–0,5 mg $P \cdot kg^{-1}$ (20, 28). Oznacza to, że w glebie o miąższości 0,0–0,2 m znajduje się zaledwie 0,09–1,5 kg $P \cdot kg^{-1}$. Aby pokryć potrzeby pokarmowe roślin, zasoby fosforu wyczerpywanego z roztworu glebowego muszą zatem podlegać wielokrotnemu uzupełnianiu z rezerw glebowych. Fosfor w fazie stałej gleby występuje w dwóch formach: organicznej i nieorganicznej, przy czym w glebach mineralnych stosunek zawartości związków organicznych do nieorganicznych wynosi 1:1 (12). Utrzymanie wystarczającej dla

roślin ilości fosforu nieorganicznego w roztworze glebowym zależy od równowagi pomiędzy frakcją rozpuszczalną (P_i) i labilną (P_L). Frakcja labilna pozostaje w stanie dużej niestabilności termodynamicznej, a zawarte w niej związki fosforu mogą być zarówno uwalniane do roztworu glebowego, jak również przekształcane w formy stałe (minerały), tworząc frakcję stabilną fosforu glebowego (P_s). Do głównych procesów kontrolujących zawartość fosforu dostępnego P_i w roztworze glebowym należą:

- uwalnianie lub wyłączanie z roztworu glebowego jonów ortofosforanowych P_i na drodze wymiany jonowej z fazą stałą gleby, adsorpcja i desorpcja,
- wytrącanie i rozpuszczanie związków nieorganicznych fosforu w roztworze glebowym,
- immobilizacja związków nieorganicznych fosforu i mineralizacja fosforu ze związków organicznych (11).

Związki fosforu zaadsorbowane lub wytrącone z roztworu glebowego podlegają w kolejnych etapach przemianom na drodze sorpcji specyficznej lub krystalizacji przekształceniu w trwałe związki nieorganiczne stabilne – minerały lub połączenia organiczno-mineralne.

System nawożenia fosforem

Fosfor jest pierwiastkiem niezbędnym roślinie w całym okresie jej wzrostu i rozwoju. Na podstawie tempa akumulacji i reakcji roślin na niedobór tego składnika wyróżnia się trzy fazy rozwojowe:

- rozwój początkowy – budowa podstawowych organów rośliny
- wiosenne ruszenie wegetacji u roślin ozimych – stymulacja procesów regeneracji systemu korzeniowego oraz organów nadziemnych
- kwitnienie i dojrzewanie – stymulacja procesów nalewania ziarna lub nasion,

Niedostateczne zaopatrzenie roślin w fosfor ujawnia się szczególnie w krytycznych fazach rozwojowych, powodując słabe krzewienie się zbóż, zahamowanie wzrostu organów podziemnych i nadziemnych, co przejawia się karłowatym pokrojem roślin, przeredzeniem ładu, ograniczeniem kwitnienia i zawiązywania nasion lub ziarniaków, pogorszeniem jakości plonu oraz redukcją plonu użytkowego (15, 24).

Rośliny wykazują niedobór fosforu z dwóch głównych powodów: niedoboru ortofosforanów w roztworze glebowym oraz działania niskich temperatur, które ograniczają efektywność pobierania tych jonów przez korzenie. Ujemny wpływ niskich temperatur przejawia się spowolnieniem budowy masy liściowej u rzepaku, a u zbóż – słabym krzewieniem, co determinuje wielkość plonu. W przypadku rzepaku objawy niedoboru fosforu mogą wystąpić nawet w okresie zawiązywania łuszczyń, sygnalizując reakcję na chłód. U kukurydzy z kolei może wystąpić reakcja roślin na niedobór fosforu spowodowany suszą, co przejawia się słabym uziarnieniem kolb lub całkowitym ich brakiem (5, 21).

W systemie nawożenia zrównoważonego nawożenie fosforem polega zatem na zabezpieczeniu potrzeb pokarmowych roślin i utrzymaniu zasobności gleby na optymalnym poziomie, za który przyjmuje się przedział zawartości średniej. Nawożenia fosforem nie należy stosować, jeżeli jego zawartość w glebie przekracza $40 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ gleby. Dotyczy to zarówno stosowania nawozów mineralnych, naturalnych (szczególnie gnojowicy), jak również innych substancji użyźniających glebę (16).

Zasoby potasu w glebie

Pierwotnym źródłem potasu dla roślin jest skała macierzysta, z której powstała gleba. Gleby wytworzone z utworów gliniastych (gliny piaszczyste, piaski gliniaste mocne, gliny, iły) są naturalnie bogate w potas. Gleby wytworzone z utworów piaszczystych (piaski luźne, piaski słabo gliniaste, piaski gliniaste lekkie), z wapieni oraz utworów organicznych są ubogie w ten pierwiastek. Gleby uprawne zawierają w warstwie ornej gleby od 1000 do 25000 $\text{kg K} \cdot \text{ha}^{-1}$ (11). Rośliny pobierają jedynie tę część potasu, która w czasie wegetacji występuje w roztworze glebowym w postaci jonu K^+ (18, 19, 22), jest to tzw. potas aktywny. Udział tej frakcji w glebach jest jednak niewielki i stanowi do 1% ogólnej ilości tego składnika, co odpowiada ok. 100 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ w warstwie ornej. Największe stężenie formy aktywnej potasu występuje wiosną i zmniejsza się stopniowo w czasie wegetacji roślin (2).

Potas potencjalnie dostępny dla roślin w glebie, tzw. potas przyswajalny, pochodzi z zapasów, które stopniowo uwalniają się z wtórnych minerałów ilastych. Te z kolei uzupełniane są przez potas uwalniany z glinokrzemianów.

W glebie wyróżnia się trzy główne frakcje potasu:

- frakcję mobilną (rozpuszczalną bądź aktywną) związaną z fazą ciekłą gleby – jest to potas obecny w roztworze glebowym;
- frakcję słabo mobilną, którą tworzy potas frakcji wymiennej, podlegającej wymianie jonowej oraz potas minerałów ilastych frakcji niewymiennej, niepodlegającej wymianie jonowej;
- frakcję niemobilną (rezerwową) czyli potas minerałów pierwotnych, określane jako potas strukturalny (31).

Jako potas wymienny określa się tę część potasu, która może być uwalniana z kompleksu sorpcyjnego do roztworu glebowego (23). W glebach Polski ilość potasu wymiennego wzrasta wraz ze wzrostem zawartości cząstek ilastych (9, 11).

Frakcja potasu niewymiennej związana jest w postaci kationów K^+ w przestrzeniach wewnętrznych minerałów ilastych, takich jak illit na tyle silnie, że stają się one niedostępne dla roślin. Proces ich uwalniania jest bardzo powolny. Frakcja ta obejmuje część potasu mineralnego, jak również zawartego w biomasie gleby. W warunkach małej zawartości form łatwo dostępnych rośliny aktywnie pobierają ten składnik. W glebach Polski należących do kategorii agronomicznej gleb bardzo lekkich i lekkich ilościowy i procentowy udział tej formy potasu jest największy (8, 11).

Potencjał gleby do zaopatrywania roślin w potas zależy w dużej mierze od ilości cząstek ilastych, co związane jest z kategorią agronomiczną gleby. Gleby średnie i ciężkie, najbardziej zasobne w potas, zawierają ponad połowę składnika w związkach niedostępnych dla roślin. Generalnie im większa zawartość cząstek poniżej 0,02 mm, tym większa zawartość potasu ogółem oraz każdej z jego form w ujęciu ilościowym. Jednocześnie mniejszy jest udział form aktywnych, wymiennych i niewymiennych, dochodzi również do wzrostu udziału formy strukturalnej w ogólnej puli składnika w glebie (31, 32).

System nawożenia potasem

System nawożenia potasem opiera się na tych samych zasadach, które obowiązują w przypadku fosforu. W warunkach polskich, przy przewadze gleb lekkich o małym kompleksie sorpcyjnym, czyli o niskiej zawartości składników mineralnych, potas obok azotu odgrywa zasadniczą rolę w produkcji roślinnej. Dynamika pobierania potasu zależy od gatunku rośliny uprawnej, a krytyczny okres akumulacji tego makroskładnika rozpoczyna się już w fazie wzrostu wykładniczego łanu. Maksymalne pobranie potasu, czyli krytyczna faza zapotrzebowania na ten składnik przypada na okres wzrostu elongacyjnego. Krytyczne fazy zapotrzebowania wybranych gatunków roślin na potas zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Krytyczne fazy reakcji wybranych roślin uprawnych na potas

Roślina uprawna	Krytyczna faza rozwoju
Zboża	od strzelania w źdźbło do początku nalewania ziarna
Rzepak	od fazy rozety do pełni kwitnienia
Burak cukrowy	od drugiej pary liści do końca pierwszej połowy sierpnia
Ziemniak	od początku zawiązywania do pełnej dojrzałości bulw
Kukurydza	od piątego liścia do dojrzałości młecznej ziarniaków
Bobowate	od drugiego liścia do pełni kwitnienia pędu głównego

Źródło: Grzebisz, 2008 (11)

W fazie wzrostu wydłużeniowego rośliny uprawne pobierają potas z całej warstwy gleby przerośniętej korzeniami, nie tylko z warstwy ornej. Dotyczy to głównie roślin okopowych, rzepaku i strączkowych. Dostępność potasu uzależniona jest zatem od odpowiednich warunków jego pobierania przez system korzeniowy, m.in. właściwego odczynu gleby czy likwidacji zagęszczonych jej warstw.

Materiał i metody

Podstawę badań stanowiły dwa statyczne, dwuczynnikowe doświadczenia nawozowe prowadzone od 1985 r. na polach doświadczalnych IUNG-PIB w Grabowie

oraz Stacji Doświadczalnej w Baborówku. W historii tych doświadczeń czynnikiem niezmiennym od momentu ich założenia było nawożenie azotem na sześciu poziomach. W 2003 r. obok obiektu z optymalnymi dawkami P, K, Mg wprowadzono obiekty, z których poprzez dobór odpowiednich form nawozów, stopniowo wycofywano po jednym z wymienionych makroskładników (obiekty: minus P, minus K, minus Mg). Od momentu założenia doświadczenia nie stosowano nawozów naturalnych, nie uprawiano również roślin bobowatych. W obu miejscowościach gleba charakteryzowała się uregulowanym odczynem, a wyjściowa zawartość składników pokarmowych wyniosła: 16 mg P_2O_5 , 12 mg K_2O i 5,05 mg $MgO \cdot 100 g^{-1}$ gleby w Grabowie oraz 32 mg P_2O_5 , 15,2 mg K_2O i 9,0 mg $MgO \cdot 100 g^{-1}$ gleby w Baborówku.

W zmianowaniu uprawiano następujące rośliny: rzepak ozimy, pszenica ozima, kukurydza na ziarno, jęczmień jary. Doświadczenie prowadzono czterema polami równocześnie. Dawki azotu, fosforu, potasu i magnezu stosowane pod poszczególne rośliny w zmianowaniu przedstawiono w tabelach 2–3.

Tabela 2

Dawki fosforu, potasu i magnezu stosowane w doświadczeniu (I czynnik)

Roślina	Dawka składnika ($kg \cdot ha^{-1}$)			
	P_2O_5		K_2O	
	plus P	minus P	plus K	minus K
Rzepak ozimy	90	0	130	0
Pszenica ozima	70	0	90	0
Kukurydza	80	0	140	0
Jęczmień jary	70	0	80	0

Źródło: badania własne

Tabela 3

Dawki azotu stosowane w doświadczeniu (II czynnik)

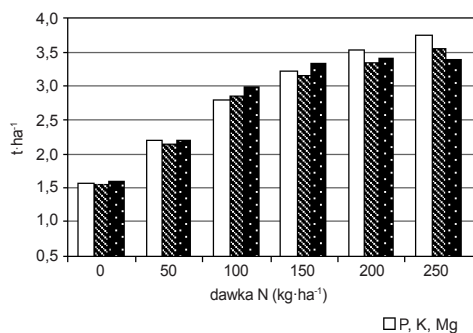
Obiekt	Roślina			
	rzepak ozimy	pszenica ozima	kukurydza	jęczmień jary
N0	0	0	0	0
N1	50	40	50	30
N2	100	80	100	60
N3	150	120	150	90
N4	200	160	200	120
N5	250	200	250	150

Źródło: badania własne

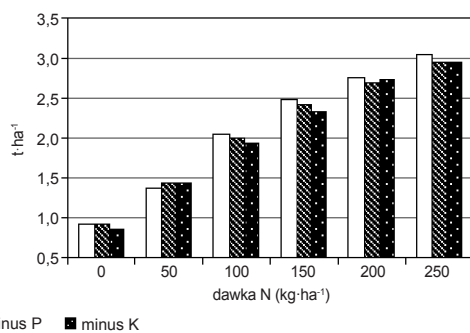
Celem realizowanych w latach 2003–2014 badań była ocena skutków wieloletniego wyczerpywania gleb z fosforu, potasu i magnezu. Jako miarę produkcyjnych skutków, przyjęto plony roślin, natomiast jako miarę skutków środowiskowych – bilanse analizowanych makroskładników oraz zmiany zawartości przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu w glebie.

Plonowanie roślin

Nie udowodniono istotnego wpływu stopniowego wyczerpywania gleby z któregośkolwiek składników pokarmowych na plonowanie roślin w kolejnych rotacjach, a wielkość plonów ziarna lub nasion zależała od przebiegu pogody w poszczególnych latach (rys. 1–8). Niemniej jednak w Grabowie, na glebie o niższej wyjściowej zawartości fosforu, w przypadku wszystkich roślin zaznaczyła się tendencja do nieznacznej redukcji plonów w obiekcie, w którym nie stosowano nawozów fosforowych, a w obiekcie bez nawożenia potasem istotnie gorzej plonowała kukurydza i jęczmień. W Baborówku na glebie nienawożonej potasem istotnie niżej plonowały rośliny o największych potrzebach pokarmowych w stosunku do tego składnika – kukurydza i rzepak.

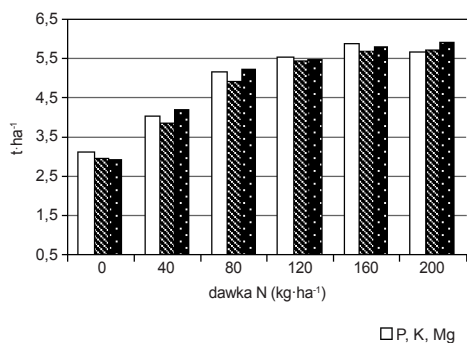


Rys. 1. Plony nasion rzepaku w Grabowie
(średnia za lata 2003–2014)

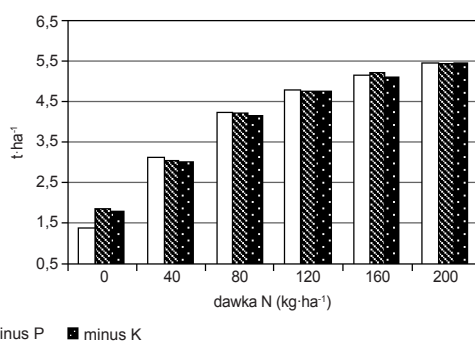


Rys. 2. Plony nasion rzepaku w Baborówku
(średnia za lata 2003–2014)

Źródło: opracowanie własne

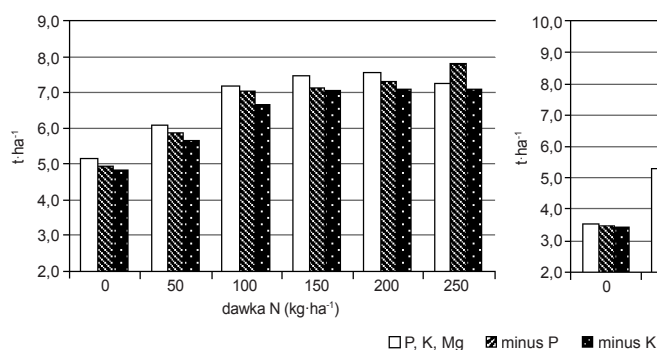


Rys. 3. Plony ziarna pszenicy w Grabowie
(średnia za lata 2003–2014)

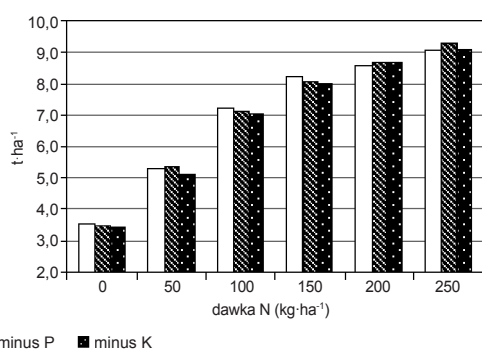


Rys. 4. Plony ziarna pszenicy w Baborówku
(średnia za lata 2003–2014)

Źródło: opracowanie własne

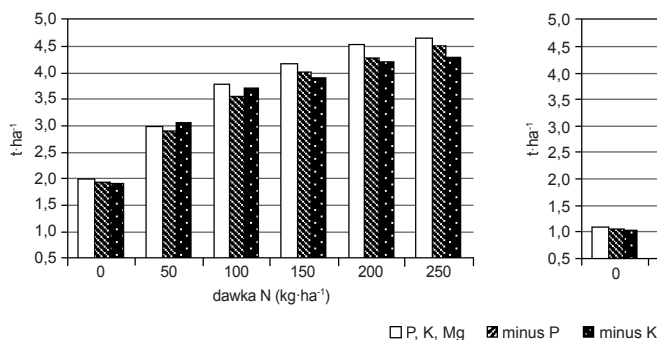


Rys. 5. Plony ziarna kukurydzy w Grabowie
(średnia za lata 2003–2014)

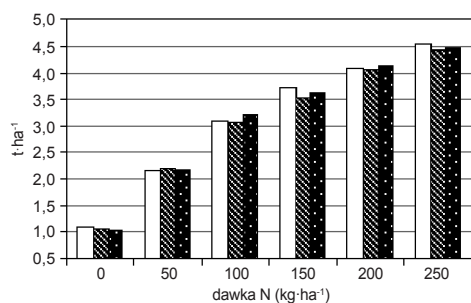


Rys. 6. Plony ziarna kukurydzy w Baborówku
(średnia za lata 2003–2014)

Źródło: opracowanie własne



Rys. 7. Plony ziarna jęczmienia w Grabowie
(średnia za lata 2003–2014)



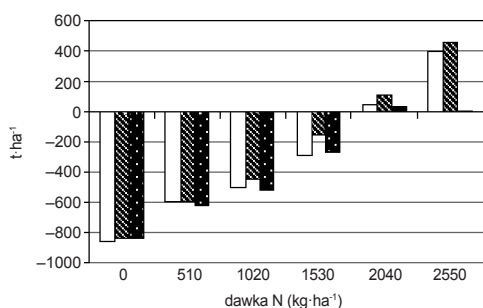
Rys. 8. Plony ziarna jęczmienia w Baborówku
(średnia za lata 2003–2014)

Źródło: opracowanie własne

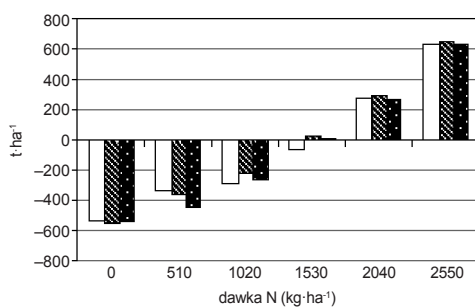
Bilanse składników pokarmowych

Bilanse N, P, K sporządzono za okres 12 lat metodą „na powierzchni pola”, uwzględniając po stronie przychodów ilości składników wnoszonych w nawozach, a po stronie rozchodów ilości wynoszone z plonami głównymi i ubocznymi. Całkowite dawki analizowanych makroskładników zastosowane w tym okresie wyniosły odpowiednio: 405 kg P·ha⁻¹, 1095 kg K·ha⁻¹ oraz 506 kg Mg·ha⁻¹. Azot stosowano w dawkach całkowitych: 0, 510, 1020, 1530, 2040, 2550 kg N·ha⁻¹.

Ze względu na większe wartości pobrania N w warunkach optymalnego zaopatrzenia roślin w składniki pokarmowe, w obu miejscowościach najsilniej ujemny bilans azotu wystąpił w obiekcie kontrolnym (rys. 9–10). Dodatnie saldo bilansu azotu uzyskano przy poziomie nawożenia N5, w Grabowie średnio +38 kg N·ha⁻¹, a w Baborówku +290 kg N·ha⁻¹. W Baborówku zaniechanie nawożenia fosforem bądź potasem nie miało wpływu na saldo bilansu N, natomiast w Grabowie w obiekcie bez fosforu, w którym rośliny pobierały mniej P, bilans tego składnika był mniej ujemny w porównaniu z obiektem kontrolnym.



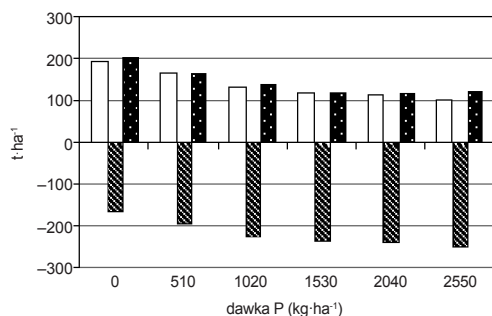
Rys. 9. Bilans azotu w Grabowie za 12 lat doświadczenia



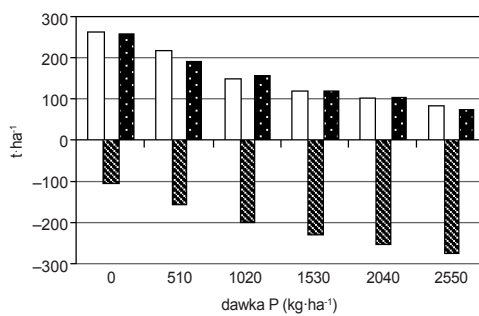
Rys. 10. Bilans azotu w Baborówku za 12 lat doświadczenia

Źródło: Rutkowska i Pikuła, 2015 (26)

W obu miejscowościach, na glebie regularnie nawożonej fosforem, w całym zakresie dawek azotu uzyskiwano zrównoważony bilans fosforu. Na glebie nienawożonej fosforem bilans tego składnika był silnie ujemny i pogłębiał się wraz ze wzrostem poziomu nawożenia azotem, a zaniechanie nawożenia skutkowało zubożeniem gleby średnio o 217 kg P·ha⁻¹ w Grabowie i 201 kg P·ha⁻¹ w Baborówku w ciągu 12 lat (rys. 11–12).



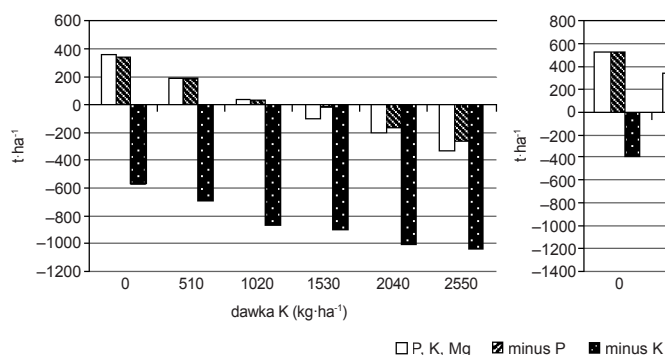
Rys. 11. Bilans fosforu zależnie od poziomu nawożenia azotem w Grabowie



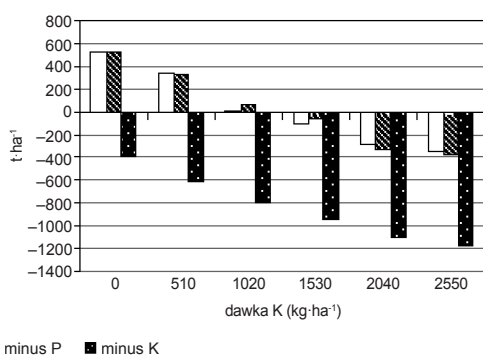
Rys. 12. Bilans fosforu zależnie od poziomu nawożenia azotem w Baborówku

Źródło: Rutkowska i in., 2015 (27)

Przy pełnym nawożeniu wszystkimi analizowanymi makroskładnikami, w obu punktach doświadczalnych zrównoważony bilans potasu uzyskano jedynie w zakresie dawek N0–N3. Przy całkowitej dawce 1020 kg N ha⁻¹ bilans tego składnika wyniósł średnio +30 kg K·ha⁻¹. W warunkach uprawy roślin bez stosowania nawozów zawierających fosfor, przy tym samym poziomie nawożenia azotem, saldo bilansu wyniosło średnio 830 kg K·ha⁻¹ (rys. 13–14).



Rys. 13. Bilans potasu zależnie od poziomu nawożenia azotem w Grabowie

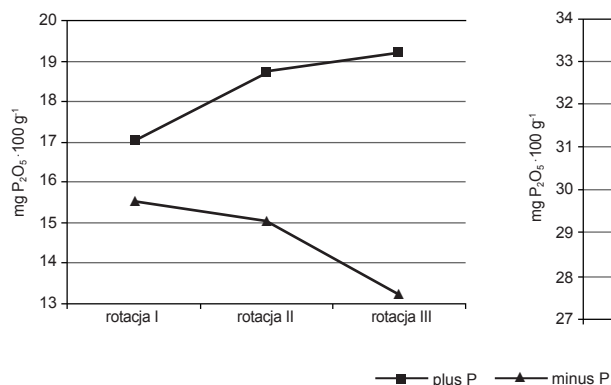


Rys. 14. Bilans potasu zależnie od poziomu nawożenia azotem w Baborówku

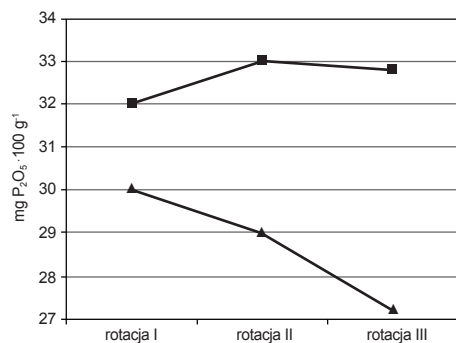
Źródło: Rutkowska i Pikula, 2015 (26)

Zawartość przyswajanych form potasu i magnezu w glebie

Zaprzestanie nawożenia fosforem i potasem w okresie dwunastoletnim spowodowało istotne obniżenie zawartości przyswajalnych form tych składników w warstwie ornej gleby. W obiekcie, w którym nie stosowano nawozów fosforowych zawartość P_2O_5 w Grabowie spadła średnio o 30% w stosunku do zawartości w 2003 r., z klasy zawartości wysokiej do klasy zawartości średniej, natomiast w Baborówku o 18%, pozostając jednak w klasie zawartości bardzo wysokiej (rys. 15–16). Ze względu na większe pobranie potasu w Grabowie w porównaniu z Baborówkiem, pomimo regularnego nawożenia tym składnikiem zawartość potasu przyswajalnego zmniejszała się w kolejnych rotacjach doświadczenia. Zaniechanie nawożenia potasem skutkowało znacznym zubożeniem gleby w K_2O – o ponad 60% w stosunku do zawartości wyjściowej w Grabowie i 35% w Baborówku (rys. 17–18).

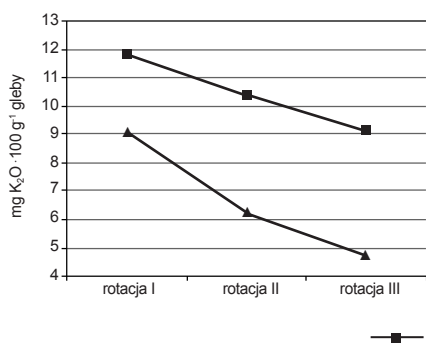


Rys. 15. Zawartość fosforu przyswajalnego w warstwie ornej gleby w Grabowie

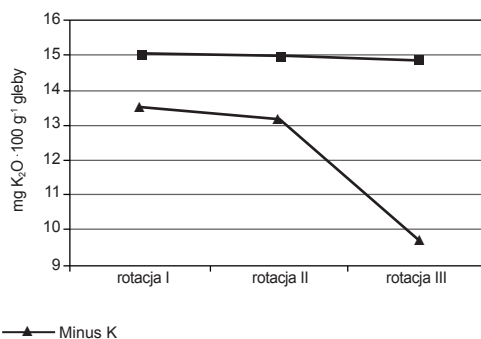


Rys. 16. Zawartość fosforu przyswajalnego w warstwie ornej gleby w Baborówku

Źródło: Rutkowska i in., 2015 (27)



Rys. 17. Zawartość potasu przyswajalnego w warstwie ornej gleby w Grabowie



Rys. 18. Zawartość potasu przyswajalnego w warstwie ornej gleby w Baborówku

Źródło: Rutkowska i Pikula, 2015 (26)

Podsumowanie

Rolnictwo zrównoważone ma na celu zarówno optymalizację plonów, jak również dbałość o jakość środowiska przyrodniczego, w tym zachowanie podstawowych funkcji gleby. Zintegrowany system nawożenia, na którym opiera się system doradztwa nawozowego zakłada zatem właściwe zaopatrzenie roślin we wszystkie niezbędne dla wzrostu i rozwoju składniki pokarmowe, przy równoczesnym utrzymaniu żyzności gleby na co najmniej średnim poziomie. Zachwianie równowagi pomiędzy składnikami pokarmowymi, zwłaszcza w warunkach wieloletniego niezrównoważonego nawożenia mineralnego, może z jednej strony prowadzić do zaburzeń fizjologicznych roślin i redukcji plonu, z drugiej do znacznego zubożenia gleby. W warunkach prowadzonego w okresie dwunastoletnim doświadczenia, na glebie o bardzo wysokiej zawartości fosforu nie zaobserwowano negatywnych skutków produkcyjnych pomimo znacznego spadku zawartości przyswajalnych form tego składnika. Na glebie o średniej wyjściowej zawartości potasu odnotowano natomiast niższą plonów roślin o największych potrzebach pokarmowych w stosunku do tego składnika – kukurydzy i rzepaku. Zarówno w przypadku fosforu, jak i potasu nastąpiło znaczne zubożenie warstwy ornej gleby w przyswajalne formy tych pierwiastków.

Literatura

1. Ai P., Sun S., Zhao J., Fan X., Xin W., Guo Q., Yu L., Shen Q., Wu P., Miller A.J. et al.: Two rice phosphate transporters, OsPht1;2 and OsPht;6 have different functions and kinetic properties in uptake and translocation, *Plant J.*, 2009, **57**: 798-809.
2. Barber S.A.: Potassium availability at the soil – root interface and factors influencing potassium uptake. In: Johnson A. E. Potassium, magnesium and soil fertility: long-term experimental evidence. The International Fertilizer Society. Proceedings, 1985, **613**: 16.

3. Beauchemin S., Simard R.R., Cluis D.: Forms and concentration of phosphorus in drainage water of twenty – seven tile drained soils. *J. Environ. Qual.*, 1998, **27**(3): 721-728.
4. Brar M.S., Bijay-Singh, Bansal S.K., Srinivasarao Ch.: Role of potassium nutrition in nitrogen use efficiency in cereals. *Research Findings: e-ific*, 2011, **29**.
5. Davidson D.J., Chevalier P.M.: Pre-anthesis tiller mortality in spring wheat. *Crop Sci.* 1990, **30**: 832-836.
6. Filipiek T.: Zarządzanie zasobami fosforu w środowisku rolniczym. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 2002, **4**(13): 247-259.
7. Fixen F.E., West F.B.: Nitrogen fertilizers: Meeting contemporary challenges. *Ambio: J. Hum. Environ.*, 2001, **31**: 169-176.
8. Foty ma M.: Content of potassium in different forms in the soils of southeast Poland. *Pol. J. Soil Sci. Soil Chemistry*, 2007, **40**/1: 19-32.
9. Foty ma M.: Potas w agrosystemach. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 2011, **45**: 31-37.
10. Gaj R.: Zrównoważona gospodarka fosforem w glebie i roślinie w warunkach intensywnej produkcji roślinnej. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 2007, **33**: 143.
11. Grzebisz W.: Nawożenie roślin uprawnych. 2. Nawozy i systemy nawożenia. PWRiL, Poznań 2008.
12. Hansen J.C., Cade-Menun B.J., Strawn D.G.: Phosphorus speciation in manure-amended alkaline soils. *J. Environ Qual.*, 2004, **33**: 1521-1527.
13. Harrison A.F.: Soil Organic Phosphorus – A review of world literature. CAB International, Wallingford, Oxon, UK, 1987, 257.
14. Hinsinger P.: Bioavailability of soil inorganic P in rhizosphere as affected by root - induced chemical changes – a review. *Plant Soil*, 2001, **237**: 173-195.
15. Jacob J., Lawlor D.W.: Stomatal and mesophyll limitation of photosynthesis in phosphate deficient sunflower, maize and wheat plants. *J. Exp. Bot.*, 1999, **41**: 1003-1011.
16. Jadczyk T., Kowalczyk J., Lipiński W.: Nawożenie mineralne na gruntach ornych i trwałych użytkach zielonych. Instrukcja upowszechnieniowa, IUNG-PIB, Puławy 2013, **184**.
17. Jianbo S., Lixing Y., Junling Z., Haigang L., Zhao hai B., Xinping Ch., Weifeng Z., Fusuo Z.: Phosphorus dynamics: from soil to plant. *Plant Physiol.*, 2011, **156**: 997-1005.
18. Jiang F., Li C.J., Jeschke W.D., Zhang F.S.: Effect of top excision and replacement by 1-naphthylacetic acid on partition and flow of potassium in tobacco plants. *J. Exp. Bot.*, 2001, **52**: 2143-2150.
19. Lu Y.X., Li C.J., Zhang F.S.: Transpiration, potassium uptake and flow in tobacco as affected by nitrogen forms and nutrient levels. *Ann. Bot.*, 2005, **95**: 991-998.
20. Łabętowicz J.: Skład chemiczny roztworu glebowego w zróżnicowanych warunkach glebowych i nawozowych, Wyd. Fundacja „Rozwój SGGW” Warszawa, 1995, 1-4.
21. Marschner H., Kirkby E.A., Engels C.: Importance of cycling and recycling of mineral nutrients within plants for growth and development. *Bot. Acta*, 1997, **110**: 265-273.
22. Mathis F.J.M.: Monovalent cation transporters; establishing a link between bioinformatics and physiology. *Plant Soil*, 2007, **301**: 1-5.

23. Mclean E., Watson M.E.: Soil measurements of plant available potassium. In: Application of kinetic models in describing soil potassium release characteristics and their correlation with potassium extracted by chemical methods, A.R. Hosseinpour and R. Motaghian (eds). *Pedosphere*, 2013, **23(4)**: 482-492.
24. Rao I.M., Terry N.: Leaf phosphate status, photosynthesis and carbon partitioning in sugar beet. I. Changes in growth, gas exchange, and Calvin cycle enzymes. *Plant Physiol.*, 1989, **90**: 814-819.
25. Rocznik Statystyczny Rolnictwa. GUS, Warszawa 2014, 104-105.
26. Rutkowska A., Pikuła D.: Productive and environmental effects of soil potassium mining in long – term field experiment. Book of abstracts and proceedings of the International Conference „60th anniversary of Long-term Experiments in the Czech Republic”. 2015, 104-107
27. Rutkowska A., Pikuła D., Kęsik K.: Produkcyjne i środowiskowe skutki wieloletniego wyczerpywania gleb z fosforu. Konferencja naukowa ”Fosfor-współczesne wyzwania dla rolnictwa i środowiska”, Puławy, 15–16 czerwca 2015, 126-127.
28. Sharpley A.N.: Soil phosphorus dynamics: agronomic and environment impact. *Ecol. Engin.*, 1995, **5**: 261-279.
29. Shin H., Shin H.S., Dewbre G.R., Harrison M.J.: Phosphate transport in Arabidopsis. *Pht1 and Pht4 play a major role in phosphate acquisition from both low- and high-phosphate environments.* *Plant J.*, 2004, **39**: 629-642.
30. Smith S.E., Read D.J.: *Mycorrhizal symbiosis.*, Ed. 3. Elsevier and Academic, New York, 2008, pp. 800
31. Sparks D.L.: Potassium dynamics in soil. *Advan. Soil Sci.*, 1985, **6**: 231-266.
32. Sparks D.L., Huang P.M.: Physical chemistry of soil potassium. In: Application of kinetic models in describing soil potassium release characteristics and their correlation with potassium extracted by chemical methods, A.R. Hosseinpour and R. Motaghian (eds). *Pedosphere*, 2013, **23(4)**: 482-492.
33. Spohn M., Kuzyakov Y.: Distribution of microbial – and – root – derived phosphatase – activities in the rhizosphere depending on P availability and C allocation – Coupling soil zymography with ¹⁴C imaging. *Soil Biol. Biochem.*, 2013, **67**: 106-113.

Adres do korespondencji:

dr Agnieszka Rutkowska
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. 81 47 86 840
e-mail: agrut@iung.pulawy.pl

Alicja Pecio, Zuzanna Jarosz

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

WPŁYW ZABIEGÓW AGROTECHNICZNYCH NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI CHEMICZNE GLEB*

Słowa kluczowe: zabiegi agrotechniczne, właściwości chemiczne gleb, metaanaliza

Wstęp

Zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego jest obecnie głównym wyzwaniem dla rolnictwa. Zwiększanie wielkości produkcji, możliwe dzięki intensywnej uprawie roli czy stosowaniu dużych dawek nawozów, zwłaszcza mineralnych, może prowadzić do niekorzystnych skutków ekologicznych, w tym zaburzeń podstawowych funkcji gleby. Zgodnie z ideą rolnictwa zrównoważonego efektywnej produkcji bezpiecznej żywności o wysokiej jakości powinna towarzyszyć troska o stan środowiska naturalnego. Dlatego wciąż poszukuje się najlepszych praktyk agrotechnicznych, które z jednej strony pozwalają na efektywne wykorzystanie zasobów naturalnych, a z drugiej sprzyjają utrzymaniu, czy nawet poprawie żyzności gleb.

Właściwe zaopatrzenie roślin w składniki pokarmowe zapewnia się na ogół poprzez stosowanie nawozów mineralnych w odpowiednich formach, terminach i dawkach. O jakości gleby w dużej mierze decyduje jednak zawartość substancji organicznej. Dlatego niezbędne jest stosowanie praktyk, których celem jest utrzymanie na właściwym poziomie lub zwiększenie zawartości glebowej materii organicznej. Spośród takich praktyk należy wymienić: ograniczenie intensywności zabiegów uprawy roli, odpowiedni dobór roślin w zmianowaniu, stosowanie nawozów zielonych, przyorwanie resztek poźniwnych oraz zastępowanie nawożenia mineralnego przez nawozy organiczne.

Zmniejszenie intensywności zabiegów uprawy roli poprzez zminimalizowanie ich głębokości i odejście od odwracania gleby ma na celu ograniczenie procesów mineralizacji, a tym samym zwiększenie zawartości materii organicznej w glebie (1, 2,

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

26, 36, 73). Pomimo braku jednoznacznych wyników potwierdzających skuteczność tej techniki uprawy roli w zwiększaniu sekwestracji węgla w glebie (7, 37, 39), bez wątpienia wiąże się ona z mniejszym zużyciem paliw płynnych wykorzystywanych w procesie produkcji roślinnej. Stosowanie nawozów zielonych z roślin bobowatych czy odchodów zwierzęcych jako nawozów naturalnych oraz przyorywanie resztek poźniwnych (3, 11, 20, 45, 67, 68) stanowi alternatywę dla nawozów syntetycznych. Nawozy zielone i resztki poźniwne przyczyniają się do poprawy żyzności gleby, w tym stymulacji aktywności mikroorganizmów, ochrony przed szkodnikami, ograniczenia procesów erozji gleb. Rośliny pozostawione jesienią na polu zmniejszają wymywanie składników pokarmowych po zbiorach roślin oraz mogą być tanim źródłem energii i składników pokarmowych dla roślin następczych (14, 16, 29). Nawozy zielone sprzyjają sekwestracji i ochronie zasobów węgla glebowego (40, 53, 62).

Właściwa ocena skutków stosowania zabiegów agrotechnicznych jest możliwa tylko w perspektywie długoterminowej. Skumulowane często niewielkie zmiany żyzności gleby mogą być zauważalne dopiero po wielu latach, jak w przypadku zmian zawartości glebowej materii organicznej. W praktyce szacunki interakcji zmian poszczególnych parametrów jakości gleby ze zmiennością warunków meteorologicznych możliwe są jedynie w doświadczeniach wieloletnich (30).

Prezentowane poniżej badania stanowią fragment projektu Catch-C “Compatibility of Agricultural Management Practices and Types of Farming in the EU to Enhance Climate Change Mitigation and Soil Health”, którego celem było udowodnienie, że tzw. Najlepsze Zabiegi Agrotechniczne (*Best Management Practices – BMPs*) są efektywne nie tylko w utrzymaniu wysokiego plonowania roślin uprawnych, redukcji kosztów uprawy i łagodzeniu zmian klimatycznych, ale wpływają także na poprawę chemicznej, fizycznej i biologicznej jakości gleby. Praca przedstawia wyniki ekstensywnej metaanalizy danych dotyczących wpływu zabiegów agrotechnicznych na wybrane właściwości chemiczne gleb, które pobrano z opublikowanych doświadczeń wieloletnich prowadzonych w zróżnicowanych warunkach glebowych i klimatycznych na terenie całej Europy. W analizie uwzględniono następujące wskaźniki: odczyn pH gleby, zawartość N ogółem, zasób N ogółem, stosunek C:N, zawartość mineralnych form azotu (N_{min}) oraz przyswajalnych form potasu i fosforu.

Material i metody

Metaanalizę wykonano w latach 2012-2014 w ramach projektu Catch-C “Compatibility of Agricultural Management Practices and Types of Farming in the EU to Enhance Climate Change Mitigation and Soil Health” (7PR), realizowanego przez konsorcjum partnerów z 18 krajów europejskich. Podstawę stanowiła wspólna interaktywna biblioteka utworzona na platformie Zotero (www.zotero.org), na której zgromadzono 733 oryginalne publikacje prezentujące wyniki wieloletnich doświadczeń polowych prowadzonych na terenie całej Europy.

Dane dotyczące wpływu zabiegów agrotechnicznych na właściwości chemiczne gleby pochodziły z internetowej bazy danych sukcesywnie uzupełnianej wynikami doświadczeń przez wszystkich partnerów. Obejmowały one 59 doświadczeń wieloletnich i stanowiły 1044 rekordy. Analizowano następujące parametry: odczyn pH, zawartość azotu ogólnego, zasób azotu ogólnego, stosunek C:N, zawartość azotu mineralnego (Nmin) oraz przyswajalnych form potasu (Kprzysw) i fosforu (Pprzysw). Spośród zabiegów agrotechnicznych uwzględniono: zmianowanie, stosowanie poplonów i roślin okrywowych (zabieranych z pola) oraz przyorywanie nawozów zielonych, siew bezpośredni, uprawę uproszczoną, nawożenie mineralne, nawożenie kompostem, obornikiem, gnojowicą oraz przyorywanie resztek poźniwnych. W badaniach nie uwzględniono wskaźnika zawartości węgla organicznego w glebie, który był przedmiotem odrębnej analizy w zakresie łagodzenia zmian klimatu.

Wpływ stosowanych zabiegów agrotechnicznych na właściwości chemiczne gleb analizowano z wykorzystaniem relatywnego wskaźnika reakcji (*Response Ratio RR*). Wskaźnik ten obliczano jako iloraz wartości danej cechy gleby uzyskanej w wyniku zastosowania badanego zabiegu w stosunku do zabiegu referencyjnego. Jako zabiegi referencyjne przyjęto: dla uprawy w zmianowaniu – uprawę w monokulturze, dla stosowania poplonów/roślin okrywowych i zielonych nawozów – ich brak, dla uprawy w siewie bezpośrednim i uprawy uproszczonej – konwencjonalną uprawę orkową, dla nawożenia mineralnego – brak nawożenia, dla nawożenia organicznego – stosowanie nawozu mineralnego w dawce wnoszącej taką samą ilość azotu, dla przyorywania resztek poźniwnych – ich zabieranie z pola. Porównywano zabiegi wykonywane w ramach tego samego doświadczenia i tej samej rotacji zmianowania. Wskaźnik reakcji RR (nazwa parametru) dla zabiegów referencyjnych przyjmował zawsze wartość 1. Wartość większą od 1 uzyskiwano, gdy badany zabieg agrotechniczny wpływał na zwiększenie wartości analizowanego parametru w stosunku do zabiegu referencyjnego, a wartość mniejszą od 1 – gdy ją zmniejszał.

Analizy statystyczne wykonywano z zastosowaniem pakietu Statgraphics Centurion v. XVI. Każdy zbiór wskaźników reakcji RR określonego parametru na stosowanie danego zabiegu agrotechnicznego analizowano pod kątem normalności rozkładu i charakterystyki opisowej, w której uwzględniono: liczbę danych, średnią i odchylenie standardowe, minimum i maksimum. Istotność różnicy pomiędzy wartością RR danej cechy a wartością 1 określano na podstawie testu t-Studenta z prawdopodobieństwem $p < 0,05$. Następnie za pomocą liniowego modelu regresji wielokrotnej sprawdzano, czy czynniki, takie jak: klimat, skład granulometryczny gleby, głębokość pobierania próbek i czas trwania doświadczenia modyfikowały wpływ zabiegów agrotechnicznych na wielkość wskaźników reakcji RR. W tym celu wśród czynników tj. klimat, skład granulometryczny gleby i czas trwania doświadczenia wydzielono 4 poziomy, a głębokość pobierania próbek podzielono na 3 poziomy (tab. 1). Za pomocą testu-t określono z prawdopodobieństwem 95% istotność różnic pomiędzy średnimi wartościami cech na różnych poziomach czynników (51).

Poziomy czynniki uwzględnionych w modelu liniowej regresji wielokrotnej

Strefa klimatyczna*	Skład granulometryczny gleby	Głębokość pobierania próbek gleby	Czas trwania doświadczenia
Północna Alpine North (ALN) Boreal (BOR) Nemoral (NEM)	ił (ił, ił pylasty)	płytką (<10 cm)	krótki (<5 lat)
Zachodnia Atlantic North (ATN) Atlantic South (ATS) Atlantic Central (ATC) Lusitanian (LUS)	głina (głina, gлина ilasta, gлина piaszczysto-ilasta, gлина pylasto-ilasta)	średnia (10–30 cm)	średni (5–10 lat)
Wschodnia Continental (CON) Pannonian (PAN)	piasek (piasek, piasek gliniasty, głina piaszczysta)	głęboka (>30 cm)	długi (11–20 lat)
Południowa Anatolian (ANA) Mediterranean Mountains (MDM) Mediterranean North (MDN) Mediterranean South (MDS)	pył (pył, gлина pylasta)		bardzo długi (>20 lat)

* Źródło: Metzger i in., 2005 (42)

Wyniki i dyskusja

Wyniki metaanalizy wykonanej na podstawie danych z wieloletnich doświadczeń polowych prowadzonych na terenie całej Europy, które wyekstrahowano z licznych publikacji naukowych, na ogół potwierdziły wyniki wcześniejszych badań nad wpływem różnych zabiegów agrotechnicznych na właściwości chemiczne gleb.

Wszystkie badane zabiegi agrotechniczne wykazywały wpływ na właściwości chemiczne gleb. Obserwowano zarówno pozytywne, jak i negatywne skutki ich stosowania. Sumaryczne zestawienie wyników zawarto w tabeli 2, a ich graficzną interpretację przedstawiono na rysunku 1.

Wpływ zabiegów agrotechnicznych na wskaźniki reakcji RR wybranych właściwości chemicznych gleby

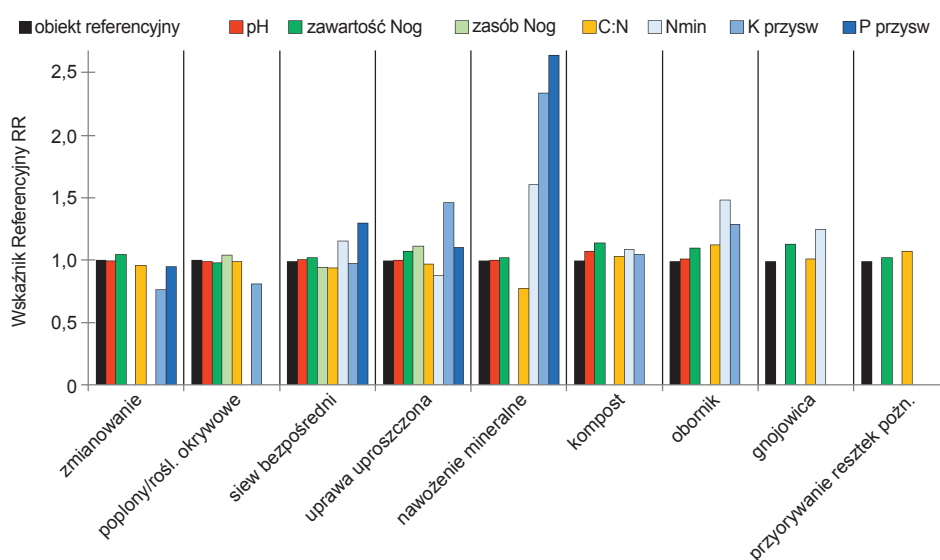
[illegible]

cd. tab. 2

Zabieg agrotechniczny	pH	Zawartość Nog	Zasób Nog	C:N	Zawartość Nmin	Zawartość	
						Kprzysw	Pprzysw
Siew bezpośredni	1,00	1,02	0,94	0,94	1,15*	0,97	1,30***
Uprawa uproszczona	1,00	0,07***	1,11**	0,97	0,87	1,46***	1,10***
Brak nawożenia min. (ref)	1,00	1,00	-	1,00	1,00	1,00	1,00
Nawożenie mineralne	1,00	1,02***	-	0,77	1,60***	2,33***	2,64***
Nawóz mineralny (minN) (ref)	1,00	1,00	-	1,00	1,00	1,00	1,00
Kompost	1,07***	1,14***	-	1,03	1,09*	1,04	-
Obornik	1,01	1,10***	-	1,12**	1,48***	1,28	-
Gnojowica	-	1,13***	-	1,01	1,25***	-	-
Usuwanie resztek poźniwnych (ref)	1,00	1,00	-	1,00	-	-	-
Przyorywanie resztek poźniwnych	-	1,02**	-	1,07*	-	-	-

*** $p < 0,02$; ** $0,02 \leq p < 0,05$; * $0,05 \leq p < 0,1$

„-” – zbyt mała liczba danych do analizy statystycznej



Rys. 1. Wpływ zabiegów uprawy roli na wartość wskaźnika reakcji RR właściwości chemicznych gleb

Źródło: opracowanie własne

Najsilniejszą reakcję na stosowanie nawożenia mineralnego stwierdzono dla Nmin, Kprzysw i Pprzysw. Stosowanie nawozów organicznych i technik uproszczonej uprawy roli oraz uprawa roślin w zmianowaniu oprócz wzrostu zawartości przyswajalnych form składników pokarmowych w glebie było efektywne również dla wskaźników zasobności gleby w azot całkowity. Nawożenie kompostem okazało się jedynym spośród badanych zabiegów poprawiającym odczyn pH gleby. Nawożenie obornikiem oraz przyorywanie resztek poźniwnych wpływało na poszerzenie stosunku C:N.

