

**Piotr Skowron¹, Damian Wach¹, Tamara Jadcyszyn¹,
Przemysław Tkaczyk²**

*¹Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa –Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

*²Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie**

ANALIZA ZMIENNOŚCI SKŁADU CHEMICZNEGO NAWOZÓW NATURALNYCH W REJONIE ŚRODKOWO-WSCHODNIEJ POLSKI*

Słowa kluczowe: nawozy naturalne, azot, fosfor, Program Azotanowy

Wstęp

Nawozy naturalne są nieodłącznym elementem zrównoważonego rolnictwa, a ich wykorzystanie w nawożeniu roślin powoduje częściowy odzysk pierwiastków biogenicznych oraz zamykanie ich obiegu w agroekosystemie. Prawidłowe gospodarowanie nawozami naturalnymi ma duże znaczenie produkcyjne i ekonomiczne, ponieważ przyczynia się do poprawy żyzności i urodzajności gleby, oraz uzyskania wysokich plonów (2, 15). Co więcej, pozwala zmniejszyć udział nawożenia mineralnego w bilansie składników pokarmowych i zredukować koszty produkcji roślinnej. Niestety, nieumiejętne, nieracjonalne i niezgodne z zasadami stosowanie nawozów naturalnych, może stanowić duże zagrożenie dla środowiska, ze względu na niepożądane emisje składników pokarmowych do wód i atmosfery, głównie związków azotu i fosforu (3, 13, 14).

Pierwiastki biogeniczne trafiające do środowiska wodnego przyczyniają się do niekontrolowanego nasilenia eutrofizacji wód. Zjawisko to jest skutkiem bardzo intensywnego rozwoju fitoplanktonu i sinic w wodach zasobnych w azot i fosfor, co powoduje zakłócenie równowagi ekosystemu, a w konsekwencji jego degradację. Zjawisku eutrofizacji towarzyszy rozkład dużej masy obumierających organizmów. Wiąże się to z wydzielaniem dużych ilości tlenu węgla (IV) i siarkowodoru. Zużywane są również duże ilości tlenu, którego niedobór hamuje rozwój innych organizmów wodnych. W efekcie następuje zmniejszenie bioróżnorodności, aż do całkowitego obumierania ekosystemów wodnych. Mogą pojawiać się także szczepy

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.2 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

sinic wydzielające toksyny szkodliwe dla zdrowia ludzi i zwierząt, a wody nadmiernie zeutrofizowane tracą swoje walory użytkowe i rekreacyjne (6).

Nawozy naturalne dobrze spełniają swoje role, dostarczając składniki pokarmowe dla roślin uprawnych. Właściwe zarządzanie nimi opiera się na bilansowaniu składników z uwzględnieniem równoważników nawozowych, wsparte regularnymi analizami zasobności gleby i zawartości podstawowych pierwiastków biogenicznych w stosowanych nawozach naturalnych (8, 9). Istotnymi elementami gospodarowania nawozami naturalnymi są ograniczenia prawne wynikające z wymagań dotyczących redukcji emisji pierwiastków biogenicznych do wód i atmosfery oraz zalecenia dobrej praktyki rolniczej (5). Ważną rolę ogrywają również relacje pomiędzy składnikami pokarmowymi znajdującymi się w nawozach naturalnych, które nie zawsze są optymalne dla różnych roślin.

Ważnym aspektem wykorzystania nawozów naturalnych w rolnictwie jest ich wpływ na zawartość i stan substancji organicznej w glebie. Optymalnie stosowane nawozy naturalne pozwalają utrzymać dodatni jej bilans, utrzymać glebę w dobrej kulturze i zapobiec degradacji. W Polsce mamy do czynienia z wysokim udziałem gleb lekkich i bardzo lekkich w przestrzeni rolniczej (65%), które charakteryzują się niską i średnią zawartością materii organicznej (<2%). Tak więc, racjonalna gospodarka nawozami naturalnymi ma w naszym kraju szczególne znaczenie (4, 10, 12).

Ograniczenia dotyczące azotu i fosforu wnoszonego w postaci nawozów naturalnych

Limity dotyczące azotu wprowadzanego w postaci nawozów naturalnych na użytki rolne funkcjonują na obszarze całej Unii Europejskiej (UE) i wynikają one z implementacji ramowej Dyrektywy Wodnej i Dyrektywy Azotanowej EU. W Polsce obecnie obowiązującym aktem prawnym określającym maksymalną dopuszczalną roczną dawkę azotu w formie nawozów naturalnych, jaką można wykorzystać rolniczo, jest ustawa Prawo Wodne (17). Aktem wykonawczym do tej ustawy jest obowiązujące od 12.07.2018 r. rozporządzenie Rady Ministrów "Program działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu" (Program Azotanowy); (11). W Programie Azotanowym zawarte zostały m.in. dawki i sposoby nawożenia azotem (w tym limit $170 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ użytków rolnych, pochodzący z nawozów naturalnych) oraz zasady stosowania i przechowywania nawozów naturalnych.

W ostatnich latach szczególną uwagę zwraca się również na fosfor, który jest wnoszony do gleby w znaczących ilościach wraz z nawozami naturalnymi. Związane jest to z ograniczoną dostępnością jego źródeł oraz brakiem możliwości odzysku tego pierwiastka ze źródeł oceanicznych, co wymaga bardzo efektywnego gospodarowania jego zasobami i ograniczania strat. Jednym z działań podejmowanych w tej kwestii jest ograniczanie nawożenia fosforem na gruntach rolnych. W chwili obecnej nie obowiązuje żadna dyrektywa europejska ani inna regulacja EU dotycząca stosowania fosforu w rolnictwie. Niemniej niektóre kraje i regiony europejskie mają już

ustawodawstwo, które ogranicza nawożenie fosforem. Większość tego prawodawstwa dotyczy wdrożenia dyrektywy azotanowej (91/676/ EWG) w zakresie krajowych planów działania, ramowej Dyrektywy Wodnej (2000/60/IEC) w zakresie planów gospodarowania wodami w dorzeczu i dyrektywy w sprawie emisji przemysłowych (2010/75/UE) (1, 7).