Uwzględniając wszystkie wskaźniki reakcji RR oraz statystyczną ocenę ich istotności, a także ilość wskaźników reagujących pozytywnie i wielkość tej reakcji, za najlepsze zabiegi agrotechniczne uznano:

- stosowanie obornika,
- uproszczoną uprawę roli,
- nawożenie kompostem,
- nawożenie mineralne,
- siew bezpośredni.

Skutki stosowania obornika określano w porównaniu z zabiegiem referencyjnym, w którym wraz z nawożeniem mineralnym wnoszono do gleby podobną ilość azotu mineralnego lub przyswajalnych form potasu. Stwierdzono, że obornik powodował istotny wzrost zawartości azotu ogółem oraz mineralnego w glebie oraz poszerzenie stosunku C:N, co oznacza zwiększoną akumulację węgla niż azotu. Odnotowano również silny wzrost zawartości przyswajalnych form potasu. Jednakże, ze względu na to, że oznaczenie wykonano tylko w jednym doświadczeniu, wynik w metaanalizie okazał się nieistotny. Reakcja odczynu pH gleby na nawożenie obornikiem była słaba, aczkolwiek nieco większy wzrost RR(pH) stwierdzono po dłuższym okresie stosowania obornika (5–10 lat). Większe przyrosty zawartości azotu ogółem występowały w zachodnich strefach klimatycznych niż północnych i wschodnich oraz na glebach gliniastych niż ilastych. Niespodziewanie większą reakcję zawartości azotu na stosowany obornik stwierdzono w okresie do 20 lat w porównaniu z dłuższym okresem (powyżej 20 lat) stosowania obornika. Wynik ten nie może być jednakże generalizowany ze względu na zróżnicowaną liczbę porównywanych danych wejściowych. Oznacza to jednak, że pozytywnych skutków nawożenia obornikiem można oczekiwać już po krótkim okresie jego aplikacji, oczywiście zależnie od stosowanych dawek. Większe wartości wskaźnika reakcji RR(C:N) stwierdzono w zachodnich niż wschodnich strefach klimatycznych oraz na glebach gliniastych niż ilastych. Istotnie większe wartości RR(C:N) odnotowano jednak w wierzchniej (0–5 cm) niż głębszej (10–30 cm) warstwie gleby. Poza tym wartość tego wskaźnika wykazywała wyraźną tendencję wzrostu wraz z czasem stosowania obornika. Nawożenie obornikiem powodowało istotny wzrost zawartości N_{min} w glebie, co oznacza, że obornik może w dużym stopniu sprzyjać jego kumulacji w glebie, a zatem również wymywaniu azotanów.

Stosowanie nawozów organicznych jest efektywnym sposobem zwiększania zawartości materii organicznej w glebie. Duże ilości azotu i węgla wnoszone wraz z obornikiem wpływają na wzrost zawartości materii organicznej i azotu ogólnego w glebie w większym stopniu niż nawozy mineralne (31). Według Uhlena (69), stosowanie obornika przyczynia się do gromadzenia nieco większych ilości N i C w glebie niż z nawozów mineralnych oraz istotnego poszerzenia stosunku C:N. Większe zawartości azotu tłumaczy się tym, że procent jego wykorzystania w roku aplikacji jest zwykle mniejszy z obornika niż nawozów mineralnych. Przewaga nawozów

organicznych nad mineralnymi polega na powolnym, ale ciągłym uwalnianiu N oraz na jednoczesnym wnoszeniu wielu makro- i mikroelementów. W badaniach wielu autorów (5, 13) stosowanie obornika skutkowało proporcjonalnym wzrostem zawartości Kprzysw w górnych warstwach profilu gleby. Dostępność K w glebie zwiększała się proporcjonalnie do ilości wnoszonego obornika. Zwykle ok. 90% potasu wnoszonego z obornikiem pozostaje w formie przystępnej dla rośliny następczej (5).

Analiza wpływu uproszczonej uprawy roli obejmowała zabiegi do głębokości ok. 10–15 cm gleby bez jej odwracania. Spośród maszyn stosowanych w doświadczeniach najczęściej powtarzała się brona talerzowa, brona obrotowa, kultywator i agregat ścierniskowy. Jako zabieg referencyjny w obliczeniach wskaźnika reakcji RR przyjęto konwencjonalną uprawę orkową do głębokości 25–30 cm, a więc uprawę z odwracaniem gleby. Uprawa uproszczona, w porównaniu z uprawą konwencjonalną, istotnie zwiększała zawartość i zasób azotu ogólnego oraz zawartość przyswajalnych form potasu i fosforu. Oznaczenia zawartości przyswajalnych form potasu wykonywano tylko w jednej, wschodniej strefie klimatycznej, w glebie gliniastej, na głębokości 10–30 cm. Największy wzrost ich zawartości, a także zasobu azotu ogółem, stwierdzono po 20 latach stosowania zabiegów uproszczonej uprawy roli. Zawartość przyswajalnych form fosforu była modyfikowana jedynie przez warunki klimatyczne, przy czym większe wartości uzyskiwano w strefie zachodniej niż wschodniej. Wzrost zawartości przyswajalnych form fosforu w glebie stwierdzono w początkowych latach stosowania uprawy uproszczonej.

Przejście z uprawy orkowej na bezorkową uprawę uproszczoną z zastosowaniem kultywatora może wpływać na zmiany niemal wszystkich chemicznych właściwości gleby. Sukces uprawy bezorkowej uzależniony jest jednak od typu gleby i warunków klimatycznych. W krajach skandynawskich, tj. Dania, Finlandia, Norwegia i Szwecja najlepsze wyniki uzyskano na najcięższych glebach gliniastych, które są uważane za najtrudniejsze w uprawie orkowej (56). W warunkach uprawy uproszczonej obserwowano akumulację składników pokarmowych i materii organicznej w wierzchnich warstwach gleby oraz spadek pH po dłuższym okresie jej stosowania, a także ograniczenie wymywania azotu, przy czym uprawa wiosenna była korzystniejsza niż jesienna (25). Wykazano bowiem, że uproszczona uprawa na glinie piaszczystej wykonana wiosną spowodowała straty azotu wynoszące $35 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, a uprawa jesienna, po której przeprowadzono jeszcze orkę – $76 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Badania Małeckiej i in. (41) prowadzone w warunkach kontynentalnego klimatu Polski wykazały, że różne systemy uprawy uproszczonej wpływały na obniżenie pH gleby w porównaniu z uprawą konwencjonalną. Ponadto Dzieńia i in. (19) oraz Hussain i in. (27) stwierdzili większe zawartości materii organicznej, azotu ogólnego oraz dostępnych form potasu w wierzchniej (0–5 cm) warstwie gleby.

Skutki stosowania kompostów roślinnych oraz sporządzanych z różnego rodzaju odpadów i osadów organicznych oceniano w porównaniu z nawożeniem mineralnym wnoszącym taką samą ilość przyswajalnych form azotu lub potasu. Stwierdzono, że

stosowanie kompostu powodowało istotny wzrost pH gleby, zawartości azotu ogółem i mineralnego, wpływało na poszerzenie stosunku C:N i wzrost zawartości przyswajalnych form potasu. Analiza regresji wykazała, że stosowanie nawożenia kompostem przez okres dłuższy (5-10 lat) znacznie bardziej poprawia odczyn gleby w porównaniu z okresem krótszym niż 5 lat. Pozytywny wpływ kompostu na zawartość azotu ogólnego i stosunek C:N był podobny w zachodnich i wschodnich strefach klimatycznych oraz na glebach ilastych i gliniastych. Parametry te nie zależały od długości okresu stosowania kompostu, aczkolwiek stosunek C:N wykazywał tendencję poszerzania po 10 latach jego aplikacji. Pozytywny wpływ kompostu na zawartość azotu mineralnego oraz przyswajalnych form potasu w glebie stwierdzono w zachodniej strefie klimatycznej, w głębszych (>30 cm dla N_{min} i 10–30 cm dla K_{przysw}) warstwach gleb gliniastych i już po krótkim (<5 lat) czasie stosowania. Należy jednak zwrócić uwagę, że reakcja analizowanych wskaźników jakości gleby będzie każdorazowo zależała od aktualnego stanu i składu chemicznego kompostu.

Kompost stanowi rozłożona materia organiczna, przetworzona i wnoszona do gleby w formie nawozu. W badaniach Epsteina i in. (21), w wyniku stosowania kompostu nastąpił 3-krotny wzrost pojemności kompleksu sorpcyjnego. Zawartość azotu azotanowego zwiększała się głównie w warstwie 15–20 cm profilu glebowego, podczas gdy w warstwach głębszych wyraźnie się zmniejszała. Wysoka, przewyższająca zapotrzebowanie roślin zawartość przyswajalnych form fosforu utrzymywała się przez 2 lata od czasu aplikacji kompostu. Według Schlegel (59) stosowanie kompostu nie ma wpływu na zawartość NO₃⁻-N. Kompost wytworzony na bazie odchodów zwierzęcych sprzyja utrzymaniu lub zwiększeniu zawartości fosforu, a w mniejszym stopniu akumulacji NO₃⁻.

Stosowane nawożenie mineralne, w porównaniu z obiektami bez nawożenia, miało istotny pozytywny wpływ na zawartość przyswajalnych form fosforu, potasu i azotu (N_{min}) oraz na zawartość azotu ogółem. Dane te można uznać za w pełni miarodajne, gdyż średni wzrost zawartości przyswajalnych form fosforu w glebie o 164% w wyniku stosowania nawozów fosforowych określono na podstawie 37 porównań, wzrost przyswajalnych form potasu o 133% na skutek stosowania nawozów potasowych na podstawie 26 porównań, a azotu mineralnego o 60% w rezultacie stosowania nawozów azotowych – z uwzględnieniem 30 porównań. Wszystkie dane dotyczące zawartości fosforu i niemal wszystkie dane dotyczące potasu odnoszą się do wschodniej strefy klimatycznej, głębokości pobierania próbek w warstwie 10–30 cm gleby i długiego (>20 lat) czasu aplikacji nawozów. Mniej znaczące wzrosty zawartości potasu w glebie obserwowano w dwóch przypadkach krótkiego okresu (<5 lat) nawożenia w zachodniej strefie klimatycznej. Podobną reakcję stwierdzono w przypadku nawożenia azotem: silniejszą reakcję odnotowano w większym zbiorze danych pobranych z doświadczeń we wschodniej strefie klimatycznej, z głębokości 10–30 cm profilu glebowego i po 11–20 latach aplikacji nawozów w stosunku do zachodniej strefy klimatycznej i krótkiego (<5 lat) czasu aplikacji nawozów. Wzrost zawartości azotu ogólnego był niewielki, ale statystycznie udowodniony.

Nawożenie mineralne na ogół sprzyja wzrostowi roślin i jednocześnie wpływa na zwiększenie ilości węgla wnoszonego do gleby wraz z większą ilością resztek poźniwnych. Jednakże, jak wynika z literatury, wpływ nawożenia azotem na właściwości chemiczne gleby nie jest jednoznaczny. Stwierdzono, że jego stosowanie powoduje wzrost zawartości azotu mineralnego w glebie i może przyczyniać się do jej zakwaszenia (10). Często jednak nie wywiera wpływu na zawartość węgla organicznego, gdyż w glebach o szerokim stosunku C:N może stymulować rozwój mikroorganizmów glebowych, które powodują mineralizację materii organicznej. Według Whitehead (74) nawożenie azotem sprzyja akumulacji organicznych form zarówno węgla, jak i azotu, szczególnie na glebach, które z natury są ubogie w materię organiczną. Pozytywny wpływ nawożenia azotem na gromadzenie materii organicznej jest możliwy również na słabo zdrenowanych glebach gliniastych, w których mineralizacja resztek poźniwnych zachodzi powoli ze względu na ograniczoną aerację. Według Idkowiak i Kordas (28), wyższe dawki azotu, np. 100 kg N ha⁻¹ w stosunku do 50, mogą wpływać na ograniczenie zawartości węgla organicznego, azotu ogólnego oraz potasu w całym profilu glebowym, a także zwiększać zawartość fosforu w jego wierzchnich warstwach. W badaniach Koszańskiego i in. (34) przeciwnie, wysokie dawki azotu powodowały wzrost zawartości węgla organicznego i azotu ogólnego oraz wyraźny spadek zawartości fosforu i potasu. Panak i in. (48) potwierdzili, że wpływ wrastających dawek nawożenia azotem na zawartość przyswajalnych form fosforu nie jest do końca wyjaśniony. W przypadku mineralnego nawożenia fosforem, Vogeler i in. (72) podali, że powoduje ono kumulację przyswajalnych form fosforu w wierzchniej warstwie gleby.

Wpływ stosowania gnojowicy oceniano przez porównanie z działaniem nawozów mineralnych, w których wnoszono podobną ilość przyswajalnych form azotu lub potasu. Aplikacja gnojowicy powodowała istotny wzrost zawartości jedynie azotu ogólnego i mineralnego w glebie. Pozostałe wskaźniki RR(pH), RR(C:N), RR(Kprzysw) były reprezentowane przez małą ilość danych, dlatego też nie zostały uwzględnione w tej analizie.

Gnojowica jest wartościowym źródłem C, N, P i K, stanowi zatem tanią alternatywę w stosunku do nawozów mineralnych (60). W stosunku do gleb nienawożonych, na glebach gdzie stosowano gnojowicę stwierdzono wyższe pH, większą zawartość przyswajalnych form P i K oraz nieco większą zawartość N ogólnego (54). Duże dawki gnojowicy wpływały również na wzrost pH gleby w porównaniu z mineralnymi nawozami NPK (33). Nie zaobserwowano przy tym istotnych różnic w zawartości NH₄ i N ogółem. Niekontrolowana aplikacja gnojowicy może jednak powodować nadmierną akumulację azotanów (23, 63) i fosforu (4) w glebie.

Siew bezpośredni (w porównaniu z uprawą konwencjonalną) oceniono słabiej, ponieważ istotne efekty stwierdzono tylko w odniesieniu do zawartości przyswajalnych form fosforu i azotu mineralnego. Odnotowano jedynie tendencje wzrostu zawartości azotu ogólnego oraz spadku zasobu N ogólnego i zawężenia stosunku C:N. Istotnie pozytywny wpływ siewu bezpośredniego stwierdzono (na podstawie

30 porównań) w przypadku zawartości przyswajalnych form fosforu. Wzrost ten był szczególnie wyraźny w południowych i północnych strefach klimatycznych, a w strefach wschodnich był słaby. Większy wpływ siewu bezpośredniego stwierdzono na glebach piaszczystych niż gliniastych. Silniejsza reakcja zawartości przyswajalnych form fosforu występowała w płytkiej (<10 cm) warstwie gleby niż głębszej (10–30 cm), przy czym nie zależała od długości okresu stosowania zabiegu. Dane dotyczące zawartości N_{min} pochodziły tylko z południowej strefy klimatycznej i gleb piaszczystych, próbki gleby pobierano po długim (>20 lat) okresie stosowania technik siewu bezpośredniego. Średni wzrost zawartości N_{min} w glebie wynosił 15%. Słaby, lekko negatywny wpływ siewu bezpośredniego na zawartość przyswajalnych form potasu, przy jednoczesnym silnym pozytywnym wpływie uprawy uproszczonej jest nieco zaskakujący. Wytlumaczyć to można jednak tym, że wszystkie porównania, chociaż było ich tylko 5, dotyczyły doświadczeń w południowej strefie klimatycznej, podczas gdy eksperymenty z uprawą uproszczoną (26 porównań, w tym 24 z jednego doświadczenia) prowadzono w warunkach wschodnich stref klimatycznych. Porównanie wpływu obu zabiegów na zawartość przyswajalnych form potasu pozostaje zatem trudne do oceny.

Techniki siewu bezpośredniego są stosowane zwykle w celu ograniczenia kosztów paliwa i zużycia siły roboczej, ale mogą także mieć pozytywny wpływ na właściwości chemiczne gleby, w tym na bilans azotu (44, 61). Jak wykazał Oorts i in. (47), wieloletnie stosowanie siewu bezpośredniego wpływa na zwiększenie zasobów węgla i azotu w glebie w większym stopniu niż konwencjonalna uprawa orkowa ze względu na lepszą ochronę materii organicznej już znajdującej się w glebie oraz ograniczenie mineralizacji aktualnie wnoszonego materiału. Jednakże różnice w zasobach SOM pomiędzy tymi systemami uprawy zależą też od innych czynników, tj. skład granulometryczny gleby, skała macierzysta, klimat, zawartość materii organicznej, system uprawy roślin, historia uprawy gleby oraz jej właściwości fizyczne (8, 15, 18). Fizyczna ochrona materii organicznej przez strukturę gleby w warunkach siewu bezpośredniego jest często określana jako istotny czynnik ograniczający mineralizację materii organicznej w stosunku do konwencjonalnej uprawy orkowej (8). Jednakże Oorts i in. (47) wykazali, że zasób azotu obliczony w stosunku do suchej masy gleby w warunkach siewu bezpośredniego był tylko o 10–15% większy niż w warunkach uprawy orkowej. W badaniach innych autorów (9, 19, 66) system siewu bezpośredniego wpływał na obniżenie pH w warstwie ornej gleby. Według Stevensona (65) mogło to być związane ze zwiększoną mineralizacją, w wyniku której uwalniały się składniki pokarmowe (w szczególności NH₃), których utlenianie może przyczyniać się do powstawania wolnych jonów H⁺. Hansen i Djurhuus (25) wykazali, że siew bezpośredni wpływał na ograniczenie wymywania azotu o 13 kg N·ha⁻¹ w porównaniu z uprawą orkową na lekkiej glebie piaszczystej. W wielu badaniach różnych autorów (19, 27, 28, 41, 50) odnotowano wpływ stosowania siewu bezpośredniego na wzrost zawartości azotu, fosforu, potasu i węgla organicznego w wierzchniej (0–5 cm) warstwie gleby. W warstwie 5–20 cm stwierdzono także zwiększenie za-

wartości fosforu i potasu, ale jednocześnie zmniejszenie zawartości azotu ogólnego i węgla organicznego w porównaniu z uprawą konwencjonalną.

Większość badań nad przyorywaniem resztek poźniwnych dotyczyło słomy zbóż i kukurydzy oraz pozostałości chmielu i buraków cukrowych. Zabieg ten, w porównaniu z usuwaniem resztek z pola, skutkował lekkim, ale istotnym wzrostem zawartości azotu ogólnego oraz poszerzeniem stosunku C:N. Największy wzrost zawartości Nog (RR = 1,08) stwierdzono w południowych strefach klimatycznych, aczkolwiek tylko dla dwóch porównań, mniejszy zaś (RR = 1,03) w północnych strefach (18 porównań). Pozytywny wpływ zaobserwowano też na glebach gliniastych i ilastych oraz w doświadczeniach trwających dłużej niż 10 lat. Przyorywanie resztek poźniwnych w okresie 11–20 lat sprzyjało uzyskaniu szerszego stosunku C:N w porównaniu ze stosowaniem zabiegu przez okres krótszy (5–10 lat).

Resztki poźniwne uczestniczą w długoterminowym utrzymaniu materii organicznej gleby i jej żyzności (64). Spośród składników pokarmowych najczęściej wnoszą do gleby K, N i Ca. Pozostałości roślin zbożowych są bogatsze w składniki jednowartościowe, a bobowate – w azot (58). W doświadczeniach wieloletnich prezentowanych przez Uhlen (69) coroczne przyorywanie słomy zbożowej powodowało niewielki wzrost zawartości C i N w glebie oraz poszerzenie stosunku C:N. Około 30–40% tego azotu pozostawało w formie N organicznego w wierzchnich warstwach gleby. Rasmussen i Collins (57) stwierdzili silną zależność pomiędzy przyorywaniem resztek poźniwnych i zawartością azotu ogólnego w glebie.

W meta-analizie uwzględniono wiele typów zmianowań, które różniły się gatunkami roślin oraz długością cyklu, która wahała się zwykle od 2 do 6 lat. Zmianowania, które obejmowały rośliny zbożowe, bobowate, okopowe, korzeniowe i krótkotrwale użytki zielone odnoszono do monokultury jako zabiegu referencyjnego. Stwierdzono, że uprawa w zmianowaniu powoduje tendencję wzrostu zawartości azotu ogólnego w glebie, ale jednocześnie wpływa na zmniejszenie zawartości przyswajalnych form potasu i zwężenie stosunku C:N.

Badania wieloletnie wykazały, że właściwe następstwo roślin stanowi podstawę wysokiej produktywności roślin (43), która w warunkach monokultury jest możliwa tylko poprzez stosowanie nawożenia mineralnego i chemicznej ochrony roślin (12, 17). Uprawa w monokulturze powoduje często obniżenie poziomu plonowania (52, 55).

Spośród roślin jednorocznych zboża na ogół pozostawiają najwięcej resztek poźniwnych, podczas gdy rośliny takie jak: bobowate grubonasienne, fasola czy korzeniowe produkują ich znacznie mniej. A zatem, zawartość materii organicznej SOM w glebie jest zwykle mniejsza w zmianowaniu kukurydza – soja niż w monokulturze kukurydzy (49). W badaniach Zielke i Christensen (75) zmiany zawartości SOM w glebie *Soil Organic Matter* – SOM) w okresie 6 rotacji zmianowania uwzględniających kukurydzę, burak cukrowy, fasolę, owies i lucernę korelowano bezpośrednio z ilością zwróconych do gleby resztek poźniwnych i udziału kukurydzy w tych zmianowaniach. Stwierdzono, że włączenie do zmianowania wieloletnich roślin pastewnych (tzn. pastwisk) wpływa na wzrost zawartości SOM, podobnie jak

w zmianowaniach uwzględniających tylko rośliny jednoroczne. W doświadczeniach prowadzonych na terenie Europy, w których do zmianowania roślin jednorocznych na 3 lub więcej lat włączono pastwiska stwierdzono do 25% większe zawartości SOM niż w zmianowaniach uwzględniających tylko rośliny jednoroczne (46, 70). Zmiany zawartości SOM mogą oczywiście powodować modyfikacje innych parametrów chemicznych gleb. W badaniach Aziz i in. (6) zmianowanie wpływało na zmiany zawartości azotu ogólnego. Gleba, na której uprawiano rośliny w zmianowaniu kukurydza–soja–pszenica–groch krowi charakteryzowała się istotnie większą zawartością N ogólnego, niż na której uprawiano kukurydzę w monokulturze lub na przemian z soją. Wartości parametrów chemicznych gleby pod uprawą w zmianowaniu zmniejszały się na ogół wraz z głębokością w profilu. Oznacza to, że stosowanie zmianowania może być bardziej efektywne w utrzymywaniu i poprawie jakości gleby niż monokultura. Inne badania (32) podkreślały wpływ azotu ogólnego dostarczanego do gleby w wyniku stosowania następstwa roślin na odczyn pH. Niższy odczyn gleby w monokulturze kukurydzy niż w zmianowaniu uzasadniono większym dopływem N ogólnego.

Wskaźniki reakcji RR na uprawę roślin poplonowych/okrywowych, które były usuwane z pola przed zbiorem rośliny następczej oraz roślin uprawianych na zielony nawóz odpowiadały niewielkiej liczbie porównań, dlatego też nie zostały uwzględnione w metaanalizie. Rośliny takie są stosowane na ogół w celu zrównoważenia środowiskowych skutków intensywnej uprawy roślin. W warunkach klimatu umiarkowanego mogą one pobierać składniki pokarmowe z gleby w okresie zimowym (38). Poza tym, przykrywając glebę, wpływają na ograniczenie erozji wietrznej i wodnej. Przyorane do gleby nawozy zielone stanowią dodatkowe źródło energii oraz przyczyniają się do sekwestracji węgla. Rośliny bobowate uprawiane jako poplon lub roślina okrywowa mogą być dodatkowym źródłem azotu, który wiąże biologicznie z atmosfery i poprawiają w ten sposób żyzność gleby (24, 35, 71). Według Eversa (22) pastewne rośliny bobowate zawierają 3–4% azotu, który może pochodzić zarówno z gleby, jak i powietrza. Kiedy rośliny motylkowe są wprowadzane do gleby, ich biomasa zasobna w azot uczestniczy w zwiększaniu zasobów materii organicznej w glebie. Podobną rolę spełniają rośliny inne niż bobowate, które nie wiążą azotu z powietrza. Rośliny te pobierają resztki azotu pozostałe po zbiorze plonu głównego. Można przypuszczać, że rośliny uprawiane na zielony nawóz wpływają na zwiększenie zawartości azotu organicznego w glebie i zawężają w ten sposób stosunek C:N.

Podsumowanie

Praca przedstawia wyniki ekstensywnej metaanalizy danych dotyczących wpływu zabiegów agrotechnicznych prowadzonych w zróżnicowanych warunkach glebowych i klimatycznych na wybrane właściwości chemiczne gleb, wykonanej na podstawie danych pochodzących z opublikowanych doświadczeń wieloletnich prowadzonych na terenie całej Europy. W analizie uwzględniono następujące wskaźniki: odczyn pH gleby, zawartość N ogółem, zasób N ogółem, stosunek C:N, zawartość mine-

ralnych form azotu (N_{min}) oraz przyswajalnych form potasu i fosforu. Spośród zabiegów agrotechnicznych uwzględniono: zmianowanie, stosowanie poplonów i roślin okrywowych (zabieranych z pola) oraz przyorywanie nawozów zielonych, siew bezpośredni, uprawę uproszczoną, nawożenie mineralne, nawożenie kompostem, obornikiem, gnojowicą oraz przyorywanie resztek poźniwnych. Biorąc pod uwagę wszystkie wskaźniki reakcji RR oraz statystyczną ocenę ich istotności, a także ilość wskaźników reagujących pozytywnie i wielkość tej reakcji, za najlepsze zabiegi agrotechniczne uznano: stosowanie obornika, uproszczoną uprawę roli, nawożenie kompostem, nawożenie mineralne, siew bezpośredni.

Literatura

1. Alluvione F., Halvorson A.D., Del Grosso S.J.: Nitrogen, tillage, and crop rotation effects on carbon dioxide and methane fluxes from irrigated cropping systems. *J. Environ. Qual.*, 2009, **38**: 2023-2033.
2. Alluvione F., Bertora C., Zavattaro L., Grignani C.: Nitrous oxide and carbon dioxide emissions following green manure and compost fertilization in corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2010, **74**: 384.
3. Alluvione F., Fiorentino N., Bertora C., Zavattaro L., Fagnano M., Chiarandà F.Q., Grignani C.: Short-term crop and soil response to C-friendly strategies in two contrasting environments. *Eur. J. Agron.*, 2013, **45**: 114-123.
4. Anderson R., Wu Y.: Phosphorus quantity-intensity relationships and agronomic measures of P in surface layers of soil from a long-term slurry experiment. *Chemosphere*, 2001, **42**: 161.
5. Anon. Fertiliser recommendations for agricultural and horticultural crops (RB209), 7th edn. The Stationery Office, Norwich., 2000.
6. Aziz I., Ashraf T., Mahmood T., Islam K.R.: Crop rotation impact on soil quality. *Pak. J. Bot.*, 2011, **43**(2): 949-960.
7. Baker J.M., Ochsner T.E., Venterea R.T., Griffis T.J.: Tillage and soil carbon sequestration – What do we really know? *Agric. Ecosyst. Environ.*, 2007, **118**: 1-5.
8. Balesdent J., Chen C., Balabane M.: Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil Till. Res.*, 2000, **53**: 215-230.
9. Blecharczyk A., Małecka I., Sierpowski J.: Wpływ wieloletniego oddziaływania systemów uprawy roli na fizyko-chemiczne właściwości gleby. *Fragm. Agron.*, 2007, **1**: 7-13.
10. Bolan N.S., Hedley M.J., White R.E. Processes of soil acidification during nitrogen cycling with emphasis on legume-based pastures. *Plant Soil*, 1991, **134**: 53-63.
11. Böckman O.C.: Fertilizers and biological nitrogen fixation as sources of plant nutrients: Perspectives for future agriculture. *Plant Soil*, 1997, **194**: 11-14.
12. Bullock D.G.: Crop rotation. *Crit. Rev. Plant Sc.*, 1992, **11**(4): 309-326.
13. Chambers B.J., Lord E.I., Nicholson F.A., Smith K.A.: Predicting nitrogen availability and losses following application of manures to arable land: MANNER. *Soil Use & Management*, 1999, **15**: 137-143.
14. Cherr C.M., Scholberg J.M.S., McSorley R.: Green manure approaches to crop production: A synthesis. *Agron. J.*, 2006, **98**: 302-319.
15. Collins H.P., Elliott E.T., Paustian K., Bundy L.G., Dick W.A., Huggins D.R. et. al.: Soil carbon pools and fluxes in long-term corn belt agroecosystems. *Soil Biol. Biochem.*, 2000, **32**: 157-168.
16. Crews T.E., Peoples M.B.: Legume versus fertilizer sources of nitrogen: Ecological tradeoffs and human needs. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 2004, **102**: 279-297.

17. Crookston R.K., Kurle J.E., Copeland P.J., Ford J.H., Lueschen W.E.: Rotational cropping sequence affects yield of corn and soybean. *Agronom. J.*, 1991, **83**: 108-113.
18. Doran J.W.: Microbial biomass and mineralizable nitrogen distributions in no-tillage and plowed soils. *Biol. Fertility Soils*, 1987, **5**: 68-75.
19. Dziemia S., Pużyński S., Wereszczaka J.: Impact of soil cultivation systems on chemical soil properties. *EJPAU, Agronomy*, 2001, **4(2)**: <http://www.ejpau.media.pl>.
20. Eriksen G.N., Coale F.J., Bollero G.A.: Soil nitrogen dynamics and maize production in municipal solid waste amended soil. *Agron. J.*, 1999, **91**: 1009-1016.
21. Epstein E., Taylor J.M., Chancy R.L.: Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical properties. *J. Environ. Quality*, 1976, **5(4)**: 422-426.
22. Evers G.W.: Legume nitrogen fixation and transfer. 2001, available online <http://overtone.tamu.edu/clover/cool/nfix.htm>.
23. Gangbazo G., Pesant A.R., Barnett G.M., Chauruest J.P., Cluis D.: Water contamination by ammonium nitrogen following the spreading of hog manure and mineral fertilizers. *J. Environ. Qual.* 1995, **24**: 420.
24. Gselman A., Kramberger B. Benefits of winter legume cover crops require early seeding. *Au. J. Agr. Res.*, 2008, **59**: 1156-1163.
25. Hansen E.M., Djurhuus J.: Nitrate leaching as influenced by soil tillage and catch crop. *Soil Tillage Res.*, 1997, **41**: 203-219.
26. Holland J.M.: The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 2004, **103**: 1-25.
27. Hussain I., Olson K.R., Ebelhar S.A.: Long-term tillage effects on soil chemical properties and organic matter fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1999, **63**: 1335-1341.
28. Idkowiak M., Kordas L.: Changes in chemical and biological properties of the soil under reduced tillage and varying nitrogen fertilization. *Fragm. Agron.*, 2004, **3**: 40-48.
29. Ikumoto H.: Estimation of potential supply of livestock waste compost to replace chemical fertilizer use in Japan based on 2000 census of agriculture. *Jpn. Agric. Res. Q.*, 2005, **39**: 83-89.
30. Johnston A.E.: The Rothamsted classical experiments. In: Long-Term Experiments in Agricultural and Ecological Sciences, R.A. Leigh and A.E. Johnston (eds). *Proceedings of a Conference to Celebrate the 150th Anniversary of Rothamsted Experimental Station, 14-17 July 1993*. CAB International, Wallingford, UK, 1994, pp. 9-37.
31. Johnston A.E., Mattingly G.E.G.: Experiments on the continuous growth of arable crops at Rothamsted and Woburn Experimental Stations. Effects of treatments on crop yields and soil analysis and recent modification in purpose and design. *Ann. Agron.*, 1976, **27(54)**: 927-956.
32. Karlend L., Berry E.C., Colvin T.S., Kanwar R.S.: Twelve year tillage and crop rotation effects on yields and soil chemical properties in northeast Iowa. *Comm. Soil Sci. Plant Analysis*, 1991, **22**: 1985-20003.
33. Kaszubiak H., Durska G., Kaczmarek W., Filoda G.: Effect of slurry on microorganisms and chemical properties of soil. *Zentralblatt für mikrobiologie*, 1983, **138(7)**: 501-509.
34. Koszański Z., Karczmarczyk S., Podsiadło C.: Effect of irrigation and nitrogen fertilization on winter wheat and triticale cultivated on good rye soil complex. Part III. Water management and chemical soil properties. *Zesz. Nauk. AR Szczecin*, 1995, **165(59)**: 51-56.
35. Kuo S., Sainju U.M.: Nitrogen mineralization and availability of mixed leguminous and non-leguminous cover crop residues in soil. *Biology and Fertility of Soils*, 1998, **26**: 346-353.
36. Lal R., Kimble J.M.: Conservation tillage for carbon sequestration. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1997, **49**: 243-253.
37. Lal R. Challenges and opportunities in soil organic matter research. *Eu. J. Soil Sci.*, 2009, **60**: 158-169.

38. Lemaire G., Recous S., Mary B.: Managing residues and nitrogen in intensive cropping systems. New understanding for efficient recovery by crops. In: Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, 26 Sept–1 Oct 2004, Brisbane, Australia 2004, www.cropsscience.org.au/icsc2004/.
39. Luo Z., Wang E., Sun, O.J.: Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils? A meta-analysis of paired experiments. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 2010, **139**: 224-231.
40. Lynch D.H., Voroney R.P., Warman P.R.: Use of ^{13}C and ^{15}N natural abundance techniques to characterize carbon and nitrogen dynamics in composting and in compost-amended soils. *Soil Biol. Biochem.*, 2006, **38**: 103-114.
41. Małecka I., Blecharczyk A., Dobrzeński T.: Changes in soil physical and chemical properties caused by reduced tillage. *Fragm. Agron.*, 2007, **1**: 182-189.
42. Metzger M.J., Bunce R.G.H., Jongman R.H.G., Mucher C.A., Watkins J.W.: A climatic stratification of the environment of Europe. *Global Ecol. Biogeogr.*, 2005, **14**: 549-563.
43. Mitchell C.C., Westerman R.L., Brown J.R., Peck T.R.: Overview of long-term agronomic research. *Agron. J.*, 1991, **83**: 24-29.
44. Mitsch W.J., Day J.W., Gilliam J.W., Groffman P.M., Hey D.L., Randall G.W., Wang N.: Reducing nitrogen loads, especially nitrate-nitrogen, to surface water, groundwater, and the Gulf of Mexico: topic 5 report for the integrated assessment on hypoxia in the Gulf of Mexico. NOAA Coastal Ocean Program Decision Analysis Series No. 19, NOAA Coastal Oceans Program, Silver Spring, MD, 1999, p. 111.
45. N'Da y e g a m i y e A., Tran T.S.: Effects of green manures on soil organic matter and wheat yields and N nutrition. *Can. J. Soil Sci.*, 2001, **81**: 371-382.
46. Nilsson L.G.: Data of yield and soil analysis in the long-term soil fertility experiments. *J. Royal Swedish Academy of Agriculture and Forestry*, 1986, **18**: 32-70.
47. Oorts K., Bossuyt H., Labreuche J., Merckx R., Nicolardot B.: Carbon and nitrogen stocks in relation to organic matter fractions, aggregation and pore size distribution in no-tillage and conventional tillage in northern France. *Eu. J. Soil Sci.*, 2007, **58**: 248-259.
48. Panak H., Wojnowska T., Sienkiewicz S.: Changes of some chemical and physical parameters of Ketrzyn black soils as influenced by intensive nitrogen fertilization. *Rocz. Glebozn.*, 1996, **3/4**: 41-46.
49. Paustian K., Andren O., Janzen H.H., Lal R., Smith P., Tian G., et al.: Agricultural soils as a sink to mitigate CO_2 emissions. *Soil Use Manage.*, 1997, **13**: 230-244.
50. Pecio A., Niedźwiecki J.: Effect of tillage depth on physical and chemical soil properties. 5th International Soil Conference ISTRO Czech Branch–Brno 2008, 141-147.
51. Pecio A., Sypa, Fotyma M., Jarosz Z.: Impacts of soil management on chemical soil quality. Catch-C “Compatibility of Agricultural Management Practices and Types of Farming in the EU to Enhance Climate Change Mitigation and Soil Health”. 2014, www.catch-c.eu.
52. Peterson T.A., Varvel G.E.: Crop yield as affected by rotation and nitrogen rate. III Corn. *Agron. J.*, 1989, **81**: 735-738.
53. Piccolo A., Spaccini R., Nieder R., Richter J.: Sequestration of biologically labile organic carbon in soils by humified organic matter. *Clim. Change*, 2004, **67**: 329-343.
54. Plaza C., García-Gil C., Polo A.: Effects of pig slurry application on soil chemical properties under semiarid conditions. *Agrochimica*, 1997, **36**: 1-2.
55. Power J.F., Follett R.F.: Monoculture. *Scien. Am.*, 1987, **256(3)**: 57-64.
56. Rasmussen K.J.: Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: A Scandinavian review. *Soil Till. Res.*, 1999, **53**: 3-14.
57. Rasmussen P.E., Collins H.P.: Long-term impacts of tillage, fertilizer, and crop residue on soil organic matter in temperate semiarid regions. *Adv. Agron.*, 1991, **45**: 93-134.
58. Rodríguez-Lizana A., Carbonell R., González P., Ordóñez R.: N, P and K released by the field decomposition of residues of a pea-wheat-sunflower rotation. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 2010, **87**: 199-208.

59. Schlegel A.J.: Effect of composted manure on soil chemical properties and nitrogen use by grain sorghum. *J. Prod. Agr.*, 2013, **5(1)**: 153-157.
60. Sharpley A.N., Smith S.J.: Nitrogen and phosphorus forms in soils receiving manure. *Soil Sci.*, 1995, **159**: 253.
61. Smith S.J., Schepers J.S., Porter L.K.: Assessing and managing agricultural nitrogen losses to the environment. *Adv. Soil Sci.*, 1990, **14**: 1-43.
62. Spaccini R., Piccolo A., Conte P., Haberhauer G., Gerzabek M.H.: Increased soil organic carbon sequestration through hydrophobic protection by humic substances. *Soil Biol. Biochem.*, 2002, **34**: 1839-1851.
63. Spadring, R.J., Exner M.E.: Occurrence of nitrate in groundwater. A review. *J. Environ. Qual.*, 1993, **22**: 392.
64. Sparrow S.D., Lewis C.E., Knight C.W.: Soil quality response to tillage and crop residue removal under subarctic conditions. *Soil Till Res.*, 2006, **91(1-2)**: 15-21.
65. Stevenson F.J.: *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reaction*, 2nd ed. Wiley, New York. 1994.
66. Tarkalson D.D., Hergert G.W., Cassman K.G.: Long-term effects of tillage on soil chemical properties and grain yields of a dryland winter wheat-sorghum/corn-fallow rotation in the Great Plains. *Agron. J.*, 2006, **98**: 26-33.
67. Tejada M., Gonzalez J.L.: Effects of the application of a compost originating from crushed cotton gin residues on wheat yield under dryland conditions. *Eur. J. Agron.*, 2003, **19**: 357-368.
68. Tejada M., Gonzalez J.L., Garcia-Martinez A.M., Parrado J.: Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. *Bioresour Technology*, 2008, **99(6)**: 1758-1767.
69. Uhlen G.: Long-term effects of fertilizers, manure, straw and crop rotation on total-N and total-C in soil. *Acta Agric. Scand.*, 1991, **41**: 119-127.
70. VanDijk H.: Survey of Dutch soil organic matter research with regard to humification and degradation rates in arable land. In: *Land use seminar on soil degradation*, D. Boels, D.B. Davies and A.E. Johnston (eds.). Wageningen, October 1980. Rotterdam: Balkema, 1982, 133-1430.
71. Vaughan J.D., Hoyt G.D., Wollum IIA.G.: Cover crop nitrogen availability to conventional and no-till corn: soil mineral nitrogen, corn nitrogen status, and corn yield. *Comm. Soil Sci. Plant Analysis*, 2000, **31**: 1017-1041.
72. Vogeler I., Rogasik J., Funder U., Kerstin Panten K., Schnug E.: Effect of tillage systems and P-fertilization on soil physical and chemical properties, crop yield and nutrient uptake. *Soil Till. Res.*, 2009, **103**: 137-143.
73. West T.O., Post W.M.: Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2002, **66**: 1930-1946.
74. Whitehead D.C.: *Grassland nitrogen*, Guildford, UK: CABI/Biddles. 1995, pp. 397.
75. Zielke R.C., Christensen D.R.: Organic carbon and nitrogen changes in soil under selected cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1986, **50**: 363-367.

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Alicja Pecio
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. 81 47 86 834
e-mail: alap@iung.pulawy.pl

Dorota Pikula

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

WPLYW WIELOLETNIEGO NAWOŻENIA SŁOMĄ NA PLONOWANIE ROŚLIN I ŻYZNOŚĆ GLEBY*

Słowa kluczowe: humus, nawożenie słomą, żyzność gleby, doświadczenie wieloletnie

Wstęp

Żyzność gleby to naturalna jej zdolność do zaspokajania potrzeb roślin, kształtowana przez zespół morfologicznych, fizycznych, chemicznych, fizykochemicznych, biochemicznych i biologicznych właściwości gleby (4, 32, 40). Uproszczenia zmianowań, uprawa zbóż w monokulturach, jak również stosowanie dużych ilości nawozów mineralnych oraz chemicznych środków ochrony roślin prowadzą do zmian liczby i struktury mikroorganizmów, w tym odpowiedzialnych za obieg materii i żyzność gleby, co w dłuższym przedziale czasowym prowadzi do spadku jej żyzności, a nawet degradacji (2, 21). Na przestrzeni ostatnich kilku lat w krajach Unii Europejskiej dostrzega się znaczące pogorszenie jakości gleb użytkowanych rolniczo, co w efekcie powoduje zakłócenie pełnionych przez nie funkcji (19). Jednym ze sposobów przywracania żyzności gleb jest nawożenie obornikiem. Jednakże ze względu na utrzymujący się od kilkunastu lat trend spadku pogłowia zwierząt gospodarskich, a więc i produkcji obornika, dla utrzymania zrównoważonego bilansu próchnicy i żyzności gleby w wielu gospodarstwach konieczne jest zastąpienie go słomą. Według oceny IUNG-PIB w skali kraju powinno się wykorzystywać do celów nawozowych ok. 3,5 mln t słomy zbóż, roślin strączkowych i rzepaku (30).

Produkcja i wykorzystanie słomy w Polsce

Zmiany, jakie zaszły w ostatnich latach w systemie utrzymania i żywienia zwierząt spowodowały, że aktualnie zapotrzebowanie na słomę wykorzystywaną na ściółkę

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

i paszę znacznie zmalało. W tej sytuacji w wielu gospodarstwach, a nawet niektórych rejonach Polski obserwuje się nadwyżkę słomy. Według różnych szacunków rocznie w Polsce produkuje się 23–33 mln t słomy (11, 13, 16, 30). W strukturze produkcji dominuje słoma zbóż, ale jej udział zmniejsza się z 94% w latach 80. do 86% w 2009 r. na korzyść słomy z kukurydzy i roślin oleistych. Najwyższe plony słomy zbóż podstawowych zebrano w 2010 r. – 23,6 tys. t, najmniejsze w 2012 r. – 19,9 tys. t (42). W latach 2005–2013 znacznie spadły plony słomy lnu, z 2,19 t·ha⁻¹ w 2010 r. do zaledwie 1,57 t·ha⁻¹ w 2013 r. W łącznym zbiorze słomy zbóż przeważają zbiory słomy zbóż ozimych (17, 42). Ocenia się, że nadwyżka słomy do wykorzystania poza rolnictwem wynosi 8–10 mln t (14, 16, 30, 31).

Z wykonanych ostatnio obliczeń wynika, że w Polsce na przyoranie przeznaczają się ok. 11% wyprodukowanej słomy, w gminie nawet 55% (12), a w skali kraju ok. 3 mln t słomy (11, 16, 30). Do celów nawozowych wykorzystuje się głównie słomę zbóż ozimych.

Zawartość składników pokarmowych w słomie i jej wartość nawozowa

Zgodnie z zasadami rolnictwa zrównoważonego zwiększenie udziału nawozów naturalnych w zmianowaniu lub ich efektywniejsze wykorzystanie umożliwiałoby ograniczenie dawek nawozów mineralnych (50). Słoma zawiera wszystkie składniki pokarmowe niezbędne do prawidłowego rozwoju roślin (17, 34, 37). Zawartość makro- i mikroelementów w słomie zależy głównie od gatunku rośliny, ale zmienia się również w zależności od czynników agrotechnicznych i siedliskowych (tab. 1 i 2). Słoma pozyskiwana z kukurydzy, gryki, roślin strączkowych i rzepaku jest bogatsza w składniki pokarmowe w porównaniu ze słomą zbóż. Największą wartością nawozową spośród słomy zbóż charakteryzują się słoma jęczmienia i owsa. Składnikiem nawozowym dominującym w słomie jest potas (tab. 1).

Tabela 1
Przeciętna zawartość makro- i mikroelementów w słomie zbóż różnych gatunków roślin

Gatunek zbóż	Makroelementy (g·kg ⁻¹ s.m.)				
	azot (N)	fosfor (P)	potas (K)	wapń (Ca)	magnez (Mg)
Żyto	5,3	0,8	10,3	2,0	0,7
Pszenica	6,4	1,1	11,7	2,7	0,9
Jęczmień	6,5	1,2	17,0	5,1	1,2
Owies	7,8	1,5	22,8	4,8	1,2
	Mikroelementy w mg·kg ⁻¹ s.m				
	mangan (Mn)	miedź (Cu)	bor (B)	molibden (Mo)	cynk (Zn)
Żyto	32	1,8	1,8	0,26	8
Pszenica	25	5,1	2,8	0,33	20
Jęczmień	24	4,1	4,8	0,28	22
Owies	70	3,6	4,0	0,31	48

Źródło: Mercik, 2002 (37)

Tabela 2

Przeciętna zawartość makroelementów w słomie roślin uprawnych

Roślina uprawna	Zawartość suchej masy (%)				
	azot (N)	fosfor (P)	potas (K)	wapń (Ca)	magnez (Mg)
Pszenica ozima	0,67	0,11	1,06	0,28	0,09
Pszenica jara	0,73	0,12	1,11	0,28	0,09
Żyto	0,60	0,11	1,01	0,24	0,08
Pszenżyto ozime	0,59	0,11	1,05	0,24	0,08
Jęczmień ozimy	0,86	0,14	1,26	0,41	0,10
Jęczmień jary	0,80	0,12	1,23	0,40	0,10
Owies	0,76	0,16	1,89	0,35	0,11
Kukurydza	1,19	0,20	1,87	0,40	0,28
Gryka	1,06	0,29	1,92	0,90	0,28
Rzepak ozimy	0,70	0,13	1,73	1,61	0,13
Bobik	1,02	0,14	1,41	0,98	0,12
Groch	1,56	0,14	1,51	1,78	0,16
Łubin	1,20	0,15	1,54	1,07	0,13

Źródło: Harasim, 2011 (17)

Maćkowiak (34) podaje, że w 5 t słomy zbóż ozimych znajduje się średnio 30 kg azotu, 12 kg fosforu (P_2O_5), 62 kg potasu (K_2O), 17 kg wapnia (CaO), 7 kg magnezu (MgO) oraz mikroelementy.

Słoma rzepakowa charakteryzuje się natomiast największą zawartością składników pokarmowych, zwłaszcza potasu i wapnia. W 5 tonach słomy rzepaku znajduje się ok. 35 kg azotu, 15 kg fosforu (P_2O_5), 104 kg potasu (K_2O), 112 kg wapnia (CaO), 11 kg magnezu (MgO) oraz mikroelementy.

Dawki i zasady stosowania słomy

Wybór sposobu stosowania słomy na polu zależy od warunków siedliskowych. Słomą można nawozić poprzez mulczowanie, które polega na pokryciu powierzchni gleby słomą, a następnie, najczęściej po okresie ok. 3–4 tygodni wymieszania jej z wierzchnią warstwą gleby (6, 17). Inny sposób stosowania to płytkie przykrycie rozdrobnionej słomy za pomocą podorywki lub głębsze jej przyoranie z wykorzystaniem orki przedsiewnej. Słomą można również nawozić, aplikując ją łącznie z nawozami zielonymi lub stosować wraz z gnojowicą.