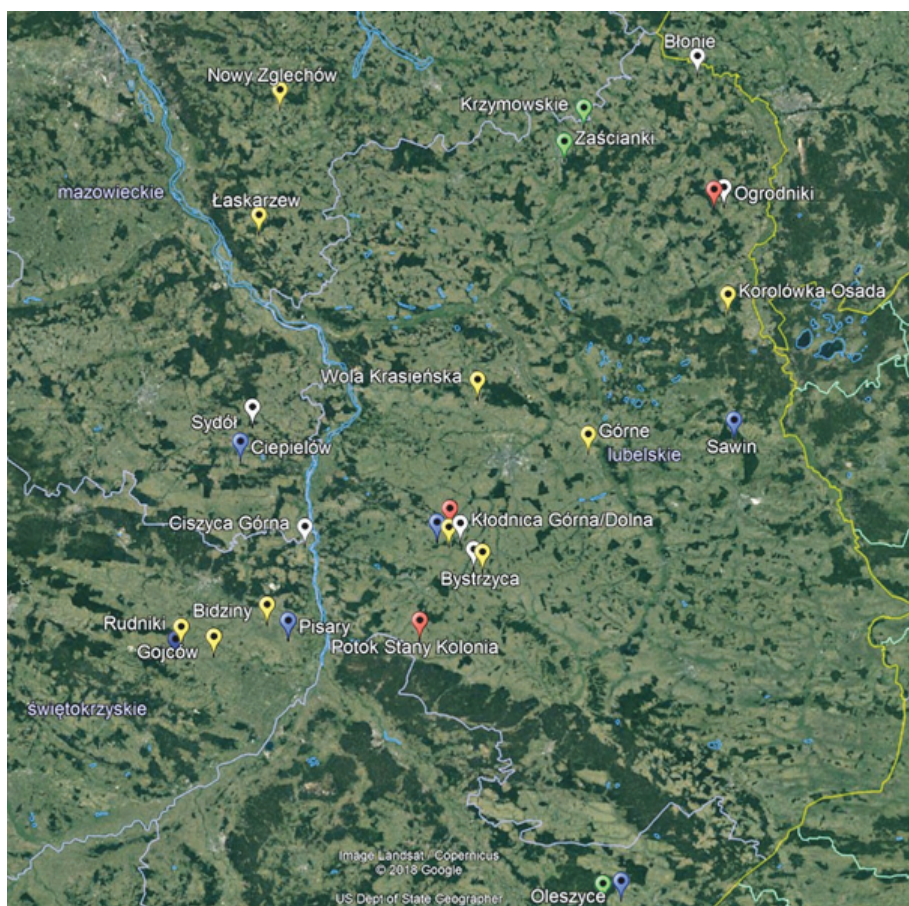
Zmniejszenie nawożenia fosforem, szczególnie za pomocą nawozów naturalnych, postuluje od wielu lat Komisja Helsińska (Helcom). Załącznik III Konwencji Helsińskiej z 1992 roku wprowadził zalecenie dotyczące opracowania w krajach, które są jej sygnatariuszami, wytycznych wraz z zaleceniami dotyczącymi ograniczenia ilości stosowanego fosforu pochodzącego z nawozów naturalnych na użytkach rolnych. Według tego załącznika ilość fosforu wnoszona z nawozami naturalnymi pochodzenia zwierzęcego, w tym również z odchodami pozostawianymi przez zwierzęta na pastwiskach, nie powinna przekraczać 25 kg P na jeden hektar użytków rolnych (UR) rocznie.

Poprawę wykorzystania fosforu w krajach zlewiska Morza Bałtyckiego ma powodować także przygotowywana Strategia Odzysku Biogenów, która jest obecnie na etapie opracowywania i konsultacji. Spośród państw Helcom oficjalne normy prawne dotyczące fosforu zostały opracowane w Szwecji, Finlandii, Estonii i Niemczech. W Danii, Litwie, Łotwie i w Polsce istnieją jedynie zalecenia w zakresie nawożenia fosforem.

Celem pracy było porównanie zawartości azotu w próbkach nawozów naturalnych pobranych w różnych gospodarstwach prowadzących produkcję zwierzęcą w różnych systemach utrzymania, z wartościami tabelarycznymi obowiązującymi w Polsce po wprowadzeniu Programu Azotanowego. Na podstawie uzyskanych danych przeprowadzono również analizę, jaki wpływ na ilość stosowanych nawozów naturalnych i wielkość wnoszonych za ich pomocą ilości azotu i fosforu będzie miało jednoczesne funkcjonowanie stałych limitów 170 kg N·ha⁻¹ i 25 kg P·ha⁻¹ użytków rolnych. Praca stanowi studium przypadku, rozszerzając zakres wiedzy w zakresie zawartości pierwiastków biogenicznych w nawozach naturalnych.

Metodyka

Próbki nawozów naturalnych pobrano w 30 gospodarstwach rolnych położonych w 21 gminach na obszarze południowo-wschodniej Polski, tj. w województwach: lubelskim, mazowieckim, świętokrzyskim i podkarpackim (rys. 1). Do analizy wybrano gospodarstwa prowadzące produkcję zwierzęcą w czterech najczęściej występujących kierunkach: bydło opasowe, bydło mleczne, trzoda chlewna i drób. Uwzględniono główne grupy nawozów naturalnych występujące w Polsce: obornik z obory głębokiej, obornik z obory płytkiej, gnojowica i pomiot ptasi. Kryterium celowego wyboru gospodarstw oprócz lokalizacji i poziomu produkcji, była także wcześniejsza współpraca rolników z ośrodkami doradztwa rolniczego, stacjami chemiczno-rolniczymi i instytucjami naukowymi.



Rysunek 1. Lokalizacja przestrzenna punktów pobierania próbek nawozów naturalnych:

-  - bydło opasowe, obornik,
-  - bydło mleczne, obornik,
-  - trzoda chlewna, obornik,
-  - trzoda chlewna, gnojowica,
-  - drób, pomiot

Źródło: opracowanie własne

Pobieranie próbek nawozów naturalnych było wykonywane zgodnie z Polskimi Normami (PN) i opracowanymi na ich podstawie instrukcjami przez Okręgowe Stacje Chemiczno-Rolnicze (OSChR).

Gnojowica: Polska Norma PN-B-12098:1997 – Gnojowica. Pobieranie próbek.
Obornik, pomiot: Polska Norma PN-R-04006:2000 – Nawozy organiczne.
 Pobieranie próbek obornika i kompostu.

Do przechowywania próbek wykorzystano jałowe pojemniki z tworzywa sztucznego. Podczas transportu i przechowywania próbek utrzymywano warunki chłodnicze. Analizy chemiczne dostarczonych próbek wykonane zostały w akredytowanym laboratorium Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej w Warszawie, tak szybko jak to możliwe, zgodnie z obowiązującymi tam zasadami.