W celach nawozowych w pierwszej kolejności zaleca się przyorywać słomę kukurydzy uprawianej na ziarno, rzepakową i słomę roślin strączkowych. Słoma jest stosowana zazwyczaj w dawkach uzależnionych od jej plonu, ok. 4–6 t·ha⁻¹. Działanie nawozowe słomy zależy od stopnia jej rozdrobnienia, rozproszczenia na powierzchni gleby i wymieszania z warstwą orną gleby. Na rozkład słomy w glebie mają wpływ głównie takie czynniki, jak: temperatura, wilgotność i odczyn gleby, dostępność azotu

oraz głębokość przyorania (9, 26). Optymalny rozkład słomy zachodzi przy wilgotności gleby 60–70% i temperaturze wynoszącej co najmniej 15°C. Korzystny odczyn gleby dla rozkładu masy organicznej słomy mieści się w zakresie pH 6,0–7,0 (9, 17). Oprócz wymienionych czynników duże znaczenie dla rozkładu słomy w glebie ma głębokość jej przyorania. Przyoranie słomy na głębokość 8–12 cm powoduje szybki jej rozkład w glebie. Na glebach lekkich słomę można przyorać głębiej. Należy natomiast unikać zbyt głębokiego przyorywania słomy na glebach cięższych z powodu braku tlenu w głębszych warstwach gleby, którego deficyt hamuje procesy rozkładu. Słoma zbóż i kukurydzy przeznaczona do nawożenia powinna być dobrze rozdrobniona (im krótsze odcinki, tym lepiej się rozkłada w glebie), gdyż przemiany mikrobiologiczne i chemiczne zachodzą wówczas szybciej (9). W przypadku słomy rzepaku stopień rozdrobnienia ma już mniejsze znaczenie, gdyż słoma rzepaku jest krucha, co ułatwia jej wymieszanie z glebą. Badania naukowe potwierdzają, że źle rozdrobniona i nierównomiernie rozrzucona na polu słoma utrudnia wschody roślin następczych (6, 17), a w okresie suszy akumuluje wodę, zabierając ją roślinom uprawnym. W okresach zbyt dużych opadów produkty rozkładu słomy mogą hamować kiełkowanie nasion.

Stosując słomę na cele nawozowe, konieczne jest zapobieganie unieruchomieniu azotu w glebie oraz zastosowanie odpowiedniej korekty w nawożeniu. W tym celu wykorzystuje się następujący wzór umożliwiający obliczenie dawki azotu w nawozach mineralnych, jaką należy zastosować, aby zrekompensować „niedobór” tego składnika w słomie (15):

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

gdzie:

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

P_{no} – masa słomy ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$),

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

Dolna granica zawartości azotu w nawozach organicznych, chroniąca przed trwałym unieruchomieniem azotu mineralnego gleby, wynosi $12 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$. Oznacza to, że wprowadzane do gleby nawozy organiczne o mniejszej zawartości azotu wymagają zastosowania odpowiedniej korygującej dawki azotu mineralnego.

Słomą można nawozić wszystkie rośliny uprawy polowej i stosować ją na wszystkich glebach, z wyjątkiem gleb zakwaszonych, przesuszonych, charakteryzujących się małą aktywnością mikrobiologiczną. W takich siedliskach może dochodzić do rozwoju grzybów, które wpływają niekorzystnie na rozkład słomy, a w glebie powstają toksyczne związki dla roślin. Przyjmuje się, że 80% materii organicznej słomy ulega rozkładowi w glebie dopiero po upływie 180 dni od terminu jej przyorania. Z tego względu nawożenie słomą na danym polu nie jest wskazane częściej niż co dwa lata. Badania naukowe potwierdzają, że częste przyorywanie słomy zbóż ozimych może nasilać występowanie niektórych chorób (7, 8, 38, 45, 46). Może to również powodować powstawanie w glebie biologicznie czynnych substancji o inhibicyjnym działaniu

na zboża, które m.in. ograniczają początkowy wzrost roślin, pogarszają zaopatrzenie roślin ozimych w azot w związku z jego pobieraniem przez mikroorganizmy glebowe. W pierwszym roku po przyoraniu słomy rośliny wykorzystują z niej ok. 40% azotu, 25% fosforu i ponad 50% potasu (34).

Wpływ słomy na glebę i plonowanie roślin

Działanie plonotwórcze i reprodukcyjne nawozów naturalnych i organicznych zależy od zawartości w nich składników pokarmowych i suchej masy popielnej. Lynch i Panting (18, 33) wskazują, że słoma jest ważnym źródłem składników energetycznych dla całego zespołu organizmów glebowych, ponieważ dostarcza do $2800 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ węgla w ciągu roku.

Wprowadzenie do gleby słomy lub mikroorganizmów to niektóre z możliwych zabiegów ograniczających niekorzystne zmiany w agrosystemach monokultur i utrzymujących żyzność gleb (20, 24, 28). Wprowadzona do gleby świeża masa organiczna słomy powoduje szereg zmian w siedlisku pola uprawnego. Oddziaływanie nawozów naturalnych i organicznych na glebę i rośliny, należy zawsze rozpatrywać w kontekście środowiskowym i produkcyjnym (5, 10, 35, 40). Działanie słomy rozkłada się na kilka lat i uwidacznia po upływie co najmniej trzech lat od zastosowania (17, 45). Efekty stosowania słomy zależą jednak od wielu, często współzależnych czynników, m.in. sposobu i terminu jej aplikacji, tempa i stopnia rozkładu, warunków siedliska (22, 23, 48). Powszechnie zalecany dodatek azotu mineralnego na przyorywaną słomę ogranicza niekorzystny wpływ biologicznego uwstecznienia przyswajalnego azotu, a nawet pozwala uzyskać kilkuprocentowy wzrost plonu ziarna zbóż. Wyniki badań potwierdzają, że okresowe (co 2–3 lata) nawożenie gleby słomą okazuje się korzystniejsze niż jej coroczne przyorywanie. Natomiast skuteczniejszy wpływ na plonowanie zbóż obserwuje się w latach o mniejszych opadach i gorszym ich rozkładzie w okresie wegetacji niż w latach o optymalnych warunkach wilgotnościowych (8, 22, 23, 29, 44, 45, 46).

Po zastosowaniu nawozów naturalnych i organicznych poprawiają się właściwości chemiczne, powietrzno-wodne, sorpcyjne i biologiczne gleby (41, 44). Gleba charakteryzuje się też lepszą strukturą. Od masy i rodzaju wprowadzonych do gleby nawozów naturalnych, organicznych i mineralnych zależy ilość dostępnego dla roślin azotu oraz zawartość węgla organicznego w glebie (3, 40, 43). Większość badań naukowych potwierdza, że nawożenie słomą powoduje wzrost materii organicznej w glebie (34, 35, 36). Współczynnik reprodukcji materii organicznej dla 1 tony masy słomy wynosi średnio $+0,175$ – $0,210$, dla porównania 1 tony obornika wynosi $+0,070$, a dla 1 m^3 gnojowicy $+0,014$ – $0,028$ (1). W 5 t suchej masy słomy znajduje się około 4,8 t materii organicznej, w tym 3,1 t substancji organicznej porównywalnej pod względem oddziaływania na odnowę puli próchnicy w glebie podobnej do substancji organicznej obornika. Odpowiada to 15,5 t obornika o zawartości 25% suchej masy (34).

Przykładem korzystnego oddziaływania słomy na zawartość próchnicy w glebie mogą być badania Puły i Łabazy (41). Badacze ci stwierdzili, że średnio za 4 lata zasobność gleby w próchnicę w stosunku do stanu wyjściowego wynoszącego $21,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ materii organicznej, po przyorywaniu słomy jęczmienia jarego i pszenżyta ozimego wzrosła odpowiednio o 4,5 i $3,8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Smağacz (46) również wskazuje, że przyorywanie słomy zwiększało w warstwie ornej gleby zawartość próchnicy i przyswajalnych składników pokarmowych. Wyższe wartości tych wskaźników po 4 latach badań stwierdzono w obiekcie, gdzie słomę przyorywano corocznie bez dodatkowej dawki azotu poprawiającej stosunek C:N w przyorywanej słomie.

Inni badacze wskazują jedynie na rolę słomy w stabilizacji zawartości próchnicy w glebie (4). Wpływ wprowadzonych do gleby nawozów organicznych na właściwości gleby jest więc niejednoznaczny, choć przeważają opinie o ich korzystnym oddziaływaniu (26, 27). Próchnicotwórcza wartość nawozów naturalnych i organicznych jest zróżnicowana (tab. 3.) W zależności od zawartości w nich C i N stosunek obu pierwiastków do siebie wpływa na przemiany azotu mineralnego w glebie. Jeśli stosunek C:N jest szerszy od 33,3:1, następuje trwale unieruchomienie azotu mineralnego w glebie. Z przejściowym unieruchomieniem azotu mamy do czynienia, gdy stosunek ten wynosi 22,2–33,3:1, natomiast stosunek C:N węższy od 22,2:1 zapewnia mineralizację azotu organicznego (2, 15, 17, 34). Podstawą racjonalnej gospodarki składnikami pokarmowymi z wykorzystaniem nawozów naturalnych i organicznych jest więc określenie w nich zawartości C i N, stosunku C:N, zawartości składników mineralnych ogółem i zawartości składników labilnych.

Tabela 3

Zawartość C organicznego w nawozach organicznych i naturalnych oraz ich wartość reprodukcyjna

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

Źródło: Gorlach i Mazur, 2001 cyt. za: Harasim, 2011 (17)

Z innych doniesień literatury (34, 35, 47, 48) i badań własnych wynika (tab. 4), że przyorywana słoma oprócz korzyści w postaci przyrostu próchnicy w glebie ma także wartość nawozową, która w zależności jej składu chemicznego decyduje o zasobności gleby w przyswajalne składniki pokarmowe. Natomiast w tabelach 3 i 5 podano również wartość reprodukcyjną słomy na tle innych nawozów organicznych i naturalnych. W tabeli 4 zamieszczono wyniki doświadczeń polowych przeprowadzonych w PODR Szepietowo w latach 2006–2012, dotyczących wpływu różnych systemów nawożenia na odczyn gleby i zawartość makroelementów w glebie.

Tabela 4

Wpływ różnych systemów nawożenia na odczyn gleby i zawartość makroelementów
(mg·100 g⁻¹ gleby) w PODR Szepietowo (2006–2012)

Rodzaj i poziom nawożenia	Zawartość makroskładników i pH gleby	Lata badań		
		2006	2009*	2012
Obornik 30 t·ha ⁻¹ + nawożenie mineralne	pH	5,0	4,7	5,7
	P ₂ O ₅	13,7	12,7	8,9
	K ₂ O	12,6	14,9	11,0
	Mg	3,6	3,7	5,5
Słoma 4 t·ha ⁻¹ + nawożenie mineralne	pH	5,0	4,6	5,2
	P ₂ O ₅	13,7	11,9	10,1
	K ₂ O	12,6	11,1	11,1
	Mg	3,6	2,9	5,7
Nawożenie mineralne wg Naw-Sald	pH	5,0	4,6	5,1
	P ₂ O ₅	13,7	12,2	11,0
	K ₂ O	12,6	14,5	8,8
	Mg	3,6	2,6	5,4

* w roku 2009 gleby zwapnowano

Źródło: opracowanie własne

Tabela 5

Ilość substancji organicznej wnoszonej do gleby w różnych nawozach naturalnych i organicznych

Rodzaj nawozu	Zawartość s.m. w 1 t świeżego nawozu		Ilość substancji organicznej wnoszonej do gleby (t·ha ⁻¹)	
	%	t	w 1 t s.m. nawozu	w 1 t naturalnej masy nawozu
a	b	c	d	e = c × d
Obornik	20	0,20	0,35	0,0700
	25	0,25	0,35	0,0875
Gnojowica	6	0,06	0,28	0,0168
	8	0,08	0,28	0,0224
	10	0,10	0,28	0,0280
Słoma	85	0,85	0,21	0,1785
Nawóz zielony	15	0,15	0,14	0,0210

Źródło: Harasim, 2011 (17)

Potwierdzenie korzystnego oddziaływania słomy w warunkach stosowania niższych dawek NPK oraz braku obornika można znaleźć w wynikach wielu badań (28, 29, 35, 36, 44, 47). W przypadku niedoboru obornika można go zastąpić materia organiczną pochodzącą ze słomy, liści buraczanych lub międzyplonów przeznaczonych na przeoranie. Jabłońska-Ceglarek i Franczuk (20) podają, że ilość wprowadzonych do gleby składników pokarmowych i masy organicznej zależy ściśle od rodzaju nawozu. Ze słomą w dawce 4 t·ha⁻¹ wprowadza się średnio

3,42 t·ha⁻¹ suchej masy, a w dawce 6 t·ha⁻¹–5,13 t·ha⁻¹. Przyorując nawozy zielone, wprowadza się mniejsze ilości makroskładników i masy organicznej niż z obornikiem. Z biomasa żyta i wyki wprowadza się odpowiednio: 18,13 i 14,72 t·ha⁻¹ świeżej masy. Wartość nawozowa słomy (oceniana na podstawie ilości makroskładników) jest niższa aniżeli obornika i międzyplonów letnich przyorywanych w całości lub w postaci resztek pozbiorowych.

Pomimo pozytywnego oddziaływania słomy na zawartość próchnicy w glebie panuje jednak przekonanie, że przyorana słoma nie tylko zwiększa, ale może i zmniejszać plony roślin w pierwszym roku po przyoraniu (45). W latach 30. XX w. tę zależność tłumaczono tym, że po przyoraniu słomy bardzo szybko namnażają się bakterie, które do budowy własnego ciała pobierają znaczne ilości azotu mineralnego z gleby (33). Rozwój bakterii po przyoraniu słomy jest tym intensywniejszy, im szerszy jest stosunek C:N w słomie i im większa masa słomy zostanie przyorana. Z tego powodu, jak już wcześniej wspomniano, rekomendowane jest stosowanie razem ze słomą określonej ilości azotu mineralnego.

Wpływ nawożenia słomą na plony warzyw był oceniany w badaniach Kuduka (29). Autor podkreśla, że korzystny wpływ nawożenia słomą w uprawie warzyw wynika, ze zwiększenia całkowitej ilości materii organicznej w glebie. Najbardziej produktywną dawką słomy w uprawie kapusty było 4 t·ha⁻¹.

W doświadczeniach polowych zlokalizowanych w PODR Szepietowo w latach 2006–2013 badano wpływ nawożenia słomą na plony roślin uprawnych. Najwyższe plony roślin uzyskano na obiektach nawożonych obornikiem w dawce 30 t·ha⁻¹. Natomiast plony roślin nawożonych słomą w dawce 4 t·ha⁻¹ kształtowały się podobnie jak na obiektach, gdzie stosowano nawożenie mineralne według doradztwa nawozowego Naw-Sald (tab. 6 i 7). Podobne zależności znajdują potwierdzenie w literaturze przedmiotu (36, 44, 52).

Tabela 6

Plony roślin uprawnych z dwóch rotacji w zależności od rodzaju nawożenia w PODR Szepietowo (średnio 2006–2013)

Rodzaj i poziom nawożenia	Plony roślin (t·ha ⁻¹)			
	jęczmień jary	pszenżyto ozime	kukurydza na silos z.m.	pszenica jara
Obornik 30 t·ha ⁻¹ + nawożenie mineralne	4,23	6,20	75,8	4,60
Słoma 4 t·ha ⁻¹ + nawożenie mineralne	3,76	5,66	67,0	4,56
Nawożenie mineralne wg Naw-Sald	3,98	5,94	63,1	4,46

Źródło: opracowanie własne

Uwalnianie w trakcie rozkładu słomy związków biologicznie aktywnych, nasilenie występowania patogenów, immobilizacja azotu i mechaniczne utrudnienia uprawy roli oraz siewu potwierdzają, że efekty siedliskowo-produkcyjne stosowania słomy nie są jednoznaczne, a wykorzystanie jej do regeneracji stanowiska w monokulturach zbożowych jest dyskusyjne (8, 22, 23, 25, 38, 49). Wójcik-Wojtkowiak (51) wskazuje, że wprowadzenie do gleby resztek pozbiorowych w początkowej fazie prowadzi do powstawania związków toksycznych wpływających ujemnie na wzrost i rozwój roślin uprawnych, co w efekcie może znacznie obniżać plon. Podczas rozkładu mikrobiologicznego resztek poźniwnych powstają alifatyczne kwasy organiczne: kwas octowy, propionowy i masłowy. Z innych badań naukowych (24, 25, 39) wynika, że obecność produktów fermentacji słomy w glebie zwiększa podatność roślin na infekcje wywoływane przez fitopatologiczne grzyby z rodzaju *Fusarium* sp. Ponadto wskazuje się, że wprowadzenie do gleby rozdrobnionej słomy najczęściej nie wpływa istotnie na plon ziarna uprawianych zbóż, ale może go też obniżać (24, 25, 46). Uproszczenia zmianowań do monokultury włącznie ograniczają bioróżnorodność drobnoustrojów w środowisku, powodują kumulację związków fenolowych w glebie i wzrost zawartości fitotoksyn wywołujących zjawisko autotoksyczności i obniżkę plonów (25, 38, 50). Natomiast w systemie gospodarowania, w których zachowany jest płodozmian choroby i szkodniki nie występują masowo, a zjawiska erozji i nadmiernego zagęszczenia gleby bądź autotoksyczności nie występowały lub miały ograniczony zasięg (8, 38). Niekorzystny wpływ związków powstających podczas rozkładu słomy w glebie może być ograniczany poprzez dodawanie do masy organicznej szczepionek drobnoustrojów celulolitycznych oraz stosowania nawożenia azotem i wapniem (25). Korzystne oddziaływanie wapna stosowanego w dawce $1,5 \text{ CaO t} \cdot \text{ha}^{-1}$ łącznie ze słomą potwierdzają Kotecki i in. (27). W prowadzonych przez nich badaniach określano wpływ nawożenia słomą pszenną i wapnowania na rozwój i plonowanie rzepaku ozimego. Stwierdzono m.in. zwiększenie liczby łuszczyń na roślinie o 20%, liczby nasion w łuszczyńce o 7%, masy nasion w łuszczyńce o 18% i wzrost plonu nasion o 12% w porównaniu z elementami struktury plonu na obiekcie kontrolnym. Ponadto wykazano, że rzepak ozimy uprawiany w stanowisku po przyoranej słomie pszenicy ozimej bez dodatku wapnia w stosunku do obiektu bez słomy charakteryzował się słabszym rozwojem roślin jesienią.

Wyniki badań własnych wskazują, że słoma może wpływać korzystnie na produktywność i żyzność gleby (tab. 4 i 6). W zrównoważonej gospodarce składnikami pokarmowymi i materią organiczną trend wzrostu plonów roślin uprawnych, pod które stosuje się nawozy naturalne i organiczne wynika z wzbogacenia gleby w azot i powoduje zwiększenie efektywności jego wykorzystania poprzez inne składniki pokarmowe z tych nawozów (17, 23, 51). Na glebach w dobrej kulturze i w warunkach optymalnego przebiegu pogody nawozy naturalne i organiczne zwiększają plony proporcjonalnie do dawki azotu (10, 34). Natomiast na glebach wyczerpanych ze składników pokarmowych mamy do czynienia z plonotwórczym współdziałaniem składników pokarmowych zawartych w nawozach (36, 51).

Podsumowanie

Słoma znajduje wykorzystanie głównie w gospodarstwach bezinwazyjnych, które nie produkują obornika. Posiada dużą wartość nawozową, jest cennym źródłem wielu składników pokarmowych, a przyorywana regularnie dostarcza glebie świeżej materii organicznej będącej następnie źródłem trwałej próchnicy. W świeżej masie słomy znajduje się od 0,5 do 0,7% azotu, ok. 0,2% fosforu i 1,5% potasu. Przeciętnie na powierzchni 1 ha pozostaje ok. 5 t słomy zbóż ozimych. Taka ilość zawiera średnio 30 kg azotu, 12 kg fosforu, 62 kg potasu, 7 kg magnezu, 17 kg wapnia. Ilość mikroelementów w słomie jest śladowa. W przyszłości znaczenie słomy jako nawozu będzie coraz większe ze względu na powstające jej nadwyżki w gospodarstwach zmniejszających jej wykorzystanie na paszę i ściółkę. Jednak taki sposób zagospodarowania słomy może powodować nasilone występowanie chorób grzybowych, gdyż wiele patogenów przeżywa na resztkach poźniwnych uprawianych roślin. Należy zatem poszukiwać sposobów ich ograniczenia. Aktualnie wzrasta zainteresowanie wykorzystaniem słomy jako źródła energii, a także do produkcji kompostu oraz podłoży ogrodniczych.

Literatura

1. Asmus F., Görlitz H.: Einfluss organischer und mineralischer Düngung auf die organische Substanz und den Stickstoffgehalt einer Tiefflehm-Fahlderde. Arch. Acker. Pfl. Boden., 1978, **22**(2): 123-129.
2. Barabasz W., Albińska D., Jaśkowska M., Lipiec J.: Biological effects of mineral nitrogen fertilization on soil microorganisms. Pol. J. Environ. Stud., 2002, **11**(3): 193-198.
3. Blijlsma R.J., Lambers H.: A dynamic whole-plant model of integrated metabolism of nitrogen and carbon. Plant Soil, 2000, **220**: 71-87.
4. Cwojdzinski W., Nowak K.: Wybrane właściwości gleby w prowadzonym od 28 lat statycznym doświadczeniu nawozowym. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2002, **484**: 87-94.
5. Dach J.: Wpływ dodatku różnego rodzaju słomy na dynamikę procesu i wielkość emisji amoniaku z kompostowanych osadów ściekowych. J. Res. Appl. Agric. Eng. 2010, **55**(2): 8-13.
6. Duer I.: Mulczujący wpływ międzyplonu na plonowanie jęczmienia jarego oraz zawartość wody i azotanów w glebie. Fragm. Agron., 1996, **1**: 29-43.
7. Duer I.: System gospodarowania a zmęczenie gleby powodowane allelopatią. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1997, **452**: 51-57.
8. Duer I.: Fitotoksyczność słomy i resztek poźniwnych pszenicy ozimej uprawianej w monokulturze. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1997, **452**: 59-70.
9. Dziadowiec M.: Przemiany w glebie słomy zbóż stosowanej jako nawóz organiczny i jej agroekologiczne działanie. Post. Nauk Rol., 1987, **4**: 39-58.
10. Filipiak K., Fotyła M.: Wpływ wieloletniego stosowania obornika i nawożenia azotem na plony i pobranie azotu przez rośliny uprawiane w dwóch zmianowaniach. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 2006, **1**(26): 71-88.
11. Faber A., Kuś J., Matyka M.: Uprawa roślin na potrzeby energetyki. PKPP Lewiatan, Warszawa 2009, 1-29.
12. Fiszer A.: Analiza wykorzystania słomy na cele opałowe. Roczn. AR Poznań, Rol., 2006/2007, **381**(67): 11-15.
13. Gradziuk P. (red.): Biopaliwa. Wieś Jutra, Warszawa 2003.

14. Gostomczyk W.: Energetyczne wykorzystanie słomy jako lokalnego paliwa. W: Konwencja odnawialnych źródeł energii, A Lisowski (red.). SGGW Warszawa, 2009, 109-121.
15. Grzebiś W.: Nawozy organiczne. W: Nawożenie roślin uprawnych, Cz. II. Nawozy i systemy nawożenia, PWRiL, Poznań, 2009, 236-239.
16. Grzybek A., Gradziuk P., Kowalczyk K.: Słoma – energetyczne paliwo. Wieś Jutra, Warszawa 2001.
17. Harasim A.: Gospodarowanie słomą. IUNG-PIB, Puławy 2011, 7-75.
18. Higa T.: Effective Microorganisms, concept and recent advances in technology. Proc. Effective Microorganisms for a sustainable agriculture and environment. 4th Int. Conf. on Kyusei Nature Farming, Bellingham – Washington USA, 1998, 247-248.
19. Horabik J.: Applications of physical methods in agriculture and environment. 2nd Global Forum of Leaders for Agriculture Science and Technology. Beijing, 18–19 X 2007.
20. Jabłońska-Ceglarek R., Franczuk J.: Alternatywne formy nawożenia organicznego w uprawie kapusty głowiastej białej. Acta Sci. Pol. Hort. Cult., 2002, **1(1)**: 45-54.
21. Jadczyński J.: Spływ powierzchniowy i erozja gleby w użytkowanej rolniczo mikrozelewni stokowej (Rogalów, Wyżyna Lubelska). Prace Studia Geograf., 2010, **45**: 67-78.
22. Jaskulski D., Jaskulska I.: Wpływ międzyplonów ścierniskowych, nawożenia słomą i zróżnicowanej uprawy roli na jęczmień jary w stanowisku po pszenicy ozimej. BTN Pr. Kom. Nauk Rol. Biol., Ser. B, 2004a, **52**: 99-109.
23. Jaskulski D., Jaskulska I.: Wpływ nawożenia słom, międzyplonów ścierniskowych i zróżnicowanej uprawy roli na niektóre właściwości gleby w ogniwie pszenica ozima – jęczmień jary. Acta Sci. Pol., Agric., 2004b, **3(2)**: 151-163.
24. Kaczmarek Z., Owczarzak W., Mrugańska L., Grzelak M.: Wpływ efektywnych mikroorganizmów na wybrane właściwości fizyczne i wodne poziomów orno-próchnicznych gleb mineralnych. J. Res. Appl. Agric. Eng., 2007, **52(3)**: 73-77.
25. Kaszubiak H., Kaczmarek W., Pdziwilk Z., Sawicka A., Muszyńska M., Durska G.: Zespoły drobnoustrojów pod uprawami rolin w monokulturze i w zmianowaniu. Synteza wyników badań CPBP.04.10.03 na temat „Ekologiczne procesy w monokulturowych uprawach zbóż”. UAM Poznań, 1990, 77-90.
26. Kordas L., Majchrowski P.: Wpływ międzyplonu ścierniskowego i głęboszowania w uprawie buraka cukrowego na wskaźniki struktury gleby średniej. Zesz. Nauk. AR Wrocław, Rol., 2001, **415(80)**: 145-152.
27. Kotecki A., Kozak M., Malarz W.: Wykorzystanie słomy pszenicy ozimej do nawożenia rzepaku ozimego. Rośl. Oleiste, 2002, **23**: 313-325.
28. Kotwica K.: Skutki różnego zagospodarowania słomy pszennej w trakcie uprawy poźniwej pod jęczmień jary w warunkach monokultury zbożowej. Fragm. Agron., 2004, **3**: 95-106.
29. Kuduk C.: Wpływ nawożenia słomą gleby lekkiej na niektóre właściwości chemiczne, fizyczne i biologiczne. Rocz. Glebozn., **39**: 67-78.
30. Kuś J., Madej A., Kopiński J.: Bilans słomy w ujęciu regionalnym. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2006, **3**: 211-226.
31. Kuś J., Smagacz J.: Regionalne zróżnicowanie biomasy słomy. Pam. Puł., 2001, **124**: 289-295.
32. Lenart S., Mercik S., Łabętowicz J., Mazur T., Urbanowski S.: Zmiany właściwości fizycznych gleby pod wpływem różnych systemów nawożenia w pięciu wieloletnich doświadczeniach polowych. Fragm. Agron., 2005, **1**: 161-170.
33. Lynch J.M., Penn D.J.: Damage to cereals caused by decaying weed residues. J.Sci. Food Agric., 1980, **31**: 321-324.
34. Maćkowiak C.: Rola nawożenia organicznego w kształtowaniu żyzności i urodzajności gleby. IUNG Puławy, 1997, **63**: 28-31.
35. Mazur T.: Znaczenie resztek poźniowych w bilansie substancji organicznej gleb. Mat. Konf., „Nawozy organiczne,” Szczecin 1992, **2**: 4-11.

36. Mercik S., Stępień W., Łabętowicz J.: Żyzność gleb w trzech systemach nawożenia: mineralnym, organicznym i organiczno-mineralnym – w doświadczeniach wieloletnich. Cz. 2. Właściwości chemiczne gleb. Fol. Univ. Agric. Stetin., Agric., 2000, **84**: 317-322.
37. Mercik S. (red.): Chemia rolna. Podstawy teoretyczne i praktyczne. SGGW, Warszawa, 2002, 211-212.
38. Mikołajska J.: Plodozmian a zdrowotność roślin. W: Biotyczne środowisko uprawne a zagrożenie chorobowe roślin. Mat. Symp., Olsztyn, 7–9.09.1993, 25-33.
39. Penn S.J., Lynch J.M.: The effect of bacterial fermentation of couch grass rhizomes and *Fusarium culmorum* on the growth of barley seedlings. Plant Pathol., 1982, **31**: 39-43.
40. Pikula D., Rutkowska A.: Effect of leguminous crop and fertilization on soil organic carbon in 30-years field experiment. Plant Soil Environ., 2014, **60(11)**: 507-511.
41. Puła J., Łabza T.: Wpływ nawożenia organicznego na zawartość składników mineralnych w warstwie ornej gleby lekkiej. Ann. UMCS, Sec. E., **59(3)**: 1505-1511.
42. Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2014. Produkcja roślinna, 186-197.
43. Rutkowska A., Pikula D.: Effect of crop rotation and nitrogen fertilization on the quality and quantity of soil organic matter. W: Soil processes and current trends in quality assessment, C. M. Hernandez Soriano (ed.). InTech, 2012, 249-168.
44. Siuta A.: Wpływ nawożenia słomą i biomasa międzyplonu ścierniskowego na plonowanie zbóż i wybrane wskaźniki żyzności gleby. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1999, **467**: 245-251.
45. Smagacz J.: Wpływ częstotliwości przyorywania słomy na występowanie patogenów podstawy żdźbła i plonowanie odmian jęczmienia jarego. Biul. IHAR, 2005, **235**: 171-179.
46. Smagacz J.: Wpływ nawożenia słomą na plonowanie pszenicy ozimej, występowanie chorób podstawy żdźbła oraz niektóre właściwości chemiczne gleby. Fragm. Agron., 2010, **1**: 141-150.
47. Spiak Z., Piszcz Z., Kotecki A.: Wpływ przyorywania słomy z dodatkiem azotu mineralnego na zawartość azotu w glebie. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 2002, **1**: 247-255.
48. Stępień A.: Zmiany chemicznych właściwości gleby pod wpływem różnych sposobów nawożenia w zmianowaniu. Fol. Univ. Agric., 2011, Stetin. 211, Agricult. 211, **84**: 459-464.
49. Sulewska H.: Kukurydza w monokulturze – zagrożenia. Poradnik Rolnika. Agrotechnika, 2008, **3**: 22-24.
50. Wacławowicz R., Parylak D.: Następczy wpływ nawożenia wermikompostem oraz dawek azotu na właściwości gleby średniej. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2004, **498**: 215-222.
51. Wójcik-Wojtkowiak D., Politycka B., Mielcarz B.: Wartość biologiczna warzyw nawożonych ziemią kompostową. Zesz. Nauk. AR Kraków, **364**: 209-212.
52. Woźniak A.: Wpływ wsiewek poplonowych i nawożenia organicznego na plonowanie, zachwaszczenie i zdrowotność pszenżyta ozimego w monokulturze. Cz. I. Plon ziarna. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **470**: 75-82.

Adres do korespondencji

dr inż. Dorota Pikula
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. 081 47 86 837
e-mail: dpikula@iung.pulawy.pl

Anna Podleśna

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

WPLYW NAWOZÓW SIARKOWYCH NA ODCZYN I ZASOBNOŚĆ GLEB W SKŁADNIKI POKARMOWE (PRZEGLĄD PIŚMIENICTWA)*

Słowa kluczowe: siarka siarczanowa, siarka elementarna, odczyn gleb, zasobność gleb w makroelementy, zasobność gleb w mikroelementy

Wstęp

W ostatnich latach wprowadza się w rolnictwie integrowany system produkcji oparty między innymi na zbilansowanym nawożeniu roślin. Integrowane zarządzanie składnikami pokarmowymi polega na rozsądnej gospodarce zapasami tych składników w celu osiągnięcia opłacalnego ekonomicznie i zrównoważonego poziomu produkcji rolniczej (7). Jego podstawą jest założenie, że roślinom uprawnym należy dostarczyć wszystkie niezbędne składniki pokarmowe i utrzymać ich zrównoważony bilans w glebie (6). Jest to warunek uzyskania wysokiej aktywności mikrobiologicznej oraz optymalnych właściwości fizykochemicznych gleby, które tworzą jej żyzność i potencjał plonotwórczy (22). Od ostatnich lat ubiegłego wieku jednym z ważnych zagrożeń żywieniowych w uprawie roślin jest niedobór siarki (14, 23), który może być niwelowany przez stosowanie nawozów mineralnych. Mineralne nawozy siarkowe dzielą się zasadniczo na nawozy, które zawierają siarkę w formie siarczanowej łatwo dostępnej dla roślin i siarkę elementarną, która wymaga utlenienia do formy siarczanowej, aby mogła być dostępna dla roślin (8). Ze względu na zróżnicowaną formę siarki oddziaływanie tych nawozów na właściwości gleby może być nieco inne (2). Wprowadzane do gleby nawozy mineralne, oprócz uzupełnienia niedoboru składnika, mogą powodować inne, nie zawsze korzystne, zmiany w środowisku glebowym. Jak podają Fotyma i Mercik (11), nawozy mineralne obejmują związki syntetyczne, wyprodukowane przez przemysł nawozowy, odpady przemysłowe lub uszlachetnione

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

kopaliny, a więc związki chemiczne, które mogą wchodzić w reakcje z jonami lub substancjami obecnymi w glebie. Zmiany zachodzące w środowisku glebowym pod wpływem nawożenia oddziałują na żyzność gleby i niekiedy mogą ją obniżyć przez stymulowanie zakwaszenia, zachwianie równowagi jonowej, ograniczenie aktywności mikrobiologicznej, wprowadzenie szkodliwych substancji/pierwiastków lub wzrost zasolenia. W efekcie może to prowadzić do obniżenia uzyskiwanych plonów i pogorszenia ich wartości technologicznej. Celem pracy jest wykazanie, w oparciu o dostępną literaturę naukową, w jaki sposób nawozy siarkowe stosowane w uprawie roślin wpływają na chemiczne właściwości gleb uprawnych, tj. odczyn oraz zasobność w przyswajalne formy makro- i mikroelementów.

Wpływ nawozów siarkowych na odczyn gleb uprawnych

Jednym z najważniejszych wskaźników chemicznych właściwości gleby jest odczyn, który wywiera wpływ na dostępność składników pokarmowych, ich pobieranie i wzrost roślin (3). Dla pobierania większości składników pokarmowych przez rośliny uprawne najbardziej wskazany jest odczyn lekko kwaśny. Jednakże gleby uprawne mogą wyróżniać się bardzo zróżnicowanym odczynem, który po zastosowaniu nawozów mineralnych może jeszcze ulegać zmianie. Kozłowska-Strawska (16) prowadziła doświadczenie wazonowe na glebie płowej o wyjściowym pH 5,56. Wykazała w nim, że nawozy siarkowe, zastosowane w dawce $0,025 \text{ g S} \cdot \text{kg}^{-1}$ w uprawie pszenicy jarej i w dawce $0,05 \text{ g S} \cdot \text{kg}^{-1}$ w uprawie gorczycy, mogą mieć zróżnicowany wpływ na odczyn gleby (tab. 1). Wśród zastosowanych związków chemicznych najbardziej zakwaszający wpływ wywarł RSM (roztwór saletrzano-mocznikowy) z dodatkiem siarki, co można częściowo wiązać z zakwaszającym wpływem mocznika na glebę. Obniżenie wartości pH gleby, w stosunku do kontroli, stwierdzono także po zastosowaniu H_2SO_4 i $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Również aplikacja siarki elementarnej, w przypadku obu roślin uprawnych, spowodowała zmiany odczynu gleby.

Tabela 1

Wpływ stosowania różnych form siarki na zmiany odczynu gleby

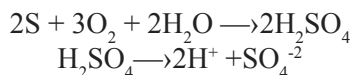
Obiekt nawozowy	pH _{KCl}	
	pszenica jara	gorczyca
Kontrola (bez siarki)	5,75	5,62
RSM z siarką	4,93	4,57
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	5,90	5,09
K_2SO_4	5,67	5,79
Na_2SO_4	5,58	5,11
S elementarna (S^0)	5,47	5,27
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	5,84	5,42
H_2SO_4	5,64	5,07

Źródło: Kozłowska-Strawska, 2007 (16) zmodyfikowane

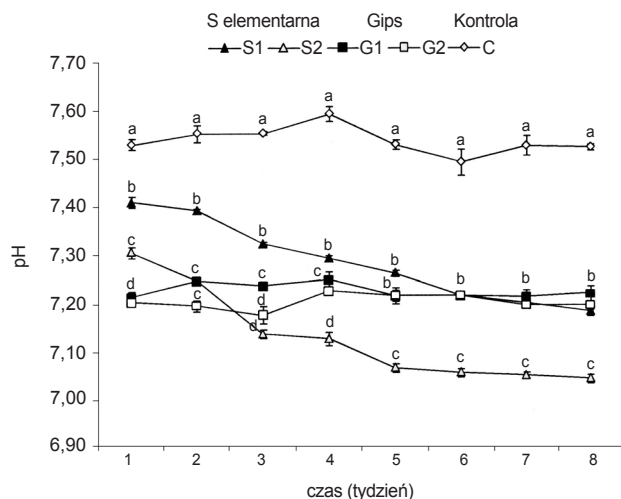
Najwyższy wzrost wartości pH_{KCl} w glebie po uprawie pszenicy uzyskano w obiektach, gdzie stosowano $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ i $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. W przypadku siarczanu amonu może to wynikać z niskiej dawki siarki zastosowanej pod pszenicę, która ma małe wymagania względem tego składnika, a w przypadku gipsu – z alkalizującego działania jonów wapnia obecnych w jego cząsteczce. Po zbiorze gorczycy najwyższą wartość pH miała gleba z dodatkiem K_2SO_4 (tab. 1), która wykazywała odczyn lekko kwaśny, uznawany za optymalny dla większości gatunków roślin uprawnych. Według Kozłowskiej-Strażewskiej (16) znacznie niższe wartości odczynu gleby po spręcie gorczycy, w stosunku do obiektów gdzie uprawiano pszenicę jară, wynikają z tego, że pod gorczycę zastosowano znacznie wyższe dawki siarki. Jak bowiem wiadomo, rośliny krzyżowe mają większe zapotrzebowanie względem tego składnika w porównaniu z roślinami zbożowymi. Z kolei badania Skwierawskiej i in. (28, 29) prowadzone na glebie o wyjściowym pH 5,3 wykazały, że zarówno siarka siarczanowa, jak i elementarna miały istotny wpływ na zmianę odczynu gleby w warstwie 0–40 cm. Zakwaszające działanie siarki siarczanowej było widoczne już w pierwszym roku badań, podczas gdy wpływ siarki elementarnej wystąpił dopiero po trzecim roku eksperymentu. Oddziaływanie gipsu i siarki elementarnej na zmianę odczynu gleby stwierdzili także Turan i in. (32), wykazując, że gips silniej obniża pH w pierwszych tygodniach po zastosowaniu, a następnie jego działanie utrzymuje się na stałym poziomie (rys. 1). W badaniach prowadzonych przez Łabętowicza i in. (19) nad oceną przydatności gipsu do poprawy właściwości fizykochemicznych gleb niewapnowanych przez kilkadziesiąt lat wykazano, że w wyniku zastosowania $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ i CaCO_3 wartość pH gleb wzrosła z ok. 4,3 do odpowiednio: 4,7 i ponad 6,0, co dowodzi lepszego działania odkwaszającego węglanu wapnia niż gipsu (19). Zheng i in. (33) uważają, że oprócz dawki zastosowanej siarki działanie nawozu siarkowego w glebie jest zależne także od gatunku rośliny, która modyfikuje warunki w ryzosferze przez pobieranie wody i składników mineralnych, zmiany pH i potencjału redoks oraz przez wydzieliny korzeniowe, które stymulują wzrost mikroorganizmów.

W glebach wykazujących wysokie wartości pH częstą praktyką jest nawożenie i stosowanie nawozów zakwaszających w celu obniżenia ich odczynu. Ma ono za zadanie zwiększenie dostępności składników pokarmowych i poprawę produktywności roślin (15, 19). W tym celu można stosować siarkę elementarną, której jedna jednostka masowa wywołuje taki efekt zakwaszający, który do zneutralizowania wymaga trzech jednostek wapnia (5). Siarka elementarna traktowana jest w warunkach wysokiego pH jako polepszacz właściwości gleb ze względu na jej pośredni wpływ na zwiększenie dostępności składników pokarmowych dla roślin. Wynika to z jej powolnego uwalniania się w glebie i ograniczonej dostępności. Skutkuje to przedłużonym działaniem zakwaszającym, które jest wynikiem mikrobiologicznego utleniania do kwasu siarkowego (5). W związku z tym działanie zakwaszające siarki elementarnej jest początkowo słabsze, ale zwiększa się wraz z upływem czasu. Karimizarichi i in. (15) obserwowali, że odczyn gleby obniżał się silniej wraz ze wzrostem dawki

siarki elementarnej (rys. 2). A więc efekt zakwaszający jest większy jeśli stosuje się wysokie dawki siarki i proces utlenienia zachodzi szybko. Zakwaszające działanie siarki elementarnej wynika z tego, że jej utlenianie powoduje zwiększenie stężenia jonów H^+ w glebie (10).



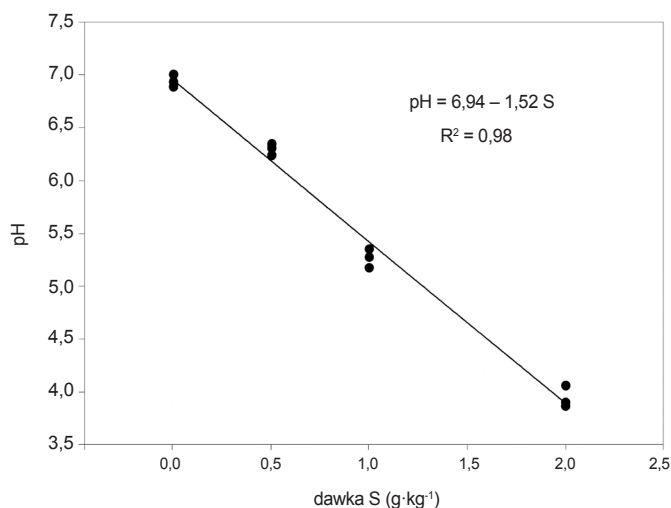
Przeprowadzający ten proces bezwzględny tlenowiec *Thiobacillus thiooxidans* rozwija się najlepiej w zakresie pH 2–5. Z kolei tempo mikrobiologicznego utlenienia siarki jest zależne od temperatury, wilgotności oraz rozdrobnienia cząstek siarki elementarnej, co powoduje zwiększenie powierzchni właściwej nawozu i szybszą kolonizację przez *Thiobacillus thiooxidans* (5, 8). Stwierdzono, że im mniejsze są cząstki nawozu zawierającego siarkę, tym większa jest jego powierzchnia i szybsze tempo procesu utleniania (5, 12). Jenzen i Bettany (12) stwierdzili, że zastosowanie siarki elementarnej w takim rozdrobnieniu powoduje jej szybkie utlenienie do formy siarczanowej i zaspokojenie potrzeb rosnących roślin, co często ma miejsce w okresie wczesnej wiosny.



Różne litery umieszczone w indeksie górnym tego samego tygodnia wskazują istotne różnice obliczone za pomocą testu Duncana przy $P < 0,01$.

Rys.1. Wpływ różnych form i dawek siarki na zmiany pH gleby

Źródło: Turan i in., 2013 (32), zmodyfikowane,



Rys. 2. Zmiany pH gleby po aplikacji różnych dawek siarki elementarnej

Źródło: Karimizarchi i in., 2014 (15), zmodyfikowane

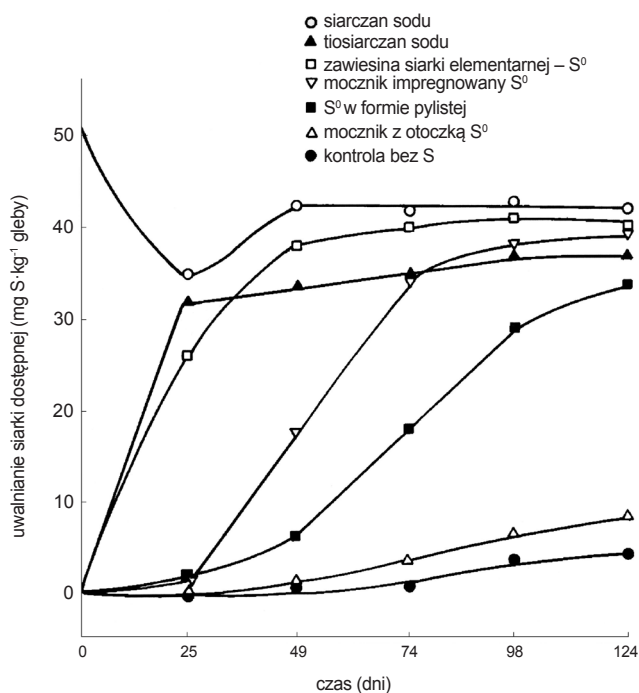
Powyżej przedstawiono wyniki badań potwierdzające działanie siarki elementarnej na odczyn gleb ale w literaturze przedmiotu spotyka się także prace wskazujące, że aplikacja tej formy siarki nie ma istotnego wpływu na właściwości chemiczne gleby takie jak odczyn czy dostępność składników pokarmowych (25).

Wpływ nawozów siarkowych na zawartość makroelementów w glebach uprawnych

Makroelementy to pierwiastki, które obok węgla, wodoru, tlenu oraz mikroelementów są bezwzględnie konieczne do przebiegu pełnego cyklu życiowego rośliny. Pełnią wiele funkcji fizjologicznych i są używane do produkcji różnorodnych związków organicznych, które z kolei służą roślinie do budowy jej organów i podlegają licznym procesom metabolicznym. Siarka jest znana jako składnik współdziałający z innymi makroelementami (1). Jednakże to współdziałanie może zwiększyć lub też zredukować wzrost i plon roślin poprzez wpływ na pobieranie składników oraz ich wykorzystanie. Zrozumienie wzajemnych relacji pomiędzy siarką a innymi składnikami pokarmowymi, w tym makroelementami, może pomóc w zrozumieniu żywieniowego zachowania się siarki w odniesieniu do tych składników. Informacje te mogą być wykorzystane w tworzeniu zaleceń zbilansowanego nawożenia niezbędnych do optymalizacji plonu roślin uprawnych i jego jakości.

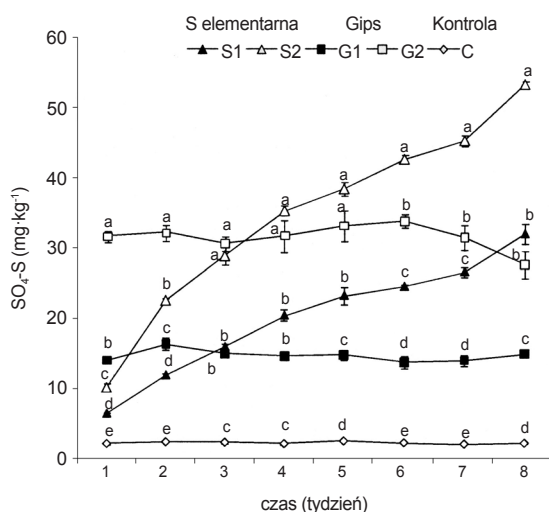
Siarka

Siarka jest pobierana przez rośliny w formie jonów siarczanowych, które są obecne w roztworze glebowym w małej koncentracji (kilka $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$). Zawartość SO_4^{2-} w glebie podlega ciągłym zmianom zależnie od bilansu pomiędzy ich pobieraniem przez rośliny, zastosowanym nawożeniem S, mineralizacją i immobilizacją (26). Nawozy siarkowe wpływają w pierwszym rzędzie na koncentrację siarki siarczanowej, która zależy od dawki oraz formy użytego nawozu. Zastosowanie wyższej dawki siarki powoduje, na ogół, wzrost koncentracji jonów siarczanowych w glebie (17, 29). Janzen i Bettany (12) oraz Turan i in. (32) przebadali tempo uwalniania się siarczanów z siarczanu sodu i tiosiarczanu sodu oraz różnych form nawozów zawierających siarkę elementarną (rys. 3) i stwierdzili, że wszystkie formy siarki były źródłem tego składnika dla roślin (rys. 4). Różniły się jednak długością czasu potrzebnego do uwolnienia siarki, ponieważ formy nawozów, które są rozpuszczalne w wodzie (siarczany i tiosiarczany) były prawie natychmiast dostępne dla roślin, a nawozy z siarką elementarną wymagały dłuższego okresu czasu, aby stać się źródłem tego składnika dla roślin. Janzen i Bettany (12) twierdzą, że duże różnice w tempie uwalniania siarczanów wynikają z dwu cech siarki elementarnej: rozdrobnienia cząstek oraz stopnia ich rozproszenia w glebie.



Rys.3. Uwalnianie siarki dostępnej dla roślin z różnych nawozów siarkowych po zastosowaniu dawki $50 \text{ kg S}\cdot\text{ha}^{-1}$

Źródło: Janzen i Bettany, 1986 (12), zmodyfikowane



Różne litery umieszczone w indeksie górnym tego samego tygodnia wskazują istotne różnice obliczone za pomocą testu Duncana przy $P < 0,01$.