Analizy zostały przeprowadzone zgodnie z procedurami badawczymi zawartymi w katalogu metod OSChR w Warszawie:

N	– metoda miareczkowa (Kjeldahla)	PB 59 ed.2	09.03.2015
P	– metoda spektrofotometryczna	PB 45 ed.4	14.02.2011
K	– metoda FAAS	PB 46 ed.4	14.02.2011
Mg	– metoda FAAS	PB 48 ed.4	14.02.2011
Ca	– metoda FAAS	PB 47 ed.4	14.02.2011
N-NH ₄	– metoda miareczkowa	PB 50 ed.2	15.10.2009
Na	– metoda FAAS	PB 57 ed.3	16.01.2018
s.m. 105°C	– metoda wagowa	PB 60 ed.1	05.01.2015
Cu, Zn, Fe, Mn, Mo, B, S	– metoda ICP-OES	PB 49 ed.5	16.01.2018
Subst. Org.	– metoda wagowa	PB 42 ed.3	15.10.2009
C-org	– metoda miareczkowa	PB 01 ed.4	15.10.2009

W publikacji wykorzystano odpowiednie części tabeli opublikowanej w załączniku 6. do Programu Azotanowego (tab. 1). Załącznik ten został opracowany na podstawie ekspertyzy przygotowanej w roku 2012 przez Instytut Zootechniki – Państwowy Instytut Badawczy (IZ-PIB). Ekspertyza ta powstała z przetworzenia obszernej bazy danych IZ-PIB dotyczącej produkcji zwierzęcej i jej oddziaływania na środowisko, a rozbudowana i szczegółowa metodyka nie budzi wątpliwości.

Tabela 1

Średnia zawartość azotu w zależności od gatunku zwierzęcia gospodarskiego, jego wieku i wydajności oraz systemu utrzymywania zwierząt gospodarskich.

Gatunek/grupa technologiczna zwierząt	System utrzymania			
	Głęboka ściółka	Płytka ściółka		Bezściółkowo
	Obornik	Obornik	Gnojówka	Gnojowica/ pomiot/ odchody
	kg N·t ⁻¹	kg N·t ⁻¹	kg N·m ⁻³	kg N·t ⁻¹ lub m ⁻³
Bydło				
Buhaje	3,1	3,3	3,4	3,5
Krowy mleczne	2,6-3,7	2,8-4,0	2,7-3,8	3,4-4,5
Jałówki cielne	3,0	3,2	3,1	3,4
Jałówki powyżej 1 roku życia	2,8	2,8	2,7	2,9
Jałówki od ½ do 1 roku życia	3,4	3,5	3,7	4,7
Cielęta do ½ roku życia	3,8	2,8	3,2	3,2
Bydło opasowe od ½ do 1 roku	2,6	3,1	3,4	4,5
Bydło opasowe powyżej 1 roku	3,0	2,7	2,9	3,2
Trzoda chlewna				
Knury	3,1	3,1	3,3	3,6
Lochy	3,9	4,0	4,2	4,3
Warchlaki od 2 do 4 miesięcy życia	2,9	1,5	0,8	3,0
Prosięta do 2 miesięcy życia	1,8	0,9	0,4	2,0
Tuczniki	4,2	4,4	4,6	4,6
Drób				
Kury nieśne	20,7			22,4
Kury mięsne	20,7			21,6
Kury do 20 tygodnia	15,7			-
Brojlery kurze	24,7			-

Źródło: Walczak i in., 2012 (18)

Zawartość azotu w badanych próbkach, a obowiązujące wartości tabelaryczne

W przeprowadzonej analizie nawozów naturalnych z badanych gospodarstw porównano zawartość azotu w pobranych próbkach i obowiązujące standardy wykorzystywane do obliczania dawek nawozów naturalnych, zapisanych w Programie Azotanowym. Zawartości azotu w próbkach nawozów naturalnych były w większości przypadków wyższe od zawartości dla poszczególnych grup zwierząt, określonych w załączniku 6 do Programu Azotanowego (tab. 1).

W tabeli 2 i 3 przedstawiono zawartości głównych makroskładników i suchej masy w nawozach naturalnych pochodzących z różnych systemów utrzymania bydła opasowego i krów mlecznych. W przypadku bydła opasowego gdzie obornik z głębokiej ściółki powinien zawierać w zależności od grup zwierząt od 2,6 do 3,0 kg N·t⁻¹ (tab. 1), uzyskano wyniki ponad 3 krotnie wyższe, w zakresie 7,6-9,6 kg N·t⁻¹ przy średniej 8,55 kg N·t⁻¹ (tab. 2). Analogiczna sytuacja występowała w oborniku z płytkiej ściółki, gdzie tabelaryczny zakres 2,7-3,1 kg N·t⁻¹ (tab. 1) był niższy, porównując z uzyskanymi wynikami mieszczącymi się w przedziale 5,3-9,8 kg N·t⁻¹ przy średniej 7,30 kg N·t⁻¹ (tab. 2). Dla krów mlecznych porównanie wypada bardzo podobnie z nieznacznie mniejszą różnicą – głęboka ściółka: zakres referencyjny 2,6-3,7 kg N·t⁻¹ (tab. 1) przy uzyskanych wynikach 5,5-6,4 kg N·t⁻¹ (średnia 6,20 kg N·t⁻¹), ściółka płytka: 2,8-4,0 kg N·t⁻¹ w stosunku do 4,1-6,8 kg N·t⁻¹ (średnia 5,38 kg N·t⁻¹); (tabela 3).

Tabela 2
Zawartość makroelementów oraz suchej masy w nawozie naturalnym w zależności od grupy zwierząt i systemu utrzymania – bydło opasowe, obornik, głęboka ściółka, płytka ściółka

Kod gospodarstwa	kg·t ⁻¹ świeżej masy					%
	N	N-NH ₄	P	K	Mg	
1	7,60	1,04	1,00	3,60	1,40	23,53
2	9,60	0,21	1,90	9,90	1,80	26,44
8	8,00	2,78	1,50	7,20	1,20	25,83
22	9,00	2,34	2,00	4,00	1,60	27,80
$\bar{x}$ głęboka ściółka	8,55	1,59	1,60	6,18	1,50	25,90
5	5,30	0,90	1,00	3,20	0,60	21,12
18	6,80	1,82	1,10	6,80	1,60	24,73
27	9,80	0,20	1,60	5,80	2,80	27,85
$\bar{x}$ płytka ściółka	7,30	0,97	1,23	5,27	1,67	24,57
$\bar{x}$	8,01	1,33	1,44	5,79	1,57	25,33

Źródło: opracowanie własne

Tabela 3

Zawartość makroelementów oraz suchej masy w nawozie naturalnym w zależności od grupy zwierząt i systemu utrzymania – krowy mleczne, obornik, głęboka ściółka, płytka ściółka