Rys. 4. Wpływ różnych form i dawek siarki na zawartość S-SO₄²⁻-S w glebie

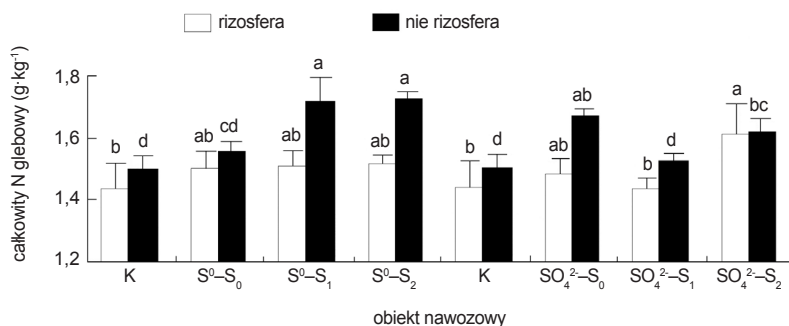
Źródło: Turan i in., 2013 (32), zmodyfikowane

Skwierawska i in. (30) stwierdzili niższą zawartość S-SO₄²⁻ w obiekcie, gdzie stosowano najniższą dawkę nawozu siarczanowego w porównaniu z obiektami nawożonymi jego wyższymi dawkami. Jednocześnie w obiekcie tym oznaczono istotnie wyższe wartości pH (kwaśny odczyn gleby) niż w obiektach z dawkami wyższymi (odczyn bardzo kwaśny). Niższa koncentracja siarczanów w glebie może świadczyć nie tylko o mniejszej ilości siarki wprowadzonej w postaci nawozu, ale też o większej ich dostępności dla roślin w warunkach słabszego zakwaszenia gleby. Prietzel i in. (24) twierdzą, że dostępność jonów siarczanowych w roztworze glebowym jest związana także z odczynem gleby. Adsorpcja jonów SO₄²⁻ przez fazę stałą gleby zachodzi silniej przy kwaśnym odczynie gleby. Zależność tę potwierdzają badania Alama i in. (3), którzy obserwowali wyraźny spadek adsorpcji siarczanów po tym, jak pH gleby wzrosło z wartości 5,0 do 6,0.

Azot

Składnikiem, który w największym stopniu oddziałuje na żyźność gleby jest azot. Jest to także pierwiastek, którego pobieranie przez rośliny, oraz przebieg dalszych procesów metabolicznych, jest uzależnione od obecności siarki. Szczególnie ważna jest forma azotanowa, która należy do tzw. grupy pierwiastków mobilnych w glebie, co oznacza, że może być szybko wymywana z profilu glebowego, powodując straty składnika dla roślin uprawnych oraz zanieczyszczenie środowiska. Badania prowadzone przez Skwierawską i in. (29) wykazały, że w większości obiektów nawo-

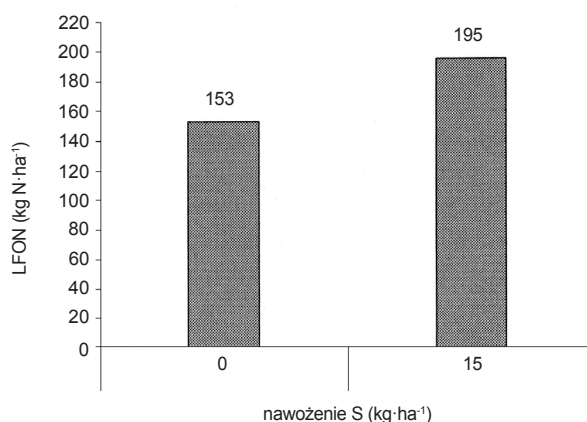
żenie NPK + S przyczyniało się do zwiększenia zawartości N-NO_3^- w porównaniu z obiektem nawożonym NPK. Wzrastające dawki siarki powodowały także, na ogół, zwiększenie zawartości N-NH_4^+ . Wzrost zawartości w glebie azotu ogólnego i azotu dostępnego dla roślin po zastosowaniu nawożenia siarką siarczanową i siarką elementarną stwierdzili także Zheng i in. (33) (rys. 5). Z kolei Malhi (20) zaobserwował, że po aplikacji siarczanu amonu, w doświadczeniu z pszenicą i rzepakiem uprawianymi na glebie deficytowej w siarkę, wzrosła w niej ilość azotu i węgla organicznego, odpowiednio o $42 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ i $1,018 \text{ kg C} \cdot \text{ha}^{-1}$. Są one zmagazynowane w tzw. lekkiej frakcji organicznego azotu – LFON (light fraction organic N) (rys. 6) i lekkiej frakcji organicznego węgla – LFOC (light fraction organic C). Jest to związane ze wzrostem w glebie masy pozostałości roślinnych po aplikacji nawozu siarkowego. Zdaniem Malhi (20) wzrost frakcji LFON poprawia żyzność gleby i dostępność składników pokarmowych dla roślin w okresie wegetacyjnym, ponieważ frakcja ta szybciej ulega rozkładowi niż glebowa materia organiczna (SOM). Dlatego też jest dla roślin źródłem N i innych składników oraz energii niezbędnej dla funkcjonowania mikroorganizmów. Uzyskane wyniki wskazują na ważną rolę zbilansowanego nawożenia roślin azotem i siarką w zwiększaniu zasobów organicznego C i N, szczególnie w warunkach gleb deficytowych w siarkę.



Słupki oznaczają odchylenie standardowe średniej ($n = 3$). Litera wskazują grupowanie średnich przez test Dunkaka ($P < 0,05$).

Rys. 5. Wpływ różnych dawek i form siarki na zawartość N całkowitego w glebie

Źródło: Zheng i in., 2011 (33), zmodyfikowane



Rys. 6. Masa lekkiej frakcji organicznego azotu (LFON) w warstwie gleby 0–15 cm w zależności od dawki zastosowanej siarki

Źródło: Malhi, 2012 (20), zmodyfikowane

Fosfor

Zarówno siarka jak i fosfor są niezbędnymi składnikami pobieranymi przez rośliny z gleby w formie anionowej. Właściwe zbilansowanie tych składników w glebie i roślinie jest ważnym aspektem produkcji roślinnej (1). Skwierawska i in. (29) stwierdzili, że niższe dawki siarki elementarnej oraz siarki siarczanowej (tj. 40 i 80 kg S·kg⁻¹), zastosowane w doświadczeniu polowym, dawały nieistotny statystycznie wzrost zawartości fosforu w glebie. Dopiero aplikacja 120 kg siarki siarczanowej spowodowała istotny wzrost zawartości tego składnika w warstwie gleby 0–40 cm. Przy czym należy dodać, iż zastosowane formy i dawki siarki spowodowały niejednoznaczne zmiany odczynu gleby w stosunku do obiektu, gdzie stosowano tylko nawożenie NPK. W badaniach Łabętowicza i in. (19) stosowanie gipsu na glebie o odczynie kwaśnym spowodowało obniżenie zawartości fosforu przyswajalnego w stosunku do obiektów kontrolnych. Zdaniem autorów wynikać to może z utrzymującego się nadal niskiego pH na tych obiektach, wskutek czego w dalszym ciągu dochodzi do sorpcji chemicznej fosforu. Również Alam i in. (3). podają, że obniżenie pH gleby sprzyja wytrącaniu fosforanów glinu i żelaza, przez co zawartość fosforu przyswajalnego dla roślin ulega zmniejszeniu. Natomiast wzrost pH jest korzystny, ponieważ w tych warunkach wzrasta dostępność fosforu dla roślin. Ma to prawdopodobnie związek z poprawą warunków funkcjonowania mikroorganizmów glebowych, które są włączone w szereg procesów oddziałujących na przemiany fosforu (9). Działanie mikroorganizmów polega na zwiększaniu puli dostępnego fosforu, dzięki możliwości rozpuszczania oraz mineralizacji nieorganicznych i organicznych źródeł fosforu całkowitego.

Korzystny wpływ siarki elementarnej w aspekcie zwiększenia dostępności fosforu stwierdza się także w glebach o odczynie zasadowym (21). Na obiektach

z wszystkimi dawkami siarki (0,5; 1,5 i 3,0% masy 10 cm warstwy gleby w kolumnie) zaobserwowano istotny wzrost dostępnego fosforu w glebie wytworzonej z wapieni. Wyższe wartości koncentracji tej formy fosforu obserwowano po 3–9 tygodniach inkubacji, zwłaszcza w warstwie gleby 0–10 cm, która była najbardziej wymieszana z nawozami. Z przeglądu literatury zamieszczonej w pracy wymienionych wyżej autorów (21) wynika, że w niektórych rędzinach aplikacja S zwiększała ilość fosforu dostępnego z naturalnych apatytów glebowych czy dodanych skał fosforanowych, oraz z zastosowanych nawozów mineralnych.

Potas

Właściwe zaopatrzenie roślin w potas i siarkę skutkuje zwiększeniem plonu roślin i jego jakości (13). Dzieje się tak, jeśli zastosowany nawóz siarkowy nie obniży znacznie pH gleby (3). Badania Skwierawskiej i in. (29) wskazują, że zawartość potasu w glebie nawożonej siarką elementarną oraz siarką siarczanową w dawce 120 kg S·ha⁻¹ obniżyła się w warstwie gleby 0–40 cm, a po aplikacji siarki siarczanowej w dawce 40 i 80 kg S·ha⁻¹, gleba wykazywała wyższą koncentrację tego składnika w porównaniu z glebą nawożoną NPK. Natomiast zawartość dostępnej dla roślin formy potasu w warstwie głębszej (40–80 cm) gleby nawożonej wyższymi dawkami i formami siarki obniżyła się w porównaniu z zawartością w glebie tych samych obiektów do głębokości 40 cm oraz obiektów kontrolnych (NPK). Z kolei doświadczenie wykonane przez Łabętowicza i in. (19) na glebie o niskim pH nie wykazało zmian zawartości przyswajalnego potasu po aplikacji gipsu w porównaniu z obiektem kontrolnym.

Wapń

Oddziaływanie nawozów siarkowych na dostępność wapnia jest uzależnione od ich wpływu na pH gleby (3). Wzrost zawartości jonów H⁺ w glebach kwaśnych powoduje zmniejszanie się w nich ilości wapnia, ponieważ jest on wypierany z kompleksu sorpcyjnego. W badaniach Łabętowicza i in. (19) wykazano, że gips zastosowany na gleby o niskim odczynie spowodował pewien wzrost zawartości wapnia wymiennego. Należy przypuszczać, że w warunkach niskiego pH gleby gips rozpuszcza się, w wyniku czego następuje uwalnianie jonów Ca. To powoduje, że zawartość wymiennego wapnia w glebie zwiększa się.

Magnez

Badania Skwierawskiej i in. (27) wykazały, że zawartość magnezu w glebach nawożonych siarką siarczanową i elementarną zależy głównie od dawki siarki. Niewielki wzrost zawartości magnezu w badanej glebie obserwowano, na ogół, po zastosowaniu dawki niskiej i średniej S (40 i 80 kg S·ha⁻¹). Potrójne dawki siarki (120 kg S·ha⁻¹) spowodowały zmniejszenie zawartości przyswajalnego magnezu

w glebie w porównaniu z pozostałymi obiektami. Zdaniem autorów cytowanej pracy, mogło to wiązać się ze znacznym wynosem magnezu przez rośliny. Uzyskane wyniki mogą również wskazywać na kształtowanie się zawartości Mg w glebie w zależności od jej pH. Małe dawki nawozów siarkowych w mniejszym stopniu zakwaszają glebę, przez co jest ona zasobniejsza w magnez. Jak podają Filipek i Skowrońska (10), z zakwaszeniem związane jest zwiększone wymywanie kationów zasadowych z gleb, zwłaszcza Ca^{2+} i Mg^{2+} . Procesy te prowadzą także do zmian wysycenia kationowej pojemności sorpcyjnej gleb. Miejsce kationów zasadowych zajmują Al^{3+} , H^{+} i Mn^{2+} , które w miarę obniżania się pH pojawiają się w nadmiernych ilościach w roztworze. To powoduje, że gleba zawiera mniej magnezu dostępnego dla roślin a wzrost zawartości metali ciężkich dodatkowo pogarsza warunki wzrostu roślin uprawnych. Potwierdzeniem tych przypuszczeń są wyniki badań Alama i in. (3). Stwierdzili oni, spadek tempa pobrania Mg przez różne rośliny uprawne, który był spowodowany obniżeniem odczynu gleby. W warunkach pH 3,3 i pH 4,0 koncentracja Mg w roślinach była niska (0,03–0,16%), co zdaniem autorów mogło świadczyć o deficycie magnezu albo o działaniu ograniczającym wzrost roślin.

Wpływ nawozów siarkowych na zawartość mikroelementów w glebach uprawnych

Zawartość podstawowych mikroelementów, ważnych z rolniczego punktu widzenia, jest zróżnicowana w glebach Polski (18). Z uwagi na małe potrzeby pokarmowe roślin w stosunku do mikroelementów nie stwierdza się ich ostrych deficytów. Jednakże w warunkach gleb bardzo lekkich, czy intensywnej produkcji roślinnej, mogą wystąpić niedobory tych składników, co wiąże się z zagrożeniem pojawienia się chorób roślin, redukcji plonów i pogorszenia ich jakości. Zawartość mikroelementów w glebach uprawnych jest oceniana jako element ich żyzności. Gleby są też jednym z głównych źródeł mikroelementów w produkcji roślinnej, jednakże zdaniem Lipińskiego (18) właściwości gleb, a zwłaszcza odczyn, decydują o ich przyswajalności dla roślin. Ze względu na zakwaszające działanie nawozów siarkowych ich stosowanie może mieć zatem decydujący wpływ na przyswajalność i żywieniową efektywność mikroelementów.

Cynk

Zawartość przyswajalnych dla roślin form cynku determinowana jest przez właściwości gleby, tj. odczyn, potencjał redoks, zawartość węgla organicznego, pojemność sorpcyjną i udział w kompleksie sorpcyjnym zasadowych kationów wymiennych (Ca^{2+} i Mg^{2+}) (4). Zasobność gleb uprawnych w cynk jest kształtowana również przez czynniki agrotechniczne, wśród których najważniejszą rolę spełnia nawożenie. Jednakże nawożenie może przyczynić się do obniżenia zawartości mikroelementów w glebach wskutek dużego ich pobrania z plonami bądź unieruchomienia w glebie

(31). Potwierdzeniem tych przypuszczeń są badania Skwierawskiej i in. (28), którzy wykazali że stosowanie siarki siarczanowej i siarki elementarnej obniża zawartość cynku w glebie. Zdaniem wymienionych autorów siarka nawozowa wpływa na wzrost rozpuszczalności cynku w glebie poprzez obniżanie jej odczynu. To z kolei powoduje wzrost zawartości dostępnych form cynku w glebie i większe wykorzystanie tego mikroelementu przez rośliny. Istotne zwiększenie zawartości cynku przyswajalnego w glebie, po zastosowaniu siarki w postaci siarczanu amonu, w porównaniu z jego zawartością na obiekcie kontrolnym, wykazali Barczak i in. (4) (tab. 2). Pod wpływem $20 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$ (S1) nastąpiło podwyższenie zawartości tych form cynku średnio o $1,30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (9,1%), a dawka $40 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$ (S2) powodowała przyrost zawartości tego mikroelementu w glebach średnio o $2,52 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (17,6%). W wyniku zastosowania siarki zawartość cynku przyswajalnego w większym stopniu wzrastała na glebach lekkich niż na średnich. Największe różnice pod wpływem nawożenia siarką stwierdzono dla gleby biellicowej, a najmniejsze – dla czarnoziemiu. Wzrost koncentracji cynku rozpuszczalnego w glebie po aplikacji siarki elementarnej uzyskali także Karimizarchi i in. (15) oraz Modaihsh i in. (21).

Tabela 2

Zawartość ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) cynku przyswajalnego w glebach po zastosowaniu siarczanu sodu

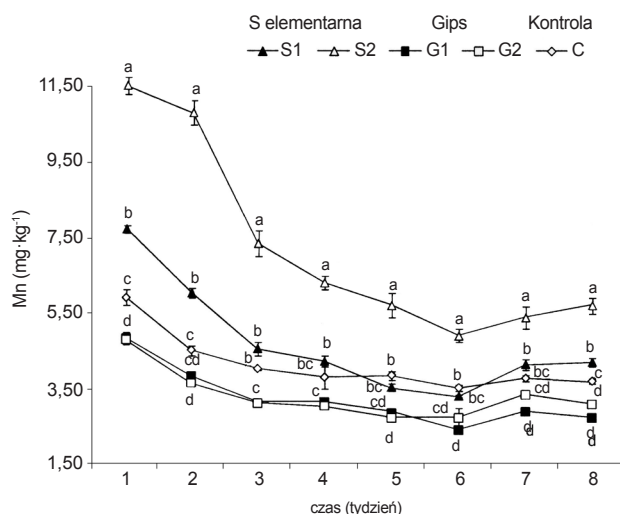
Obiekt nawozowy	Typ gleby				Średnio
	czarnoziem	gleba płowa	gleba biellicowa	czarna ziemia	
Kontrola	17,74	11,70	12,40	15,35	14,30
$20 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$	18,49	12,60	14,78	16,53	15,60
$40 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$	19,67	14,16	16,19	17,27	16,82

Źródło: Barczak i in., 2009 (4), zmodyfikowane

Mangan

Badania Turan i in. (32) wskazują, że zawartość manganu w glebie zależy od formy zastosowanego nawozu siarkowego (rys. 7). Stwierdzili oni, że podanie siarki elementarnej spowodowało zwiększenie, w stosunku do aplikacji gipsu, zwiększenie zawartości Mn dostępnego w glebie. Zastosowanie siarki siarczanowej miało negatywny wpływ na dostępność manganu, co wynikało z wprowadzenia do gleby jonów Ca^{+2} obecnych w gipsie. Jony wapnia powodują wzrost odczynu gleby w wyniku czego mangan dostępny przechodzi w formę niedostępną dla roślin. Zdaniem Turan i in. (32) dostępność Mn uzależniona jest nie tylko od kwasowości gleby, ale także od ilości obecnej w glebie mikroflory odpowiedzialnej za proces utleniania siarki elementarnej. Modaihsh i in. (21) oraz Karimizarchi i in. (15) stwierdzili również korzystne oddziaływanie siarki elementarnej na wzrost zawartości dostępnego manganu w glebach powstałych z wapieni (tab. 3).

Największe ilości tej formy manganu oznaczono w wierzchniej warstwie gleby, co prawdopodobnie było związane z niższym jej odczynem.



Różne litery umieszczone w indeksie górnym tego samego tygodnia wskazują istotne różnice obliczone za pomocą testu Duncana przy $P < 0,01$.

Rys.7. Wpływ różnych form i dawek siarki na zawartość w glebie dostępnego manganu

Źródło: Turan i in., 2013 (32), zmodyfikowane

Tabela 3

Dostępność mikroelementów w glebie po aplikacji siarki elementarnej

Dawka siarki (g·kg ⁻¹ gleby)	Zawartość składnika w glebie (mg·kg ⁻¹)			
	Fe	Mn	Zn	Cu
0	0,146b*	1,61d	0,03c	Ślady
0,5	0,163b	7,26c	0,20c	Ślady
1,0	0,214b	26,67b	1,47b	Ślady
2,0	0,887a	73,41a	4,94a	0,132

*cyfry w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie przy poziomie 0,05 według testu Tukeya

Źródło: Karimizarchi i in., 2014 (15), zmodyfikowane

Miedź

Badania Modaihsh i in. (21) wykazały, że aplikacja siarki istotnie podniosła zawartość dostępnej miedzi w glebach wytworzonych z wapieni (rędzinach) po około 6 tygodniach badań. Natomiast w doświadczeniu prowadzonym przez Skwierawską i in. (28) na glebie lekko kwaśnej, obserwowano obniżenie się poziomu dostępnej miedzi po trzyletnim stosowaniu nawozów siarczanowych. Jednakże wyższe dawki siarki elementarnej zastosowane w tych samych warunkach glebowych spowodowały wzrost ilości miedzi w glebie do wartości przewyższającej zawartość stwierdzoną przed założeniem doświadczenia.

Żelazo

Abdin i in. (1) twierdzą, że istnieje bliski związek pomiędzy metabolizmem siarki i żelaza w roślinie, ponieważ aplikacja siarki zwiększa dostępność żelaza, a żelazo zwiększa dostępność siarki. Szczególnie korzystne działanie wyższych dawek siarki wykazali w tym aspekcie Karizimarchi i in. (15) (tab. 3). Najsilniejszy wpływ nawożenia siarką elementarną, gleby zasobnej w węglany, obserwowano w obiektach z jej najwyższymi dawkami. Jest to spowodowane ich większym wpływem na obniżenie odczynu gleby. Uzyskany, w tych warunkach, wzrost ilości dostępnego żelaza w glebie przekłada się na jego większe pobranie przez rośliny uprawne.

Molibden

Przyjmuje się, że molibden jest potrzebny roślinom tylko w śladowych ilościach. Jednakże pierwiastek ten jest niezbędny dla przebiegu metabolizmu azotu nieorganicznego jako składnik enzymu reduktazy azotanowej u większości gatunków roślin uprawnych oraz enzymu nitrogenazy w roślinach strączkowych. Abdin i in. (1) twierdzą, że nawożenie siarką zmniejsza pobieranie molibdenu przez rośliny. Jednakże badania tych autorów wykazały, że łączna aplikacja molibdenu i siarki poprawia parametry wzrostu roślin. Dzieje się tak dzięki indywidualnemu wpływowi tych składników oraz dzięki zwiększonemu pobieraniu siarki i azotu. Pomimo tego efekt współdziałania siarki i molibdenu na wyższych poziomach nawożenia nie był statystycznie istotny. Można to przypisać antagonistycznemu oddziaływaniu zachodzącemu pomiędzy tymi składnikami, ponieważ oba są absorbowane jako aniony (MoO_4^{-2} i SO_4^{-2}) i prawdopodobnie konkurują o miejsca absorpcji na korzeniach roślin.

Podsumowanie

Jednym z ważniejszych aspektów współczesnej, opłacalnej produkcji roślinnej jest nawożenie, które w sposób bezpośredni wpływa na żyzność gleb uprawnych. Podstawową rolą nawożenia jest dostarczenie uprawianym roślinom składników pokarmowych oraz utrzymanie lub zwiększenie zasobności gleby w niezbędne makro- i mikroelementy. Jednakże rolnik powinien mieć świadomość tego, że wprowadzenie do gleby każdego typu nawozów ma określony wpływ na środowisko glebowe. Może w ten sposób poprawić lub pogorszyć właściwości gleby, a przez to zmienić warunki wzrostu roślin uprawnych. Takie negatywne zmiany w glebie mogą wystąpić także po zastosowaniu nieodpowiednich dawek i/lub form nawozów siarkowych. Jak wykazano w pracy, nawozy siarkowe stosowane w celu likwidacji niedoborów siarki lub zapewnienia lepszego zaopatrzenia roślin w ten niezbędny składnik pokarmowy mogą doprowadzić do niekorzystnego obniżenia odczynu gleby. Zakwaszenie gleb skutkuje najczęściej mobilizacją i immobilizacją składników pokarmowych roślin i toksycznych metali ciężkich (10). Z zakwaszeniem związane jest również zwiększone wymywanie z gleb kationów zasadowych, zwłaszcza Ca^{2+} i Mg^{2+} . Gleby bardzo

kwaśne i kwaśne wykazują niską zawartość przyswajalnych form fosforu i potasu. Jednocześnie wraz z zakwaszeniem gleby zwiększa się przyswajalność mikroelementów pobieranych przez rośliny w formie kationów: Fe^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} i Cu^{2+} oraz metali ciężkich, dla których nie wykazano korzystnego działania na organizmy żywe. Jest to następstwem oddziaływania niskiego odczynu środowiska glebowego na wzrost rozpuszczalności związków, w których one występują. Dlatego, chcąc pogodzić potrzeby pokarmowe roślin oraz utrzymać korzystne właściwości gleb uprawnych, należy stosować zasady zrównoważonego nawożenia w oparciu o aktualne analizy chemiczne gleb i znajomość działania stosowanych nawozów.

Literatura

1. Abdin M.Z., Ahmad A., Khan N., Khan I., Jamal A., Iqbal M.: Sulphur interactions with other nutrients. In: Sulphur in plants, Y.P. Abrol and A. Ahmad (eds.). Kluwer Academic Publishers, 2003, pp. 359-374.
2. Adam M., Drozd J., Stanisławska E.: Wpływ zróżnicowanego nawożenia organicznego i mineralnego na niektóre elementy żyzności gleby. *Rocz. Gleb.*, 1989, **40(1)**: 101-110.
3. Alam S.M., Naqvi S.S.M., Ansari R.: Impact of soil pH on nutrient uptake by crop plants. In: Handbook of plant and crop stress, M. Pessarakli (ed.), CRC Press, 1999, 51-60.
4. Barczak B., Murawska B., Szychaj-Fabisiaś E.: Zawartość cynku przyswajalnego w glebie w zależności od jej typu oraz nawożenia siarką. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2009, **541**: 39-45.
5. Boswell CC., Friesen D.K.: Elemental sulfur fertilizers and their use on crops and pastures. *Fert. Res.*, 1993, **35**: 127-149.
6. Cakmak I.: Plant nutrition researches: Priorities to meet human needs for food in sustainable ways. *Plant Soil*, 2002, **247**: 3-24.
7. Deugd M., Roling N., Smaling E.M.A.: A new praxeology for integrated nutrient management, facilitating innovation with and by farmers. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **71**: 269-283.
8. Eriksen J.: Soil sulfur cycling in temperate agricultural systems. *Adv. Agron.*, 2009, **102**: 55-89.
9. Fageria N.K.: Role of soil organic matter in maintaining sustainability of cropping systems. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 2012, **43(16)**: 2063-2113.
10. Filipek T., Skowrońska M.: Aktualnie dominujące przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb użytkowanych rolniczo w Polsce. *Acta Agroph.*, 2013, **20(2)**: 283-294.
11. Fotyma M., Mercik S.: Nawozy mineralne. W: *Chemia rolna*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 1992.
12. Janzen H.H., Bettany J.R.: Release of available sulfur from fertilizers. *Can. J. Soil Sci.*, 1986, **66**: 91-103.
13. Kaczor A., Łaszczyńska-Zakorczenińska J.: Wpływ nawożenia siarką i potasem na plonowanie i zawartość różnych form siarki w jęczmieniu jarym. *Acta Agroph.*, 2003, **1(2)**: 239-244.
14. Kaczor A., Zuzanska J.: Znaczenie siarki w rolnictwie. *Chemia-Dydaktyka-Ekologia – Metrologia*. 2009, **14(1-2)**: 69-78.
15. Karimizarchi M., Aminuddin H., Khanif M.Y., Radziah O.: Elemental sulphur application effects on nutrient availability and sweet maize (*Zea mays* L.) response in a high pH soil of Malaysia. *Malaysian J. Soil Sci.*, 2014, **18**: 75-86.
16. Kozłowska-Strawska J.: Wpływ nawożenia roślin różnymi związkami siarki na zmiany odczynu gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2007, **520**: 635-639.
17. Kulczycki G.: Wpływ nawożenia siarką elementarną na plon i skład chemiczny roślin oraz właściwości chemiczne gleby. *Nawozy i Nawożenie*, 2003, **4(17)**: 151-159.

18. Lipiński W.: Zasobność gleb Polski w mikroelementy. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2013, **34(8)**: 121-131.
19. Łabętowicz J., Szymańska M., Stępień W.: Przydatność gipsu do poprawy właściwości fizykochemicznych gleb lekkich. *Rocz. Gleb.*, 2010, **61**: 154-158.
20. Malhi S.S.: Improving organic C and N fractions in a sulfur –deficient soil with S fertilization. *Biol. Fertil. Soils*, 2012, **48**: 735-739.
21. Modaihsh A.S., Al-Mustafa W.A., Metwally A.I.: Effect of elemental sulfur on chemical changes and nutrient availability in calcareous soils. *Plant Soil*, 1989, **116**: 95-101.
22. Myśków W., Stachyra A., Zięba S., Masiak D.: Aktywność biologiczna gleb jako wskaźnik jej żyzności i urodzajności. *Rocz. Gleb.*, 1996, **47(1/2)**: 89-99.
23. Podleśna A.: Potrzeby nawożenia siarką – stan obecny i perspektywy. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2013, **34(8)**: 107-120.
24. Prietzel J., Weick C., Korintenberg J., Seybold G., Thumerer T., Tremi B.: Effects of repeated $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ application on sulfur pool in soil, soil microbial biomass and ground vegetation of two watersheds in the Black Forest/Germany. *Plant Soil*, 2001, **230**: 287-305.
25. Sameni A.M., Kasraian A.: Effect of agricultural sulfur on characteristics of different calcareous soils from dry regions of Iran. Disintegration rate of agricultural sulfur and its effects on chemical properties of the soils. *Comm. Soil Scie. Plant Anal.*, 2004, **35(9-10)**: 1219-1234.
26. Scherer H.W.: Sulfur in soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 2009, **172**: 326-335.
27. Skwierawska M., Zawadzki B., Zawartka L.: Wpływ różnych dawek i form siarki na zawartość magnezu w glebie i roślinach. *J. Elementol.*, 2006, **11(4)**: 495-505.
28. Skwierawska M., Zawartka L., Skwierawski A., Nogalska A.: The effect of different sulfur doses and forms on changes of soil heavy metals. *Plant Soil Environ.*, 2012, **58(3)**: 135-140.
29. Skwierawska M., Zawartka L., Zawadzki B.: The effect of different rates and forms of sulphur applied on changes of soil agrochemical properties. *Plant Soil Environ.*, 2008a, **54(4)**: 171-177.
30. Skwierawska M., Zawartka L., Zawadzki B.: The effect of different rates and forms of applied sulphur on nutrient composition of planted crops. *Plant Soil Environ.*, 2008b, **54(5)**: 179-189.
31. Spiak Z.: Mikroelementy w rolnictwie. *Zesz. Nauk. Post. Nauk Roln.*, 2000, **471**: 29-34.
32. Turan M.A., Tuban S., Katkat A.V., Kucukyumuk Z.: The evaluation of elemental sulfur and gypsum effect on soil pH, EC, $\text{SO}_4\text{-S}$ and available Mn content. *J. Food Agric. Environ.*, 2013, **11(1)**: 572-575.
33. Zheng S., Fan J., Hu H.: The effect of different rates and forms of sulfur applied on soil microbial biomass and activity. *J. Food Agric. Environ.*, 2011, **9(3&4)**: 898-906.

Adres do korespondencji

dr hab. Anna Podleśna
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. 81 47 86 835
e-mail: ap@iung.pulawy.pl

Anna Kocoń, Anna Gałązka

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

WPŁYW PREPARATÓW Z MIKROORGANIZMAMI POŻYTECZNYMI NA WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNE GLEBY ORAZ PLON ROŚLIN*

Słowa kluczowe: preparaty z mikroorganizmami pożytecznymi, właściwości fizyczne i chemiczne gleby, plon roślin

Wstęp

W związku z proekologicznymi technologiami uprawy roślin poszukuje się nowych, biologicznych metod, których celem będzie między innymi zwiększenie żyzności gleby poprzez wzrost jej aktywności mikrobiologicznej, poprawę właściwości fizykochemicznej gleby, a w efekcie końcowym wzrost plonu roślin. Do takich metod zaliczyć można próby kształtowania żyzności gleby z wykorzystaniem preparatów z mikroorganizmami pożytecznymi tzw. Efektywnymi Mikroorganizmami (funkcjonujące na rynku – pod różnymi nazwami) (9, 11, 12, 13, 16, 26). Preparaty takie są obecnie dość szeroko stosowane w praktyce rolniczej. Pierwotna koncepcja Efektywnych Mikroorganizmów (EM) opracowana została w latach 80. XX w. przez profesora Teruo Higa z Japonii. Do Polski dotarła ponad 10 lat temu (6). Założeniem koncepcji jest wprowadzenie do gleby mieszanki wyselekcjonowanych kultur pożytecznych, naturalnie występujących w przyrodzie mikroorganizmów, w postaci preparatów pospolicie zwanych „ulepszaczami”, których głównym zadaniem jest zwiększenie biologicznej różnorodności gleby oraz poprawa właściwości i jakości gleby.

Preparaty mikrobiologiczne mają obecnie szerokie zastosowanie, wykraczające często poza obszar rolnictwa. W ramach kształtowania żyzności gleby stosuje się je, po rozcieńczeniu z wodą, w formie oprysku na glebę, ściernisko, słomę, poplony roślinne, które następnie przykrywa się cienką warstwą gleby. Proponuje się wykorzystanie preparatów mikrobiologicznych również do zaprawy materiału siewnego, a także

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

w celach ochronnych, stosując w sezonie wegetacyjnym roślin od 1 do 3 oprysków nalistnych.

Dotychczasowy stan wiedzy odnośnie wpływu preparatów z pożytecznymi organizmami na poprawę żyzności gleby czerpany jest głównie z badań komercyjnych, zleczanych różnym instytucjom przez poszczególne firmy zajmujące się produkcją i dystrybucją tych środków, a także z fragmentarycznych badań naukowych (8, 9, 11, 16, 17, 19, 20, 22, 25, 33).

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie stanu wiedzy odnośnie wpływu wybranych, najpopularniejszych preparatów z pożytecznymi organizmami na poprawę właściwości fizycznych i chemicznych gleby oraz plonowanie roślin.

Co to są preparaty z pożytecznymi mikroorganizmami?

Preparaty z pożytecznymi mikroorganizmami są to produkty płynne zawierające kombinacje różnych mikroorganizmów, między innymi: drożdże, bakterie kwasu mlekowego, bakterie z rodzaju *Azotobacter* spp., bakterie fototropiczne (np. z rodziny *Athiorhodaceae*, *Thiorhodaceae*, *Chlorobacteriaceae*), inne rodzaje bakterii, np. promieniowce, *Pseudomonas*. Ponadto mogą one zawierać wybrane składniki pokarmowe np. N, P, K, oraz mikroelementy (6).

Bakterie kwasu mlekowego mają silne właściwości sterylizujące, hamują w środowisku rozwój takich drobnoustrojów, jak: fusarium, enterokoki, salmonella, bakterie coli, produkują kwas mlekowy z cukrów i innych węglowodanów wytwarzanych przez bakterie fotosyntetyzujące i drożdże, przyspieszają rozkład materii organicznej. Bakterie fotosyntetyzujące są niezależnymi, samożywnymi mikroorganizmami, tworzą pożyteczne dla roślin substancje z wydzielin korzeni, materiału organicznego i szkodliwych gazów, jak siarkowodór, produkują aminokwasy, kwasy nukleinowe i substancje bioaktywne. Drożdże natomiast syntetyzują pożyteczne dla roślin substancje z wydzielin bakterii fotosyntetyzujących, a ich z kolei wydzieliny są substratem dla bakterii kwasu mlekowego i promieniowców.

W niniejszej pracy podjęto próbę przedstawienia stanu wiedzy odnośnie stosowania i wpływu 3 najpopularniejszych preparatów z pożytecznymi mikroorganizmami, tj. EM, EmFarma (starsza nazwa ProBioEMy czy też EM Farming) oraz Użyźniacza Glebowego UGmax na kształtowanie wybranych parametrów żyzności gleby oraz plonowanie roślin.

Preparat EM jest biologiczną mieszanką składającą się z mikroorganizmów pochodzenia naturalnego, należących m.in. do bakterii kwasu mlekowego, bakterii fotosyntetyzujących, drożdży, promieniowców i grzybów pleśniowych. Szczepionkę tę opracował przed ok. 20 laty japoński mikrobiolog, profesor Teruo Higa. W skład preparatu EM wchodzi bakterie mlekowe (*Lactobacillus casei*, *Streptococcus lactis*), bakterie fotosyntetyzujące (*Rhodopseudomonas palustris*, *Rhodobacter spae*), drożdże (*Saccharomyces albus*, *Candida utilis*), promieniowce (*Streptomyces albus*, *S. griseus*) oraz pleśnie (*Aspergillus oryzae*, *Mucor hiemalis*) (6, 9). EM oprócz

mikroorganizmów często zawierają także N organiczny. Obecnie dostępne są różne warianty tego preparatu np. EM Naturalnie Aktywny, EM-A, EM-1.

UGmax – Użyźniacz Glebowy jest ekstraktem z gnojowicy oraz obornika i, jak deklaruje producent, służy do podnoszenia urodzajności gleby. Zawiera między innymi następujące mikroorganizmy: bakterie kwaszące typu kwasu mlekowego, bakterie fotosyntetyczne, *Pseudomonas* ssp., *Penicillium*, *Azotobacter*, drożdże, promieniowce, a także następujące makro- i mikroelementy: N, P, K, Mg, S, Na i Mn (21, 28). Zdaniem producenta jest to unikalny, naturalny preparat stwarzający nowe możliwości w technologii uprawy gleby i roślin.

W skład preparatów mikrobiologicznych typu **EmFarma** wchodzi bakterie kwasu mlekowego (*Lactobacillus* i *Bifidobacterium*), promieniowce oraz drożdże (*Saccharomyces*) produkujące substancje o charakterze związków fitohormonalnych, enzymy i inne oraz związki stanowiące najczęściej pożywkę dla bakterii kwasu mlekowego i pożytecznych promieniowców (*Actinomycetes*). W skład tych preparatów wchodzi także bakterie fotosyntetyzujące, które odgrywają wiodącą rolę w procesach biochemicznych.

Wszystkie te środki, choć ich skład różni się, mają ten sam cel – poprawić właściwości fizyczne, chemiczne oraz biologiczne gleby, co powinno przekładać się na plon w sposób jakościowy i ilościowy. Omawiane preparaty w niniejszym opracowaniu są nazywane zamiennie preparatami z pożytecznymi mikroorganizmami, preparatami mikrobiologicznymi, Efektywnymi Mikroorganizmami lub biopreparatami.

Stosowanie preparatów z Efektywnymi Mikroorganizmami a właściwości fizykochemiczne gleby

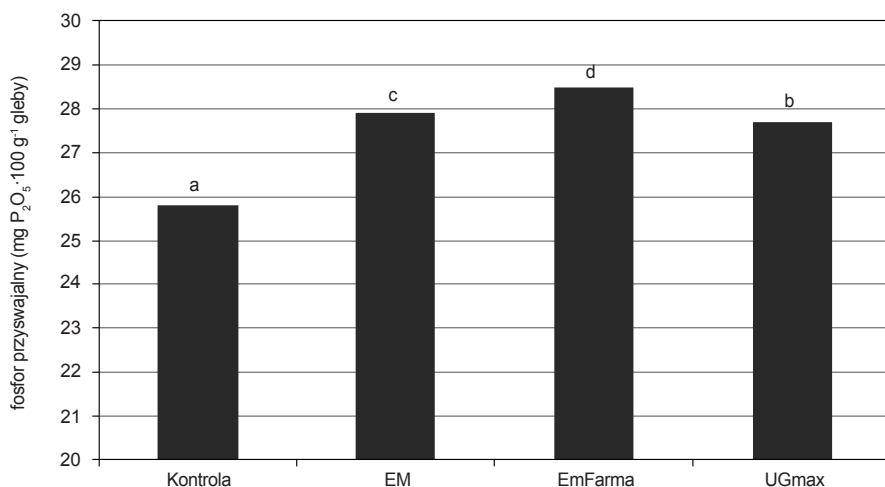
Działania promocyjno-reklamowe producentów preparatów sugerują, że stosowanie tych środków znacznie poprawia właściwości fizykochemiczne gleby, między innymi zwiększa zawartość substancji organicznej oraz zawartość dostępnych składników pokarmowych w glebie dla roślin. W literaturze przedmiotu mało jest badań odnośnie wpływu preparatów z pożytecznymi mikroorganizmami na właściwości fizykochemiczne gleby, a dostępne informacje i badania są niejednoznaczne (2, 10, 18, 29). Z niektórych doniesień literatury polskiej i zagranicznej wynika, że wprowadzając preparaty z pożytecznymi mikroorganizmami, uzyskuje się poprawę jej właściwości fizycznych i chemicznych (3, 29), a uzależnione jest to od dawki preparatu oraz rodzaju gleby (10, 11). Zdaniem Kaczmarka i in. (10, 11) preparat EM-A wpływa korzystnie na większość analizowanych właściwości fizycznych i wodnych gleby, lecz różne jego dawki wpływają odmiennie na gleby o zróżnicowanym poziomie materii organicznej i uziarnieniu. W badaniach wyżej cytowanych autorów (10, 11) stwierdzono ponadto wpływ zastosowanej dawki preparatu na zawartość węgla organicznego w glebie. W kombinacjach o podwyższonej zawartości materii organicznej, przy stosowaniu niższych dawek EM-A zawartość węgla wzrastała na obu typach gleb, a przy zastosowaniu najwyższej dawki tego preparatu zawartość C

organicznego w glebie spadała. Natomiast dwuletnie badania Tołoczki i in. (25) wykazały, że stosowanie EM-A zmniejszało zawartości Corg. w glebie, przy czym nie stwierdzono istotnych zmian ilościowych i jakościowych składu frakcyjnego próchnicy pod wpływem stosowania preparatu w stosunku do obiektu kontrolnego.

Spotyka się również doniesienia mówiące o tym, że stosowanie Efektywnych Mikroorganizmów przyczynia się do szybszej mineralizacji węgla organicznego i humifikacji materii organicznej, ponadto działanie tych preparatów prowadzi do zwiększonego uwalniania składników pokarmowych z materii organicznej (1, 31). Jednak opisane w dostępnej literaturze wyniki badań odnośnie wpływu stosowania preparatów z mikroorganizmami pożytecznymi na właściwości chemiczne gleby dotyczące zmiany zasobności gleby w składniki pokarmowe, często są rozbieżne. I tak w badaniach wazonowych Gajdy i Igrasa (2) z pszenicą wykazano wzrost zawartości przyswajalnego fosforu w glebie pod wpływem stosowania EM-A. Podobnie Górski i Kleiber (5) w uprawie roślin ozdobnych stwierdzili pozytywny wpływ stosowania przedwegetacyjnego preparatu EM na zmiany zawartości dostępnych i łatwo rozpuszczalnych form składników pokarmowych (miedzy innymi P i K) w podłożu, w stosunku do obiektów kontrolnych.

W ramach oceny efektywności działania preparatów mikrobiologicznych w IUNG-PIB przeprowadzono własne, ściśle doświadczenie polowe nad wpływem stosowania: EM Naturalnie Aktywny, EmFarma Plus oraz UGmax na kształtowanie żyzności gleby oraz plonowanie zbóż. Doświadczenie prowadzono metodą równoważnych podbloków: split-block-split-plot, jako 3 czynnikowe, gdzie pierwszym czynnikiem badawczym (I) były testowane produkty z mikroorganizmami pożytecznymi: EM, EmFarma Plus i UGmax oraz obiekt kontrolny – bez stosowania preparatów mikrobiologicznych (w sumie 4 obiekty). Drugim czynnikiem (II) były 3 różne sposoby stosowania ww. preparatów: na ściernisko, na ściernisko ze słomą oraz na ściernisko ze słomą i 30 kg N. Natomiast trzecim czynnikiem (III) były 3 poziomy nawożenia azotem: N0 – 0 kg N·ha⁻¹, N1 – 70 kg N·ha⁻¹ oraz NII – 140 kg N·ha⁻¹. Doświadczenie zlokalizowane było na glebie płowej o składzie granulometrycznym piasku gliniastego lekkiego, kompleksu żytniego bardzo dobrego. Badania prowadzono w latach 2012–2014 znacznie różniących się warunkami meteorologicznymi (14). Preparaty mikrobiologiczne stosowane były corocznie wg zaleceń Producenta. Roślinami uprawnymi były zboża: w pierwszym roku pszenżyto jare, w drugim pszenica ozima a w trzecim jęczmień jary. W trakcie 3-letnich badań, corocznie, w warstwie ornej gleby po sprzęcie roślin, oznaczano m.in.: pH gleby, zawartość przyswajalnych form P₂O₅ i K₂O oraz Mg. Uzyskane wyniki wskazują, że stosowane preparaty mikrobiologiczne EM, EmFarma Plus oraz UGmax wpływały korzystnie na poprawę niektórych parametrów żyzności gleby. Aplikacja preparatów zawierających mikroorganizmy zwiększała zawartość przyswajalnego fosforu w glebie w każdym z 3 lat badań, natomiast potasu w latach 2012 i 2013. W warunkach prowadzenia niniejszych badań największe ilości przyswajalnego fosforu w glebie stwierdzono w ostatnim roku badań (2014)

i to pomimo 3-letniego nienawożenia roślin i gleby fosforem oraz corocznego wynoszenia znacznych ilości tego składnika z plonem roślin. Największymi zawartościami przyswajalnego fosforu w tym roku charakteryzowała się gleba z obiektów, na których stosowano EmFarma Plus (rys. 1). Na tych obiektach stwierdzono wyższą zawartość przyswajalnego fosforu w glebie o 10,9%, podczas gdy na obiektach, gdzie stosowano EM-y i UGmax wyniosła ona średnio 8,17%, w stosunku do obiektów kontrolnych. Prawdopodobnie duży wpływ na efektywność działania preparatów w ostatnim roku (2014) miały korzystne warunki pogodowe, zwiększona i dobrze rozłożona w czasie ilość opadów oraz wyższe temperatury powietrza. W efekcie wzrostu wilgotności gleby i temperatury poprawiły się warunki rozwoju mikroorganizmów i życia biologicznego w glebie, jak również warunki do mineralizacji i immobilizacji niektórych składników pokarmowych (10, 11, 22).



Rys. 1. Wpływ stosowania preparatów z pożytecznymi mikroorganizmami na zawartość przyswajalnego fosforu w glebie (0–20 cm) (2014 r.), w poszczególnych obiektach (wartości średnie)
Źródło: opracowanie własne

Sposób stosowania preparatów oraz dawka nawożenia azotem w różnym stopniu kształtowały zawartość przyswajalnych form fosforu i potasu w poszczególnych latach badań (14).

W żadnym z 3 lat badań nie stwierdzono istotnego wpływu preparatów mikrobiologicznych na pH gleby oraz na oznaczane zawartości przyswajalnego magnezu w glebie (14). W tabeli 1 podano przykładowe parametry pH gleby oraz zawartości przyswajanego potasu i magnezu w glebie w trzecim roku prowadzenia badań.

Tabela 1

Wybrane elementy żyzności gleby po zbiorze jęczmienia jarego w 2014 r.
w warstwie ornej gleby 0–20 cm

Preparat (I)	Poziom N (III)	Sposób stosowania preparatu mikrobiologicznego (II)											
		ściernisko			ściernisko + słoma			ściernisko + słoma + N			średnia		
		pH KCl	mg·100 g ⁻¹ gleby		pH KCl	mg·100 g ⁻¹ gleby		pH KCl	mg·100 g ⁻¹ gleby		pH KCl	mg·100 g ⁻¹ gleby	
			K ₂ O	Mg		K ₂ O	Mg		K ₂ O	Mg		K ₂ O	Mg
Kontrola	N 0	6,6	13,1	2,6	6,7	16,4	3,5	6,6	13,3	3,1	6,6	14,3	3,1
	N I	6,3	11,6	3,0	6,9	13,5	2,6	6,4	18,5	3,4	6,4	14,5	3,0
	N II	6,6	12,7	3,2	6,8	11,9	2,9	6,2	13,4	3,4	6,5	12,7	3,2
	średnia	6,5	12,5	2,9	6,8	13,9	3,0	6,4	15,1	3,3	6,5	13,8	3,1
EM	N 0	6,7	15,5	2,8	6,6	14,8	3,3	6,6	16,6	3,4	6,6	15,6	3,2
	N I	6,6	12,8	3,6	6,9	12,8	2,5	6,6	15,3	2,6	6,6	13,6	2,9
	N II	6,6	15,3	3,2	6,6	12,2	3,1	6,4	14,0	3,2	6,5	13,8	3,2
	średnia	6,6	14,5	3,2	6,7	13,3	3,0	6,5	15,3	3,1	6,6	14,4	3,1
EmFarma Plus	N 0	6,6	11,4	2,1	6,5	16,2	3,4	6,8	15,9	3,3	6,8	14,5	2,9
	N I	6,4	11,8	2,4	6,9	13,4	2,3	6,6	15,4	3,3	6,6	13,5	2,7
	N II	6,4	12,6	2,3	6,5	13,5	3,1	6,5	15,2	2,7	6,5	13,8	2,7
	średnia	6,5	11,9	2,3	6,6	14,4	2,9	6,6	15,5	3,1	6,6	13,9	2,8
UGmax	N 0	6,7	15,6	2,6	6,7	17,8	3,2	6,6	15,1	2,2	6,6	16,2	2,7
	N I	6,5	15,1	2,2	6,7	13,9	2,6	6,6	12,1	2,3	6,6	13,7	2,4
	N II	6,4	12,2	2,3	6,2	13,8	2,9	6,6	14,0	2,6	6,4	13,3	2,6
	średnia	6,5	14,3	2,4	6,5	15,2	2,9	6,6	13,7	2,4	6,5	14,4	2,6
NIR ($\alpha = 0,05$) dla: (K ₂ O) I – r.n.; II – r.n.; III – 0,92; (pH) I – r.n.; II – r.n.; III – r.n.; (Mg) I – r.n.; II – r.n.; III – r.n.													

r.n. – różnice nieistotne

Źródło: opracowanie własne

Natomiast w jednorocznych polowych badaniach Martyniuka i Księżaka (18) z kukurydzą nie uzyskano korzystnego wpływu preparatów mikrobiologicznych EM-Farming i UGmax na wzrost zasobności gleby w przyswajany P₂O₅, K₂O, MgO oraz na wzrost pH gleby (tab. 2).

Tabela 2

Wpływ UGmax na pH, zawartość próchnicy i zasobność gleby w podstawowe makroelementy

Obiekt	pH _{KCl}	N ogólny (%)	Próchnica (%)	Zawartość (mg·100 g ⁻¹ gleby)		
				P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
NPK	6,81	0,129	1,81	22,2	23,8	18,9
NPK + UGmax	6,79	0,118	1,74	21,4	21,4	19,7
N + UGmax	6,69	0,137	1,80	18,8	23,1	19,2

Źródło: Martyniuk i Księżak, 2011 (18)

Znane są również doniesienia literaturowe Zydlika i Zydlika (33), gdzie w wyniku aplikowania roztworów Efektywnych Mikroorganizmów uzyskano mniejsze zawartości przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu w glebie w stosunku do obiektów kontrolnych. Autorzy zinterpretowali to zjawisko jako następstwo pobrania składników przez rośliny. Ponadto Jakubus i in., (8) w doświadczeniach inkubacyjnych bez obsady roślin uzyskali odmienną reakcję typów gleb na stosowanie EM-A. W badaniach wyżej wymienionych autorów wzrastające dawki preparatu EM-A w warunkach gleby płowej przyczyniły się do wzrostu ilości przyswajalnego potasu, magnezu i siarki, natomiast w warunkach czarnej ziemi zawartości wyżej wymienionych składników w glebie malały. Wyniki badań cytowanych autorów nie potwierdziły natomiast pozytywnego wpływu Efektywnych Mikroorganizmów na ilość węgla organicznego, próchnicy czy wzrost pH gleb.

Wpływ preparatów z pożytecznymi mikroorganizmami na plon roślin

Badania w zakresie możliwości stosowania Efektywnych Mikroorganizmów w uprawach roślin polowych i ogrodniczych prowadzili między innymi: Kocoń i Jadczyński (14), Martyniuk i Księżak (18), Sulewska i in. (24), Trawczyński i Bogdanowicz (26), Truba i in. (28), Wielgosz i in. (30), Zarzecka i Gugała (32), Zydlik i Zydlik (33).

Dobre efekty plonotwórcze uzyskano pod wpływem stosowania preparatów mikrobiologicznych w uprawie ziemniaka. Trawczyński i Bogdanowicz (26) w ekologicznej uprawie z UGmax otrzymali istotny wzrost plonu bulw ziemniaka (tab. 3). Zastosowanie tego preparatu w zróżnicowanym nawożeniu mineralnym P i K spowodowało zwiększenie plonu ziemniaka od 5,1 do 9,2%, odpowiednio dla najwyższej i zerowej dawki fosforu i potasu (średnio o 7,1%) w porównaniu z obiektem kontrolnym.

Tabela 3

Wpływ Użyźniacza glebowego (UGmax) oraz nawożenia mineralnego na plon bulw ziemniaka
(średnie z lat 2004–2006)

Obiekt	Dawka P i K (t·ha ⁻¹)			Średnio
	0	63,3	126,6	
Słoma (kontrola)	39,2	41,0	42,8	41,0
Słoma + UGmax	42,8	44,0	45,0	43,9
NIR _{0,005}	1,7			1,4
Wzrost plonu pod wpływem UGmax	3,6	3,0	2,2	2,9
Procentowy wzrost plonu w porównaniu z obiektem kontrolnym	9,2	7,3	5,1	7,1

Źródło: Trawczyński i Bogdanowicz, 2007 (26)

Natomiast Jabłoński (7) po zastosowaniu UGmax uzyskał wzrost plonu ogólnego ziemniaka o 12,2%, handlowego o 15,1%, a bulw dużych o 20,3% w stosunku do obiektu kontrolnego. Jeszcze lepsze efekty plonotwórcze po zastosowaniu tego preparatu w 3-letniej uprawie ziemniaka uzyskali Zarzecka i Gugąła (32), gdzie stwierdzono 27,2 i 35% wzrost plonu bulw ziemniaka, odpowiednio dla plonu ogólnego i plonu bulw dużych.

W przypadku innych roślin efekty plonotwórcze stosowania preparatów z Efektywnymi Mikroorganizmami są na ogół mniejsze w porównaniu z ziemniakiem. Pozytywne efekty plonotwórcze w badaniach z kukurydzą uprawianą na ziarno i kiszonkę uzyskali Sulewska i in. (24). Cytowani autorzy w jednorocznym eksperymencie polowym pod wpływem stosowania preparatu UGmax uzyskali istotnie większe plony kukurydzy na obiektach, gdzie stosowano ten preparat. Wyników tych nie potwierdziły jednoroczne, polowe doświadczenia z kukurydzą Martyniuka i Książaka (18). W badaniach tych autorów nie stwierdzono istotnego wpływu preparatów EM-Farming i UGmax na plonowanie kukurydzy.

Efekty stosowania UGmax w badaniach z koniczyną zdaniem Sosnowskiego i in. (23) zależały od pokosu, lat badań, lecz zawsze uzyskane plony świeżej i suchej masy koniczyny były większe na obiektach, gdzie stosowano preparat w stosunku do obiektów kontrolnych (tab. 4). Duże znaczenie w wielkości uzyskanego plonu, jak donoszą cytowani autorzy, odegrały warunki pogodowe w sezonie wegetacyjnym w latach prowadzenia badań. W roku o większej ilości opadów, dobrze rozłożonych w sezonie wegetacyjnym, uzyskano znacznie większy plon biomasy roślin koniczyny.

Tabela 4

Plon świeżej i suchej masy koniczyny w zależności od preparatu i pokosu (lata 2012–2013)

Parametr	Obiekt	2012 r.			2013 r.		
		pokos I	pokos II	pokos III	pokos I	pokos II	pokos III
Plon świeżej masy (kg m ²)	K	6,32	3,87	2,01	2,84	1,94	0,93
	UGmax	7,74	5,32	3,00	4,02	2,56	1,44
NIR _{0,05}		1,07	0,54	0,76	0,49	r.n.	0,43
Plon suchej masy (kg m ²)	K	1,70	1,10	0,70	1,13	0,67	0,44
	UGmax	2,58	1,90	1,07	1,65	1,15	0,68
NIR _{0,05}		0,62	0,76	0,28	n.s.	0,47	r.n.

r.n. – różnice nieistotne

Źródło: Sosnowski i in., 2014 (23)

W badaniach z pszenicą jarą Kołodziejczyka i in. (15) preparaty mikrobiologiczne EM i UGmax w istotny sposób kształtowały wielkość plonu ziarna oraz obsadę kłosów. Większy przyrost plonu, średnio o 0,4 t·ha⁻¹, uzyskano na polach, w których aplikowano preparat EM, nieco niższe – z UGmax. Wzrost plonu na tych obiektach związany był głównie z większą o ok. 4% obsadą kłosów w stosunku do obiektu

kontrolnego. W badaniach ww. autorów stwierdzono ponadto istotne zróżnicowanie plonu ziarna w latach badań.

W prowadzonych 3-letnich badaniach własnych, które szerzej opisano w poprzednim rozdziale niniejszego artykułu, plon ziarna uprawianych zbóż w poszczególnych latach badań, w zależności od analizowanych czynników doświadczenia, kształtował się różnie. W pierwszych dwu latach badań (2012 i 2013) na obiektach gdzie aplikowano preparaty mikrobiologiczne EM, EmFarma Plus oraz UGmax plon ziarna wzrastał średnio o ok. 3–4% (lecz nie były to istotne różnie) w porównaniu z obiektem kontrolnym, w którym nie stosowano preparatów. Natomiast w ostatnim roku badań (2014) w uprawie jęczmienia jarego stwierdzono istotny przyrost plonu ziarna nie tylko dla preparatów, ale również dla sposobu ich stosowania, nawożenia N a także dla interakcji między wszystkimi czynnikami doświadczenia. Najwyższy plon ziarna uzyskano w przypadku stosowania preparatu EmFarma Plus, który był nie tylko istotnie większy w stosunku do plonu ziarna z obiektów kontrolnych, ale i istotnie większy także w porównaniu z obiektem z EM oraz UGmax (tab. 5). Ponadto wyższe plony ziarna odnotowywano na obiektach, gdzie preparaty stosowano na ściernisko ze słomą oraz na ściernisko ze słomą i azotem w stosunku do ścierniska. W 2014 r. także także zróżnicowane nawożenie azotem istotnie modyfikowało plon ziarna jęczmienia; najwyższe plony uzyskiwano dla 3 poziomu nawożenia N (obiekty NII). Wzrost plonu na tych obiektach związany był przede wszystkim ze wzrostem masy tysiąca ziaren (MTZ) jęczmienia. Stwierdzono także istotne interakcje między czynnikami badawczymi.

Tabela 5

Wpływ preparatów mikrobiologicznych, sposobów ich stosowania oraz poziomu nawożenia N na plon i MTZ ziarna jęczmienia jarego (2014 r.)

Obiekt/ preparat (I)	Poziom N (III)	Sposób stosowania preparatu (II)						Średnia	
		ściernisko		ściernisko + słoma		ściernisko + słoma + N			
		plon ziarna (t·ha ⁻¹)	MTZ	plon ziarna (t·ha ⁻¹)	MTZ	plon ziarna (t·ha ⁻¹)	MTZ	plon ziarna (t·ha ⁻¹)	MTZ
Kontrola bez preparatu	N0	3,28	46,4	3,66	47,8	3,59	48,4	3,51	47,8
	NI	5,66	52,8	5,52	50,7	5,43	52,3	5,54	51,9
	NII	5,94	51,2	5,97	54,2	5,80	51,6	5,90	52,3
	średnia	4,96	50,1	5,05	50,9	4,94	50,8	4,98	50,6
EM	N0	3,33	48,4	3,48	49,6	3,63	49,17	3,48	49,1
	NI	5,37	51,4	5,70	51,9	6,00	52,10	5,69	51,8
	NII	6,06	50,8	6,18	53,5	6,06	51,97	6,10	52,1
	średnia	4,92	50,2	5,12	51,7	5,23	51,08	5,09	51,0
EmFarma Plus	N0	3,88	48,5	3,71	48,5	4,12	50,5	3,90	49,2
	NI	6,21	51,8	5,66	52,7	6,03	51,6	5,97	52,0
	NII	6,48	53,9	6,29	53,1	6,38	52,5	6,38	53,2
	średnia	5,52	51,4	5,22	51,4	5,51	51,5	5,42	51,5

cd. tab. 5

Obiekt/ preparat (I)	Poziom N (III)	Sposób stosowania preparatu (II)						Średnia	
		ściernisko		ściernisko + słoma		ściernisko + słoma + N			
		plon ziarna (t·ha ⁻¹)	MTZ	plon ziarna (t·ha ⁻¹)	MTZ	plon ziarna (t·ha ⁻¹)	MTZ	plon ziarna (t·ha ⁻¹)	MTZ
UGmax	N0	3,44	47,9	3,66	47,2	3,45	49,1	3,52	48,1
	NI	5,46	52,3	5,24	50,1	5,85	52,4	5,52	51,6
	NII	5,79	52,4	6,38	53,2	6,09	51,0	6,09	52,2
	średnia	4,90	50,9	5,09	50,2	5,13	50,8	5,04	50,6
<u>Plony ziarna</u> NIR dla czynnika: I – 0,281; II – 0,086; III – 0,145 NIR dla interakcji: I × II – 0,281; I × III – 0,167; II × III – 0,148									
<u>MTZ</u> NIR dla czynników: I – r.n.; II – r.n.; III – 0,597 NIR dla interakcji: I × II – r.n.; I × III – r.n.; II × III – 1,018									

r.n. – różnice nieistotne

Źródło: wyniki i opracowanie własne

Zastosowane w uprawie pszenicy ozimej preparaty mikrobiologiczne EM-1 oraz UGmax w 3-letnich badaniach polowych Kotwicy i in. (17) istotnie zwiększały plon ziarna pszenicy. Wpływ tych preparatów na plonowanie pszenicy ozimej zależał w dużym stopniu od zmianowania oraz stosowania słomy. W monokulturze ich oddziaływanie było istotnie większe niż w zmianowaniu, a także większe w przypadku stosowania słomy.

Natomiast w trzyletnich badaniach Trawczyńskiego (27) przeprowadzona analiza plonu kilku gatunków roślin uprawianych w płodozmianie, w uprawie ekologicznej wykazała, że zarówno pod wpływem nawadniania, jak i stosowania Efektywnych Mikroorganizmów, nie stwierdzono istotnego zróżnicowania wielkości plonów głównych uprawianych roślin, a odnotowano jedynie tendencję ich wzrostu po zastosowaniu preparatów EM Farming, zarówno na kombinacji nawadnianej jak i nienawadnianej.

Tabela 6

Wpływ nawadniania i Efektywnych Mikroorganizmów na wielkości plonów głównych roślin (tha⁻¹) w latach 2009–2011

Kombinacje	Gatunek rośliny					Średnia
	Ziemniak	Żyto	Owies	Gryka	Łubin	
N*	5,62	3,44	2,52	1,64	0,98	2,84
N + EmFarma	5,92	3,33	2,89	1,99	0,76	2,98
NN*	6,06	2,60	2,42	2,25	0,82	2,83
NN + EmFarma	6,02	3,13	3,09	2,56	0,90	3,14
Średnia	5,91A**	3,12B	2,73B	2,11C	0,86D	
NIR _{0,05}	0,54					

*N – nawadniane; NN – nienawadniane; ** A, B, C, D oznaczają istotne różnice

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Trawczyńskiego, 2012 (27)

Należy również wspomnieć, że w literaturze polskiej i zagranicznej nie brakuje także zdecydowanie krytycznych opinii i artykułów na temat efektywności stosowania i działania preparatów mikrobiologicznych z technologii tzw. „Efektywnych Mikroorganizmów” w uprawach rolniczych (4, 18, 19).

Podsumowanie

W świetle dokonanego przeglądu literatury oraz przedstawionych wyników własnych trudno całkowicie podważyć pozytywny wpływ preparatów z pożytecznymi mikroorganizmami na żyzność gleby i plonowanie roślin. Preparaty mikrobiologiczne mogą pozytywnie wpływać na właściwości fizykochemiczne gleby, choć charakter ich działania zależy od rodzaju i dawki preparatu, typu gleby, zawartości materii organicznej oraz warunków meteorologicznych, w jakich są one aplikowane. Stosowanie preparatów z Efektywnymi Mikroorganizmami w korzystnych sezonach wegetacyjnych, przy większej wilgotności gleby, a także przy wyższych temperaturach powietrza na ogół pozytywnie wpływa na plonowanie roślin, chociaż korzystne działanie tych preparatów uzależnione jest od jego rodzaju i dawki oraz gatunku rośliny.

Literatura

1. Daily M.J., Stewart D.P.C.: Influence of Effective Microorganisms (EM) on vegetative production and carbon mineralization – a preliminary investigation. *J. Sustain. Agr.*, 1999, **14**: 15-25.
2. Gajda A., Igras J.: Określenie produkcyjnych i ekologicznych skutków stosowania preparatu EM-A w uprawie zbóż i rzepaku. IUNG Puławy, 2003, 1-17.
3. Gajewski P., Kaczmarek Z., Mrugańska L.: Wpływ wzrastających dawek preparatu EM-A na właściwości gleb uprawnych. Cz. I. Właściwości fizyczne i wodne. *J. Res. Appl. Agric. Eng.*, 2010, **55(3)**: 75-87.
4. Condor A.F., Perez P.G., Lokare Ch.: Effective Microorganisms: Myth or reality *Rev. Peru. Biol.*, 2006, **14(2)**: 315-320.
5. Górski R., Kleiber F.: Effect of Effective Microorganisms (EM) on nutrient contents in substrate and development and yielding of rose (*Rosa x hybrida*) and gerbera (*Gerbera jamesonii*). *Ecol. Chem. Eng. S.*, 2010, **7(4)**: 505-513.
6. Higa T.: Rewolucja w ochronie naszej planety. Fundacja – Rozwój SGGW, Warszawa 2003, ss. 152.
7. Jabłoński K.: Kierunki przewidywanych zmian w technologii produkcji ziemniaka do roku 2020. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2009, **17**: 117-127.
8. Jakubus M., Kaczmarek Z., Gajewski P.: Wpływ wzrastających dawek preparatu EM-A na właściwości gleb uprawnych. Cz. II. Właściwości chemiczne. *J. Res. Appl. Agric. Eng.*, 2010, **53(3)**: 128-132.
9. Janas R.: Możliwości wykorzystania efektywnych mikroorganizmów w ekologicznych systemach produkcji roślin uprawnych. *Probl. Inż. Rol.*, 2009, **3**: 111-119.
10. Kaczmarek Z., Owczarzak W., Mrugańska L., Grzelak M.: The influence of effective microorganisms for some of physical and water properties on arable-humus horizons of mineral soils. *J. Res. Appl. Agric. Eng.*, 2007, **52(3)**: 73-77.

11. Kaczmarek Z., Jakubus M., Grzelak M., Mrugańska.: Impact of the addition of various doses of Effective Microorganisms to arable-humus horizons of mineral soils on their physical and water properties. J. Res. Appl. Agric. Eng., 2008, **53(3)**: 118-121.
12. Kaczmarek Z., Wolna-Murawka A., Jakubus M.: Zmiany liczebności wybranych grup drobnoustrojów glebowych oraz aktywności enzymatycznej w glebie inokulowanej efektywnymi mikroorganizmami (EM). J. Res. an Appl. Agric. Eng., 2008, **53(3)**: 122-128.
13. Kocoń A.: Środki wspomagające uprawę roślin, środki poprawiające właściwości gleby – preparaty mikrobiologiczne. Mat. Szkol. Studia Podyplomowe. Integrowana Produkcja Roślinna. Puławy 2013, **8**: 95-99.
14. Kocoń A., Jadczyzyn T.: Wpływ preparatów mikrobiologicznych, sposobów ich stosowania oraz dawki nawożenia azotem na zawartość przyswajalnego fosforu w glebie i inne wybrane wskaźniki chemiczne żyzności gleby. Pol. J. Agron., 2015, (praca w recenzji).
15. Kołodziejczyk M., Szmigiel A., Kulig B.: Plonowanie pszenicy jarej w warunkach zróżnicowanego nawożenia azotem oraz stosowania mikrobiologicznych preparatów poprawiających właściwości gleby. Fragm. Agron., 2012, **1**: 60-69.
16. Kosicka D., Wolna-Murawka A., Trzeciak M.: Wpływ preparatów mikrobiologicznych na glebę oraz wzrost i rozwój roślin. Kosmos, 2015, **64(2)**: 327-335.
17. Kotwica K., Jaskulska I., Piekarczyk M., Wasilewski P., Gałęzewski L., Kułpa D.: Wpływ użyźniacza gleby oraz stosowania biostymulatora na produktywność pszenicy ozimej w zmianowaniu i krótkotrwałej monokulturze. Fragm. Agron., 2013, **4**: 55-64.
18. Martyniuk S., Książek J.: Ocena pseudomikrobiologicznych preparatów stosowanych w uprawie roślin. Pol. J. Agron., 2011, **6**: 27-33.
19. Mayer J., Scheid S., Oberholzer H.R.: How effective are "Effective microorganism"? Results from an organic farming field experiment. 16th JFOAM Organic Word Congress, Modena, Italy, 16-20.06. 2008, 40-43. <http://orgprints.org/14838>
20. Priyadi K., Abdul H., Siagian T.H., Nisa C., Azizah A., Raihani N., Inubushi K.: Effect of soil type, applications of chicken manure and effective microorganisms on corn yield and microbial properties of acidic wetland soils in Indonesia. Soil Sci. Plant Nutrition, 2005, **51**: 689-691.
21. Rutkowska A.: Stan obecny i perspektywy stosowania środków wspomagających uprawę roślin. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2010, **25**: 53-67.
22. Schenck M., Müller T.: Impact of effective microorganisms and other biofertilizers on soil microbial characteristics, organic-matter decomposition, and plant growth. J. Plant Nut. Soli Sci., 2009, **172**: 704-712.
23. Sosnowski J., Jankowski K., Wiśniewska-Kadzian B.: Evaluation of the impact of selected microbiological preparation on the development of the aboveground biomass of *Trifolium pratense* L. Environmental Protection and Natural Resources. 2014, Vol. **25**, **3(61)**: 1-4.
24. Sulewska H., Szymańska G., Pecio A.: Ocena efektów stosowania użyźniacza glebowego UGmax w uprawie kukurydzy na ziarno i kiszonkę. J. Res. Appl. Agric. Eng., 2007, **54(4)**: 120-125.
25. Tołoczko W., Trawczyńska A., Niewiadomski A.: Zawartość związków próchnicznych w glebach nawożonych preparatem EM. Roczn. Glebozn., 2009, **60(1)**: 97-101.
26. Trawczyński C., Bogdanowicz P.: Wykorzystanie użyźniacza glebowego w aspekcie ekologicznej uprawy ziemniaka. J. Res. Appl. Agric. Eng., 2007, **52(4)**: 94-97.

27. Trawczyński C.: Wpływ nawadniania i efektywnych mikroorganizmów na wielkość i skład chemiczny plonów roślin uprawianych w płodozmianie ekologicznym na glebie lekkiej. *J. Res. Appl. Agric. Eng.*, 2012, **57(4)**: 148-154.
 28. Truba M., Jankowski K., Sosnowski J.: Reakcja roślin na stosowanie preparatów biologicznych. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 2012, **53**: 41-52.
 29. Valarini P.J., Diaz Alvarez M.C., Gasco J.M., Guerrero F., Tokeshi H.: Assessment of soil properties by organic matter and EM- microorganism incorporation. *R. Bras. Ci. Solo*, 2003, **27**: 519-525.
 30. Wielgosz E., Dziamba S., Dziamba J.: Wpływ preparatu EM na plonowanie pszenicy jarej oraz mikroorganizmy glebowe. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, **542**: 593-601.
 31. Woodward D.: Effective microorganisms as regenerative systems in earth healing. 2003. www.livingsoil.co.uk/learning/soilsustain.htm.
 32. Zarzecka K., Gugała M.: Performance of one potato plant as influenced by soil conditioner UGmax. *J. Ecol. Engin.*, 2013, **14(4)**: 45-49.
 33. Zydlik P., Zydlik K.: Impact of biological effective microorganisms (EM) preparations on some physic-chemical properties of soil and the vegetative growth of apple-tree roots. *Nauka Przyr. Technol.*, 2008, **2(1)**: 1-7.
-

Adres do korespondencji:

dr Anna Kocoń
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. 81 47 86 833
e-mail: akocon@iung.pulawy.pl

Anna Gałązka, Anna Kocoń

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

WPŁYW PREPARATÓW Z MIKROORGANIZMAMI POŻYTECZNYMI NA LICZEBNOŚĆ I BIOMASĘ MIKROORGANIZMÓW GLEBOWYCH*

Słowa kluczowe: preparaty z mikroorganizmami pożytecznymi, ogólna liczebność drobnoustrojów glebowych, biomasa mikroorganizmów

Wstęp

Gleba zasiedlana jest przez różnorakie gatunki mikroorganizmów. Urodzajna gleba zawiera nawet miliardy bakterii w przeliczeniu na 1g świeżej masy gleby (1). Liczebność i aktywność mikroorganizmów uwarunkowana jest wieloma czynnikami. Skład mikroorganizmów może być istotnym wyznacznikiem tempa rozkładu materii organicznej i obiegu składników pokarmowych oraz ich dostępności w glebach (25).

Terminem „żyźność gleby” określamy naturalną zdolność gleb do zaspokojenia roślin w składniki odżywcze. O jej składzie i własnościach do dobrego wzrostu zdrowych roślin decydują następujące czynniki: biotyczne i abiotyczne (4). Do pierwszej grupy zalicza się w większości bakterie i grzyby o składzie odpowiednim dla mikroflory glebowej oraz wszystkie drobne organizmy z „królestwa zwierząt”. Drobnoustroje glebowe odpowiedzialne są za przeprowadzanie wszystkich biochemicznych procesów i transformacji, które występują w glebach. Ich liczebność i aktywność wpływa bezpośrednio na żyźność i jakość gleby (1). Abiotyczne czynniki gleb to zespół fizycznych, chemicznych, biochemicznych, fizykochemicznych cech decydujących o jej żyźności. Na naturalną żyźność gleb wpływają procesy glebotwórcze i biorące w nich udział związki mineralne, koloidy glebowe, próchnica jako zhumifikowana, bezpostaciowa materia organiczna oraz zespół wspomnianych mikroorganizmów odnawiających jej żyźność (1, 15, 22, 32).

Żyźność gleb można zwiększyć, stosując odpowiedni płodozmian roślin, właściwą dla danych gleb uprawę i nawożenie zarówno organiczne, jak i mineralne oraz

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

przez melioracje, zachowując właściwe stosunki wodno-powietrzne (23). Negatywne skutki intensyfikacji produkcji roślinnej prowadzonej metodami konwencjonalnymi doprowadziły do wyjałowienia i zakwaszenia gleb, a w konsekwencji do degradacji środowiska. Problemy te wymuszają poszukiwanie alternatywnych, skutecznych metod indukowania rozwoju roślin. W celu ochrony środowiska naturalnego i odbudowy naturalnej żyzności gleby coraz częściej poszukuje się rozwiązań mających na celu ograniczenie chemizacji i przywrócenie różnorodności biologicznej w przyrodzie (10, 16, 17). Taką alternatywę mogłyby stanowić preparaty zawierające żywe mikroorganizmy. Stąd też, interesującymi dla rolnictwa rozwiązaniami z zakresu podniesienia żyzności gleb i ochrony roślin przed chorobami są stosowane od niedawna (ok. 10 lat) kompozycje kultur pożytecznych mikroorganizmów (2, 10, 14, 16). Istnieją doniesienia, mówiące o tym, że wprowadzenie do gleby szczepionki zawierającej efektywne mikroorganizmy daje szereg pozytywnych efektów, tj. ograniczenie procesów gnilnych, przyspieszenie przemiany materii, zwiększenie efektu fotosyntezy, zwiększenie zawartości próchnicy, odtruwanie gleby skażonej pestycydami, hamowanie rozwoju patogenów roślin oraz podnoszenie jakości biologicznej plonów roślin (15, 25). Z uwagi więc na szeroki zakres przewidywanych pozytywnych rezultatów związanych z zastosowaniem EM (Efektywnych Mikroorganizmów) oraz skrajnych opinii na temat ich właściwości wysoce uzasadnione wydaje się prześledzenie jego wpływu na stan autochtoniczny mikroflory gleby oraz jej aktywność biochemiczną.

W przeprowadzonych badaniach wykorzystano trzy preparaty o nazwach handlowych: Użyźniacz Glebowy, EM, ProBioEMy.

Użyźniacz Glebowy jest ekstraktem ze specjalnego kompostu i, jak deklaruje producent, służy do podnoszenia urodzajności gleby. Dopuszczony on jest do stosowania we wszystkich systemach rolnictwa, również ekologicznym. Jak podaje producent, jest to unikalny, naturalny preparat stwarzający nowe możliwości w technologii uprawy gleby i roślin.

Preparat EM jest biologiczną mieszanką składającą się z mikroorganizmów pochodzenia naturalnego, należących m.in. do bakterii kwasu mlekowego, bakterii fotosyntetyzujących, drożdży, promieniowców i grzybów pleśniowych. W skład preparatu EM wchodzi bakterie mlekowe (*Lactobacillus casei*, *Streptococcus lactis*), bakterie fotosyntetyzujące (*Rhodospseudomonas palustris*, *Rhodobacter spae*), drożdże (*Saccharomyces albus*, *Candida utilis*), promieniowce (*Streptomyces albus*, *S. griseus*) oraz grzyby pleśniowe (*Aspergillus oryzae*, *Mucor hiemalis*).

W skład preparatów mikrobiologicznych typu **ProBioEmy** wchodzi bakterie kwasu mlekowego, promieniowce, bakterie fotosyntetyzujące. Bakterie kwasu mlekowego (*Lactobacillus* i *Bifidobacterium*) dość często spowalniają rozwój chorobotwórczych mikroorganizmów oraz przyspieszają biodegradację materii organicznej. Antagonizm tych bakterii wobec innych drobnoustrojów kojarzony jest z następującymi metabolitami i ich działaniem: produkcją kwasów organicznych pośrednio wpływających na regulację (buforowanie) odczynu gleby (pH), wytwarzaniem nadtlenu wodoru

(H₂O₂), wytwarzaniem peptydów-bakteriocyn – laktacyny, laktobiny, acidoliny i in., działaniem modyfikującym na układ odpornościowy oraz współzawodnictwem w kierunku miejsc receptorowych na powierzchni komórek rośliny – gospodarza. Następną grupą drobnoustrojów wchodzącą w skład preparatów mikrobiologicznych są drożdże (*Saccharomyces*) produkujące substancje o charakterze związków fitohormonalnych, enzymy i in. oraz związki stanowiące najczęściej pożywkę dla bakterii kwasu mlekowego i pożytecznych promieniowców (*Actinomycetes*). W skład tych preparatów wchodzi także bakterie fotosyntetyzujące. Bakterie te odgrywają wiodącą rolę w procesach biochemicznych; posiadają zdolność syntezy aktywnych biochemicznie związków, wykorzystując do tego celu energię słoneczną i ciepło gleby. Naukowcy zajmujący się problemami rolnictwa badali te gatunki mikroorganizmów od wielu lat.

Efektywność konsorcjów pożytecznych mikroorganizmów opiera się na działaniu dobranych mikroorganizmów, które mogą wspólnie rozwijać się w mieszaninach hodowlanych i są ze sobą kompatybilne fizjologicznie. Stwierdzono, że mieszanina tak dobranych mikroorganizmów zaaplikowana do naturalnego środowiska stymuluje tworzenie próchnicy glebowej, rozkładając pozostawione resztki poźniwne i podnosi zdrowotność gleb poprzez ograniczenie występowania patogenów (16, 17).

Material i metody

Wpływ preparatów mikrobiologicznych na liczebność drobnoustrojów glebowych

Badania dotyczące oceny efektywności działania 3 wybranych, najbardziej rozpowszechnionych w praktyce rolniczej preparatów z mikroorganizmami pożytecznymi: EM – Efektywne Mikroorganizmy, EmFarma Plus i UGmax – Użyźniacz glebowy przeprowadzono w RZD w Grabowie (52°13'N, 19°37'E), woj. mazowieckie, w warunkach eksperymentów polowych, w latach 2012–2014. Doświadczenie zlokalizowane było na glebie płowej wytworzonej na glinie lekkiej, kompleksu przydatności rolniczej żytnej bardzo dobrego, gdzie przedplonem była pszenica ozima. Doświadczenie miało charakter statyczny i prowadzono je metodą równoważnych podbloków: split-block-split-plot, w 3 powtórzeniach. Badania przeprowadzono w sumie na 108 poletkach, każde o powierzchni brutto 48 m² i powierzchni netto (do zbioru) 25,5 m².

W przeprowadzonych badaniach zastosowano 3 czynniki badawcze. Pierwszym czynnikiem były 3 badane produkty z mikroorganizmami pożytecznymi + obiekt kontrolny: EM Naturalnie Aktywny (Greenland Technologia EM Sp. z o.o.), EmFarma Plus (PrioBiotics Polska), UGmax – Użyźniacz Glebowy (P.P.H.U. BOGDAN) oraz obiekt kontrolny – bez stosowania preparatów mikrobiologicznych (4 obiekty). Drugim czynnikiem badawczym były 3 sposoby stosowania ww. produktów: na ściernisko, na ściernisko + słomę oraz na ściernisko + słomę + 30 kg N. Natomiast trzecim czynnikiem były 3 poziomy nawożenia N, w pierwszym roku było to: 60; 120

oraz 180 kg N·ha⁻¹, a w kolejnych dwu latach (2013–2014): O; 70 oraz 140 kg N·ha⁻¹. Azot w formie saletry amonowej (NH₄NO₃) stosowano na wiosnę, przy 2 poziomach nawożenia, tj. NI – w dwu dawkach, natomiast przy 3 poziomach nawożenia NII – w trzech dawkach dzielonych.

Preparaty mikrobiologiczne stosowano w dawkach według zaleceń Producenta. W przypadku preparatu EM i EmFarma Plus było to 30 l preparatu na hektar, zaś UGmax w dawce 0,9 l·ha⁻¹. Wszystkie preparaty dozowano co roku, we wrześniu w rozcieńczeniu z 300 litrami wody i opryskiwano nimi: ściernisko lub ściernisko wraz z pociętą słomą pozostawioną na polu po zbiorze ziarna, a także ściernisko ze słomą z dodatkiem azotu (30 kg N). Po oprysku, zawsze tego samego dnia, preparaty były przykrywane ok. 10 cm warstwą gleby (kompaktową broną talerzową KBT). Działanie badanych produktów porównywano z obiektami kontrolnymi – bez stosowania ww. preparatów. W schemacie doświadczenia nie uwzględniono kombinacji z dodatkiem do gleby tylko nośnika zastosowanego w preparacie.

Zakres przeprowadzonych badań mikrobiologicznych obejmował oznaczenie ogólnej liczebności bakterii właściwych, promieniowców i grzybów oraz mikroorganizmów oligotroficznych, kopiotroficznych, amonifikacyjnych oraz bakterii rozkładających fosforany, według następującej metodyki:

- a) ogólna liczebność drożdży (19);
- b) ogólna liczebność grzybów (19);
- c) ogólna liczebność bakterii i promieniowców (28);
- d) ogólna liczebność bakterii mlekowych [podłoże Difco];
- e) ogólna liczebność bakterii kopiotroficznych (9);
- f) ogólna liczebność bakterii oligotroficznych (9);
- g) ogólna liczebność *Azotobacter* spp. (7);
- h) ogólna liczebność bakterii amonifikacyjnych (9);
- i) ogólna liczebność bakterii rozkładających fosforany (26).

Ogólną liczbę bakterii oznaczano na pożywce z wyciągiem glebowym po 14 dniach inkubacji w temperaturze 27°C. Grzyby hodowano w temperaturze 24°C przez 5 dni. Mikroorganizmy oligotroficzne oznaczano na pożywce według Hattori, Hattori w temperaturze 28°C i określano ich liczebność po 7 dniach. Liczebność drobnoustrojów kopiotroficznych określano metodą posiewu wgłębnego na selektywne podłoże agarowe. Płytki inkubowano w temperaturze 28°C przez 3–5 dniach.

Oznaczanie ilości biomasy mikroorganizmów w glebie wykonano metodą fumi-gacji – ekstrakcji według normy PN-ISO 14240-2 (24). Celem oznaczania biomasy drobnoustrojów glebowych jest oszacowanie ciągłości zachowania żyzności gleby, potencjalnej zdolności do rozkładu dodawanych substancji organicznych oraz wpływu dodawanych substancji na naturalną populację mikroorganizmów. Metoda ta jest metodą oznaczania biomasy mikroorganizmów w glebach przez pomiar całkowitego możliwego do wyekstrahowania materiału organicznego biomasy pochodzącego głównie ze świeżo zabitych mikroorganizmów (5, 8, 13). Niniejszą metodę można

także stosować do oceny zawartości azotu w biomase drobnoustrojów i zawartości w glebie azotu pochodzenia drobnoustrojowego reagującego z ninhydryną (31). Biomasa węgla i azotu w próbkach glebowych wyrażono w $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ s.m. gleby (24).

Uzyskane wyniki badań opracowano statystycznie, posługując się programem Statistica 7.1. W celu oceny istotności różnic wielu średnich zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji. Celem tej analizy była weryfikacja hipotezy, że średnie w grupach są jednakowe, wobec hipotezy alternatywnej: co najmniej dwie średnie różnią się między sobą (rozkłady zmiennych były zbliżone do rozkładu normalnego). Za zmienne w analizie wariancji przyjęto: ogólną liczebność bakterii, promieniowców, grzybów, *Azotobacter* spp., bakterii kopiotroficznych, oligotroficznych, amonifikacyjnych, drożdży oraz biomasę węgla i azotu (tab. 1).

Na podstawie jednoczynnikowej analizy wariancji ANOVA (tab. 1) możemy wnioskować, że średnie zmiennych w poszczególnych grupach (preparat, sposób stosowania preparatu, nawożenie NPK, rok) różnią się istotnie statystycznie. W celu stwierdzenia, które średnie dla analizy jednoczynnikowej wariancji różnią się między sobą, a które są równe, zastosowano test NIR (najmniejszej istotnej różnicy) oraz test Tukeya. Na podstawie uzyskanych istotnych różnic średnich zmiennych w poszczególnych grupach w dalszej części rozdziału szczegółowo przedstawiono uzyskane wyniki pod kątem postępujących zmian.

Tabela 1

Wyniki analizy jednoczynnikowej wariancji średnich zmiennych w poszczególnych grupach: preparat, sposób stosowania preparatu, nawożenie NPK i rok ($\alpha \leq 0,05$) dla całego zbioru danych

ZMIENNA Ogólna liczebność	Preparat		Sposób stosowania		Nawożenie NPK		Rok	
	wartość F	α	wartość F	α	wartość F	α	wartość F	α
Bakterii i promieniowców (10^8 jtk·g ⁻¹ s.m. gleby)	0,139	0,935	1,028	0,363	0,000	0,988	16,652*	0,000*
Grzybów (10^4 jtk·g ⁻¹ s.m. gleby)	0,382	0,765	0,097	0,907	1,607	0,209	69,871*	0,000*
<i>Azotobacter</i> spp. (10^1 jtk·g ⁻¹ s.m. gleby)	1,00	0,395	1,138	0,326	0,108	0,742	1,251	0,292
Drożdży (10^4 jtk·g ⁻¹ s.m. gleby)	2,186	0,097	0,026	0,973	4,191*	0,044*	4,802*	0,011*
Bakterii amonifikacyjnych (10^7 jtk·g ⁻¹ s.m. gleby)	0,304	0,821	1,553	0,218	0,376	0,541	2,416	0,096
Bakterii kopiotroficznych (10^6 jtk·g ⁻¹ s.m. gleby)	3,799*	0,014*	0,382	0,683	0,315	0,576	8,363*	0,000*
Bakterii oligotroficznych (10^7 jtk·g ⁻¹ s.m. gleby)	1,026	0,386	0,521	0,596	0,155	0,694	12,456*	0,000*
Bakterii rozkładających fosforany (10^4 jtk·g ⁻¹ s.m. gleby)	4,970*	0,003*	0,174	0,840	0,677	0,413	5,923*	0,004*

cd. tab. 1

ZMIENNA Ogólna liczebność	Preparat		Sposób stosowania		Nawożenie NPK		Rok	
	wartość F	α	wartość F	α	wartość F	α	wartość F	α
bakterii mlekowych (10^6 jtk·g ⁻¹ s.m. gleby)	0,366	0,777	0,915	0,404	0,332	0,565	47,074*	0,000*
biomasa węgla i azotu								
Biomasa C	1,961*	0,028*	0,464	0,630	0,000	0,986	52,273*	0,000*
Biomasa N	0,892*	0,008*	0,545	0,582	0,008	0,925	73,448*	0,000*

* istotnie statystycznie ($\alpha \leq 0,05$) wartości F i poziomy istotności

Źródło: opracowanie własne

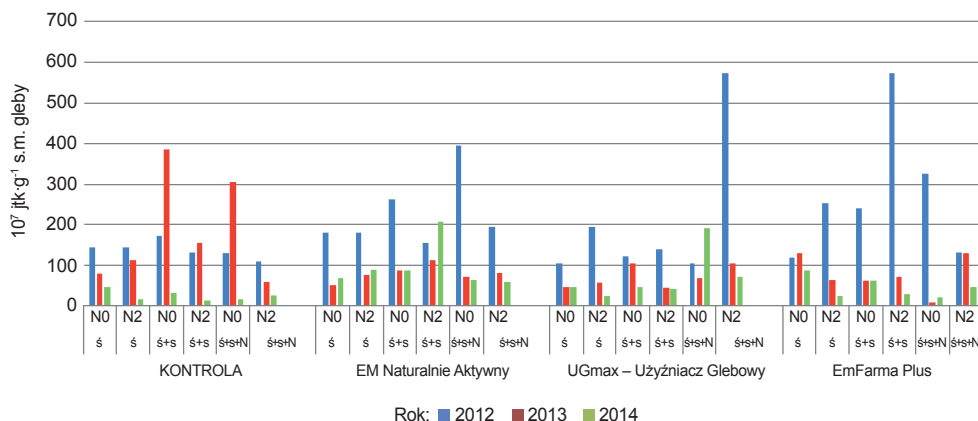
Liczebność drobnoustrojów glebowych

Udział drobnoustrojów w kształtowaniu żyzności i zdrowotności gleby jest powszechnie znany, ponieważ to właśnie mikroorganizmy glebowe odgrywają główną rolę w mineralizacji materii organicznej, udostępnianiu roślinom składników pokarmowych, powstawaniu humusu glebowego, struktury gruzelkowej gleby, ograniczaniu patogenów i wielu innych (1, 4, 23, 32). Do najliczniejszych grup drobnoustrojów glebowych należą: bakterie właściwe i promieniowce, grzyby, drożdże, bakterie amonifikacyjne, kopiotroficzne, oligotroficzne, rozkładające fosforany oraz bakterie kwasu mlekowego. Wyżej wymienione grupy uwzględniono w metodyce badawczej.

Promieniowce (*Actinomycetes*) (należące do bakterii) stanowią obok bakterii właściwych (typowych) drugą pod względem liczebności grupę mikroorganizmów prowadzących ważne przemiany złożonych związków węgla i azotu w glebie (1). Promieniowce odgrywają decydującą rolę w przebiegu licznych procesów biochemicznych w środowisku glebowym. Dzięki zdolności rozkładu i przemian różnych substancji organicznych są ważnym czynnikiem próchnicotwórczym. Jednym z głównych czynników mogących selekcionująco wpływać na ich zespoły jest wilgotność gleby. Większość promieniowców może żywić się związkami, które z trudnością są rozkładane przez inne bakterie. Promieniowce wytwarzają substancje o działaniu zapobiegającym rozwojowi wielu szkodliwych grzybów i bakterii z aminokwasów wydzielanych przez bakterie fototropowe oraz rozkładu materii organicznej (32). *Actinomycetes* mogą doskonale współistnieć razem z bakteriami fototropowymi. Dlatego też oba te gatunki poprawiają jakość środowiska gleby poprzez stymulowanie jej odporności na działanie patogenów chorobotwórczych (17).

W badanych próbkach glebowych najwyższą liczebność bakterii oraz promieniowców stwierdzono w pierwszym roku badań (2012) (rys. 1). Nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic dla średnich liczebności bakterii i promieniowców w zależności od zastosowanego preparatu i sposobu jego stosowania oraz nawożenia

NPK. Istotnie statystycznie różnice średnich wykazano jedynie dla roku badań. Średnie liczebności bakterii i promieniowców w roku 2012 różniły się istotnie statystycznie od średnich ogólnych liczebności dla roku 2013 i 2014.



n = 3

K – kontrola, EM – preparat EM, Ug – preparat UGmax, PBE – preparat ProBioEMy

ś – ściernisko; ś+s – ściernisko i słoma; ś+s+N – ściernisko, słoma i nawożenie; N0 – brak nawożenia;

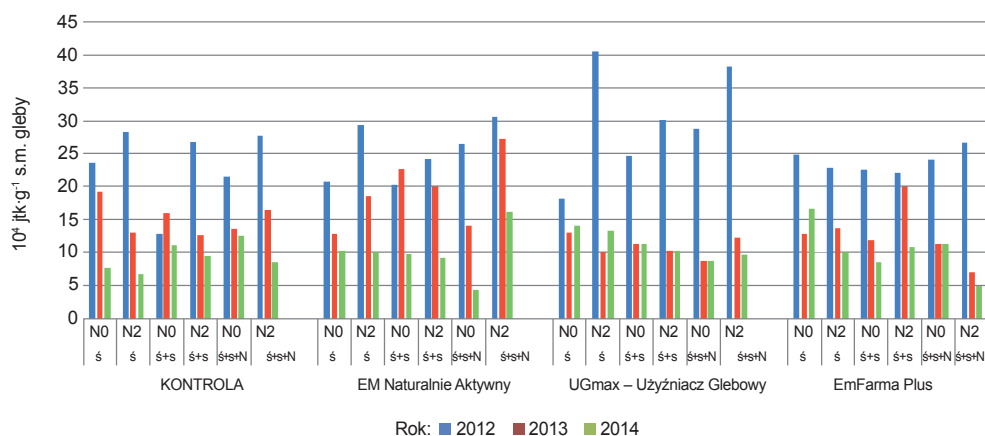
N2 – II dawka NPK

Rys. 1. Ogólne liczebności bakterii i promieniowców w latach 2012–2014

Źródło: opracowanie własne

Obok bakterii właściwych i promieniowców zasadniczą rolę w krążeniu substancji pokarmowej w glebie (i przepływie energii) odgrywają grzyby. Istnieje wiele przyczyn, opowiadających się za stwierdzeniem, że są one potężnymi czynnikami przemian geochemicznych (1). Ze względu na małe rozmiary stosunek ich powierzchni do objętości jest bardzo duży, co pozwala na szybką wymianę substancji między własną komórką a środowiskiem, równie ważne jest ich szybkie rozmnażanie się. Z rolniczego punktu widzenia ich fizjologiczne zdolności do akumulacji wody, wytwarzania kwasów organicznych i uwalniania wielu składników odżywczych z minerałów glebowych, powodują, że grzyby spełniają ważną funkcję w procesach glebotwórczych oraz w procesach odżywiania roślin (17). Jako saprofity przeprowadzają bardzo intensywnie zachodzące procesy mineralizacji materii organicznej, przyczyniając się do podniesienia urodzajności gleby.

Najwyższą liczebność grzybów stwierdzono w pierwszym roku badań (2012) (rys. 2). Statystycznie istotne różnice średnich liczebności grzybów stwierdzono jedynie w poszczególnych latach badań. Nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic dla średnich ogólnych liczebności grzybów w zależności od zastosowanego preparatu, sposobu jego stosowania oraz nawożenia NPK (tab. 1).



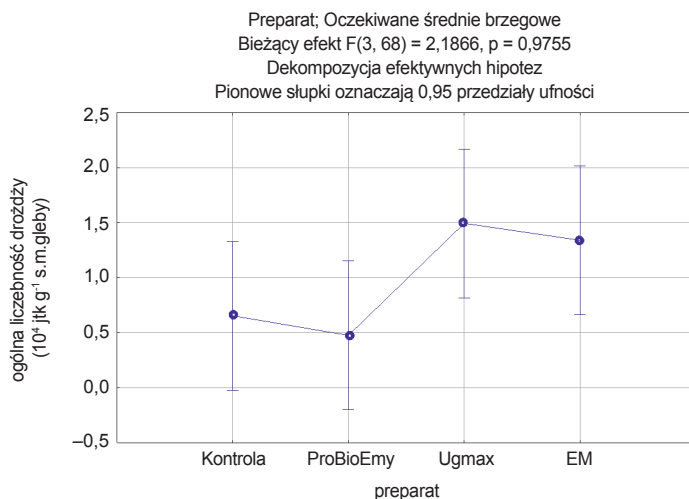
n = 3; K – kontrola, EM – preparat EM, Ug – preparat UGmax, PBE – preparat ProBioEMy
 ś – ściernisko; ś+s- ściernisko i słoma; ś+s+N – ściernisko, słoma i nawożenie; N0 – brak nawożenia;
 N2 – II dawka NPK

Rys. 2. Ogólna liczebność grzybów w próbkach glebowych w latach 2012–2014

Źródło: opracowanie własne

Najwyższą liczebność drożdży (podobnie jak w przypadku grzybów) stwierdzono w pierwszym roku badań (2012) (rys. 3). Statystycznie istotne różnice średnich liczebności grzybów stwierdzono jedynie w poszczególnych latach badań oraz po zastosowanym nawożeniu NPK. Drożdże doskonale syntetyzują składniki służące do zwalczania drobnoustrojów w żywności i wiele innych użytecznych substancji wydzielanych przez bakterie fotosyntetyczne, co sprzyja prawidłowemu wzrostowi roślin (17). Bioaktywne substancje, takie jak hormony i enzymy, wytwarzane przez drożdże wspierają czynne komórki i podział korzenia. Ich wydzieliny stanowią użyteczne podłoże dla bakterii kwasu mlekowego i *Actinomycetes* (1).

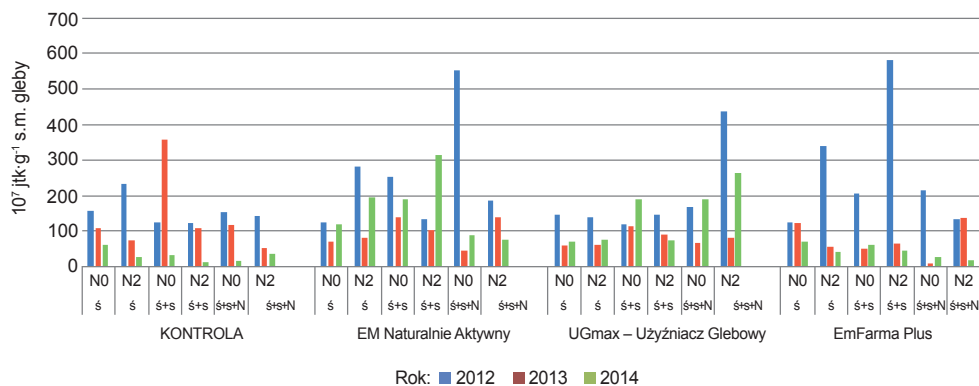
Kolejną grupą drobnoustrojów, których liczebność określano w doświadczeniu były oligotrofy. Są to drobnoustroje, które dobrze rosną w środowisku o wyjątkowo niskiej dostępności związków organicznych (29). Optymalne stężenie składników pokarmowych dla oligotrofów waha się w granicach od 1 do 15 mg rozpuszczonego C·l⁻¹. Pojęcie oligotrofii odnosi się do bakterii, które rosną na podłożu ubogim, o niskim stężeniu składników pokarmowych tylko na początku hodowli. Natomiast w kolejnych posiewach bakterie te rosną bardzo dobrze również na podłożu bogatym w składniki pokarmowe. Są to bakterie wykazujące małą zmienność pod względem liczebności i aktywności. Nie wymagają innego pożywienia lub źródła. Oligotrofy stanowią znaczną część bakterii zasiedlających glebę (stanowią 80–85% ogólnej ilości bakterii) (1). Wykazują dynamikę rozwoju charakterystyczną dla mikroflory autochtonicznej, wykorzystują humus jako źródło materii i energii oraz inne substancje proste i złożone. Oligotrofy reagują negatywnie na zbyt duże stężenie węgla w środowisku (29).



Rys. 3. Jednoczynnikowa analiza wariancji ANOVA dla grup: rok, preparat, sposób stosowania preparatu oraz nawożenie NPK dla $\alpha \leq 0,05$

Źródło: opracowanie własne

Najwyższą liczebność bakterii oligotroficznych stwierdzono w pierwszym roku badań (2012) (rys. 5). Średnie liczebności bakterii oligotroficznych uzyskane dla roku 2012 różniły się istotnie statystycznie od średnich uzyskanych w latach 2013 i 2014. Nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic dla średnich ogólnych liczebności bakterii oligotroficznych w zależności od zastosowanego preparatu, sposobu jego stosowania oraz nawożenia NPK.