Kod gospodarstwa	kg t ⁻¹ świeżej masy					%
	N	N-NH ₄	P	K	Mg	s. m.
12	6,40	1,07	2,20	9,20	2,20	28,08
16	5,50	0,40	2,10	8,10	2,10	19,33
17	5,80	1,30	1,00	5,20	1,20	20,59
29	7,10	1,70	1,90	9,70	2,00	25,38
$\bar{x}$ głęboka ściółka	6,20	1,12	1,80	8,05	1,88	22,67
3	4,10	1,44	0,80	2,90	0,70	12,16
4	5,00	1,90	0,90	2,80	1,10	16,56
7	4,70	0,83	1,30	3,60	1,30	17,24
15	6,80	0,50	2,10	7,60	2,30	20,07
28	6,30	0,37	2,10	6,60	2,00	23,77
$\bar{x}$ płytka ściółka	5,38	1,01	1,44	4,70	1,48	17,96
$\bar{x}$	5,74	1,06	1,60	6,19	1,66	20,35

Źródło: opracowanie własne

Zawartość azotu w oborniku pochodzącym z chlewni tuczników zawierała się w bardzo szerokim zakresie od 3,9 do 17,7 kg N t⁻¹ (średnio 9,5 kg N t⁻¹) (tab. 4). Zakres zawartości określony dla tej grupy zwierząt w Programie Azotanowym, przy tych sposobach utrzymania wynosi od 4,2 kg N t⁻¹ do 4,4 kg N t⁻¹ (tab. 1). Jedynie w przypadku jednego gospodarstwa (kod gospodarstwa 25, tabela 4), zanotowano niższą zawartość azotu, w pozostałych przypadkach obserwowano zawartości znacznie wyższe. Natomiast rozpatrując zawartość azotu w gnojowicy pochodzącej od tuczników (tab. 5) zwraca uwagę wyraźna zbieżność wyników analiz laboratoryjnych z danymi tabelarycznymi – 4,6 kg N t⁻¹ (tab. 1), natomiast w badanych próbkach uzyskano zawartości w zakresie 4,0-7,2 kg N t⁻¹ (średnia 4,87 kg N t⁻¹).

Tabela 4

Zawartość makroelementów oraz suchej masy w nawozie naturalnym w zależności od grupy zwierząt i systemu utrzymania – tuczniki, obornik

Kod gospodarstwa	kg t ⁻¹ świeżej masy					%
	N	N-NH ₄	P	K	Mg	s. m.
9	11,00	6,76	2,00	8,50	1,70	25,96
25	3,90	0,26	0,90	4,40	1,10	15,68
26	5,40	1,35	3,80	8,00	2,40	31,94
30	17,70	3,98	10,30	18,70	5,10	44,86
$\bar{x}$	9,50	3,09	4,25	9,90	2,58	29,61

Źródło: opracowanie własne

Tabela 5
Zawartość makroelementów oraz suchej masy w nawozie naturalnym w zależności od grupy zwierząt i systemu utrzymania – tuczniaki, gnojowica

Kod gospodarstwa	kg t ⁻¹ świeżej masy					%
	N	N-NH ₄	P	K	Mg	s. m.
6	4,00	1,72	2,60	0,70	2,00	10,26
14	5,60	3,75	1,20	3,00	0,90	3,14
19	6,00	3,18	6,70	1,30	3,60	12,22
21	5,60	5,52	1,20	4,20	0,60	2,98
23	5,20	3,05	3,30	1,80	1,50	9,28
24	7,20	5,36	1,80	3,80	1,10	9,96
$\bar{x}$	4,87	3,25	2,53	2,17	1,45	6,47

Źródło: opracowanie własne

Ostatnią rozpatrywaną grupą zwierząt był drób. W pomiole ptasim, podobnie jak w przypadku gnojowicy, uzyskano potwierdzenie aktualnie obowiązujących wskaźników mieszczących się w zakresie od 15,7 do 24,7 kg N·t⁻¹ (tab. 1) zależnie od grupy drobiu, w porównaniu do wyników otrzymanych w badaniach zawartości azotu w gospodarstwach rolnych, które mieściły się w przedziale: 14,1-28,5 kg N·t⁻¹ (średnio: 19,53 kg N·t⁻¹); (tabela 6).

Tabela 6
Zawartość makroelementów oraz suchej masy w nawozie naturalnym w zależności od grupy zwierząt i systemu utrzymania – drób, pomiot

Kod gospodarstwa	kg·t ⁻¹ świeżej masy					%
	N	N-NH ₄	P	K	Mg	s. m.
10	14,10	2,44	6,20	26,80	4,20	45,84
11	28,50	7,40	6,30	17,60	4,50	63,92
20	16,00	2,24	7,80	14,80	5,60	39,50
$\bar{x}$	19,53	4,03	6,77	19,73	4,77	49,75

Źródło: opracowanie własne

Reasumując, największe rozbieżności pomiędzy zgromadzonymi danymi dotyczącymi zawartości azotu a wartościami tabelarycznymi zalecanymi do wyliczania dawek nawozów naturalnych według obowiązujących w Polsce przepisów prawnych, stwierdzono w przypadku obornika bydła i trzody chlewnej, zarówno w systemie utrzymania na ściółce głębokiej, jak i płytkej. Może to świadczyć o konieczności weryfikacji tych wskaźników na podstawie dodatkowych badań opartych na znacznie większej zbiorowości gospodarstw utrzymujących zwierzęta w systemie obornikowym. Należy zauważyć, że obornik jest nawozem w mniejszym stopniu zhomogenizowanym niż na przykład gnojowica, co wymaga należytego uwzględnienia przy technice pobierania prób. Istotna wydaje się też zmienność rodzaju ściółki

używanej w poszczególnych gospodarstwach, która również wpływać może na skład chemiczny nawozu naturalnego. Zawartości azotu w gnojowicy trzody chlewnej i pomiole ptasim okazały się zbliżone do wartości tabelarycznych rekomendowanymi w Programie Azotanowym.

Jednoczesne funkcjonowanie limitu azotu i fosforu

W analizie zwrócono również szczególną uwagę na zawartość azotu i fosforu oraz ich wzajemnych relacji z uwzględnieniem jednoczesnego funkcjonowania limitu maksymalnej dawki azotu $170 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$ i fosforu $25 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$ wprowadzonej w nawozach naturalnych. Ograniczenie dawki fosforu zostało zapisane w Aneksie 3. Konwencji Helsińskiej w celu ustanowienia tego limitu w krajach zlewiska Morza Bałtyckiego i osiągnięcia założeń dotyczących poprawy jego stanu. Niezbędne staje się więc określenie, w jaki sposób jednoczesne występowanie dwóch limitów podstawowych składników pokarmowych wpłynie na dawki stosowanych nawozów naturalnych.

W tym celu porównano dawki nawozów naturalnych wyliczone na podstawie limitu $170 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ i dawki nawozów naturalnych wyliczone na podstawie limitu $25 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ dla poszczególnych gatunków zwierząt i sposobów ich utrzymania (tabele 7-11).

Przy ustaleniu dawki nawozu naturalnego, którą można zastosować na użytki rolne według maksymalnej dawki fosforu $25 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$, pozostawała ona w bardzo szerokim zakresie od $2,43 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ w przypadku obornika pochodzącego z chowu tuczników (tab. 9), do $31,25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ w przypadku obornika z utrzymywanych krów mlecznych (tab. 8). Jeżeli dawki nawozu określono w oparciu o limit azotu $170 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ ilości te mieściły się w zakresie od $5,96 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 11) dla pomiotu do $43,59 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ dla obornika pochodzącego z chowu tuczników (tab. 9). Z punktu widzenia praktyki rolniczej bardziej istotne wydaje się porównanie jak te dwa limity będą wpływały na dawkę w obrębie tego samego nawozu naturalnego. Limit fosforu ogranicza możliwą do zastosowania dawkę nawozów naturalnych od $1,72 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ w przypadku obornika bydła opasowego (tab. 7), nawet do $32,88 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ w przypadku gnojowicy pochodzącej z chowu tuczników (tab. 10). Tylko w jednym przypadku limit azotu okazał się bardziej restrykcyjny od limitu fosforu (tab. 7).

Tabela 7

Dawki nawozu naturalnego wyliczone na podstawie limitu 170 kg N·ha⁻¹ i 25 kgP ha⁻¹ –
bydło opasowe, obornik

Kod gospodarstwa	Dawka nawozu limit P	Dawka nawozu limit N	Dawka nawozu limit P - N
	t·ha ⁻¹	t·ha ⁻¹	t·ha ⁻¹
1	25,00	22,37	2,63
2	13,16	17,71	-4,55
5	25,00	32,08	-7,08
8	16,67	21,25	-4,58
18	22,73	25,00	-2,27
22	12,50	18,89	-6,39
27	15,63	17,35	-1,72
$\bar{x}$	18,67	22,09	-3,42

Źródło: opracowanie własne

Tabela 8

Dawki nawozu naturalnego wyliczone na podstawie limitu 170 kg N·ha⁻¹ i 25 kg P·ha⁻¹ –
krowy mleczne, obornik

Kod gospodarstwa	Dawka nawozu limit P	Dawka nawozu limit N	Dawka nawozu limit P - N
	t·ha ⁻¹	t·ha ⁻¹	t·ha ⁻¹
3	31,25	41,46	-10,21
4	27,78	34,00	-6,22
7	19,23	36,17	-16,94
12	11,36	26,56	-15,20
15	11,90	25,00	-13,10
16	11,90	30,91	-19,00
17	25,00	29,31	-4,31
28	11,90	26,98	-15,08
29	13,16	23,94	-10,79
$\bar{x}$	18,17	30,48	-12,32

Źródło: opracowanie własne

Tabela 9

Dawki nawozu naturalnego wyliczone na podstawie limitu $170 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ i $25 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$ – tuczniaki, obornik

Kod gospodarstwa	Dawka nawozu limit P	Dawka nawozu limit N	Dawka nawozu limit P - N
	$\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$	$\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$	$\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$
9	12,50	15,45	-2,95
25	27,78	43,59	-15,81
26	6,58	31,48	-24,90
30	2,43	9,60	-7,18
$\bar{x}$	12,32	25,03	-12,71

Źródło: opracowanie własne

Tabela 10

Dawki nawozu naturalnego wyliczone na podstawie limitu $170 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ i $25 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$ – tuczniaki, gnojowica

Kod gospodarstwa	Dawka nawozu limit P	Dawka nawozu limit N	Dawka nawozu limit P - N
	$\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$	$\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$	$\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$
6	9,62	42,50	-32,88
14	20,83	30,36	-9,52
19	3,73	28,33	-24,60
21	20,83	30,36	-9,52
23	7,58	32,69	-25,12
24	13,89	23,61	-9,72
$\bar{x}$	12,75	31,31	-18,56

Źródło: opracowanie własne

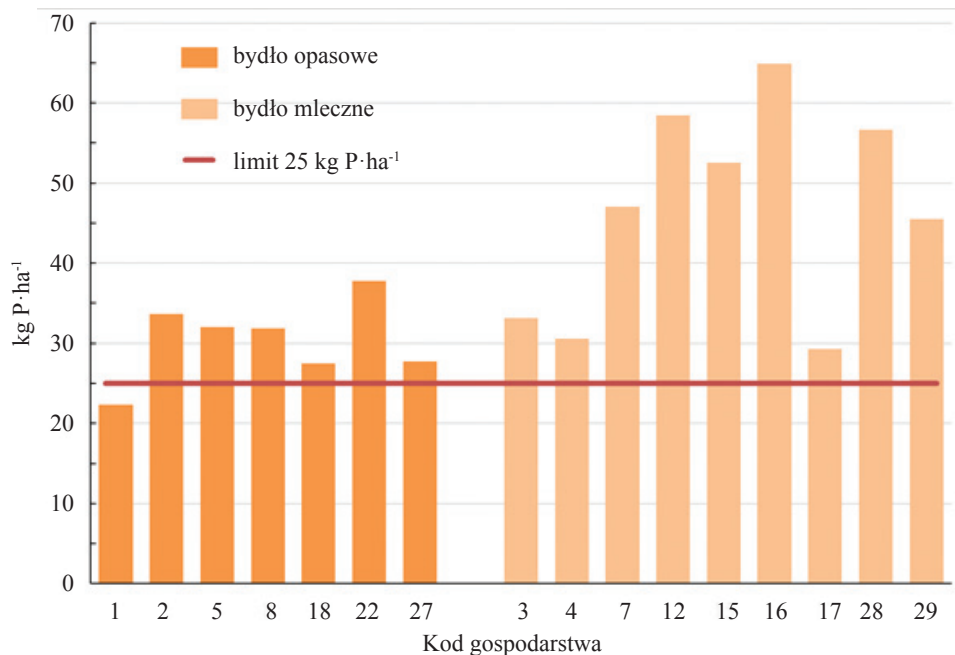
Tabela 11

Dawki nawozu naturalnego wyliczone na podstawie limitu $170 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ i $25 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$ – drób, pomiot