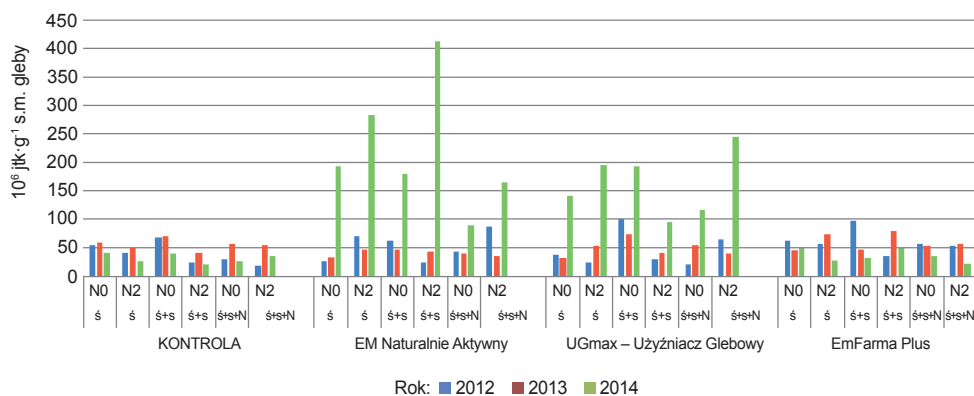
$n = 3$; K – kontrola, EM – preparat EM, Ug – preparat UGmax, PBE – preparat ProBioEmy
 ś – ściernisko; ś+s – ściernisko i słoma; ś+s+N – ściernisko, słoma i nawożenie; N0 – brak nawożenia; N2 – II dawka NPK

Rys. 4. Ogólna liczebność bakterii oligotroficznych w próbkach glebowych w latach 2012–2014

Źródło: opracowanie własne

W zespole analizowanych mikroorganizmów uwzględniono także dynamikę rozwoju kopiotrofów. Kopiotrofy są bakteriami rozwijającymi się w glebie po wprowadzeniu do niej substancji organicznej, która jest przez nie intensywnie mineralizowana. W odróżnieniu od autochtonicznych oligotrofów kopiotroficzne zymogeny przetwarzają materię organiczną w sposób bardzo rozrzućny (29). Wykazują one zmienność pod względem liczebności i aktywności w glebie. Liczebność ta spada po wykorzystaniu łatwo dostępnego substratu pokarmowego w wyniku autolizy większości komórek lub przejścia pozostałych w fazę spoczynku. Kopiotrofy to specyficzna grupa drobnoustrojów glebowych namnażająca się intensywnie podczas napływu do gleby materii organicznej, głównie w postaci świeżych resztek roślinnych i zwierzęcych (1). Ich wymagania pokarmowe związane są więc z wysokim stężeniem składników organicznych w podłożu, których optymalna dawka wynosi ok. 1000 mg rozpuszczonego $C \cdot l^{-1}$. W trakcie trwania badań zaobserwowano również, że we wszystkich kombinacjach glebowych przeważał udział oligotrofów w mikroflorze glebowej. Powyższa dominacja jest niezbędna dla zachowania stałego poziomu glebowej materii organicznej. Ponadto, z badań Weyman-Kaczmarkowej (29) wynika, iż wskaźnikiem równowagi biologicznej gleby jest stosunek mikroorganizmów oligotroficznych do kopiotroficznych, zaś ilościowe relacje między nimi, określane jako O:K, stanowią jeden z indeksów kierunku mikrobiologicznych przemian materii organicznej gleby.

Najwyższą liczebność bakterii kopiotroficznych uzyskano w ostatnim roku badań (2014) (rys. 5). Statystycznie istotny wzrost liczebności bakterii kopiotroficznych stwierdzono po zastosowaniu preparatu EM i Ugmax. Być może wiąże się to z wprowadzeniem do gleby większej ilości składników pokarmowych w postaci melasy, która stanowi płynny nośnik badanych preparatów. Nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic dla średnich ogólnych liczebności bakterii kopiotroficznych w zależności od sposobu stosowania preparatu oraz nawożenia NPK.

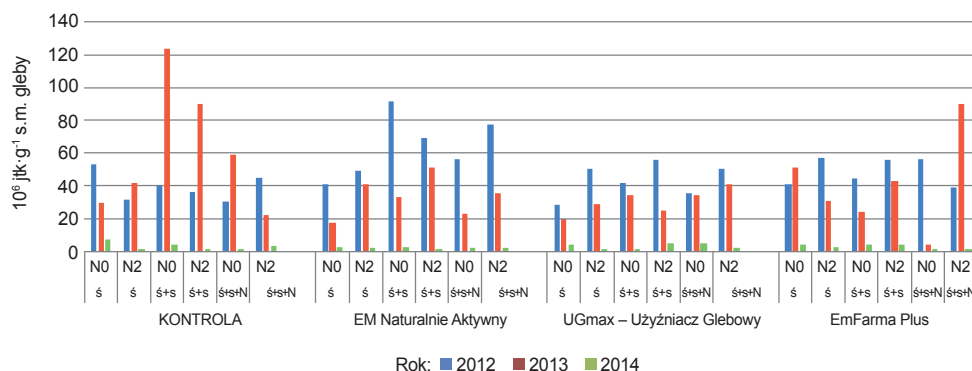


n = 3; K – kontrola, EM – preparat EM, Ug – preparat Ugmax, PBE – preparat ProBioEMy
 ś – ściernisko; ś+s – ściernisko i słoma; ś+s+N – ściernisko, słoma i nawożenie; N0 – brak nawożenia;
 N2 – II dawka NPK

Rys. 5. Ogólna liczebność bakterii kopiotroficznych w próbkach glebowych w latach 2012–2014
 Źródło: opracowanie własne

Bakterie kwasu mlekowego (LAB) wymagają do życia środowisk bogatych w puryny, pirymidyny, aminokwasy oraz witaminy, co wynika z braku zdolności do syntezy różnych związków (4). Niektóre gatunki muszą mieć dostarczone od 6 do 13, a nawet 18 aminokwasów w podłożu. Najwydajniej rosną na podłożach pełnych zaspokajających w dostatecznym stopniu ich wymagania pokarmowe. Na duże potrzeby pokarmowe LAB wskazuje środowisko ich występowania (1, 23, 26). Bardzo często spotykane są w materiale roślinnym, mleku oraz w przewodzie pokarmowym ludzi i zwierząt, a niezwykle rzadko w glebach i wodzie. Wynika to z faktu, że woda czy gleba nie dostarcza wystarczającej ilości wymaganych substratów aminokwasowych. W wyniku fermentacji odczyn podłoża obniża się, co jest wynikiem akumulacji kwasu mlekowego oraz innych produktów metabolizmu. Podłoże staje się bardziej wybiórcze dla bakterii. Te, które nie potrafią utrzymać pH wewnątrz komórek bliskiego neutralnemu, nie są w stanie wykazywać aktywności metabolicznej (25). Kwas obecny w podłożu niszczy błony cytoplazmatyczne, co skutkuje ucieczką jonów potasowych i magnezowych na zewnątrz komórki (1). Jednak dzięki sprawnemu systemowi regulacji pH, mikroorganizmy te są w stanie utrzymać odczyn cytoplazmy bardziej zasadowy niż w otaczającym je środowisku. Bakterie kwasu mlekowego wytrącają kwas mlekowy z cukrów i innych węglowodanów wytwarzanych przez bakterie fotosyntetyczne i drożdże (1, 4). Kwas mlekowy jest naturalnym sterylizatorem hamującym rozwój szkodliwych mikroorganizmów poprzez szybki rozkład materii organicznej. Bakterie kwasu mlekowego w warunkach glebowych mają zdolność hamowania rozprzestrzeniania się m.in. grzybów z rodzaju *Fusarium* – szkodliwego mikroorganizmu wywołującego wiele groźnych procesów chorobotwórczych (21).

Najwyższą liczebność bakterii kwasu mlekowego uzyskano w pierwszym i drugim roku badań (2012–2013) (rys. 6). Nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic dla średnich ogólnych liczebności bakterii kwasu mlekowego w zależności od zastosowanego preparatu, sposobu stosowania preparatu oraz nawożenia NPK (tabela 1).

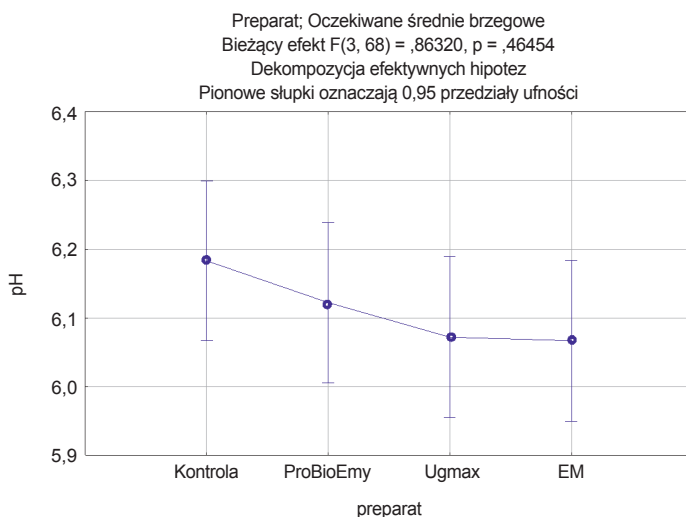


n = 3; K – kontrola, EM – preparat EM, Ug – preparat UGmax, PBE – preparat ProBioEMy
 ś – ściernisko; ś+s- ściernisko i słoma; ś+s+N – ściernisko, słoma i nawożenie; N0 – brak nawożenia;
 N2 – II dawka NPK

Rys. 6. Ogólna liczebność bakterii mlekowych w próbkach glebowych w latach 2012–2014

Źródło: opracowanie własne

Liczebności poszczególnych grup drobnoustrojów glebowych w istotny sposób zależą od odczynu gleby (1, 23). Ma on decydujący wpływ na zmianę składu mikroflory glebowej i jej właściwości oraz na aktywność enzymatyczną znajdujących się w niej mikroorganizmów. Odczyn pH w wodzie w badanych próbkach glebowych wahał się od 5,8 do 6,8 i zależał zarówno od roku badań, jak i zastosowanego sposobu dozowania preparatu (rys. 7).



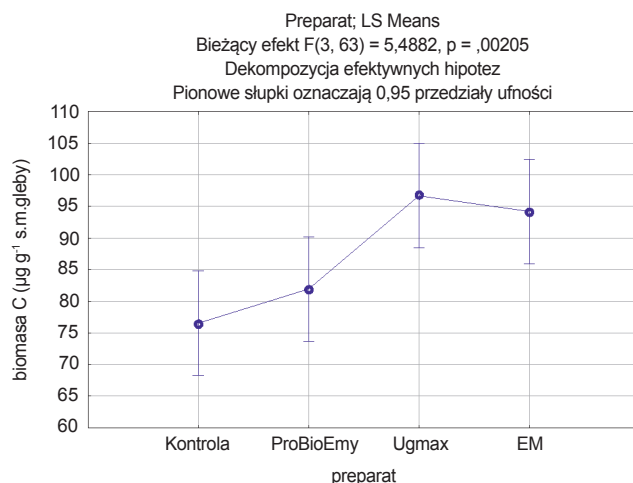
Rys. 7. Jednoczynnikowa analiza wariancji ANOVA dla grup: rok, preparat, sposób stosowania preparatu oraz nawożenie NPK dla $\alpha \leq 0,05$

Źródło: opracowanie własne

Biomasa mikroorganizmów glebowych

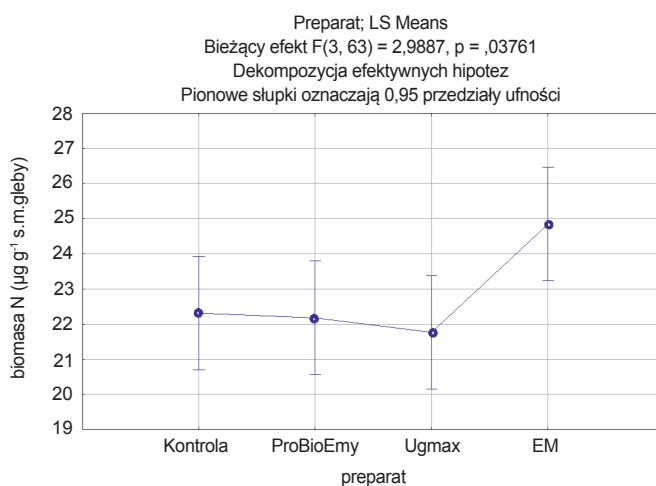
Biomasa mikroorganizmów w glebach stanowi ok. 85% całej biomasy wszystkich organizmów żyjących w tym środowisku, a ok. 90% dwutlenku węgla (CO_2) powstającego w glebach ma pochodzenie drobnoustrojowe (1, 5, 13). Dane te świadczą o dużej aktywności metabolicznej i ogromnym znaczeniu mikroorganizmów dla większości procesów zachodzących w środowisku glebowym, wśród których najważniejszy jest rozkład i mineralizacja materii organicznej (resztki pozbiorowe, obornik i inne nawozy naturalne, komposty, poplony). Rozkład resztek organicznych jest bardzo ważny ze względu na uwalnianie mineralnych form składników odżywczych stanowiących ważne źródło pokarmu dla roślin uprawnych (24, 31). Ponadto w wyniku procesów mikrobiologicznej transformacji materii organicznej tworzona jest próchnica glebowa, której zawartość w glebie jest jednym z najważniejszych czynników decydujących o zdolności gleby do magazynowania wody i składników pokarmowych, a także o fizycznej strukturze (gruzelkowatość, wymiana gazowa) gleby (18, 30). Najwyższą zawartość węgla organicznego stwierdzono w drugim

i trzecim roku badań (2013–2014) (rys. 8). Statystycznie istotny wzrost węgla organicznego w biomasie mikroorganizmów stwierdzono w glebie po zastosowaniu preparatu o nazwie EM i Ugmax. Nie stwierdzono statystycznie istotnego wpływu sposobu dozowanego preparatu oraz nawożenia NKPI i NKPII na zmianę zawartości węgla, jak również azotu (rys. 9) organicznego w glebie.



Rys. 8. Jednoczynnikowa analiza wariancji ANOVA dla grup: rok, preparat, sposób stosowania preparatu oraz nawożenie NPK dla $\alpha \leq 0,05$

Źródło: opracowanie własne



Rys. 9. Jednoczynnikowa analiza wariancji ANOVA dla grup: rok, preparat, sposób stosowania preparatu oraz nawożenie NPK dla $\alpha \leq 0,05$

Źródło: opracowanie własne

W przeprowadzonych badaniach własnych stwierdzono nieistotny statystycznie wzrost liczby bakterii i grzybów w kombinacjach z wprowadzonymi preparatami. Otrzymane wyniki potwierdzają rezultaty m.in. badań Kucharskiego i Jastrzębskiej (17). Wyżej wymienieni autorzy stwierdzili hamujący wpływ szczepionki EM na namnażanie się grzybów i innych analizowanych grup drobnoustrojów. Zdaniem Badury (1) Efektywne Mikroorganizmy spełniają swoje zadanie na glebach zdegradowanych, zniszczonych i ubogich, na których brak drobnoustrojów pełniących funkcje ochronne. Powyższe stwierdzenie wyjaśniać może rozbieżności w wielu publikowanych wynikach badań (3, 6, 17, 20, 27, 33). W warunkach polowych trudno jest uzyskać pozytywne efekty stosowania preparatów mikrobiologicznych, głównie ze względu na skomplikowane interakcje między organizmami glebowymi oraz oddziaływanie bardzo zmiennych warunków pogodowych i abiotycznych właściwości gleb na rozwój mikroorganizmów glebowych (20). Autochtoniczna mikroflora szybko wypiera ze środowiska drobnoustroje dostarczone w postaci biopreparatu. Ponadto większość drobnoustrojów będących składnikami biopreparatów nie jest przystosowana do wzrostu i rozwoju w środowisku glebowym – tak jest w przypadku bakterii kwasu mlekowego, które stanowią główny składnik tychże preparatów (11, 12, 21).

Na podstawie uzyskanych wyników można przypuszczać, iż wprowadzenie do gleby węglowodanów i dodatkowych mikroorganizmów w postaci preparatów mikrobiologicznych przyczyniło się do silnej konkurencji o pokarm i dominacji innych grup drobnoustrojów, kosztem mikroorganizmów oligotroficznych i autochtonicznych.

Literatura

1. B a d u r a L.: Czy znamy wszystkie uwarunkowania funkcji mikroorganizmów w ekosystemach lądowych. Kosmos. Probl. Nauk Biol., 2004, **53**: 373-379.
2. B a j w a R.: Effects of arbuscular mycorrhizae (AM) and effective microorganisms (EM) on various plants under allelopathic stress. Allelopathy J., 2005, **16**: 261-271.
3. B i e l i Ń s k a E.J., F u t a B., B i k-Mołodzińska M., S z e w c z u k M., S u g i e r D.: The impact of fertilizing agents on the enzymatic activity of soils. J. Res. Appl. Agr. Engin., 2013, **58(3)**: 15-19.
4. B o w l e s T.M., A c o s t a-Martínez V., C a l d e r ó n F., J a c k s o n L.E.: Soil enzyme activities, microbial communities, and carbon and nitrogen availability in organic agroecosystems across an intensively-managed agricultural landscape. Soil Biol. Biochem., 2014, **68**: 252-262.
5. B r o o k e s P.C., L a n d m a n A., P r u d e n G., J e n k i n s o n D.S.: Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. Soil Biol. Biochem., 1985, **17**: 837-842.
6. D a i l y M.J., S t e w a r t D.P.C.: Influence of Effective Microorganisms (EM) on vegetative production and carbon mineralization – a preliminary investigation. J. Sustain. Agr., 1999, **14**: 15-25.
7. F e n g l e r o w a W.: Simple method for counting *Azotobacter* in soil samples. Acta Microbiol. Pol., 1965, **14(2)**: 203-206.

8. 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 Biol. Biochem.*, 2003, **35**: 1231-1243.
9. Hattori R., Hattori T.: Sensitivity to salts and organic compounds of soil bacteria isolated on diluted media. *J. General Appl. Microbiol.*, 1980, **26**: 1.
10. Janas R.: Możliwości wykorzystania efektywnych mikroorganizmów w ekologicznych systemach produkcji roślin uprawnych. *Probl. Inż. Roln.*, 2009, **3**: 111-119.
11. Javai A.: Foliar application of effective microorganisms on pea as an alternative fertilizer. *Agron. Sustain. Dev.*, 2006, **26**: 257-262.
12. Javaid A., Bajwa R., Anjum T.: Effect of heat-sterilization and EM (effective microorganisms) application on wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in organicamended sandy loam soil. *Cereal Res. Commun.*, 2008, **36**: 489-499.
13. Jenkinson D.S., Ladd J.N.: Microbial biomass in soil: measurement and turnover. *Soil Biochem.*, 1981, **5**: 415-471.
14. Khaliq A., Abbasi M.K., Hussain T.: Effects of integrated use of organic and inorganic nutrient sources with effective microorganisms (EM) on seed cotton yield in Pakistan. *Bioresource Technol.*, 2006, **97**: 967-972.
15. Khan M.S., Zaidi A., Wani P.A.: Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture: a review. *Agron. Sustain. Dev.*, 2007, **27**: 29-43.
16. Kłama J., Jędrzycka M., Wiśniewska H., Gajewski P.: Ocena stopnia rozwoju oraz kondycji fizjologicznej ozimych roślin pszenicy i rzepaku w uprawie z zastosowaniem Efektywnych Mikroorganizmów. *Nauka Przyroda Technologie*, 2010, **6(4)**: 79-81.
17. Kucharski J., Jastrzębska E.: Rola efektywnych mikroorganizmów w kształtowaniu właściwości mikrobiologicznych gleby. *Inżynieria Ekologiczna*, 2005, **12**: 295-297.
18. Leita L., De Nobili M., Muhlbachova G., Mondini C., Marchiol L., Zerbi G.: Bioavailability and effects of heavy metals on soil microbial biomass survival during laboratory incubation. *Biol. Fertil. Soils*, 1995, **19**: 103-108.
19. Martin J.P.: Use of acid, rose bengal and streptomycin in the plate method for estimating soil fungi. *Soil Sci.*, 2003, **69**: 215.
20. Martyniuk S., Książak J.: Ocena pseudomikrobiologicznych preparatów stosowanych w uprawie roślin. *Pol. J. Agron.*, 2011, **6**: 27-33.
21. Mayer J., Scheid S., Widmer F., Fließbach A., Oberholzer H.R.: How effective are Effective microorganisms (EM)? Results from a field study in temperate climate. *Appl. Soil Ecol.*, 2010, **46**: 230-239.
22. Muthaura C., Musyimi D.M., Ogar J.A., Okello S.V.: Effective microorganisms and their influence on growth and yield of pigweed (*Amaranthus dubians*). *J. Agri. Biol. Sci.*, 2010, **5(1)**: 17-22.
23. Parham J.A., Deng S.P., Raun W.R., Johnson G.V.: Long-term cattle manure application in soil. I. Effect on soil phosphorus levels, microbial biomass C, and dehydrogenase and phosphatase activities. *Biol. Fert. Soils*, 2002, **35**: 328-337.
24. PN ISO 14240-2. Jakość gleby – Oznaczanie ilości biomasy mikroorganizmów w glebie. Metoda fumigacji-ekstrakcji. 2001.
25. Rifai S.W., Markewitz D., Borders B.: Twenty years of intensive fertilization and competing vegetation suppression in loblolly pine plantations: Impacts on soil C, N and microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 2010, **42**: 713-723.

26. Rodina A.: Mikrobiologiczne metody badania wód. PWRiL, Warszawa 1968.
 27. Shah S.H., Saleem M.F., Shahid M.: Effect of Different Fertilizers and Effective Microorganisms on Growth, Yield and Quality of Maize. *Int. J. Agr. Biol.*, 2001, **3(4)**: 378-379.
 28. Wallace R., Lochhead A.: Qualitative studies of soil microorganisms IX. Amino acid requirements of rhizosphere bacteria. *Can. J. Res. sec. C*, 1950, **28**: 1.
 29. Weyman-Kaczmarkowa W.: Interdependencies between oligotrophic and copiotrophic bacteria in soils of different mechanical structure. *Pol. J. Soil Sci.*, 1995, **29(1)**: 62-72.
 30. Wu J., Joergensen R.G., Pommerening B., Chaussod R., Brookes P.C.: Measurement of soil microbial biomass C by Fumigation- extraction- an automated procedure. *Soil Biol. Biochem.*, 1990, **22**: 1167-1169.
 31. Xiang S., Doyle A., Holden P., Schimel J.: Drying and rewetting effects on C and N mineralization and microbial activity in surface and subsurface California grassland soils. *Soil Biol. Biochem.*, 2008, **40**: 2281-2289.
 32. Yuan B., Yue D.: Soil microbial and enzymatic activities across a chronosequence of Chinese pine plantation development on the loess plateau of China. *Pedosphere*, 2012, **22**: 1-12.
 33. Zydlik P., Zydlik Z.: Impact of biological effective microorganisms (EM) preparations on some physico-chemical properties of soil and the vegetative growth of apple-tree rootstocks. *Nauka Przyroda Technologie*, 2008, **2(1)**: 1-4.
-

Adres do korespondencji:

dr Anna Gałazka
Zakład Mikrobiologii Rolniczej
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. 81 47 86 950
e-mail: agalazka@iung.pulawy.pl

Anna Gałązka, Anna Kocoń

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

OCENA EFEKTYWNOŚCI DZIAŁANIA PREPARATÓW
Z MIKROORGANIZMAMI POŻYTECZNYMI NA AKTYWNOŚĆ
ENZYMATYCZNĄ GLEBY*

Słowa kluczowe: aktywność enzymatyczna gleby, dehydrogenaza, fosfataza kwaśna, fosfataza zasadowa, preparaty mikrobiologiczne

Wstęp

Żyzność gleby jest to zespół fizycznych, chemicznych i biologicznych właściwości gleby zapewniający roślinom odpowiednie warunki do wzrostu (1, 13). Wśród tych elementów zespołu bardzo istotny jest czynnik biologiczny, w tym aktywność enzymatyczna środowiska glebowego (3, 13). Mikroorganizmy wydzielają do środowiska glebowego różnorodne enzymy, ale najważniejsze dla przemian zachodzących w środowisku uprawnym są te, które biorą udział w degradacji celulozy i innych składników komórek roślinnych oraz w przemianach azotu, fosforu czy siarki (9, 10). Enzymy glebowe są naturalnymi mediatorami i katalizatorami wielu procesów glebowych, tj.: rozkład uwalnianej do gleby podczas wegetacji roślin substancji organicznej, reakcje powstawania i rozkładu próchnicy glebowej, uwalnianie i udostępnianie roślinom substancji mineralnych, detoksykacja ksenobiotyków, nityfikacja i denityfikacja (2, 13).

W związku z ogromną rolą, jaką spełnia aktywność biologiczna gleb oraz proekologiczne technologie uprawy roślin, poszukuje się nowych, ekologicznych metod, których celem będzie m.in. zwiększenie żyzności i jakości gleby (13, 22). Do takich metod zaliczyć można, jak się wydaje, próby kształtowania żyzności gleby z wykorzystaniem preparatów z mikroorganizmami pożytecznymi. Preparaty z mikroorganizmami pożytecznymi (Efektywne Mikroorganizmy – występujące na rynku pod różnymi nazwami) są obecnie dość szeroko stosowane w praktyce rolniczej

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

(5, 6, 7, 14). Preparaty takie są mieszanką pożytecznych mikroorganizmów, w skład których wchodzi, m.in.: bakterie fotosyntetyzujące, bakterie kwasu mlekowego, promieniowce, drożdże, grzyby, a często także wybrane makro- i mikroelementy. Większość tego typu preparatów, choć ich skład różni się w zależności od producenta, mają ten sam cel – poprawić właściwości fizyczne, chemiczne oraz biologiczne gleby. Dotychczasowy stan wiedzy odnośnie wpływu preparatów z pożytecznymi organizmami na poprawę żyzności gleby i jakości plonu czerpany jest głównie z badań komercyjnych zlecanych różnym instytucjom przez poszczególne firmy zajmujące się produkcją i dystrybucją tych środków oraz częściowo z fragmentarycznych badań naukowych, które nie są jednoznaczne (11, 14, 15). Celem proponowanych badań była ocena efektywności działania stosowanych preparatów z mikroorganizmami pożytecznymi na poprawę aktywności biologicznej gleb, a w szczególności aktywności enzymatycznej.

Material i metody badań

Badania dotyczące oceny efektywności działania 3 wybranych, najbardziej rozpowszechnionych w praktyce rolniczej preparatów z mikroorganizmami pożytecznymi: EM – Efektywne Mikroorganizmy, EmFarma Plus i UGmax – Użyźniacz Glebowy przeprowadzono w RZD w Grabowie (52°13'N, 19°37'E), woj. mazowieckie, w warunkach eksperymentów polowych, w latach 2012–2014. Doświadczenie zlokalizowane było na glebie płowej wytworzonej na glinie lekkiej, kompleksu przydatności rolniczej żyniego bardzo dobrego, gdzie przedplonem była pszenica ozima. Doświadczenie miało charakter statyczny i prowadzono je metodą równoważnych podbloków: split-block-split-plot, w 3 powtórzeniach. Badania przeprowadzono w sumie na 108 poletkach, każde o powierzchni brutto 48 m² i powierzchni netto (do zbioru) 25,5 m². Roślinami doświadczalnymi we wszystkich trzech latach badań były różne gatunki zbóż: pszenżyto jare odm. Nagano, pszenicę ozimą odm. Figura oraz jęczmień jary odm. Kucyk. Siewy zbóż prowadzono zawsze w terminach optymalnych dla gatunku zboża. Zabiegi ochrony roślin prowadzono zgodnie z zaleceniami IOR, w zależności od potrzeb.

W prowadzonych badaniach zastosowano 3 czynniki badawcze. Pierwszym czynnikiem były 3 badane produkty z mikroorganizmami pożytecznymi + obiekt kontrolny: EM Naturalnie Aktywny (Greenland Technologia EM Sp. z o.o.), EmFarma Plus (PrioBiotics Polska), UGmax – Użyźniacz Glebowy (P.P.H.U. BOGDAN) oraz obiekt kontrolny – bez stosowania preparatów mikrobiologicznych (łącznie 4 obiekty). Drugim czynnikiem badawczym były 3 sposoby stosowania ww. produktów: na ściernisko, na ściernisko + słomę oraz na ściernisko + słomę + 30 kg N. Natomiast trzecim czynnikiem były 3 poziomy nawożenia N; w pierwszym roku było to: 60; 120 oraz 180 kg N·ha⁻¹, a w kolejnych dwu latach (2013–2014): 0; 70 oraz 140 kg N·ha⁻¹. Azot w formie saletry amonowej (NH₄NO₃) stosowano na wiosnę, przy 2. poziomie

nawożenia, tj. NI – w dwu dawkach, natomiast przy 3. poziomie nawożenia NII – w trzech dawkach dzielonych.

Preparaty mikrobiologiczne stosowano w dawkach według zaleceń Producenta. W przypadku preparatu EM i EmFarma Plus było to 30 l preparatu na hektar, zaś UGmax aplikowano w dawce $0,9 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$. Wszystkie preparaty stosowano co roku, we wrześniu w rozcieńczeniu z 300 litrami wody i opryskiwano nimi: ściernisko lub ściernisko wraz z pociętą słomą pozostawioną na polu po zbiorze ziarna, a także ściernisko ze słomą z dodatkiem azotu (30 kg N). Po oprysku, zawsze tego samego dnia, preparaty były przykrywane ok. 10 cm warstwą gleby (kompaktową broną talerzową KBT). Działanie badanych produktów porównywano z obiektami kontrolnymi, bez stosowania ww. preparatów. W schemacie doświadczenia nie uwzględniono kombinacji z dodatkiem do gleby tylko nośnika zastosowanego w preparacie.

Badanie aktywności enzymatycznej gleby opierało się na oznaczeniu aktywności dehydrogenaz oraz fosfatazy kwaśnej i alkalicznej metodą spektrofotometryczną. Aktywność dehydrogenaz oznaczano przy użyciu 1% TTC (chlorek trójfenylotetrazolu) jako substratu, po 24-godzinnej inkubacji w temperaturze 37°C , przy długości fal 485 nm i wyrażano w $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ s.m. gleby}$ (4). Aktywności fosfataz w glebie oznaczono metodą kolorymetryczną według Tabatabai i Bremner (21). Pomiar uwolnionego p-nitrofenolu mierzono w czasie hydrolitycznego rozkładu katalizowanego przez fosfatazę alkaliczną ($\text{pH} = 11,0$) lub kwaśną ($\text{pH} = 6,5$) soli disodowej p-nitrofenylofosforanu. Za jednostkę aktywności przyjęto $1 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ s.m. gleby}$. Stężenie enzymów obliczano, stosując krzywą wzorcową sporządzoną dla spektrofotometru Nicolet Evolution 60 (ThermoScientific).

Stosowanie preparatów z Efektywnymi Mikroorganizmami a aktywność enzymatyczna gleby

Do badań wybrano glebę płąwą wytworzoną na glinie lekkiej, kompleksu przydatności rolniczej żytniego bardzo dobrego, gdzie przedplonem była pszenica ozima. Gleba charakteryzowała się uregulowanym odczynem pH oraz korzystnymi zasobnościami w podstawowe makro- i mikroelementy (tab. 1).

Tabela 1

Właściwości chemiczne górnej warstwy (0-20 cm) gleby

Gleba	pH w KCl	C org. (%)	N mineralny ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ś.m. gleby)		Zawartość ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ gleby)			Formy całkowite ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby)					
			NH_4^+	NO_3^-	P_2O_5	K_2O	Mg	B	Cu	Fe	Zn	Mn	Mo
Gлина piaszczysta	6,8	0,70	2,9	12,3	28,5	11,3	2,6	5,6	4,5	4455	21,4	148	0,09

Ocenę sposobu stosowania oraz wpływ preparatów z mikroorganizmami pożytecznymi na wybrane parametry żyzności gleby przeprowadzono w oparciu o podstawowe mierniki oceny aktywności biologicznej gleby – w tym opracowaniu jest to aktywność enzymatyczna gleby.

W celu oceny istotności różnic wielu średnich zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji. Celem tej analizy była weryfikacja hipotezy, że średnie w grupach są jednakowe, wobec hipotezy alternatywnej: co najmniej dwie średnie różnią się między sobą (rozkłady zmiennych były zbliżone do rozkładu normalnego). Za zmienne w analizie wariancji przyjęto aktywności enzymatyczne (dehydrogenaz, fosfatazy zasadowej i kwaśnej) (tab. 2). Na podstawie jednoczynnikowej analizy wariancji ANOVA (tab. 2) możemy wnioskować, że średnie zmiennych w poszczególnych grupach: preparat, sposób stosowania preparatu, nawożenie N i rok różnią się istotnie statystycznie. W celu stwierdzenia, które średnie dla analizy jednoczynnikowej wariancji różnią się między sobą, a które są równe, zastosowano test NIR (najmniejszej istotnej różnicy) oraz test Tukeya.

Tabela 2

Wyniki analizy jednoczynnikowej wariancji średnich zmiennych w poszczególnych grupach: preparat, sposób stosowania preparatu, nawożenie N i rok ($\alpha \leq 0,05$) dla całego zbioru danych

ZMIENNA Ogólna liczebność	Preparat		Sposób stosowania		Nawożenie N		Rok	
	wartość F	α	wartość F	α	wartość F	α	wartość F	α
aktywności enzymatyczne								
Dehydrogenaza ($\text{mm}^3 \text{H}_2 \cdot 100 \text{ g}^{-1}$)	63,886*	0,000*	0,236	0,790	0,00904	0,024	78,512*	0,000*
Fosfataza zasadowa ($\mu\text{g p-nitrofenolu} \cdot \text{g}^{-1}$)	1,0456*	0,008*	0,6387*	0,031*	0,6464*	0,024*	224,436*	0,000*
Fosfataza kwaśna ($\mu\text{g p-nitrofenolu} \cdot \text{g}^{-1}$)	5,932*	0,000*	6,102*	0,0036*	3,864*	0,003*	27,694*	0,000*

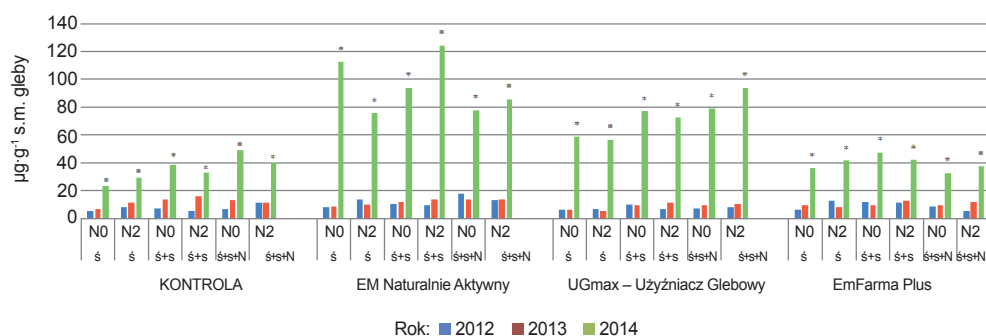
* istotne statystycznie ($\alpha \leq 0,05$) wartości F i poziomy istotności

Aktywność enzymatyczna gleb jest bardzo czułym wskaźnikiem oceny jej właściwości (2, 10, 13, 17). Szczególne znaczenie aktywności enzymatycznej dla funkcjonowania mikroorganizmów glebowych sprawia, że wskaźniki te są powszechnie stosowane w określaniu aktywności biologicznej gleby (3). Główne grupy enzymów w badaniach gleb to oksydoreduktazy (dehydrogenazy) i fosfatazy. Wysoka aktywność biochemiczna tych enzymów w glebie sprawia, że odgrywają one decydującą rolę w kształtowaniu stabilności ekologicznej i produktywności agroekosystemów i postrzegana jest jako dobry wskaźnik jakości gleby (4, 17). W badaniach enzymatycznych gleby poszukuje się enzymów, których aktywność

może służyć jako wskaźnik żyzności i jakości gleby, który obok analiz chemicznych umożliwia ocenę dostępności w glebie związków pokarmowych dla roślin, które pozwalają zarejestrować zmiany specyficznych zdolności kompleksu glebowego zachodzące pod wpływem systemu upraw, nawożenia, warunków klimatycznych czy wpływu czynników antropogenicznych (13). Dehydrogenazy stanowią liczną grupę oksydoreduktaz zlokalizowanych w cytoplazmie lub specyficznych strukturach utworzonych z błon cytoplazmatycznych (3, 7). Katalizują utlenianie związków organicznych przez odłączenie od nich elektronów i protonów. W warunkach tlenowych są one przenoszone poprzez szereg pośredników na elementy łańcucha oddechowego i ostatecznie na O_2 (4).

W badanych próbkach zaobserwowano dużą zmienność w aktywności dehydrogenaz w zależności od roku oraz zastosowanego preparatu. Z literatury przedmiotu wynika, iż aktywność dehydrogenaz w dużej mierze zmienia się sezonowo i zależy od chemicznych, fizycznych i biologicznych cech gleby (17). Aktywność oksydoreduktaz w glebie związana jest z metabolizmem oddechowym glebowych drobnoustrojów, a także z powszechnie występującymi w nich czynnościami wielu enzymów lub systemów enzymatycznych (4). Czynne dehydrogenazy występują w glebie jako integralna część nienaruszonych komórek (3). Oznaczenie aktywności tych enzymów w glebie jest zatem wskaźnikiem intensywności metabolizmu oddechowego mikroorganizmów glebowych, głównie bakterii i promieniowców. Wykazano, że zmiana stanu natlenienia gleby istotnie modyfikuje aktywność dehydrogenaz glebowych (17).

Najwyższe aktywności dehydrogenaz stwierdzono w roku 2014, po zastosowaniu preparatu mikrobiologicznego o nazwie EM i UGmax (rys. 1). Stwierdzono, iż zarówno zastosowany preparat mikrobiologiczny, jak i rok badań mają statystycznie istotny wpływ na wzrost aktywności dehydrogenaz w glebie (tab. 1).



n = 3; K – kontrola, EM – preparat EM, Ug – preparat UGmax, PBE – preparat EmFarma Plus (ProBioEMy)

* istotne statystycznie ($\alpha \leq 0,05$) wartości F i poziomy istotności

Rys. 1. Aktywność dehydrogenaz w próbkach glebowych w latach 2012–2014

Źródło: opracowanie własne

Według Bielińskiej i in. (2) zastosowane preparaty użyźniające (EM, PRP Sol, Rosahumus, UG max) stymulowały aktywność dehydrogenaz, ureazy oraz proteazy w badanych glebach. Valarini i in. (23) przeprowadzając badania z Efektywnymi Mikroorganizmami stwierdzili, że zastosowanie preparatu EM istotnie zwiększyło aktywność enzymatyczną gleby, przyczyniając się do szybkiej humifikacji materii organicznej. Wyniki uzyskane w doświadczeniu mikropoletkowym nie spowodowały zmian w aktywności pod wpływem obu badanych czynników. Wartości te były zbliżone do siebie, a dawka preparatu EM nie wpłynęła znacząco na zmianę aktywności biologicznej gleby. Gajda i Igras (6) stwierdzili na ogół istotnie wyższą aktywność enzymatyczną gleby i intensywność oddychania zarówno w glebie ubogiej, jak i zasobnej w PK pod pszenicą jarą po dawce $7,51 \cdot \text{ha}^{-1}$ EM-1. Również, wyniki uzyskane z doświadczeń polowych przez Kaczmarka i in. (9) potwierdzają wyższą aktywność enzymatyczną dehydrogenaz po wprowadzeniu do gleby preparatu EM. Z badań Kaczmarek i in. (8) wynika, iż preparat EM wpływał pozytywnie na rozwój ogólnej liczby bakterii, grzybów, promieniowców i mikroorganizmów kopiotroficznych oraz hamował namnażanie drobnoustrojów oligotroficznych. Ponadto, preparat działał pozytywnie na aktywność dehydrogenaz glebowych.

W literaturze przedmiotu odnaleźć można także negatywne skutki stosowania preparatów mikrobiologicznych. W doświadczeniu Kucharskiego i Jastrzębskiej (14) zastosowanie szczepionek z Efektywnymi Mikroorganizmami powodowało hamowanie aktywności dehydrogenaz. Poziom aktywności enzymatycznej zależy od gatunku gleby, rodzaju rośliny uprawnej, odzwierciedla także warunki tlenowe i wilgotnościowe w glebie (17). Zdaniem Badury (1) zasadność stosowania doglebowo preparatów z Efektywnymi Mikroorganizmami istnieje jedynie na glebach zdegradowanych, zniszczonych i ubogich, na których brak drobnoustrojów pełniących funkcje ochronne. Z kolei zdaniem Martyniuka i Księżaka (15) w warunkach polowych trudno jest uzyskać pozytywne efekty stosowania preparatów mikrobiologicznych, głównie ze względu na skomplikowane interakcje między autochtonicznymi organizmami glebowymi oraz oddziaływanie abiotycznych i biotycznych czynników środowiska glebowego. Powyższe stwierdzenie wyjaśniać może rozbieżności w wielu publikowanych wynikach badań (11, 12, 18, 19, 20, 23, 24).

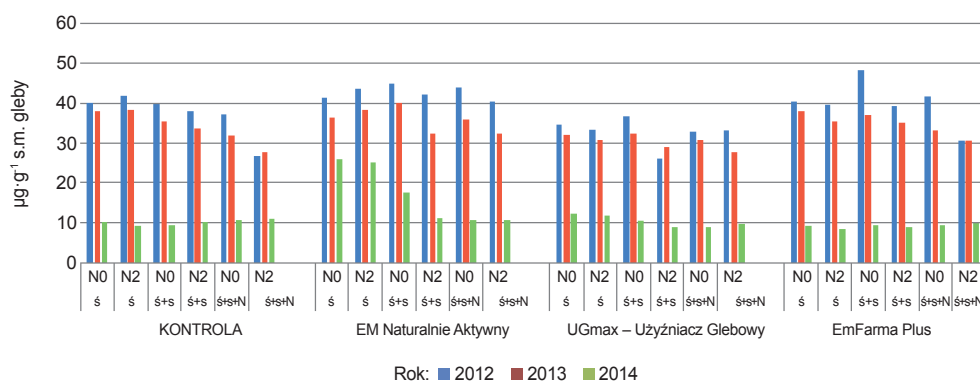
Drugą grupę enzymów ujętych w badaniach dotyczących wpływu preparatów z mikroorganizmami pożytecznymi na aktywność enzymatyczną gleby stanowiły fosfatazy – kwaśna i zasadowa.

Termin fosfatazy jest używany w odniesieniu do szerokiej grupy enzymów, które katalizują hydrolizę estrów i bezwodników kwasu ortofosforowego (1, 16). Fosfatazy odgrywają ważną rolę w glebie, ponieważ stymulują przemiany organicznych związków fosforu w nieorganiczne fosforany (HPO_4^{2-} i H_2PO_4^-), bezpośrednio dostępne dla roślin i organizmów glebowych (13). Podział fosfataz na hydralazy monoestrów fosforanowych – potoczna nazwa fosfomonoesterazy (EC 3.1.3.), hydralazy diestrów fosforanowych – fosfodiesterazy (EC 3.1.4.) i hydralazy triestrów fosforanowych – fosfotriesterazy (EC 3.1.5.) jest oparty na liczbie wiązań estrowych odpowiedniego

substratu (16). Dostępność fosforu może być czynnikiem ograniczającym rozwój roślin w wielu lądowych ekosystemach. Rośliny wykorzystują jedynie fosfor nieorganiczny, dlatego też mineralizacja organicznych związków fosforu ma duże znaczenie w rolnictwie i ekonomii. Większość zapotrzebowania roślin na fosfor jest zaspokajana poprzez transformację glebowej materii organicznej (13). Początkowe etapy rozkładu substancji organicznej mogą być czynnikiem ograniczającym szybkość mineralizacji fosforu organicznego. Oznaczanie aktywności fosfataz w warunkach niekorzystnych dla aktywności życiowej mikroorganizmów odgrywa istotną rolę w ocenie stopnia mineralizacji materii organicznej (1, 16). Głównym źródłem fosfataz w środowisku glebowym są przede wszystkim mikroorganizmy glebowe, a także korzenie roślin i fauna glebowa. W oznaczeniach biologicznych próbek glebowych sugerowany jest podział fosfomonoesteraz na trzy typy: alkaliczne, obojętne i kwaśne (odmienne optimum pH) (16). Kwaśny odczyn gleby (pH 4–6) jest optymalny dla kwaśnej fosfomonoesterazy (EC 3.1.3.1.) zwanej potocznie fosfatazą kwaśną, zaś alkaliczny (pH 8–10) dla alkalicznej fosfomonoesterazy, zwanej potocznie fosfatazą alkaliczną (EC 3.1.3.2.). Wyróżnia się również w glebie fosfatazy obojętne (13) z optimum aktywności przy pH 6,5–7.

Aktywność fosfataz w środowisku glebowym odzwierciedla aktywność enzymów związanych z koloidami glebowymi i substancjami humusowymi, wolnymi fosfatazami w roztworze glebowym oraz fosfatazami związanymi z żywymi i martwymi komórkami roślin i mikroorganizmów (13). Fosfatazy mogą być dobrym wskaźnikiem potencjału mineralizacji fosforu organicznego oraz aktywności biologicznej gleby.

Najwyższą aktywność fosfatazy alkalicznej stwierdzono w pierwszym roku badań (2012), natomiast najniższą – w ostatnim roku (2014) (rys. 2). Stwierdzono statystycznie istotny spadek aktywności fosfatazy alkalicznej w każdym kolejnym roku badań.

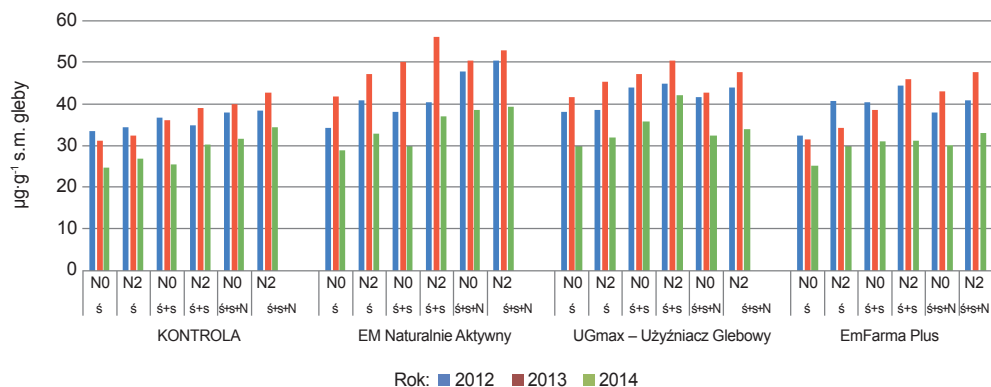


n = 3; K – kontrola, EM – preparat EM, Ug – preparat UGmax, PBE – preparat EmFarma Plus (ProBioEMy)
 ś – ściernisko; ś+s – ściernisko i słoma; ś+s+N – ściernisko, słoma i nawożenie; N0 – brak nawożenia;
 N2 – II dawka N

Rys. 2. Aktywność fosfatazy alkalicznej w próbkach glebowych w latach 2012–2014

Źródło: opracowanie własne

Najwyższe aktywności fosfatazy kwaśnej stwierdzono w pierwszym i drugim roku badań po zastosowaniu preparatu o nazwie EM i Ugmax (rys. 3). Na poziom aktywności fosfatazy kwaśnej istotnie statystycznie wpłynął także sposób stosowania preparatu oraz poziom nawożenia (rys. 4).

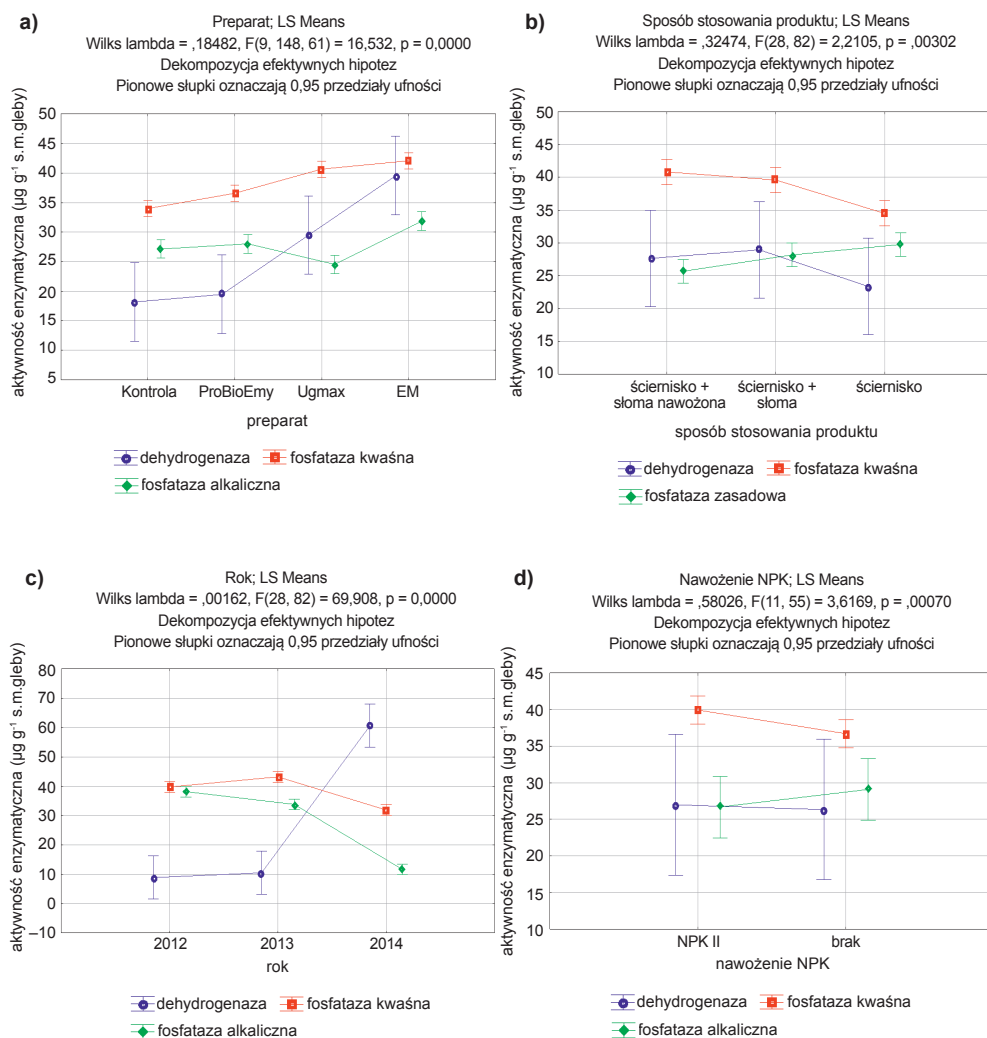


n = 3; K – kontrola, EM – preparat EM, Ug – preparat Ugmax, PBE – preparat EmFarma Plus (ProBioEMy)
 ś – ściernisko; ś+s- ściernisko i słoma; ś+s+N – ściernisko, słoma i nawożenie; N0 – brak nawożenia;
 N2 – II dawka N

Rys. 3. Aktywność fosfatazy kwaśnej w próbkach glebowych w latach 2012–2014

Źródło: opracowanie własne

Ponadto stwierdzono statystycznie istotny wpływ zastosowanego preparatu, sposobu jego dozowania oraz nawożenia na zmiany aktywności fosfatazy alkalicznej w badanych próbkach glebowych (rys. 4). Natomiast w przypadku oznaczeń aktywności fosfatazy kwaśnej stwierdzono statystycznie istotny wpływ zarówno zastosowanego preparatu, sposobu jego dozowania oraz roku badań na poziom aktywności fosfatazy kwaśnej w glebie (rys. 4).