Kod gospodarstwa	Dawka nawozu limit P	Dawka nawozu limit N	Dawka nawozu limit P - N
	$\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$	$\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$	$\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$
10	4,03	12,06	-8,02
11	3,97	5,96	-2,00
20	3,21	10,63	-7,42
$\bar{x}$	3,74	9,55	-5,81

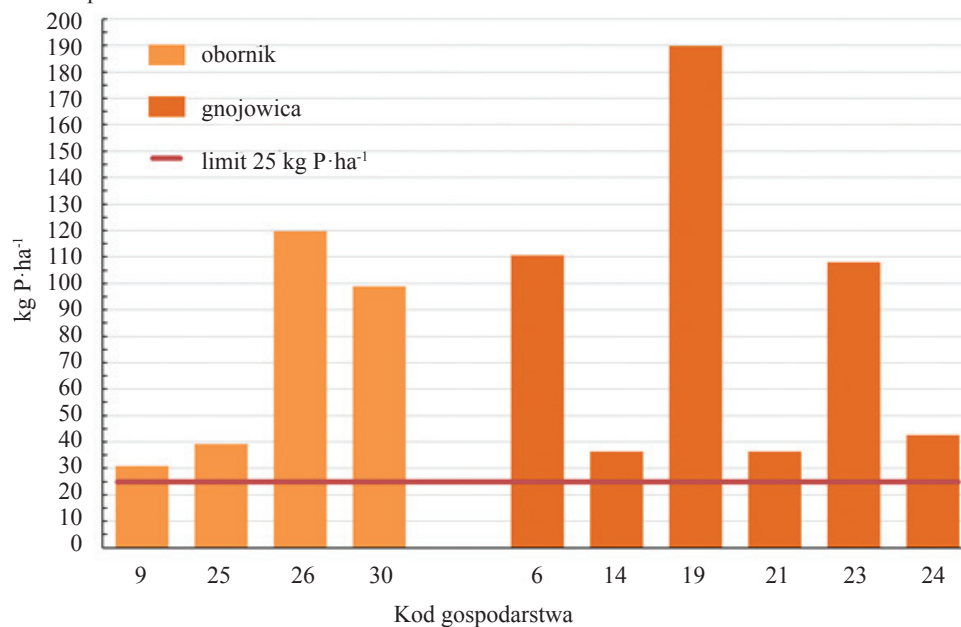
Źródło: opracowanie własne

W pracy porównano również ilość azotu i fosforu, który będzie wprowadzony wraz z dawką nawozu naturalnego określoną na podstawie limitu $170 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$, oraz limitu $25 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ (rys. 2-6), co pokazuje szacunkowe obciążenie środowiska dwoma kluczowymi pierwiastkami biogenicznymi. Analizując dane z rozpatrywanych gospodarstw, praktycznie w każdym przypadku po zastosowaniu maksymalnej dawki azotu obserwowano przekroczenie 25-kilogramowego limitu fosforu, wprowadzając ładunek P w zakresie od 27,5 do $189,8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (rys. 2, 3, 4).



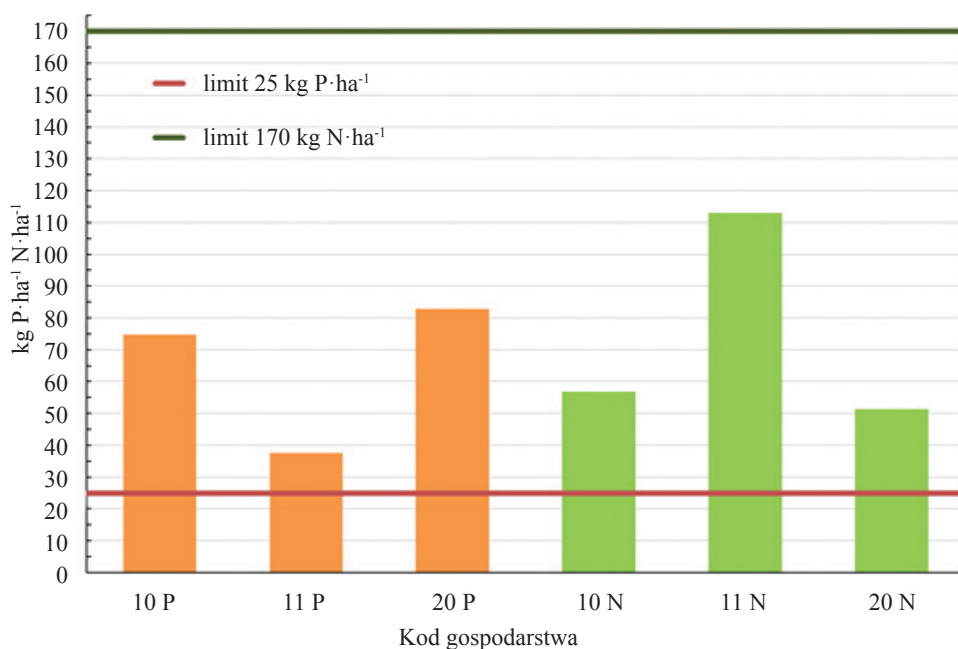
Rysunek 2. Ilość fosforu całkowitego wprowadzonego wraz z obornikiem bydła opasowego i mlecznego z różnych gospodarstw, przy wykorzystaniu maksymalnej dopuszczalnej dawki azotu (170 kg N·ha⁻¹)

Źródło: opracowanie własne



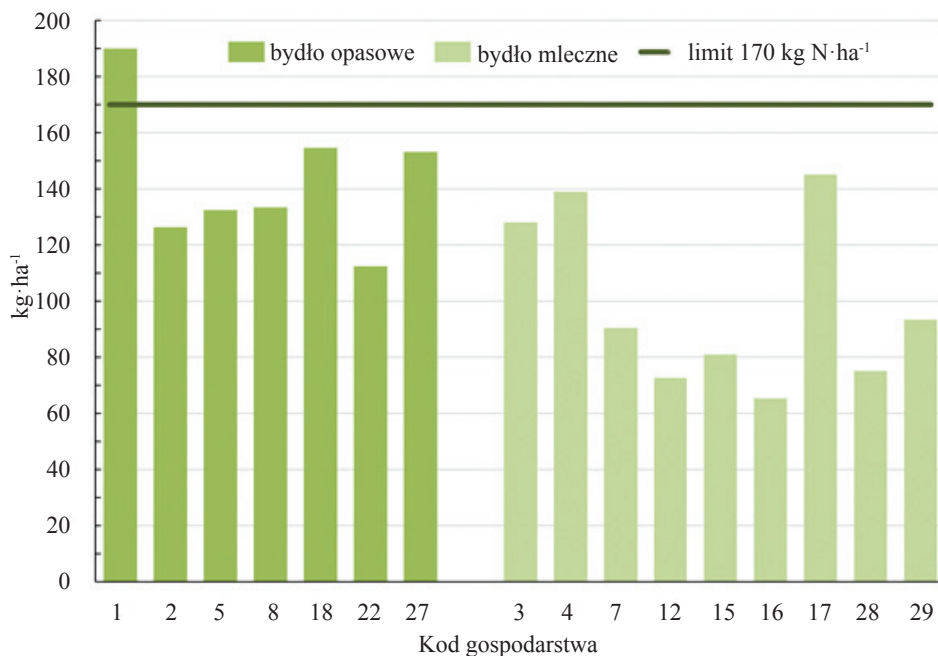
Rysunek 3. Ilość fosforu całkowitego wprowadzonego wraz z obornikiem i gnojowicą trzody chlewnej z różnych gospodarstw, przy wykorzystaniu maksymalnej dopuszczalnej dawki azotu (170 kg N·ha⁻¹)

Źródło: opracowanie własne



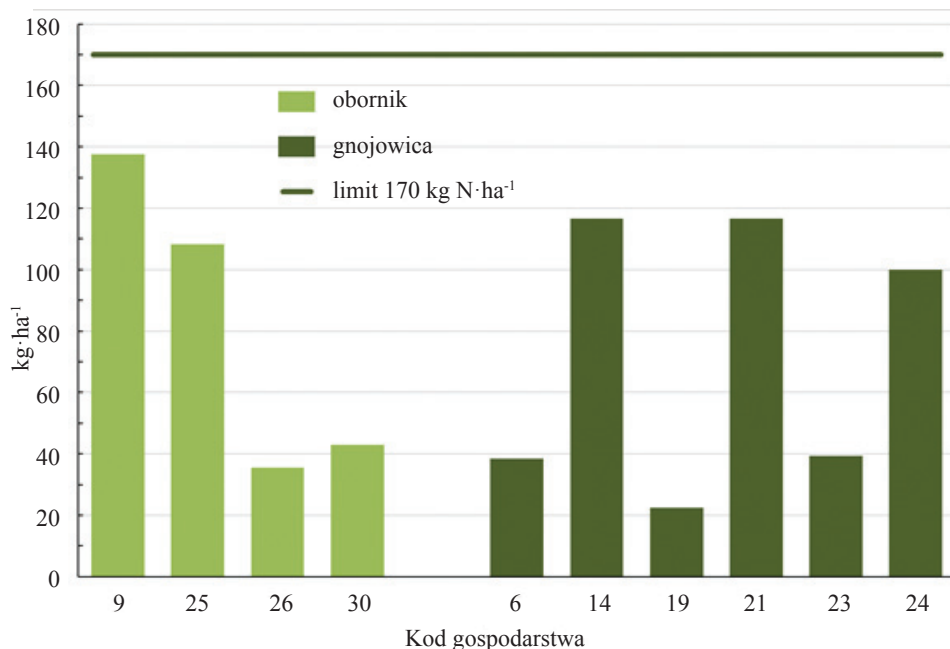
Rysunek 4. Ilość fosforu całkowitego (P) i azotu całkowitego (N) wprowadzonego wraz z pomiotem ptasim z różnych gospodarstw przy wykorzystaniu maksymalnej dopuszczalnej dawki azotu ($170 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) i fosforu ($25 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$)

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 5. Ilość azotu całkowitego wprowadzonego wraz z obornikiem bydła opasowego i mlecznego z różnych gospodarstw, przy wykorzystaniu maksymalnej dopuszczalnej dawki fosforu ($25 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$)

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 6. Ilość azotu całkowitego wprowadzonego wraz z obornikiem i gnojowicą trzody chlewnej z różnych gospodarstw, przy wykorzystaniu maksymalnej dopuszczalnej dawki fosforu ($25 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$)
 Źródło: opracowanie własne

Najmniejsze przekroczenia występowały w przypadku obornika bydła opasowego od $2,5$ do $12,8 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$, nieco większe w przypadku obornika bydła mlecznego ($4,3$ – $39,9 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$) i pomiotu ptasiego ($12,6$ – $57,9 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$). Największe natomiast obserwowano w przypadku obornika ($5,9$ – $94,6 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$) i gnojowicy pochodzących z hodowli tuczników ($11,4$ – $164,8 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$).

Analizując sytuację odwrotną, tj. gdy stosujemy limit w postaci $25 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$ (rys. 4, 5, 6) obserwujemy, że tylko w jednym przypadku - próbka obornika bydła opasowego (rys. 5) powodowała przekroczenie maksymalnej dopuszczalnej dawki azotu ($190 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$).

Wyraźnie zatem widać, że wprowadzenie limitu fosforu $25 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$ spowoduje znaczące zmniejszenie możliwej dawki nawozów naturalnych, jaką rolnik będzie mógł zastosować na swoich polach. Biorąc pod uwagę rozpatrywane w tabelach 7-11 przypadki, dawkę tę będzie należało zredukować średnio o połowę. Dużym wyzwaniem dla rolnika pozostaje kwestia zarządzania nawozami naturalnymi, ponieważ aby wykorzystać nawóz naturalny wyprodukowany w obrębie gospodarstwa niezbędne będzie posiadanie znacznie większej powierzchni pól (zgodnie z ustawą o nawozach i nawożeniu 70% nawozów musi być wykorzystana na własnych polach), eksportowanie (sprzedaż) nawozów naturalnych poza gospodarstwo czy też ich przetwarzanie lub nawet ograniczenie produkcji zwierzęcej (16). W efekcie będzie to wpływało na wzrost kosztów produkcji, jakie gospodarstwo będzie musiało ponosić na zakup stosowanych nawozów mineralnych (w celu uzupełnienia składników pokarmowych w glebie), czy też na przetwarzanie lub dystrybucję nawozów naturalnych do innych odbiorców

(paliwo, czas, logistyka). Pogorszy to też konkurencyjność gospodarstw w stosunku do krajów, w których takie limity nie będą obowiązywać i istotnie wpłynie na rynek żywnościowy Polski i Unii Europejskiej. Co więcej, sytuacja ta stoi w sprzeczności z założeniami strategii odzysku pierwiastków biogenicznych, która obecnie powstaje w Unii Europejskiej i ma na celu jak największy odzysk składników pokarmowych, przede wszystkim z nawozów naturalnych.