Rys. 4. Wieloczynnikowa analiza wariancji ANOVA dla zmiennych aktywności enzymatycznej gleb dla grup: a) rok, b) preparat, c) sposób stosowania preparatu oraz d) nawożenie NPK dla $\alpha \leq 0,05$
Źródło: opracowanie własne

Kwaśna fosfataza, podobnie jak fitaza, jest enzymem o małej specyficzności substratowej mającym zdolność hydrolizowania wielu połączeń fosforanowych o zróżnicowanej budowie cząsteczki (13). Kwaśne fosfatazy roślin hydrolizują heksafosforan inozytolu. W badanych glebach aktywność fosfatazy kwaśnej była ok. 25% większa niż fosfatazy alkalicznej. Kwaśna fosfataza jest enzymem o małej specyficzności substratowej, mającym zdolność hydrolizowania wielu połączeń fosforanowych o zróżnicowanej budowie cząsteczki.

Wiele badań dowodzi, że aktywność enzymów glebowych jest dodatnio skorelowana z zasobnością gleb w składniki pokarmowe (12). Przeciwnie tendencje stwierdzono w przypadku aktywności fosfatazy kwaśnej i alkalicznej. Dostarczenie nawozów do gleby może spowodować wzrost aktywności mikrobiologicznej gleby, a jednocześnie obniżyć aktywność niektórych enzymów (13). Nadmiar nieorganicznego fosforu w glebie hamuje syntezę fosfataz. Nahas i in. (16), badając relacje między aktywnością kwaśnej i alkalicznej fosfatazy a zawartością różnych form fosforu (całkowitego, organicznego i przyswajalnego), stwierdzili dodatnie korelacje wyłącznie w przypadku całkowitego fosforu i materii organicznej. Zdaniem wielu autorów (9, 10, 13, 16), fosfatazy mają zdolność hydrolizowania związków fosforu organicznego w ilościach przewyższających zapotrzebowanie roślin na fosfor, a czynnikiem ograniczającym ich aktywność w glebie jest dostępność fosforu organicznego ulegającego hydrolizie.

Wszystkie przemiany pierwiastków biogennych zachodzące w glebie stymulowane są przez enzymy warunkujące ich przejście w formy dostępne dla roślin. Procesy te odgrywają ważną strukturalną i funkcjonalną rolę w dynamice cyklu odżywczego roślin i mogą w istotny sposób wpływać na ich wzrost i rozwój (16). Monitoring pedosfery z wykorzystaniem metod opartych na testach enzymatycznych pozwala na kompleksową ocenę zmian, jakie zachodzą w środowisku glebowym pod wpływem różnych metod poprawy żyzności gleby, w tym także preparatów mikrobiologicznych. Każdy typ gleby cechuje charakterystyczny skład specyficznych enzymów i właściwy sobie poziom aktywności enzymatycznej (13).

Różnice w kształtowaniu się aktywności enzymatycznej w różnych glebach spowodowane są głównie tym, że każdy typ gleby zależnie od jej pochodzenia i warunków rozwojowych jest odmienny pod względem zawartości materii organicznej, składu granulometrycznego i aktywności mikroorganizmów, a w konsekwencji procesów biochemicznych. Wpływ systemu nawożenia na aktywność badanych enzymów glebowych zależy od rodzaju enzymu. Wiąże się to zarówno z indywidualnymi właściwościami enzymów, ich odpornością na środowiskowe czynniki stresowe, jak i z zawartością w glebie specyficznych substratów dla reakcji enzymatycznych.

Uzyskane wyniki badań potwierdzają wzrost parametrów aktywności biologicznej gleb (głównie aktywności enzymatycznej) po zastosowaniu preparatów mikrobiologicznych. Trudno jest jednak jednoznacznie ocenić, czy efekt ten spowodowany jest wyłącznie wprowadzeniem do gleby samych mikroorganizmów, metabolitów tych drobnoustrojów, czy też bogatego podłoża, jakim jest melasa stanowiąca nośnik tychże preparatów. Już samo dostarczenie do gleby bogatego źródła węgla, jakim jest melasa, może powodować wzrost liczebności autochtonicznych drobnoustrojów, jak i ich aktywności enzymatycznych. Przy tak niejednoznacznych wynikach badań zasadne byłoby przeprowadzenie dokładniejszych badań, głównie ze względu na bardziej rozbudowaną i miarodajną kontrolę doświadczenia.

Liczebność mikroorganizmów wprowadzanych do gleby w postaci preparatów mikrobiologicznych jest zwykle redukowana do poziomu naturalnego i szybko

wypierana przez drobnoustroje autochtoniczne (15). Każda gleba w warunkach naturalnych zasiedlona jest przez drobnoustroje, które przystosowały się do życia w danej glebie i skolonizowały w niej wszystkie dostępne i umożliwiające egzystencję nisze ekologiczne. Urodzajne, żyzne gleby zawierają w 1g świeżej masy gleby setki milionów, a nawet miliardy samych bakterii. Ich liczebność i aktywność uwarunkowana jest wieloma czynnikami. Głównym czynnikiem ograniczającym ich rozwój jest zawartość dostępnej materii organicznej. W glebie substancja organiczna ulega szeregom przemian przeprowadzanym przez różne grupy drobnoustrojów, a ich tempo uzależnione jest od warunków klimatycznych, struktury gleby oraz stopnia zanieczyszczenia środowiska glebowego.

Skład zespołów mikroorganizmów ulega ciągłym zmianom w zależności od zmian warunków fizycznych i chemicznych w środowisku oraz zmian wywoływanych aktywnością fizjologiczną i metaboliczną poszczególnych populacji (gatunków). Drobnoustroje glebowe odpowiedzialne są za przeprowadzanie wszystkich biochemicznych procesów i transformacji, które występują w glebach. Ich liczebność i aktywność wpływa bezpośrednio na żyzność i jakość gleby, a tym samym na wzrost oraz jakość plonów.

Literatura

1. Ba d u r a L.: Czy znamy wszystkie uwarunkowania funkcji mikroorganizmów w ekosystemach lądowych. Kosmos. Probl. Nauk Biol., 2004, **53**: 373-379.
2. Bielińska E.J., Futa B., Bik-Mołodzińska M., Szewczuk M., Sugier D.: The impact of fertilizing agents on the enzymatic activity of soils. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 2013, **58**(3): 15-19.
3. Brzezińska M., Włodarczyk T.: Enzymy wewnątrzkomórkowych przemian redoks (oksydoreduktazy). 2005, Acta Agrophys. Rozpr. Monogr. **3**: 11-26.
4. Caside L., Klein D., Santoro T.: Soil dehydrogenase activity. Soil Sci., 1964, **98**: 371-376.
5. Daly M.J., Stewart D.P.C.: Influence of "effective microorganisms" (EM) on vegetable production and carbon mineralization – a preliminary investigation. J. Sustain. Agric., 1999, **14**: 15-25.
6. Gajda A., Igras J.: Określenie produkcyjnych i ekologicznych skutków stosowania preparatu EM-A w uprawie zbóż i rzepaku. IUNG Puławy, 2003, 1-17.
7. Janas R.: Możliwości wykorzystania efektywnych mikroorganizmów w ekologicznych systemach produkcji roślin uprawnych. Probl. Inż. Roln., 2009, **3**: 111-119.
8. Kaczmarek Z., Jakubus M., Grzelak M., Mrugańska L.: Wpływ dodatków różnych dawek Efektywnych Mikroorganizmów do poziomów orno-próchnicznych gleb mineralnych na ich właściwości fizyczne i wodne. J. Res. Appl. Agric. Eng., 2008, **53**(3): 122-127.
9. Kaczmarek Z., Wolna-Maruwka A., Jakubus M.: Zmiany liczebności wybranych grup drobnoustrojów glebowych oraz aktywności enzymatycznej w glebie inokulowanej efektywnymi mikroorganizmami (EM). J. Res. and Appl. in Agric. Eng., 2008, **53**(3): 122-128.
10. Kieliszewska-Rokicka B.: Enzymy glebowe i ich znaczenie w badaniach aktywności mikrobiologicznej gleby. Drobnoustroje środowiska glebowego, H. Dahm i A. Pokojska-Burdziej (red.), UMK Toruń, 2001, 37-47.

11. K o c o ń A.: Środki wspomagające uprawę roślin, środki poprawiające właściwości gleby – preparaty mikrobiologiczne. Mat. Szkol. Studia Podyplomowe. Integrowana Produkcja Roślinna. Puławy 2013, **8**: 95-99.
12. K o r d a s L., Z b r o s z c z y k U.: Wpływ systemu uprawy roli i Efektywnych Mikroorganizmów (EM) na właściwości biologiczne gleby spod pszenicy jarej uprawianej w krótkotrwałej monokulturze. *Fragm. Agron.*, 2012, **3**: 95-102.
13. K u c h a r s k i J.: Relacje między aktywnością enzymów a żyznością gleby. W: *Drobnoustroje w środowisku. Występowanie, aktywność i znaczenie*, W. Barabasz (red.). AR Kraków, 1997, 327-374.
14. K u c h a r s k i J., J a s t r z ę b s k a E.: Rola mikroorganizmów efektywnych (EM) i glebowych w kształtowaniu właściwości mikrobiologicznych gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 2005, **507**: 315-322.
15. M a r t y n i u k S., K s i ę ż a k J.: Ocena pseudomikrobiologicznych preparatów stosowanych w uprawie roślin. *Pol. J. Agron.*, 2011, **6**: 27-33.
16. N a h a s E., C e n t u r i o n J.F., A s s i s L.C.: Efeito das caractericas quimicas dos solos sobre os microorganismos solubilizadores de fosfato e produtores de fosfatases. *Revista Brasileira do Ciencia do Solo* 1994, **18**(1), 49-53.
17. P i o t r o w s k a - C y p l i k A., C y p l i k P.: Estimation of correlation between total microorganism counts and dehydrogenase activity measurement in compost from anaerobic sewage sludge. *Nauka Prz. Technol.*, 2008, **2**: 3-13.
18. R u t k o w s k a A.: Stan obecny i perspektywy stosowania środków wspomagających uprawę roślin. *Studia i Raporty IUNG- PIB*, 2010, **25**: 53-67.
19. S t ę p i e ń A., A d a m i a k E.: Efektywne mikroorganizmy (EM-1) i ich wpływ na występowanie chorób zbóż. *Progr. Plant Prot.*, 2009, **49**(4): 2027-2030.
20. S u l e w s k a H., S z y m a ń s k a G., P e c i o A.: Evaluation of Ugmax soil additive applied in maize grown for grain and silage. *J. Res. Appl. Agr. Engin.*, 2009, **54**(4): 120-125.
21. T a b a t a b a i M.A., B r e m n e r J.M.: Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biol. Biochem.*, 1969, **1**: 301-307.
22. V a l a r i n i P.J., D í a z A l v a r e z M.C., G a s c ó J.M., G u e r r e r o F., T o k e s h i H.: Assessment of soil properties by organic matter and EM-microorganism incorporation. *R. Bras. Ci. Solo.*, 2003, **27**: 519-525.
23. W e y m a n - K a c z m a r k o w a W.: Interdependencies between oligotrophic and copiotrophic bacteria in soils of different mechanical structure. *Pol. J. Soil Sci.*, 1995, **29**(1): 62-72.
24. Z y d l i k P., Z y d l i k K.: Impact of biological effective microorganisms (EM) preparations on some physic-chemical properties of soil and the vegetative growth of apple-tree roots. *Nauka Prz. Technol.*, 2008, **2**(1): 1-7.

Adres do korespondencji:

dr Anna Gałązka
Zakład Mikrobiologii Rolniczej
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. 81 47 86 950
e-mail: agalazka@iung.pulawy.pl

Andrzej Madej

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

OCENA EFEKTYWNOŚCI NAWOŻENIA MINERALNEGO Z UWZGLĘDNIENIEM UJĘCIA PRZESTRZENNEGO*

Słowa kluczowe: ocena ekonomiczna, wskaźniki oceny, nawożenie mineralne, województwa

Wstęp

Jednym z podstawowych zabiegów agrotechnicznych występujących w technologii produkcji roślinnej jest nawożenie. Według Klepackiego (7) jest to wzbogacanie gleby w substancję organiczną i składniki pokarmowe, wywierające pozytywny wpływ na wzrost i rozwój roślin. Według tej definicji w nawożeniu roślin uprawnych stosowane są zarówno nawozy organiczne i mineralne. Do nawozów organicznych stosowanych przez rolników można zaliczyć odchody zwierząt, masę roślinną po zbiorach (słoma i inne ściółki), odpady z gospodarstwa, kompost, fekalia, wodorosty oraz nawozy zielone (rośliny uprawiane na przyoranie mające zasilić glebę w substancję organiczną). Nieco inny podział nawozów przedstawia Harasim (3), wyróżniając nawozy mineralne, naturalne, organiczne i organiczno-mineralne. Aktualnie obornik, gnojówkę i gnojowicę, zgodnie z Ustawą o nawozach i nawożeniu (17) i kodeksem dobrej praktyki rolniczej (1), określa się mianem nawozów naturalnych.

Z uwagi na zwiększającą się w ostatnich latach koncentrację produkcji zwierzęcej, a zarazem spadek liczby gospodarstw utrzymujących zwierzęta (10), nawożenie naturalne w gospodarstwach o roślinnym kierunku produkcji ma coraz mniejsze znaczenie. Nawozy mineralne zawierają składniki pokarmowe dla roślin wytworzone w wyniku procesów chemicznych, rzadziej pochodzące z kopaliny. Spośród tych składników możemy wyróżnić makroelementy (azot, potas, fosfor, wapń, magnez, siarka i sód), a także mikroelementy (pozostałe pierwiastki) pobierane w niewielkich

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

ilościach, których znaczenie ujawnia się we wzroście i rozwoju roślin, zwłaszcza w ich funkcjach biologicznych.

Według Kopińskiego (8) nawozy mineralne należą do najważniejszych środków produkcji dla rolnictwa, a wydatki ponoszone przez producentów rolnych na ich zakup należą do podstawowych w produkcji roślinnej.

Celem pracy była ekonomiczna ocena nawożenia mineralnego stosowanego na poziomie kraju i województw za pomocą wybranych wskaźników oraz przedstawienie możliwości zastosowania rachunku ekonomicznego do oceny efektywności nawożenia.

Material i metody

W badaniach wykorzystano dane statystyczne dotyczące średnich cen podstawowych nawozów mineralnych obowiązujących w kraju (12) oraz wielkości plonów podstawowych roślin uprawnych w latach 2012–2014 (11). Ponadto na podstawie danych GUS (15) określono wielkość nawożenia mineralnego w czystym składniku na 1 ha użytków rolnych ogółem, jak i będących w dobrej kulturze. Nawożenie w czystym składniku wyrażono zarówno w łącznej ilości azotu, fosforu i potasu (NPK), jak i w podziale na poszczególne makroskładniki.

Do oceny efektywności nawożenia mineralnego wykorzystano wskaźniki zaproponowane przez Klepackiego (7):

- **produkcyjność przeciętną brutto** – obliczaną przez podzielenie uzyskanego plonu roślin (w $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) przez dawkę nawozu mineralnego (w kg N lub $\text{NPK} \cdot \text{ha}^{-1}$);
- **produkcyjność przeciętną netto** – obliczaną przez podzielenie plonu roślin (w $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) uprzednio pomniejszonego o jego poziom, jaki można osiągnąć bez stosowania nawozów mineralnych, przez dawkę nawozu mineralnego (w kg N lub $\text{NPK} \cdot \text{ha}^{-1}$);
- **produktywność krańcową** – wyrażającą stosunek przyrostu plonu roślin (ΔP) w $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ do przyrostu nawożenia w $\text{kg NPK} \cdot \text{ha}^{-1}$ (ΔN), która pozwala na ustalenie optymalnego poziomu nawożenia mineralnego zgodnie z zasadą:

$$\frac{\Delta P}{\Delta N} = \frac{CN}{CP}$$

gdzie:

CN – jednostkowa cena nawozu,

CP – cena produktu.

Ponadto obliczono opłacalność produkcji roślinnej oraz podano przykłady zastosowania rachunku ekonomicznego w zakresie nadwyżki bezpośredniej i kalkulacji różnicowej.

Do obliczenia średniego plonu roślin z 1 ha użytków rolnych (w dobrej kulturze) w jednostkach zbożowych wykorzystano współczynniki przeliczeniowe zawarte

w tabeli 1. W obliczeniach uwzględniono wielkość produkcji głównych upraw rolnych łącznie z uprawami pastelnymi i ogrodnictwami (11).

Tabela 1

Współczynniki przeliczeniowe produktów rolniczych na jednostki zbożowe

Wyszczególnienie	Liczba jednostek zbożowych w 100 kg produktu
Ziarno i nasiona	
zboża, mieszanki zbożowe, kukurydza, gryka, proso	1,00
groch, fasola, bobik, wyka, peluska, łubin	1,20
gorczyca	1,50
rzepak, rzepik, słonecznik, soja, seradela, kminek	2,00
mak i len	2,50
konopie	1,40
burak cukrowy i pastewny, szpinak	3,00
trawy, lucerny i koniczyny	5,00
marchew i cykoria	10,00
Korzenie i bulwy	
burak cukrowy, ziemniak	0,25
burak pastewny, marchew pastewna, brukiew	0,12
Inne produkty	
len: nasiona + słoma	1,00
len: słoma	0,70
len: włókno	12,00
konopie: nasiona + słoma	0,70
konopie: słoma	0,50
konopie: włókno	6,00
Uprawy specjalne	
tytoń	2,00
chmiel	6,00
wiklina	0,50
zioła uprawne	4,00
Warzywa i owoce	
Warzywa (średnio):	0,20
kapusty, marchew, buraki ćwikłowe, pory, szpinak, pomidory, rzepa, rzodkiewka, rabarbar	0,15
selery, sałata, cykoria, brukselka, kalafior, cebula, ogórki, groch zielony	0,20
fasola zielona, szparagi, kalarepa	0,30
Owoce (średnio):	0,35
ziarnkowe	0,20
pestkowe	0,25
agrest, porzeczki, truskawki	0,50
maliny	0,75

cd. tab. 1

Wyszczególnienie	Liczba jednostek zbożowych w 100 kg produktu
Pasze gospodarskie	
Zielonki:	
koniczyna (w tym z trawami), lucerna	0,15
esparceta, peluszką, groch, wyka pastewna, łubin słodki, kukurydza, trawa łąkowa (średnio), wyka z owsem, seradela, kapusta pastewna, żyto, pastwisko, mieszanka gorzowska	0,12
słonecznik, rzepak, rzepik, gorczyca, proso	0,08
liście buraków (świeże)	0,10
Siano:	
koniczyna, lucerna, łubin słodki, mieszanka gorzowska, wyka z owsem	0,50
łąkowe (dobre), esparceta, wyka z żytem, żyto	0,40
Słoma i plewy:	
zbóż ozimych	0,10
zbóż jarych	0,15
motylkowatych	0,25

Źródło: Harasim, 2006 (3)

Omówienie wyników

Wskaźnik produktywności przeciętnej brutto – wykorzystywany do oceny efektywności nawożenia, między innymi w doświadczeniach, w których jednym z analizowanych czynników jest nawożenie roślin. Ponadto ze względu na charakter i zakres danych do jego obliczenia może być zastosowany do oceny przestrzennej efektywności nawożenia na różnych poziomach (kraj, region, województwo, powiat, gmina), w zależności od stopnia dostępności danych statystycznych. W niniejszej ocenie określono średni plon główny roślin uprawnych w jednostkach zbożowych z ha użytków rolnych (w dobrej kulturze). Do obliczenia średniego plonu w jednostkach zbożowych wykorzystano współczynniki przeliczeniowe produktów rolniczych na jednostki zbożowe zawarte w tabeli 1. Dysponując danymi odnośnie nawożenia w podziale na poszczególne makroskładniki, określono także efektywność nawożenia azotem, który uważany jest za główny składnik plonotwórczy nawożenia mineralnego (2, 14), co może potwierdzać jego wysoki (średnio o 58%) udział w nawożeniu mineralnym w latach 2011–2013 (15). Produktywność przeciętną brutto dla średnich wartości nawożenia za lata 2011–2013, w ujęciu krajowym, przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Produkcyjność przeciętna brutto nawożenia mineralnego w Polsce w latach 2011–2013

Wyszczególnienie	Polska
Nawożenie mineralne NPK ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ UR*)	134,3
Średni plon główny (j.zb. $\cdot \text{ha}^{-1}$ UR)	37,5
Efektywność przeciętna brutto (j.zb. $\cdot \text{kg}^{-1}$ NPK)	0,28
Nawożenie mineralne N ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ UR*)	77,9
Średni plon główny (j.zb. $\cdot \text{ha}^{-1}$ UR)	37,5
Efektywność przeciętna brutto (j.zb. $\cdot \text{kg}^{-1}$ N)	0,48

* UR w dobrej kulturze

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych GUS (11, 15)

Dla średniego nawożenia w Polsce stosowanego w latach 2011–2013 na poziomie $134 \text{ kg NPK} \cdot \text{ha}^{-1}$ UR w dobrej kulturze i dla średniego plonu głównego z użytków rolnych w jednostkach zbożowych wynoszącego $37,5 \text{ j.zb.} \cdot \text{ha}^{-1}$ UR, efektywność nawożenia mineralnego wynosiła $0,28 \text{ j.zb.} \cdot \text{kg}^{-1}$ NPK. Można stwierdzić, że na każdy kilogram NPK przypadało 28 kg plonu głównego, jakim może być np. ziarno zbóż. Natomiast efektywność liczona dla samego nawożenia azotem ($77,9 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ UR w dobrej kulturze) z uwzględnieniem średniego plonu głównego na poziomie $37,5 \text{ j.zb.} \cdot \text{ha}^{-1}$ UR w dobrej kulturze była prawie dwukrotnie wyższa i wynosiła $0,48 \text{ j.zb.} \cdot \text{kg}^{-1}$ N.

W przypadku oceny nawożenia mineralnego w skali województw przedstawione wyżej zależności przedstawiono w tabelach 3 i 4.

Tabela 3

Produkcyjność przeciętna brutto nawożenia mineralnego NPK według województw w latach 2011–2013

Wyszczególnienie	Nawożenie mineralne NPK ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ UR*)	Średni plon główny (j.zb. $\cdot \text{ha}^{-1}$ UR*)	Produkcyjność przeciętna brutto (j.zb. $\cdot \text{kg}^{-1}$ NPK)
Dolnośląskie	164,9	45,7	0,28
Kujawsko-pomorskie	172,7	47,1	0,27
Lubelskie	126,9	36,0	0,28
Lubuskie	143,2	33,2	0,23
Łódzkie	145,1	36,3	0,25
Małopolskie	73,8	32,8	0,44
Mazowieckie	103,0	31,7	0,31
Opolskie	219,6	57,2	0,26
Podkarpackie	71,4	28,9	0,40
Podlaskie	99,2	30,2	0,30
Pomorskie	147,0	37,4	0,25
Śląskie	126,5	36,2	0,29
Świętokrzyskie	107,9	31,8	0,29

cd. tab. 3

Wyszczególnienie	Nawożenie mineralne NPK (kg·ha ⁻¹ UR*)	Średni plon główny (j.zb.·ha ⁻¹ UR*)	Produkcyjność przeciętna brutto (j.zb.·kg ⁻¹ NPK)
Warmińsko-mazurskie	115,5	33,8	0,29
Wielkopolskie	163,9	43,8	0,27
Zachodniopomorskie	167,5	37,7	0,23
Polska	134,3	37,5	0,28

* UR w dobrej kulturze

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych GUS (11, 15)

Tabela 4

Produkcyjność przeciętna brutto nawożenia mineralnego azotem według województw
w latach 2011–2013

Wyszczególnienie	Nawożenie mineralne N (kg·ha ⁻¹ UR*)	Średni plon główny (j. zb.·ha ⁻¹ UR*)	Produkcyjność przeciętna brutto (j.zb.·kg ⁻¹ N)
Dolnośląskie	95,8	45,7	0,48
Kujawsko-pomorskie	109,6	47,1	0,43
Lubelskie	68,0	36,0	0,53
Lubuskie	76,7	33,2	0,43
Łódzkie	80,8	36,3	0,45
Małopolskie	39,4	32,8	0,83
Mazowieckie	61,1	31,7	0,52
Opolskie	121,7	57,2	0,47
Podkarpackie	38,3	28,9	0,75
Podlaskie	57,1	30,2	0,53
Pomorskie	89,4	37,4	0,42
Śląskie	74,4	36,2	0,49
Świętokrzyskie	58,7	31,8	0,54
Warmińsko-mazurskie	74,1	33,8	0,46
Wielkopolskie	94,9	43,8	0,46
Zachodniopomorskie	97,6	37,7	0,39
Polska	77,9	37,5	0,48

* UR w dobrej kulturze

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych GUS (11, 15)

Województwami o najwyższej produkcyjności przeciętnej brutto nawożenia mineralnego NPK (obliczonej średnio dla lat 2011–2013) były województwa małopolskie (0,44 j.zb.·kg⁻¹ NPK) i podkarpackie (0,40 j.zb.·kg⁻¹ NPK), stosujące najniższe nawożenie mineralne i zarazem osiągające niskie plony przeliczeniowe z 1 ha powierzchni. Według Krasowicza i Kopińskiego (9) województwo podkarpackie charakteryzuje się najniższym wykorzystaniem potencjalnej produkcyjności gruntów w Polsce (54,9%) mierzonym stosunkiem rzeczywistej produkcji roślinnej

do relatywnie możliwej do osiągnięcia. Natomiast województwa, w których poziom stosowanego nawożenia mineralnego NPK był najwyższy (opolskie, kujawsko-pomorskie, wielkopolskie, dolnośląskie) charakteryzowały się produktywnością przeciętną brutto na poziomie zbliżonym do średniej dla Polski (0,26–0,28 j.zb·kg⁻¹ NPK). Należy zaznaczyć, że pod względem produkcji roślinnej woj. opolskie należało do najsłabiej wykorzystujących potencjalną produktywność gruntów (9). Zgodnie z prawem malejących przychodów z ziemi efektywność kolejnych dawek nawozów maleje zgodnie z krzywą nawozową (6), co sprawia, że stosowanie wysokiego nawożenia mineralnego może powodować niższą produktywność przeciętną brutto. Należy jednak zauważyć, że czynnikami modyfikującymi działanie tego prawa są warunki siedliskowe oraz całokształt stosowanej technologii produkcji, tj. oprócz nawożenia – dobór odmian, stanowisko w zmianowaniu roślin, ochrona roślin oraz terminowość i precyzja stosowanych zabiegów agrotechnicznych (5). Trzecią grupę, o najniższej produktywności przeciętnej brutto nawożenia mineralnego, stanowiły województwa: lubuskie, zachodniopomorskie, łódzkie i pomorskie, stosujące nawożenie wyższe niż średnio w Polsce, ale osiągające stosunkowo niskie plony przeliczeniowe w jednostkach zbożowych. Z tej grupy woj. lubuskie i łódzkie w stosunkowo małym stopniu wykorzystywały swój potencjał produkcyjny (9).

W przypadku produktywności przeciętnej brutto nawożenia azotem (tab. 4), województwami o najwyższej wartości tego wskaźnika okazały się także województwa małopolskie (0,83 j.zb·kg⁻¹ N) i podkarpackie (0,75 j.zb·kg⁻¹ N), stosujące najniższe nawożenie azotem i osiągające relatywnie niskie plony przeliczeniowe z 1 ha powierzchni. Natomiast województwa, gdzie stosowano najwyższe nawożenie mineralne azotem (opolskie, dolnośląskie, wielkopolskie), charakteryzowały się produktywnością przeciętną brutto na poziomie zbliżonym do średniej dla Polski (0,46–0,48 j.zb·kg⁻¹ N). Grupę województw o najniższej produktywności przeciętnej brutto nawożenia mineralnego azotem stanowiły województwa: zachodniopomorskie, pomorskie, kujawsko-pomorskie, lubuskie i łódzkie, stosujące nawożenie wyższe niż średnio w Polsce, ale osiągające plony przeliczeniowe na poziomie zbliżonym do średniego dla Polski. Wyjątek stanowiło województwo lubuskie osiągające plon przeliczeniowy na poziomie 33,2 j.zb·ha⁻¹ UR (tab. 4) i w średnim stopniu wykorzystujące swój potencjał produkcyjny (58,9%) (9).

Wskaźniki produktywności przeciętnej netto oraz produktywności krańcowej (ze względu na sposób obliczania) mogą być wykorzystane do oceny efektywności nawożenia na ogół w doświadczeniach. Występuje w nich zarówno obiekt kontrolny pozwalający na określenie poziomu plonowania bez nawożenia, jak i obiekty z różnymi poziomami nawożenia oceniane w danej technologii produkcji roślinnej, co pozwala na określenie produktywności krańcowej. Przykład takiego rachunku przedstawiono w tabeli 5. Mamy tu do czynienia z oceną efektywności nawożenia mineralnego azotem z wykorzystaniem wskaźnika efektywności krańcowej technicznej (jako stosunku przyrostu plonu do przyrostu nawożenia azotowego wyrażonych

w kg), jak i ekonomicznej (jako stosunku przyrostu plonu do przyrostu nawożenia azotowego wyrażonych w zł).

Tabela 5

Plony i efektywność nawożenia mineralnego azotem pszenicy ozimej

Dawka N (kg·ha ⁻¹)	0	40	80	120	160	200
Plon ziarna (t·ha ⁻¹)	2,53	3,97	5,16	5,57	5,83	5,80
Efektywność przeciętna brutto (kg ziarna·kg ⁻¹ N)	-	99,3	64,5	46,4	36,4	29,0
Przyrost plonu (kg ziarna) (ΔP)	-	1440	1190	410	260	-30
Przyrost nawożenia (kg N) (ΔN)	-	40	40	40	40	40
Efektywność krańcowa techniczna (ΔP/ΔN)	-	36,0	29,8	10,3	6,5	-0,8
Wartość przyrostu plonu (zł) (ΔP)*	-	1014,0	838,0	288,7	183,1	-21,1
Koszt przyrostu nawożenia N (zł) (ΔN)*	-	159,6	159,6	159,6	159,6	159,6
Efektywność krańcowa ekonomiczna (zł·zł ⁻¹) (ΔP/ΔN)	-	6,35	5,25	1,81	1,15	-0,13

* średnie ceny w 2014 r. (ziarno pszenicy – 704,2 zł·t⁻¹; azot – 3,99¹ zł·kg⁻¹)

Źródło: Harasim, 2012 (4) oraz obliczenia własne na podstawie danych IERiGŻ-PIB (12)

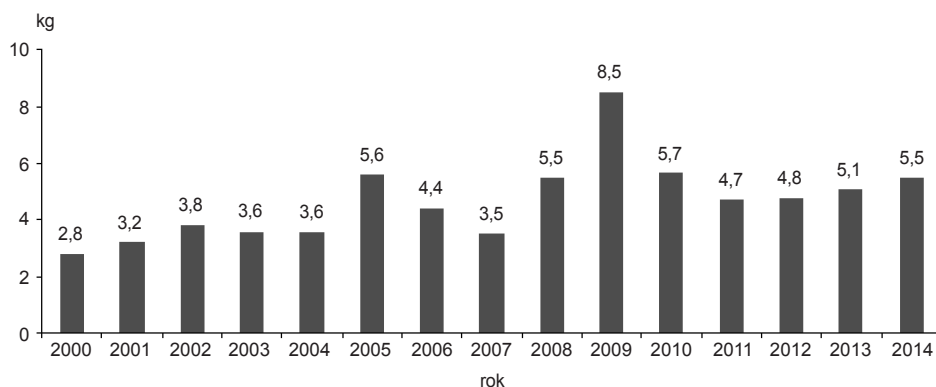
W przedstawionym przykładzie wraz ze wzrostem poziomu nawożenia azotem przyrosty krańcowe plonu ziarna pszenicy malały z 1440 do 260 kg dla nawożenia dawką 160 kg N·ha⁻¹ (tab. 5). Natomiast nawożenie w ilości 200 kg N·ha⁻¹ powodowało ujemny przyrost plonu ziarna (-30 kg), czyli plon pszenicy uległ zmniejszeniu, co zarazem skutkowało zmniejszeniem jego wartości. Wyniki oceny zarówno technicznej, jak i ekonomicznej wskazują, że nawożenie pszenicy ozimej azotem w dawce powyżej 160 kg N·ha⁻¹ było nieefektywne. Dalsze zwiększanie nawożenia było więc ekonomicznie nieuzasadnione.

Wykorzystując wcześniej przywołany wzór na produktywność (efektywność) krańcową wyrażoną stosunkiem przyrostu plonu na jednostkę przyrostu nakładu (w tym przypadku poziomu nawożenia), równoważny stosunkowi jednostkowej ceny nawozu do ceny produktu (ziarna), można ustalić optymalny poziom nawożenia mineralnego zgodnie z równaniem:

$$\frac{\Delta P}{\Delta N} = \frac{CN}{CP}$$

Powyższą formułę obliczeniową można wykorzystać do wyrażenia ceny 1 kg nawozu w kilogramach równowartości wybranego produktu rolniczego (ziarno, mleko, mięso). Jeżeli za cenę nawozu przyjmie się cenę średnioroczną 1 kg NPK, a za cenę produktu rolnego cenę 1 kg ziarna pszenicy, to po przeliczeniu otrzyma się cenę 1 kg NPK wyrażoną w kg równowartości ziarna pszenicy. Wartość tego wskaźnika w poszczególnych latach przedstawiono na rysunku 1.

¹ Cenę azotu obliczono jako wypadkową cenę azotu zawartego w moczniku (3,53 zł·kg⁻¹ N) i saletrze (4,22 zł·kg⁻¹ N) w proporcji tego składnika w nawozach jak 1:2.



Rys. 1. Cena 1 kg NPK wyrażona w kg równowartości ziarna pszenicy w latach 2000–2014

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych IERiGŻ-PIB (13)

W analizowanym okresie (2000–2014) cena 1 kg NPK wyrażona w kg ziarna pszenicy ulegała znacznym wahaniom. Najkorzystniejsza relacja średniej ceny składników NPK do ceny pszenicy występowała w roku 2000 (relacja 1:2,8), a następnie w roku 2007, kiedy to można było zaobserwować znaczący wzrost cen pszenicy przy niewielkim wzroście cen nawozów (grudzień 2006 r. do grudnia 2005 r.) wynoszącym od –1,8 do 6,1% (tab. 6). Natomiast najmniej korzystna relacja była w roku 2009, kiedy to cenę 1 kg NPK równoważyło aż 8,5 kg ziarna pszenicy, tj. ponad 2,4 razy więcej niż w stosunkowo korzystnym roku 2007. Ta niekorzystna sytuacja wynikała przede wszystkim z wystąpienia w tym samym czasie dwóch przeciwstawnych czynników: wysokiej podwyżki cen nawozów oraz znacznego spadku cen skupu zbóż. Ceny podstawowych nawozów mineralnych w relacji grudzień 2008 r. do grudnia 2007 r. wzrosły z 38,1% (saletra amonowa) aż do 130,8% (superfosfat potrójny granulowany). Najniższym wzrostem, zbliżonym do saletry, charakteryzowały się pozostałe nawozy azotowe (mocznik i saletrzak), natomiast najwyższym (oprócz superfosfatu potrójnego), także fosforan amonu oraz polifoska (NPK: 8-24-24), głównie nawozy fosforowe. Natomiast cena skupu ziarna pszenicy z 706,8 zł·t⁻¹ w korzystnym roku 2007 spadła do 642,4 zł·t⁻¹ w 2008 r., aby w 2009 r. osiągnąć wartość 482,6 zł·t⁻¹, to jest o 31,7% niższą w porównaniu z występującą w 2007 r. Możemy stwierdzić, że od roku 2011 następuje powolny wzrost relacji ceny ziarna pszenicy do ceny 1 kg NPK w nawozach mineralnych, która w 2014 r. wynosiła 5,5 kg pszenicy (rys. 1).

Wskaźnik ten pozwala na analizę efektywności nawożenia mineralnego w poszczególnych okresach poprzez relatywne porównanie jego wartości z jednoczesnym odniesieniem do cen nawozów oraz cen skupu produktów rolnych (np. zbóż). Z analizy tej wynika, iż w ostatnich 4 latach produkcja pszenicy oraz pozostałych zbóż staje się coraz mniej opłacalna.

Tabela 6

Wskaźniki zmian cen nawozów mineralnych w miesiącu grudniu w latach 2000–2013 (%)

Wyszczególnienie	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
	grudzień roku poprzedniego = 100%													
Saletrzak (28% N)	110,5	117,9	109,4	91,2	127,4	96,8	103,6	109,4	143,3	82,2	109,4	131,9	101,8	94,5
Saletra amonowa (34% N)	114,6	116,0	97,9	107,1	131,7	98,1	106,1	111,0	138,1	81,7	107,5	130,9	105,7	96,2
Mocznik nawozowy (46% N)	112,1	116,4	96,2	107,5	129,1	101,3	102,6	114,6	143,7	77,1	111,4	123,0	105,6	96,3
Superfosfat gran. potrójny (40% P ₂ O ₅)	100,7	105,9	96,5	99,2	101,6	91,4	99,9	122,7	230,8	79,8	86,8	110,8	102,8	94,4
Superfosfat gran. (ok. 20% P ₂ O ₅)	105,8	110,8	100,9	102,0	135,4	101,7	102,6	117,7	181,2	90,1	82,3	108,5	106,4	97,3
Fosforan amonu (18% N i 46% P ₂ O ₅)	110,5	101,5	96,7	99,7	108,7	99,3	101,9	126,1	210,2	61,5	108,8	117,6	104,7	90,3
Polifoska (8% N, 24% P ₂ O ₅ i 24% K ₂ O)	101,7	105,5	101,0	102,8	104,9	101,9	104,2	111,2	207,3	71,9	97,7	117,3	107,5	95,5
Sól potasowa (60% K ₂ O)	108,3	101,8	98,2	101,0	141,5	106,8	98,2	118,0	188,6	101,0	84,7	115,2	104,1	92,4

Źródło: IERiGŻ-PIB (12)

Ważnym elementem rachunku ekonomicznego jest określenie **stopnia opłacalności**. W rachunku ekonomicznym stosujemy obliczanie wartości ekonomicznych, bazując na rzeczywistych danych pochodzących z gospodarstwa, lub ich kalkulację, która zwykle dotyczy wartości oczekiwanych lub planowanych. Według Harasima (4), na podstawie kalkulacji można określić wielkość produkcji, poziom kosztów i dochodów, stopień opłacalności, wpływ zmian technologii na opłacalność produkcji itp.

Kalkulacje mogą dotyczyć kosztów, opłacalności i skutków zmian dokonywanych w organizacji gospodarstwa. Kalkulacja opłacalności polega na ustaleniu wartości produkcji (P) i jej kosztu (K_p), a stosunek obu tych wielkości (wyrażony w %) nazywa się wskaźnikiem opłacalności (W_o), obliczanym według wzoru:

$$W_o = \frac{P}{K_p} \cdot 100$$

Dysponując danymi odnośnie nawożenia mineralnego w czystym składniku na jednostkę powierzchni oraz średniego plonu przeliczeniowego z 1 ha UR, można obliczyć wskaźnik opłacalności brutto produkcji roślinnej ogółem (tab. 7). Analizę taką, dla celów porównań relatywnych, w zależności od stopnia dostępności danych statystycznych można wykonać zarówno w ujęciu przestrzennym, jak i czasowym. Pamiętać jednak należy, iż wielkość tak obliczonego wskaźnika opłacalności nie będzie porównywalna do wskaźnika obliczanego dla wybranych technologii produkcji roślinnej. W obliczeniach tych są bowiem uwzględniane jedynie koszty samych nawozów mineralnych, podczas gdy w obliczeniach nadwyżki bezpośredniej (pierwszej kategorii rachunku ekonomicznego gospodarstwa) uwzględnia się dodatkowo koszt nasion do siewu, środków ochrony roślin oraz koszty specjalistyczne.

Wartość 1 kg NPK obliczono na podstawie danych zawartych na rysunku 1 i ceny 1 kg pszenicy w 2014 r. (12):

$$5,5 \text{ kg} \times 0,7042 \text{ zł} \cdot \text{kg}^{-1} = 3,87 \text{ zł} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ NPK}$$

Natomiast do ustalenia wartości plonu podanego w jednostkach zbożowych przyjęto założenie, iż wartość 1 jednostki zbożowej jest równa cenie 1 decytony jęczmienia².

Otrzymany wskaźnik opłacalności w odniesieniu dla Polski był stosunkowo wysoki i osiągał wartość 485% (tab. 8). Jednak, jak już wcześniej zaznaczono, jego wartość nie może być porównywana ze wskaźnikami opłacalności osiąganymi w przypadku oceny technologii produkcji roślinnej.

² 671,8 zł – cena 1 t ziarna jęczmienia.

Tabela 7

Wskaźnik opłacalności brutto produkcji roślinnej według województw średnio w latach 2011–2013

Wyszczególnienie	Nawożenie mineralne NPK (kg·ha ⁻¹ UR*)	Wartość nawożenia mineralnego NPK (zł·ha ⁻¹ UR*)	Średni plon główny (j.zb.·ha ⁻¹ UR)	Wartość średniego plonu głównego (zł·ha ⁻¹ UR*)	Wskaźnik opłacalności brutto nawożenia mineralnego NPK (%)
Dolnośląskie	164,9	638	45,7	3070	481
Kujawsko-pomorskie	172,7	668	47,1	3164	473
Lubelskie	126,9	491	36,0	2418	492
Lubuskie	143,2	554	33,2	2230	402
Łódzkie	145,1	562	36,3	2439	434
Małopolskie	73,8	286	32,8	2204	772
Mazowieckie	103,0	399	31,7	2130	534
Opolskie	219,6	850	57,2	3843	452
Podkarpackie	71,4	276	28,9	1942	703
Podlaskie	99,2	384	30,2	2029	528
Pomorskie	147,0	569	37,4	2513	442
Śląskie	126,5	490	36,2	2432	497
Świętokrzyskie	107,9	418	31,8	2136	512
Warmińsko-mazurskie	115,5	447	33,8	2271	508
Wielkopolskie	163,9	634	43,8	2942	464
Zachodniopomorskie	167,5	648	37,7	2533	391
Polska	134,3	520	37,5	2519	485

* UR w dobrej kulturze

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych GUS (11, 15) oraz IERiGŻ-PIB (12)

Podobnie jak w przypadku produktywności przeciętnej brutto nawożenia mineralnego NPK, do województw o najwyższym wskaźniku opłacalności produkcji roślinnej należały woj. małopolskie (772%) i podkarpackie (703%), które stosowały najniższe nawożenie mineralne rzutujące bezpośrednio na wysokość ponoszonych kosztów. Natomiast najniższy wskaźnik opłacalności miały woj. zachodniopomorskie (391%) i lubuskie (402%). W województwie zachodniopomorskim uzyskano średni plon zbliżony do osiąganego średnio w Polsce, jednak przy znacznie wyższym od przeciętnego nawożeniu NPK (ponad 33 kg NPK·ha⁻¹ UR) bezpośrednio wpływającym na zwiększenie kosztów bezpośrednich i tym samym zmniejszającym wartość wskaźnika opłacalności. Natomiast województwa o najwyższym poziomie nawożenia mineralnego NPK, tj. opolskie (219,6 kg NPK·ha⁻¹ UR) i kujawsko-pomorskie (172,7 kg NPK·ha⁻¹ UR), mimo wysokich plonów przeliczeniowych osiągniętych w produkcji roślinnej na poziomie odpowiednio: 57,2 i 47,1 j.zb.·ha⁻¹ UR, charakteryzowały się wskaźnikiem opłacalności produkcji roślinnej na poziomie nieznacznie niższym niż przeciętnie dla Polski (odpowiednio: 452 i 473%).

Rachunek nadwyżki bezpośredniej to obecnie najczęściej stosowana, z racji swej prostoty, metoda rachunku opłacalności zmian w działalności bieżącej gospodarstwa. Może być także sposobem wyboru bardziej opłacalnej gałęzi produkcji w gospodarstwie (zarówno roślinnej, jak i zwierzęcej). Nadwyżka bezpośrednia liczona jest zgodnie z formułą:

$$Nb = Ppt - Kz(s)$$

gdzie:

Nb – nadwyżka bezpośrednia,

Ppt – wartość produkcji potencjalnie towarowej,

Kz(s) – koszty zmienne (lub specjalne).

Pozostałe metody, tj.: rachunek kosztów jednostkowych, kalkulacje różnicowe, rachunek marginalny, rachunek substytucji czy rachunek kosztów alternatywnych, są rzadziej stosowane (4).

Nadwyżka bezpośrednia, mimo iż nie stanowi dochodu rolników, jest kategorią rachunku ekonomicznego wskazującą na relatywnie bardziej opłacalne kierunki produkcji. W celu osiągnięcia lepszej porównywalności opłacalności poszczególnych działalności produkcji można stosować przeliczanie wartości nadwyżki bezpośredniej na jednostkę powierzchni, godzinę pracy i 1 zł kosztów zmiennych. Z uwagi na fakt, iż do jej obliczenia potrzebne są dane o kosztach bezpośrednich w określonej gałęzi produkcji, a w przypadku kraju lub też jednostek administracyjnych oszacowanie takich kosztów może nastręczać wiele trudności (koszty nasion do siewu i środków ochrony roślin, koszty specjalistyczne), metoda ta może być wykorzystywana na przykład do oceny opłacalności technologii produkcji roślinnej w gospodarstwie rolniczym (tab. 8). Należy jednak zaznaczyć, iż Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej – PIB w Warszawie w celu typologii gospodarstw rolnych według unijnych standardów, polegającej m.in. na określaniu wielkości ekonomicznej gospodarstwa, podjął próbę oszacowania współczynników standardowej nadwyżki bezpośredniej dla czterech homogenicznych regionów Polski: Pomorze i Mazury, Wielkopolska i Śląsk, Mazowsze i Podlasie oraz Małopolska i Pogórze (18).

Tabela 8

Obliczanie nadwyżki bezpośredniej w zakresie produkcji roślinnej (pszenica ozima)

Lp.	Wyszczególnienie	Jednostki miary	Działalność: produkcja pszenicy oz.		
			liczba jednostek	cena* (zł)	wartość (zł)
I.	Produkcja potencjalnie towarowa				
1.	Plon główny	t	5,5	762	4191
2.	Plon uboczny	t	4,0	150	600
3.	Dopłaty bezpośrednie	zł	x	x	985
Razem wartość prod. potencjalnie towarowej			x	x	5776

cd. tab. 8

Lp.	Wyszczególnienie	Jednostki miary	Działalność: produkcja pszenicy oz.		
			liczba jednostek	cena* (zł)	wartość (zł)
II.	Koszty zmienne				
1.	nasiona	kg	250	2,0	500
2.	Nawozy mineralne:		x	x	1011
	- N	kg	120	4,1	492
	- P ₂ O ₅	kg	60	4,3	258
	- K ₂ O	kg	90	2,9	261
3.	Środki ochrony roślin:		x	x	450
	- herbicydy	kg, l			
	- fungicydy	kg, l			
	- zoocydy	kg, l			
	- retardanty	kg, l			
4.	Usługi:		x	x	605
	- opryski	h	-	-	-
	- kombajnowanie	kmh	1,3	350	455
	- prasowanie słomy	cnh	1	150	150
5.	Siła pociągowa	cnh	18	60	1080
6.	Najem siły roboczej	rbh	5	8	40
7.	Nakłady siły roboczej własnej	rbh	30	x	x
Razem koszty zmienne		zł	x	x	3686
III.	Nadwyżka bezpośrednia:				
	- na 1 ha	zł	x	x	2090
	- na 1 rbh własną	zł	x	x	70
	- na 1 zł kosztów zmiennych	zł	x	x	0,6
IV.	Koszty zmienne na 1 t produktu	zł	x	x	670
V.	Wskaźnik opłacalności bezpośredniej	%			157

* wg cen z 2014 r.

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych IERiGŻ-PIB (12, 13)

Wartość nadwyżki bezpośredniej w przeliczeniu na 1 ha w uprawie pszenicy ozimej według cen z 2014 r. wyniosła 2090 zł·ha⁻¹, a wskaźnik opłacalności bezpośredniej dla tej technologii produkcji kształtował się na poziomie 157%. Technologia produkcji pszenicy ozimej charakteryzowała się wielkością nadwyżki na 1 roboczogodzinę pracy własnej na poziomie 70 zł·rbh⁻¹.

Narzędziem pozwalającym uzyskać odpowiedź na pytanie, czy zastąpienie jednej działalności produkcyjnej drugą, jednej technologii kolejną, czy też jednej skali produkcji inną, bądź też czy efekty finansowe tej zamiany pogorszą się czy polepszą, jest **kalkulacja różnicowa** (tab. 9). Jest to kalkulacja niepełna, uwzględniająca koszty zmienne lub specjalne ponoszone na osiąganie planowanych efektów produkcyjnych lub ekonomicznych, w której pomija się koszty o charakterze stałym.

Tabela 9

Kalkulacja różnicowa opłacalności zastąpienia nawożenia mineralnego azotem w formie nawozów stałych nawozami płynnymi (RSM) na przykładzie uprawy pszenicy ozimej

Wyszczególnienie	Wartość (zł·ha ⁻¹)	
	nawożenie N w formie stałej	nawożenie N w formie płynnej (RSM)
I. Koszty zmienne (A):		
1. Nasiona	500	500
2. Nawozy mineralne	1011	915*
3. Środki ochrony roślin	450	450
4. Usługi zewnętrzne	605	500
5. Siła pociągowa	1080	1080
Razem	3646	3445
II. Wartość produkcji (B)	4791	4791
III. Nadwyżka bezpośrednia (B – A)	1145	1346

* cena RSM (32% N) – 1050 zł·t⁻¹ (16); cena 1 kg N – 3,28 zł·kg⁻¹

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IERiGŻ-PIB (12, 13)

W przypadku porównania dwóch form nawożenia mineralnego azotem (tab. 9) można stwierdzić, że stosowanie nawozów w formie płynnej daje wyższą nadwyżkę bezpośrednią na 1 ha powierzchni uprawy (1346 zł·ha⁻¹), co wskazuje na wyższą opłacalność tej techniki mineralnego nawożenia azotem niż nawozów aplikowanych w formie stałej.

Podsumowanie

Wskaźnik produktywności przeciętnej brutto oprócz wykorzystania do oceny efektywności nawożenia w doświadczeniach nawozowych, ze względu na charakter i zakres danych do jego obliczenia, może być także stosowany do oceny przestrzennej efektywności nawożenia na różnych poziomach (kraj, region, województwo, powiat, gmina), w zależności od stopnia dostępności danych statystycznych. Województwami o najwyższej produktywności przeciętnej brutto dla średniego nawożenia mineralnego NPK obliczonego dla lat 2011–2013 były małopolskie i podkarpackie, stosujące najniższe nawożenie mineralne i charakteryzujące się najniższym wykorzystaniem potencjału produkcyjnego rolnictwa w Polsce. Natomiast województwa, gdzie poziom stosowanego nawożenia mineralnego NPK był najwyższy (opolskie, kujawsko-pomorskie, wielkopolskie, dolnośląskie), charakteryzowały się produktywnością przeciętną brutto nawożenia mineralnego na poziomie zbliżonym do średniego dla Polski. Trzecią grupę województw, o najniższej produktywności przeciętnej brutto nawożenia mineralnego, stanowiły województwa: lubuskie, zachodniopomorskie, łódzkie i pomorskie, stosujące nawożenie na poziomie wyższym niż średnio w Polsce, ale osiągające stosunkowo niskie plony przeliczeniowe w jednostkach zbożowych. Relacje między

poszczególnymi województwami w zakresie przeciętnej produktywności nawożenia mineralnego należy wiązać z prawem malejących przyrostów plonu, gdyż wielkość plonu nie wzrasta proporcjonalnie do wzrostu poziomu nawożenia (dawki nawozu).

Wskaźniki produktywności przeciętnej netto i produktywności krańcowej (ze względu na formę obliczania) mogą być wykorzystywane do oceny efektywności nawożenia przede wszystkim w doświadczeniach, gdzie występuje zarówno obiekt kontrolny (bez nawozu), jak i obiekty z różnymi poziomami nawożenia, co pozwala na określenie produktywności krańcowej.

Wykorzystując wzór na produktywność (efektywność) krańcową wyrażoną stosunkiem przyrostu plonu na jednostkę przyrostu nakładu (np. nawożenia), równoważny stosunkowi jednostkowej ceny nawozu do ceny produktu, możemy ustalić optymalny poziom nawożenia mineralnego. Stosunek ten przedstawia zarazem cenę 1 kg składnika nawozowego wyrażoną w kilogramach wybranego produktu rolniczego (np. ziarno pszenicy). W latach 2000–2014 najkorzystniejsza relacja ceny NPK do ceny ziarna pszenicy występowała w roku 2000 (relacja 1:2,8). Natomiast najmniej korzystna relacja była w roku 2009, kiedy to cenę 1 kg NPK równoważyło aż 8,5 kg ziarna pszenicy, tj. ponad 2,4 razy więcej niż w stosunkowo korzystnym roku 2007 (1:3,5).

W przypadku stopnia opłacalności ocenianego na podstawie kalkulacji, czy też obliczeń wartości ekonomicznych bazujących na rzeczywistych danych pochodzących z gospodarstwa rolnego, można przeprowadzić analizę służącą do celów porównań relatywnych. Ważne jest jednak, by pamiętać, iż wielkość tak obliczonego wskaźnika nie będzie porównywalna do wyników oceny w wybranych technologiach produkcji roślinnej.

Podobnie jak w przypadku produktywności przeciętnej brutto nawożenia mineralnego NPK województwami o najwyższym wskaźniku opłacalności brutto produkcji roślinnej były woj. małopolskie i podkarpackie, stosujące najniższe nawożenie mineralne. Natomiast najniższy wskaźnik opłacalności miały województwa zachodniopomorskie i lubuskie. Województwa o najwyższym poziomie nawożenia mineralnego NPK, tj. opolskie i kujawsko-pomorskie, mimo wysokich plonów przeliczeniowych, charakteryzowały się wskaźnikiem opłacalności produkcji roślinnej na poziomie nieznacznie niższym niż przeciętnie dla Polski.

Innym sposobem wyboru bardziej opłacalnej gałęzi produkcji w gospodarstwie może być rachunek nadwyżki bezpośredniej. Jednak z uwagi na fakt, iż do jej obliczenia potrzebne są dane o ponoszonych kosztach bezpośrednich, a ich oszacowanie może narażać na trudności, metoda ta może być wykorzystywana głównie do oceny opłacalności technologii produkcji roślinnej w gospodarstwie rolniczym. Natomiast zastosowanie kalkulacji różnicowej w rachunku ekonomicznym pozwala uzyskać odpowiedź na pytanie, czy zastąpienie technologii z nawożeniem mineralnym jest bardziej opłacalne w przypadku nawozów azotowych w postaci stałej, czy też płynnej (RSM). Analiza wykazała, iż nawożenie nawozami w formie płynnej daje o 17,5% wyższą nadwyżkę bezpośrednią na 1 ha powierzchni uprawy.

Literatura

1. D u e r I., F o t y m a M., M a d e j A. (red.): Kodeks dobrej praktyki rolniczej. MRiRW-MŚ, Wyd. FAPA Warszawa, 2002.
2. F o t y m a E.: Reakcja roślin uprawy polowej na nawożenie azotem. I. Zboża. Pam. Puł., 1988, **76**: 27-40.
3. H a r a s i m A.: Przewodnik ekonomiczno-rolniczy w zarysie. IUNG-PIB Puławy, 2006.
4. H a r a s i m A.: Rachunek ekonomiczny w gospodarstwie rolniczym. Mat. szkol., IUNG-PIB Puławy, 2012, **99**.
5. H a r a s i m A.: Technologia jako czynnik kształtujący wykorzystanie potencjału produkcyjnego rolnictwa. Pam. Puł., 2003, **132**: 87-104.
6. J ó z w i a k W.: Efektywność nawożenia. Krzywa nawozowa. W: Encyklopedia agrobiznesu. A. Woś (red.), Fundacja Innowacja, Warszawa, 1998: 152.
7. K l e p a c k i B.: Wybrane pojęcia z zakresu organizacji gospodarstw, produkcji i pracy w rolnictwie. SGGW Warszawa, 1997.
8. K o p i ń s k i J.: Zróżnicowanie nawożenia jako miara intensywności produkcji roślinnej w regionach. Wieś Jutra, 2006, **6(95)**: 15-17.
9. K r a s o w i c z S., K o p i ń s k i J.: Wpływ warunków przyrodniczych i ekonomiczno-organizacyjnych na regionalne zróżnicowanie rolnictwa w Polsce. Raporty PIB, IUNG-PIB Puławy, 2006, **3**: 81-99.
10. K u ś J.: Specjalizacja gospodarstw rolnych i jej konsekwencje produkcyjne, ekonomiczne i siedliskowe. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2013, **32(6)**: 167-185.
11. Produkcja upraw rolnych i ogrodnich. GUS Warszawa, 2012-2014.
12. Rynek rolny. IERiGŻ-PIB Warszawa, 2000-2015; **1-12**.
13. Rynek środków produkcji dla rolnictwa. IERiGŻ-PIB Warszawa, 2000-2015; **17-42**.
14. S u ł e k A., P o d o l s k a G., L e s z c z y ń s k a D., N o w o r o l n i k K.: Reakcja zbóż na nawożenie azotem. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2007, **9**: 29-36.
15. Środki produkcji w rolnictwie. GUS Warszawa, 2012-2014.
16. <http://agro-technika.pl/ceny-nawozow-mineralnych-w-grudniu/>
17. Ustawa z dnia 26 lipca 2000 r. o nawozach i nawożeniu. Dz. U. Nr 89, poz. 991 (z późn. zm.).
18. Z i ę t e k I.: Współczynniki standardowej nadwyżki bezpośredniej „2004” dla typologii gospodarstw rolnych w Polsce. IERiGŻ-PIB Warszawa, 2008; **88**.

Adres do korespondencji:

dr inż. Andrzej Madej
Zakład Systemów i Ekonomiki Produkcji Roślinnej
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. 81 47 86 809
e-mail: amjan@iung.pulawy.pl

Tamara Jadczyżyn

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

CHEMICZNE WSKAŹNIKI ŻYZNOŚCI GLEB POLSKI W ŚWIETLE BADAŃ MONITORINGOWYCH*

Słowa kluczowe: zasobność gleb, fosfor, potas, magnez, węgiel organiczny, odczyn, monitoring gleb

Wstęp

Żyzność gleb jest warunkiem zabezpieczenia rosnącego popytu na produkty rolne powodowanego zwiększaniem populacji ludności. Intensyfikacja produkcji roślinnej nie zawsze idzie w parze z dbałością o środowisko glebowe. Wielokrotne przejazdy maszynami rolniczymi, związane z zabiegami uprawy roli, siewu, nawożenia, ochrony zasiewów i zbiorów, niekorzystnie wpływają na właściwości fizyczne gleby. Niezbilansowane, nieracjonalne nawożenie może powodować pogorszenie parametrów chemicznej żyzności gleb. System monitoringu umożliwia śledzenie zachodzących zmian i daje podstawy do podejmowania działań mitygujących w sytuacji wystąpienia określonego ryzyka. Rozeznanie stanu żyzności gleb powinno być elementem kształtowania gospodarki nawozowej kraju.

W Polsce od 1997 r. prowadzony jest monitoring zawartości azotu mineralnego w glebach Polski jako element realizacji Dyrektywy Azotanowej (2). Program realizowano początkowo w 700 gospodarstwach kontrolnych w ramach zadania zleconego Instytutowi Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, a od roku 2000 jako zadanie realizowane przez Krajową Stację Chemiczno-Rolniczą na podstawie ustawy o nawozach i nawożeniu (13). W roku 2007 wyznaczono nowe punkty monitoringu w celu równomiernego pokrycia całej powierzchni kraju i wykonano uzupełniające badania podstawowych wskaźników chemicznej żyzności gleb. W pracy przedstawiono wyniki badań zasobności gleb i odczynu wykonanych w dwu cyklach tj. w roku 2008 i 2012.

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

Metodyka

Próbki gleby pobrano z ok. 4 tys. punktów reprezentujące grunty orne. Ustalono siatkę monitoringu w taki sposób, aby w każdej gminie zlokalizowany był przynajmniej jeden punkt, a w gminach o większej niż przeciętna w kraju obsada zwierząt – 2 lub 3 punkty. Współrzędne geograficzne punktów określono za pomocą GPS. Dwukrotnie każdego roku (wiosną i jesienią) w wyznaczonych punktach pobierano próby gleby z warstw: 0–30, 30–60 i 60–90 cm w celu oznaczenia zawartości azotu mineralnego zgodnie z Instrukcją Pobierania Próbek Glebowych (3) opracowaną na podstawie normy PN-R-04028 (11). W roku 2008 i 2012 w próbkach z warstwy 0–30 cm oznaczono podstawowe wskaźniki żyzności gleby metodami stosowanymi w badaniach agrotechnicznych: odczyn (pH_{KCl}), zawartość próchnicy (metodą Tiurina), zawartość przyswajalnego fosforu i potasu (metodą Egnera-Riehma) oraz zawartość magnezu (metodą Schachtschabela). W próbkach oznaczono skład granulometryczny metodą laserową. Dokonano oceny odczynu i zasobności gleb w składniki pokarmowe zgodnie z zaleceniami IUNG-PIB (14).

Wyniki analiz zgromadzono w bazie MonitAzot i poddano analizie za pomocą programu Statgraphic. Zgromadzone dane charakteryzował rozkład skośny, dlatego jako główną charakterystykę zmiennych podano wartość przeciętną (medianę).

Wartości uzyskane z badań monitoringowych skonfrontowano z wynikami badań wykonywanych dla potrzeb doradztwa nawozowego (5, 6, 7, 8, 9, 10) przez okręgowe stacje chemiczno-rolnicze, publikowanych w Rocznikach Statystycznych Rolnictwa (12).

Wyniki badań

Ocena odczynu

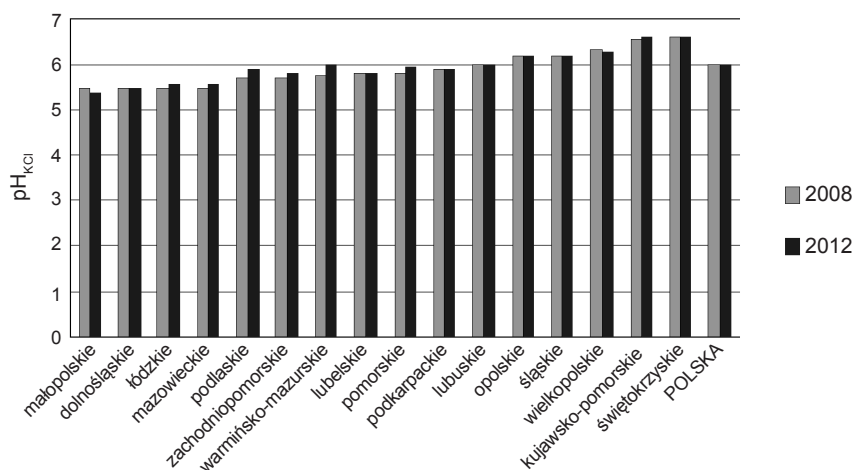
W tabeli 1 przedstawiono podstawowe charakterystyki statystyczne wyników badania odczynu gleb. Przeciętna wartość odczynu dla całej populacji badanych próbek wyniosła 6 w obu cyklach badań. Wyniki uzyskane w poszczególnych województwach były zbieżne w kolejnych latach. Najniższe przeciętne wartości odczynu na poziomie pH 5,5 (górna granica dla odczynu kwaśnego) obserwowano w województwach: dolnośląskim, małopolskim, mazowieckim i łódzkim w roku 2008, a w następnym cyklu badań tylko w dolnośląskim i małopolskim. W województwach kujawsko-pomorskim i świętokrzyskim przeciętna wartość odczynu w obu cyklach badań odpowiadała przedziałowi odczynu obojętnego (pH 6,6) (rys. 1). W pozostałych województwach przeciętne wartości pH odpowiadały przedziałowi odczynu lekko kwaśnego. Najwięcej (25%) gleb bardzo kwaśnych (pH poniżej 4,6) występowało w województwach dolnośląskim i małopolskim. Wartość górnego kwartyla pH równa lub większa niż 6,2 we wszystkich województwach wskazuje, że w 25% badanych próbek odczyn jest optymalny dla roślin uprawnych. Różnice pomiędzy wynikami uzyskanymi w roku 2008 i 2012 są znikome i nie wyznaczają ukierunkowanego trendu.

Tabela 1

Podstawowe charakterystyki statystyczne odczynu gleb (pH_{KCl})

Województwo	Liczba analiz	2008 r.			2012 r.		
		mediana	dolny kwartyl	górny kwartyl	mediana	dolny kwartyl	górny kwartyl
Dolnośląskie	151	5,5	4,6	6,4	5,5	4,6	6,4
Kujawsko-pomorskie	324	6,6	5,9	7,1	6,6	5,8	7,2
Łódzkie	324	5,5	4,8	6,2	5,6	4,9	6,3
Lubelskie	295	5,8	4,8	6,8	5,8	4,8	6,8
Lubuskie	93	6,0	5	6,5	6,0	4,9	6,5
Małopolskie	315	5,5	4,6	6,3	5,4	4,6	6,4
Mazowieckie	549	5,5	4,7	6,6	5,6	4,7	6,6
Opolskie	140	6,2	5,7	6,8	6,2	5,7	6,8
Podkarpackie	195	5,9	4,9	6,7	5,9	5,0	6,7
Podlaskie	127	5,7	4,8	6,9	5,9	5,2	6,8
Pomorskie	160	5,8	5,0	6,6	6,0	5,2	6,8
Śląskie	221	6,2	5,4	6,9	6,2	5,4	6,9
Świętokrzyskie	150	6,6	5,3	7,3	6,6	5,2	7,2
Warmińsko-mazurskie	146	5,8	5,0	6,6	6,0	5,3	6,7
Wielkopolskie	604	6,4	5,5	7,0	6,3	5,5	7,0
Zachodniopomorskie	116	5,7	5,0	6,7	5,8	5,1	6,8
Polska	3910	6,0	5,0	6,8	6,0	5,1	6,8

Źródło: badania własne



Rys. 1. Przeciętne wartości pH gleb według województw

Źródło: badania własne

Najniższym odczynem charakteryzowały się gleby bardzo lekkie (tab. 2), ale przeciętne wartości pH dla wszystkich kategorii gleb mieściły się w przedziale odczynu lekko kwaśnego (pH 5,6–6,5). Nie zaobserwowano znaczących zmian pomiędzy dwoma cyklami badań.

Tabela 2

Przeciętne wartości odczynu gleb według kategorii agronomicznej

Kategoria gleby	Liczba analiz	2008 r.			2009 r.		
		mediana	dolny kwartył	górny kwartył	mediana	dolny kwartył	górny kwartył
Bardzo lekka	827	5,6	4,7	6,5	5,6	4,7	6,5
Lekka	1542	6,1	5,2	6,9	6,0	5,1	6,8
Średnia	1065	6,2	5,3	7,0	6,1	5,2	6,9
Ciężka	474	5,9	5,0	6,8	5,9	5,0	6,7
Ogółem	3908	6,0	5,1	6,8	6,0	5,0	6,8

Źródło: badania własne

Procentowy udział próbek gleb w przedziałach odczynu wyznaczonych zgodnie z przyjętą w Polsce metodyką nie zmienił się na przestrzeni analizowanego okresu 2008–2012 r. (tab. 3). W porównaniu z wynikami badań prowadzonych przez okręgowe stacje chemiczno-rolnicze na potrzeby doradztwa nawozowego, w badaniach monitoringowych udział gleb obojętnych i zasadowych był większy łącznie o ok. 10 punktów procentowych.

Tabela 3

Udział (%) próbek w przedziałach odczynu

Rok badań	Odczyn gleby/% próbek				
	bardzo kwaśny	kwaśny	lekko kwaśny	obojętny	zasadowy
2008	15	25	29	21	11
2012	14	24	31	21	11
Dane KSCHR*	15	28	33	16	8

* Źródło: GUS, 2014 (12) oraz badania własne

Zasobność gleb w przyswajalny fosfor

Przeciętna zawartość przyswajalnego fosforu dla całej populacji badanych próbek ($16,5 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ gleby) mieściła się w przedziale zawartości wysokiej (tab. 4), ale była zróżnicowana w próbkach pochodzących z poszczególnych województw od zawartości niskiej (woj. małopolskie) do bardzo wysokiej (woj. wielkopolskie i kujawsko-pomorskie). W woj. małopolskim 25% badanych próbek charakteryzowała się bardzo niską zawartością fosforu.

Bardzo wysokie zawartości fosforu w pierwszym cyklu badań obserwowano w woj. lubuskim, opolskim, wielkopolskim, kujawsko-pomorskim i śląskim (rys. 2), co wiąże się zapewne z intensywną produkcją zwierzęcą. W wymienionych województwach 25% badanych próbek charakteryzowało się zawartością fosforu większą niż $30 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ gleby, przy której nawożenie tym składnikiem powinno być całkowicie zaniechane. W drugim cyklu badań obserwowano obniżenie zasobności w fosfor gleb woj. lubuskiego, opolskiego i śląskiego do poziomu wysokiego, co należy

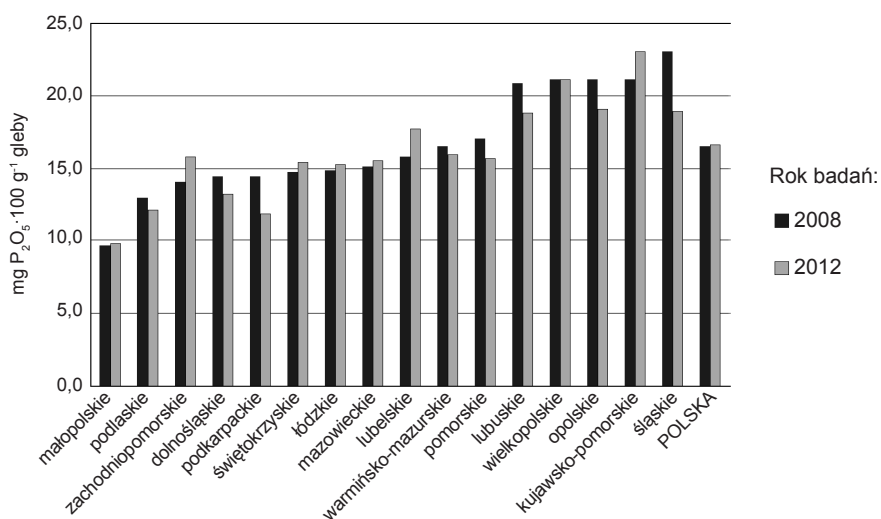
interpretować jako zjawisko korzystne ze względów środowiskowych. W pozostałych województwach wystąpiły nieznaczne zmiany zawartości składnika.

Tabela 4

Podstawowe charakterystyki statystyczne zawartości przyswajalnego fosforu w glebach
(mg $P_2O_5 \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ gleby)

Województwo	Liczba analiz	2008 r.			2012 r.		
		mediana	dolny kwartyl	górny kwartyl	mediana	dolny kwartyl	górny kwartyl
Dolnośląskie	151	14,5	6,4	24,0	13,3	5,2	24,7
Kujawsko-pomorskie	324	21,2	13,9	32,4	23,1	15,2	35,8
Łódzkie	324	14,9	9,1	22,3	15,3	10,2	22,1
Lubelskie	295	15,8	9,3	25,1	17,8	9,6	28,0
Lubuskie	93	20,9	13,3	34,0	18,8	14,0	24,9
Małopolskie	315	9,7	4,4	18,0	9,9	4,9	18,2
Mazowieckie	549	15,2	10,0	23,3	15,6	10,1	23,4
Opolskie	140	21,1	11,2	33,9	19,1	14,0	32,2
Podkarpackie	195	14,5	8,4	26,4	11,9	6,7	23,5
Podlaskie	127	13,0	8,1	19,5	12,1	8,4	18,8
Pomorskie	3910	16,5	9,9	27,5	16,7	10,1	27,5
Śląskie	160	17,1	10,9	27,2	15,7	10,5	26,2
Świętokrzyskie	221	23,0	11,2	33,5	19,0	10,0	35,0
Warmińsko-mazurskie	150	14,8	8,2	29,0	15,4	8,9	27,6
Wielkopolskie	146	16,5	10,0	26,0	15,9	8,8	25,7
Zachodniopomorskie	604	21,1	14,3	33,0	21,2	14,3	33,0
Polska	116	14,0	8,4	20,4	15,8	8,9	24,6

Źródło: badania własne



Rys. 2. Przeciętne zawartości fosforu według województw

Źródło: badania własne

Udział próbek w przedziałach zawartości wyznaczonych zgodnie z przyjętą w Polsce metodyką nie zmienił się na przestrzeni 4 lat (tab. 5). W porównaniu z badaniami tzw. „masowymi” znacznie wyższy był udział gleb o bardzo wysokiej zawartości P_2O_5 .

Tabela 5

Udział (%) próbek gleb w przedziałach zawartości fosforu

Rok badań	Zawartość fosforu/% próbek				
	bardzo niska	niska	średnia	wysoka	bardzo wysoka
2008	8	18	19	16	39
2012	7	17	18	16	41
Dane KSCHR*	9	23	26	18	24

* Źródło: GUS, 2014 (12) oraz badania własne

Zawartość przyswajalnego potasu

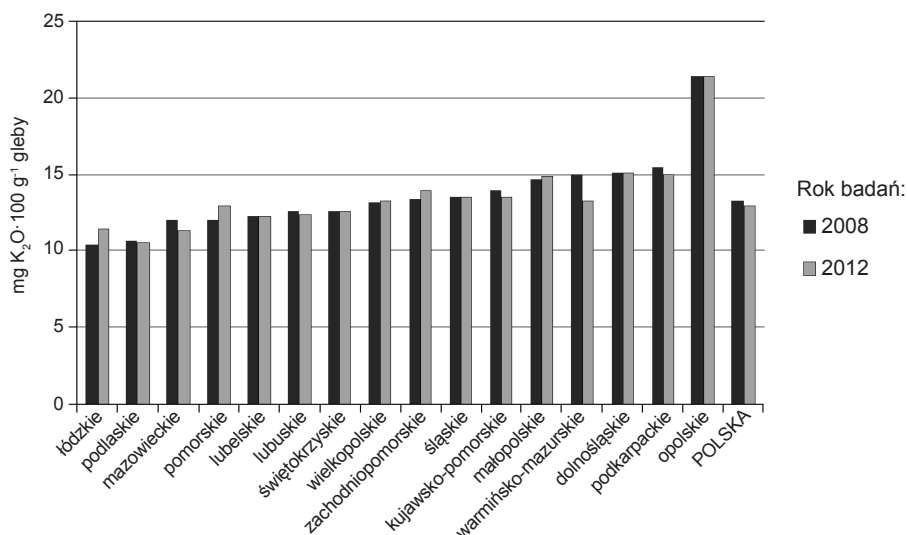
Najniższą zawartością potasu (ok. 10 mg $K_2O \cdot 100 g^{-1}$ gleby) charakteryzowały się próbki z woj. łódzkiego i podlaskiego, a najwyższą – z woj. dolnośląskiego, podkarpackiego i opolskiego. Różnice pomiędzy dwoma cyklami badań były znikome (tab. 6). Najbardziej radykalną zmianę (obniżenie przeciętnej wartości o 1,6 mg $K_2O \cdot 100 g^{-1}$ gleby) zaobserwowano w woj. warmińsko-mazurskim (rys. 3).

Tabela 6

Podstawowe charakterystyki statystyczne zawartości przyswajalnego potasu w glebach
(mg $K_2O \cdot 100 g^{-1}$ gleby)

Województwo	Liczba analiz	2008 r.			2012 r.		
		mediana	dolny kwartył	górny kwartył	mediana	dolny kwartył	górny kwartył
Dolnośląskie	151	15,1	9,6	24,1	15,1	9,6	24,1
Kujawsko-pomorskie	324	14,0	9,5	22,5	13,5	7,5	21,0
Łódzkie	324	10,5	6,4	16,9	11,5	6,9	18,2
Lubelskie	295	12,3	8,3	20,0	12,3	8,3	20,0
Lubuskie	93	12,6	8,8	20,0	12,4	8,8	20,0
Małopolskie	315	14,7	8,9	24,5	14,9	8,5	22,5
Mazowieckie	549	12,0	8,0	18,0	11,4	7,0	18,0
Opolskie	140	21,5	13,2	37,1	21,5	13,2	37,1
Podkarpackie	195	15,5	10,0	23,1	15,0	9,7	23,0
Podlaskie	127	10,7	7,1	15,7	10,6	6,4	15,2
Pomorskie	160	12,0	7,5	18,3	13,0	8,7	19,5
Śląskie	221	13,5	8,8	20,3	13,5	8,8	20,3
Świętokrzyskie	150	12,6	8,4	23,3	12,6	8,3	23,3
Warmińsko-mazurskie	146	15,0	11,4	20,7	13,4	9,5	19,7
Wielkopolskie	604	13,2	8,2	19,9	13,3	8,4	19,7
Zachodniopomorskie	116	13,5	9,0	18,0	14,0	9,0	19,9
Polska	3910	13,3	8,5	20,7	13,0	8,1	20,3

Źródło: badania własne



Rys. 3. Przeciętne zawartości potasu według województw

Źródło: badania własne

Dokonano oceny zasobności gleb w potas uwzględniając zgodnie z metodyką (13) kategorię agronomiczną gleb. Określono udział próbek w trzech klasach: zawartość bardzo niska i niska, średnia, wysoka i bardzo wysoka (tab. 7). Udział próbek w poszczególnych grupach był stosunkowo równomierny i nie zmienił się znacząco w kolejnych latach. Tylko w kategorii gleb bardzo lekkich zmiany były bardziej wyraźne. Udział próbek o zawartości wysokiej i bardzo wysokiej zwiększył się o 10 punktów procentowych, a zmniejszył się udział próbek o zawartości niskiej i średniej. W porównaniu z wynikami „badań masowych” badania monitoringowe wykazywały wyższy o 10% udział próbek o wysokiej i bardzo wysokiej zawartości potasu.

Tabela 7

Udział (%) gleb w przedziałach zawartości potasu

Kategoria gleby	Zawartość potasu					
	bardzo niska i niska		średnia		wysoka i bardzo wysoka	
	2008	2012	2008	2012	2008	2012
Bardzo lekka	36	29	32	29	32	42
Lekka	34	38	25	21	41	40
Średnia	40	44	27	26	33	30
Ciężka	38	44	30	33	32	23
Ogółem	37	39	28	26	36	36
Dane KSCHR*	42		32		26	

* Źródło: GUS, 2014 (12) oraz badania własne

Zawartość przyswajalnego magnezu

Przeciętna zawartość magnezu w poszczególnych województwach wahała się od 4 mg Mg·100 g⁻¹ gleby w woj. lubuskim do 10 mg Mg·100 g⁻¹ gleby w woj. małopolskim (tab. 8). Na przestrzeni badanego okresu wartości te nie uległy zmianie. Zauważalny wzrost przeciętnej zawartości tego składnika (o ok. 1 mg Mg·100 g⁻¹ gleby) wystąpił jedynie w województwach podlaskim i warmińsko-mazurskim (rys. 4).

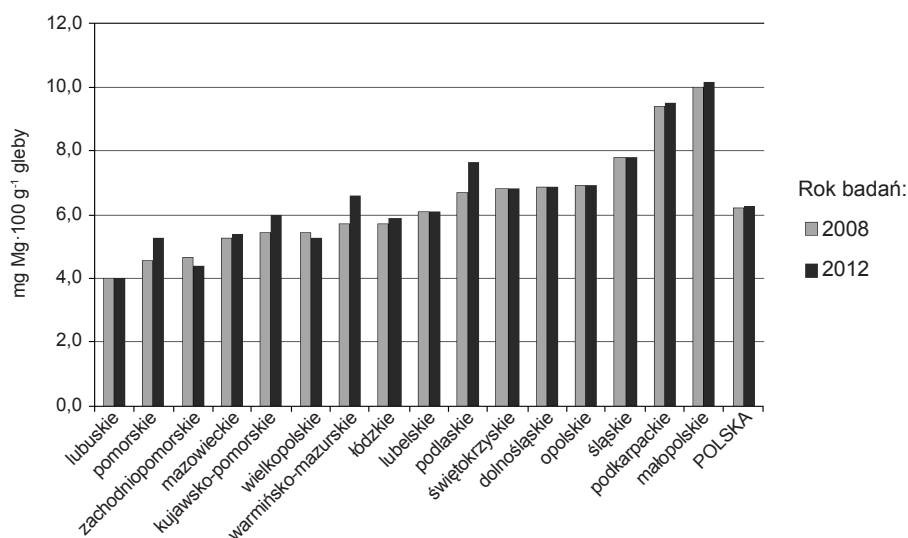
Próbki z województw podkarpackiego i małopolskiego wyróżniały się na tle pozostałych pod względem przeciętnej zawartości składnika w glebie.

Tabela 8

Podstawowe charakterystyki statystyczne zawartości przyswajalnego magnezu w glebach
(mg Mg·100 g⁻¹ gleby)

Województwo	Liczba analiz	2008 r.			2012 r.		
		mediana	dolny kwartył	górny kwartył	mediana	dolny kwartył	górny kwartył
Dolnośląskie	151	6,9	4,0	10,0	6,9	4,0	10,0
Kujawsko-pomorskie	324	5,5	3,9	7,9	6,0	4,3	8,4
Łódzkie	324	5,8	3,5	8,3	5,9	3,5	8,3
Lubelskie	295	6,1	3,5	9,3	6,1	3,5	9,2
Lubuskie	93	4,0	2,9	8,2	4,0	2,8	8,2
Małopolskie	315	10,0	7,5	14,3	10,2	7,4	14,3
Mazowieckie	549	5,3	3,6	8,3	5,4	3,6	8,5
Opolskie	140	7,0	4,7	9,4	7,0	4,7	9,4
Podkarpackie	195	9,4	6,1	15,6	9,5	6,0	15,6
Podlaskie	127	6,7	4,2	9,7	7,7	5,4	9,9
Pomorskie	160	4,6	2,5	7,6	5,3	3,0	8,0
Śląskie	221	7,8	4,8	10,8	7,8	4,8	10,8
Świętokrzyskie	150	6,8	4,4	11,3	6,8	4,4	11,3
Warmińsko-mazurskie	146	5,7	3,6	8,4	6,6	4,6	9,4
Wielkopolskie	604	5,5	3,7	7,7	5,3	3,6	7,5
Zachodniopomorskie	116	4,7	3,2	7,1	4,4	3,0	7,3
Polska	3910	6,2	3,8	9,4	6,3	4,0	9,4

Źródło: badania własne



Rys. 4. Przeciętne zawartości magnezu według województw

Źródło: badania własne

Dokonano oceny zasobności gleby w magnez, uwzględniając kategorię agronomiczną gleb i określono udział próbek w trzech przedziałach: zawartość bardzo niska i niska, średnia, wysoka i bardzo wysoka (tab. 9). Największą liczebnością charakteryzował się przedział zawartości wysokiej i bardzo wysokiej. Najmniej próbek zakwalifikowano do przedziału zawartości niskiej i bardzo niskiej. Pomiedzy rokiem 2012 i 2008 największy wzrost liczebności próbek o wysokiej i bardzo wysokiej zawartości składnika obserwowano w kategorii gleb bardzo lekkich. Jednak w skali całej populacji udział próbek w poszczególnych przedziałach zasobności praktycznie pozostał bez zmian. W badaniach monitoringowych udział próbek o zawartości wysokiej lub bardzo wysokiej był o ponad 10% większy niż w badaniach masowych. Odpowiednio mniejszy był natomiast udział próbek o zawartości niskiej i bardzo niskiej.

Tabela 9

Udział (%) gleb w przedziałach zawartości magnezu

Kategoria gleby	Zawartość magnezu					
	bardzo niska i niska		średnia		wysoka i bardzo wysoka	
	2008	2012	2008	2012	2008	2012
Bardzo lekka	16	9	37	31	48	60
Lekka	16	15	29	25	55	60
Średnia	24	29	20	21	56	50
Ciężka	15	25	39	33	46	41
Ogółem	18	19	29	26	53	55
Dane KSCHR*	29		29		42	

* Źródło: GUS, 2014 (12) oraz badania własne

Zawartość węgla organicznego

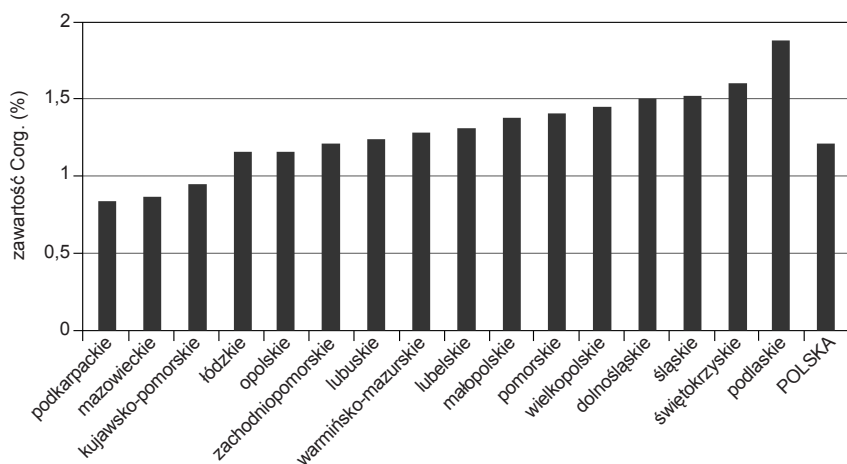
Przeciętna zawartość węgla organicznego w całej populacji badanych próbek gleby wynosiła 1,22% (tab. 10). Poniżej 1% węgla organicznego stwierdzono w próbkach pochodzących z województw: podkarpackie, mazowieckie i kujawsko-pomorskie. Najwyższą zawartością węgla charakteryzowało się woj. podlaskie (rys. 5).

Tabela 10

Podstawowe charakterystyki statystyczne zawartości węgla organicznego w glebach (% Corg.)

Województwo	Liczba analiz	Mediana	Dolny kwartył	Górny kwartył
Dolnośląskie	150	1,50	0,95	1,61
Kujawsko-pomorskie	324	0,95	1,11	1,82
Łódzkie	326	1,16	0,98	1,50
Lubelskie	293	1,31	0,68	1,16
Lubuskie	94	1,24	0,69	1,46
Małopolskie	315	1,39	1,17	1,81
Mazowieckie	543	0,87	1,00	1,80
Opolskie	140	1,16	0,89	1,40
Podkarpackie	196	0,84	0,97	1,75
Podlaskie	127	1,88	1,49	2,26
Pomorskie	160	1,41	1,34	2,07
Śląskie	221	1,53	1,20	1,80
Świętokrzyskie	148	1,60	0,86	1,58
Warmińsko-mazurskie	146	1,29	1,08	2,04
Wielkopolskie	604	1,45	0,69	1,11
Zachodniopomorskie	116	1,22	1,02	1,85
Polska	3903	1,22	0,90	1,68

Źródło: badania własne



Rys. 5. Przeciętna zawartość (%) węgla organicznego według województw w 2008 r.

Źródło: badania własne

Dokonano wyceny zawartości węgla organicznego w glebie z zastosowaniem przedziałów zawartości zaproponowanych przez Czyż i Reszkowską (1) po uprzednim przeliczeniu zawartości węgla organicznego na substancję organiczną. Ponad 50% badanych próbek charakteryzowało się wysoką lub bardzo wysoką zawartością substancji organicznej, a ok. 40% wykazywało zawartość średnią (tab. 11). Udział próbek o zawartości wysokiej i bardzo wysokiej był o ok. 10 punktów procentowych większy od wyników badań prowadzonych przez IUNG w z końcu lat 90., w których analizowano próbki pobrane z 49 tys. pkt. (4).

Tabela 11

Udział (%) próbek gleby w przedziałach zawartości substancji organicznej w 2008 r.

Rok badań	Liczba próbek	Zawartość substancji organicznej			
		niska (<1%)	średnia (1–2%)	wysoka (2–3,5%)	bardzo wysoka (>3,5%)
2008	3903	4	41	42	14
2012	1353	4	42	40	13
2001*	49000	6	50	33	11

* wg niepublikowanych danych Terelaka

Źródło: badania własne

Podsumowanie

1. Wyniki badań monitoringowych odczynu gleb były zbliżone do wyników prezentowanych przez GUS. Bardzo kwaśnym i kwaśnym odczynem charakteryzowało się ok. 40% badanych próbek gleby.
2. Około 40% próbek gleby w badaniach monitoringowych charakteryzowało się bardzo wysoką zawartością fosforu, a 24% – zawartością niską lub bardzo niską.
3. Blisko 40% próbek gleby charakteryzowało się niską lub bardzo niską zawartością potasu. Podobny był też udział próbek o wysokiej lub bardzo wysokiej zawartości K_2O .
4. Ponad 50% próbek gleby charakteryzowało się wysoką lub bardzo wysoką zawartością magnezu i materii organicznej.
5. W okresie 4 lat pomiędzy kolejnymi cyklami badań badane wskaźniki żyzności gleby nie uległy zmianie.

Literatura

1. Czyż E.A., Reszkowska A.: Próchnica w glebie. W: Wademekum klasyfikatora gleb, F. Woch (red.). Puławy 2007.
2. Dyrektywa Rady z dnia 12 grudnia 1991 r. dotycząca ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego (91/676/EWG). Dz.U.L 375/1

3. Instrukcja pobierania próbek glebowych do oznaczania zawartości azotu mineralnego.pdf. <http://www.schr.gov.pl/p,155,instrukcje>
4. Jończyk K., Jadczyszyn J., Filipiak K., Stuczyński T.: Przestrzenne zróżnicowanie zawartości materii organicznej w glebach Polski w kontekście ochrony gleb i ich rolniczego wykorzystania. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2008, **12**: 145-154.
5. Lipiński W.: Odczyn i zasobność gleb w świetle badań stacji chemiczno-rolniczych. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization*, 2000, **3**: 89-105.
6. Lipiński W.: Pięćdziesiąt lat działalności stacji chemiczno rolniczych w Polsce. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization*, 2005, **23**: 7-25.
7. Lipiński W.: Odczyn gleb Polski. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization*, 2005, **23**: 33-40.
8. Lipiński W.: Zasobność gleb Polski w fosfor przyswajalny. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization*, 2005, **23**: 49-54.
9. Lipiński W.: Zasobność gleb Polski w potas przyswajalny. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization*, 2005, **23**: 55-60.
10. Lipiński W.: Zasobność gleb Polski w magnez przyswajalny. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization*, 2005, **23**: 61-66.
11. Polska Norma PN-R-04028. Analiza chemiczno-rolnicza gleby.
12. Rocznik statystyczny rolnictwa 2014. <http://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/roczniki-statystyczne/>
13. Ustawa o nawozach i nawożeniu. Dz.U. z 2007 r., nr 147, poz. 1033.
14. Zalecenia nawozowe. Cz. I. Liczby graniczne do wyceny zawartości w glebach makro- i mikroelementów. Puławy 1990, seria P(44)

Adres do korespondencji:

dr Tamara Jadczyszyn
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.: 81 47 86 831, 832
e-mail: tj@iung.pulawy.pl

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

1. *Wybrane aspekty agrochemicznych badań gleby*. Puławy, 2006.
2. *Zasady wprowadzania nawozów do obrotu*. Puławy, 2006.
3. *Regionalne zróżnicowanie produkcji rolniczej w Polsce*. Puławy, 2006.
4. *Monitoring skutków środowiskowych planu rozwoju obszarów wiejskich*. Puławy, 2007.
5. *Sprawdzenie przydatności wskaźników do oceny zrównoważonego gospodarowania zasobami środowiska rolniczego w wybranych gospodarstwach, gminach i województwach*. Puławy, 2007.
6. *Możliwości rozwoju rolnictwa ekologicznego w Polsce*. Puławy, 2007.
7. *Współczesne uwarunkowania organizacji produkcji w gospodarstwach rolniczych*. Puławy, 2007.
8. *Efektywne i bezpieczne metody regulacji zachwaszczenia, nawożenia i uprawy roli*. Puławy, 2007.
9. *Wybrane elementy technologii produkcji roślinnej*. Puławy, 2007.
10. *Problem erozji gleb w procesie przemian strukturalnych na obszarach wiejskich*. Puławy, 2008.
11. *Uprawa roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce*. Puławy, 2008.
12. *Wybrane zagadnienia systemów informacji przestrzennej i obszarów problemowych rolnictwa w Polsce*. Puławy, 2008.
13. *Tworzenie postępu biologicznego w hodowli tytoniu i chmielu*. Puławy, 2008.
14. *Kierunki zmian w produkcji roślinnej w Polsce do roku 2020*. Puławy, 2009.
15. *Wybrane elementy regionalnego zróżnicowania rolnictwa w Polsce*. Puławy, 2009.
16. *Systemy wspomagania decyzji w zrównoważonej produkcji roślinnej*. Puławy, 2009.
17. *Stan i kierunki zmian w produkcji rolniczej (wybrane zagadnienia)*. Puławy, 2009.
18. *Produkcyjne i środowiskowe aspekty współczesnych metod nawożenia i regulacji zachwaszczenia*. Puławy, 2009.
19. *Oddziaływanie rolnictwa na środowisko przyrodnicze w warunkach zmian klimatu*. Puławy, 2010.
20. *Ocena zrównoważenia gospodarowania zasobami środowiska rolniczego w wybranych gospodarstwach, gminach, powiatach i województwach*. Puławy, 2010.
21. *Możliwości rozwoju obszarów problemowych rolnictwa (OPR) w świetle PROW 2007–2013*. Puławy, 2010.
22. *Możliwości rozwoju gospodarstw o różnych kierunkach produkcji rolniczej w Polsce*. Puławy, 2010.
23. *Związki fitogeniczne jako naturalna alternatywa antybiotykowych promotorów wzrostu*. Puławy, 2010.
24. *Wybrane aspekty przemian strukturalnych na obszarach wiejskich*. Puławy, 2010.
25. *Stan obecny i perspektywy nawożenia roślin w Polsce w aspekcie regulacji prawnych*. Puławy, 2010.
26. *Stan obecny i perspektywy rozwoju rolnictwa ekologicznego w Polsce*. Puławy, 2010.
- 27(1). *Środowiskowe skutki działalności rolniczej i wdrażania PROW na obszarach problemowych rolnictwa*. Puławy, 2011.

- 28(2).** *Techniki i technologie stosowane w produkcji roślinnej a środowisko przyrodnicze.* Puławy, 2012.
- 29(3).** *Problemy zrównoważonego gospodarowania w produkcji rolniczej.* Puławy, 2012.
- 30(4).** *Doskonalenie integrowanych technologii produkcji zbóż jarych i roślin pastewnych ze szczególnym uwzględnieniem początkowych elementów agrotechniki.* Puławy, 2012.
- 31(5).** *Rola badań naukowych w kształtowaniu postępu w produkcji chmielu i tytoniu.* Puławy, 2012.
- 32(6).** *Wybrane aspekty zrównoważonego rozwoju i specjalizacji gospodarstw rolniczych.* Puławy, 2013
- 33(7).** *Działalność Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa-PIB w Puławach w zakresie wspierania doradztwa i praktyki rolniczej.* Puławy, 2013.
- 34(8).** *Problemy gospodarki nawozowej w Polsce.* Puławy, 2013.
- 35(9).** *Zagrożenia dla prawidłowego funkcjonowania gleb użytkowanych rolniczo – wybrane zagadnienia.* Puławy, 2013.
- 36(10).** *Zmiany w technologiach produkcji roślinnej – oceny i wpływ na środowisko rolnicze.* Puławy, 2014.
- 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 zagrożenia produkcji roślinnej w Polsce.* Puławy, 2015.

WSKAZÓWKI DLA AUTORÓW

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

Wydruk tekstu do recenzji:

czcionka 12 p., z odstępem 1,5-wierszowym.

Przygotowanie do druku:

- tekst i tabele w programie Word, wersja 6.0 lub wyższa
- czcionka – Times New Roman
- układ pracy: słowa kluczowe, wstęp, wyniki i dyskusja bądź omówienie wyników, podsumowanie lub wnioski, literatura

tekst

- czcionka – 11 p. (spis pozycji literatury – 9 p.)
- wcięcie akapitowe – 0,5 cm

tabele

- podział na wiersze i kolumny (z funkcji tworzenia tabel)
- szerokość dokładnie 13 cm (tabele w pionie) lub 19 cm (tabele w poziomie)
- czcionka 9 p., pojedyncze odstępy międzywierszowe
- pod tabelą przypis ze wskazaniem źródła danych (autorstwa)

rysunki

- czarno-białe
- wykresy w programie Word lub Excel
- wymiar w zakresie 13 cm × 19 cm
- w podpisach czcionka 9 p.
- na płycie lub innym nośniku w oddzielnych plikach
- pod rysunkiem przypis ze wskazaniem źródła danych (autorstwa)

jednostki miary

- system SI
- jednostki zapisywać potęgowo (np. t·ha⁻¹)

literatura

- spis literatury na końcu pracy w układzie alfabetycznym wg nazwisk autorów, w kolejności: nazwisko (pismo rozstrzelone), pierwsza litera imienia, tytuł pracy, miejsce publikacji: tytuł wydawnictwa (wg ogólnie przyjętych skrótów tytułów czasopism), rok, numer (pismo pogrubione), strony,
- cytowanie w tekście – jako numer pozycji ze spisu literatury (w nawiasach okrągłych) lub dodatkowo z nazwiskiem autora (pismo rozstrzelone).

Pracę do recenzji należy złożyć w 1 egzemplarzu. Po recenzji oryginalny egzemplarz recenzowany złożyć/przesłać do Redakcji, a ostateczną wersję pracy, uwzględniającą uwagi recenzenta i redaktora, przesłać e-mailem.

Dane kontaktowe:

mgr Katarzyna Mikulska

Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG-PIB

ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy

e-mail: kmikulska@iung.pulawy.pl