Podsumowanie

Racjonalne gospodarowanie nawozami naturalnymi ma istotny wpływ na kształtowanie i utrzymanie żyzności gleby. Bardzo ważne dla ochrony środowiska jest jednak przestrzeganie zasad dobrej praktyki rolniczej, a szczególną uwagę należy zwracać przy ustalaniu dawek stosowanych nawozów naturalnych, które w miarę możliwości powinny być obliczane na podstawie rzeczywistych analiz zawartości azotu i fosforu. Potwierdzają to znaczące różnice w zawartości azotu, jakie zaobserwowano w przypadku niektórych grup użytkowych zwierząt, między badanymi próbkami z nawozów naturalnych, a obowiązującymi standardami, szczególnie jeśli chodzi o obornikowy system utrzymania zwierząt. Pomimo, iż obowiązujące w Programie Azotanowym zawartości azotu w nawozach naturalnych zostały określone na podstawie dużej bazy danych w referencyjnych warunkach żywienia i utrzymania, w niedalekiej przyszłości wskazane byłoby ich uzupełnienie i aktualizowanie, żeby lepiej je dopasować do niestandardowych warunków panujących w wielu gospodarstwach.

Wprowadzenie w przyszłości dodatkowych ograniczeń w postaci bezwzględnego limitu fosforu na poziomie $25 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ w nawozach naturalnych budzi poważne wątpliwości. Jednak biorąc pod uwagę wysokie ilości fosforu wprowadzane z niektórymi nawozami naturalnymi, wyraźnie widać potrzebę ustalenia rocznej maksymalnej dawki P. Z przedstawionej analizy wynika, że powinna być ona wyznaczona, jako średnia na przestrzeni kilku lat (3-5). Umożliwiłoby to racjonalne gospodarowanie nawozami naturalnymi, stosowanie ich zgodnie z dobrą praktyką rolniczą, a jednocześnie chroniłoby środowisko przed nadmiernym obciążeniem pierwiastkami biogenicznymi

Literatura

1. Amery F., Schoumans O.: Agricultural phosphorus legislation in Europe. Merelbeke, ILVO, 2014, ss. 45.
2. Edmeades D.C.: The long-term effects of manures and fertilisers on soil productivity and quality: a review. *Nutr. Cycl. Agroecosyst*, 2003, **66**: 165–180.
3. Evanylo G., Sherony C., Spargo J., Starner D., Brosius M., Haering K.: Soil and water environmental effects of fertilizer-, manure-, and compost-based fertility practices in an organic vegetable cropping system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2008, **127**: 50–58.
4. Gonet S.S.: Rola nawozów naturalnych w obiegu węgla i azotu w środowisku glebowym. *Nawozy i Nawożenie*, 2006, **4(29)**: 11-122.
5. Król M.: Legal framework on environmental law for agricultural production in Poland. *Polityki Europejskie, Finanse i Marketing*, 2015, **13(62)**: 86-106.
6. LeMoal M., Gascuel-Odoux C., Ménesguen A., Souchon Y., Étrillard C., Levain A., Moatar F., Pannard A., Souchu P., Lefebvre A., Pinay G.: Eutrophication: A new wine in an old bottle? *Science of The Total Environment*, 2019, **651(1)**:1-11.

7. Oenema O.: Governmental policies and measures regulating nitrogen and phosphorus from animal manure in European agriculture. *J. Anim. Sci.*, 2004, **82**: 196–206.
8. Pietrzak S.: Obieg składników nawozowych w gospodarstwie rolnym – rys historyczny i współczesne podejście. *Woda Środowisko – Obszary Wiejskie*, 2003, **3**, **1(7)**: 9-24.
9. Pikuła D.: Racjonalne gospodarowanie nawozami naturalnymi i organicznymi. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2014, **37(11)**: 57-67.
10. Pikuła D.: Aspekty środowiskowe gospodarowania materią organiczną w rolnictwie. *Studia Ekonomiczne i Regionalne*, 2015, **8(2)**: 98-112.
11. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 5 czerwca 2018r. w sprawie przyjęcia „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu” (Dz.U. 2018 poz. 1339).
12. Rutkowska A., Pikuła D.: Effect of crop rotation and nitrogen fertilization on the quality and quantity of soil organic matter. *Soil Processes and Current Trends in Quality Assessment*. Intech, 2012: 249-168.
13. Sharpley A.N., Meisinger J.J., Breeuwsma A., Sims J.T., Daniel T.C., Schepers J.S.: Impacts of animal manure management on ground and surface water quality. Hatfield J.L., Stewart B.A. (Eds.) *Animal Waste Utilization: Effective Use of Manure as a Soil Resource*. Sleeping Bear Press, Boca Raton, FL, 1998: 173-242.
14. Sims J.T., Simard R.R., Joern B.C.: Phosphorus loss in agricultural drainage: historical perspective and current research. *J. Environ. Qual.*, 1998, **27**: 277-293.
15. Zavattaro L., Luca Bechini L., Carlo Grignani C., van Evert F. K., Mallast J., Spiegel H., Sandén T., Pecio A., Giráldez Cervera J. V., Guzmán G., Vanderlinden K., D’Hose T., Ruyschaert G., ten Berge H. F.M.: Agronomic effects of bovine manure: A review of long-term European field experiments. *European Journal of Agronomy*, 2017, **90**: 127–138.
16. Ustawa o nawozach i nawożeniu z dnia 10 lipca 2007 roku (Dz.U. nr 147, poz. 1033). Rozporządzenie Ministra i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. (Dz.U. z dnia 7 lipca 2008 r.) w sprawie niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu.
17. Ustawa Prawo Wodne z dnia 20 lipca 2017 r. (Dz.U. 2017 poz. 1566).
18. Walczak J., Krawczyk W., Szewczyk A., Mazur D., Pająk T., Radecki P.: Oszacowanie wielkości produkcji oraz jednostkowej zawartości azotu nawozów naturalnych, powstałych w różnych systemach utrzymania zwierząt gospodarskich w Polsce. *Instytut Zootechniki Państwowy Instytut Badawczy, Balice* 2012: 17 s.

Adres do korespondencji:

dr Piotr Skowron
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. +48 81 4786 830
e-mail: pskowron@iung.pulawy.pl

AUTOR	ORCID
Tamara Jadczyzyn	0000-0002-4755-6992
Piotr Skowron	0000-0001-5092-1447
Przemysław Tkaczyk	0000-0001-7734-1872
Damian Wach	0000-0002-5857-5654

