



Porównanie wyników bilansu fosforu w aspekcie monitorowania zanieczyszczeń ze źródeł rolniczych

Jerzy Kupiec

Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań

1. Wstęp

Jedynym narzędziem kontroli obiegu składników pokarmowych w rolnictwie stosowanym w monitoringu zanieczyszczeń pochodzących ze źródeł obszarowych jest bilans. Służy on do oceny stanu zagrożenia środowiska, w szczególności pod kątem wpływu rolnictwa na jakość wód powierzchniowych i podziemnych. Pozwala na ocenę potencjalnej wielkości strat składników z produkcji rolnej. W Europie wykorzystuje się ponad 45 różnych bilansów składników, co utrudnia ich porównanie [9, 16]. Podstawowym problemem w bilansowaniu biogenów jest różnorodność metod bilansowych. Brak standaryzacji metody oraz oceny hierarchii i stopnia ważności poszczególnych elementów branych pod uwagę zarówno po stronie przychodu jak i rozchodu powoduje, że wyniki nie są porównywalne i w pełni miarodajne. Saldo bilansu jest też podstawą sporządzania planów nawozowych, a więc niewłaściwa diagnoza prowadzić może do zachwiania ekonomicznej opłacalności produkcji i degradacji środowiska. W Polsce, jako obligatoryjny wprowadzony został bilans metodą w skali pola (MacroBil), na mocy Rozporządzenia Ministra Środowiska z 2002 r. [24]. Obowiązuje on na terenie wyznaczonych w Polsce, zgodnie z zaleceniami Dyrektywy Azotanowej [4], 19 OSN zajmują-

cych łącznie 4623,14 km². Dodatkowo na potrzeby opracowywania planów nawozowych zaleca się sporządzanie bilansu fosforu i potasu wg podobnej metodologii. Polska jako kraj członkowski OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development) od 1996 roku zobowiązana jest do wykonywania corocznych bilansów azotu, a od roku 2002 również bilansu fosforu [15].

Bilans powinien być skonstruowany w taki sposób, aby każdy rolnik mógł wykonać go samodzielnie, a każdy doradca miał możliwość szybkiej i łatwej jego weryfikacji i interpretacji. Podstawą bilansu powinny być te elementy, które rolnik może w znacznym stopniu kontrolować. Właściwe podejście metodyczne oraz odpowiedni dobór bilansu z pominięciem elementów niemających istotnego wpływu na wynik końcowy, a przysparzających dodatkowych problemów przy ich obliczaniu, pozwoli na znacznie sprawniejsze działanie służb doradczych oraz ułatwi samokontrolę gospodarowania składnikami przez rolnika. Jak twierdzą niektórzy autorzy uproszczone bilanse mogą być wygodnym narzędziem dla rolnika i doradcy służącym do oceny efektywności nawożenia pozwalającym na ograniczenie ryzyka start składników i emisji do środowiska [2].

W produkcji rolniczej wyróżnia się zasadniczo kilka typów bilansów: bilanse dotyczące wybranych działów produkcji, bilans w skali pola i w skali gospodarstwa traktujący gospodarstwo jako specyficzny ekosystem oraz bilans systemowy, wykorzystywany na potrzeby naukowe [19]. Najczęściej jednak w literaturze spotyka się bilanse mieszane bądź pewne modyfikacje daleko odbiegające od bilansów klasycznych [6]. Utrudnia to znacznie ich porównanie oraz ocenę faktycznego zagrożenia środowiska.

Celem badań była ocena przydatności wybranych typów bilansu fosforu w monitoringu zanieczyszczeń środowiska ze źródeł rolniczych oraz ocena rangi poszczególnych elementów przychodu i rozchodu i ich wpływu na saldo.

2. Materiał i metody

Do szczegółowych badań wytypowano łącznie 130 gospodarstw. 91 gospodarstw zlokalizowanych było na obszarach szczególnie narażonych (OSN) w woj. wielkopolskim, dolnośląskim i lubuskim, z tego 65 stanowiły zagrody średnioobszarowe i 26 wielkoobszarowe (głównie państwowe gospodarstwa rolne, rolnicze kombinaty spółdzielcze oraz spółki powstałe na bazie gospodarstw uspołecznionych). Pozostałe 39

gospodarstw to gospodarstwa średnioobszarowe, które znajdowały się poza strefami OSN w woj. opolskim. Wszystkie wytypowane do badań gospodarstwa charakteryzowały się zróżnicowaną wielkością, poziomem gospodarowania oraz kierunkiem produkcji. Produkcja w tych gospodarstwach realizowana była w sposób konwencjonalny. W badaniach wykorzystano dane z gospodarstw rozwojowych o minimalnej powierzchni 10 ha. W analizach pominięto gospodarstwa małe, gospodarujące ekstenzywnie bądź z zanikającą produkcją rolną, w których podstawowym źródłem dochodu była praca poza gospodarstwem, a zagroda stanowiła dodatkowe źródło dochodu lub produkcja prowadzona była wyłącznie na potrzeby własne. Badania obejmowały okres od 2002 do 2006 roku i koncentrowały się na dwóch pełnych sezonach wegetacyjnych dla każdego z gospodarstw, dla których uzyskano najbardziej kompletne i wiarygodne dane.

Korzystając ze źródeł literaturowych wybrano 10 najbardziej rozpowszechnionych bilansów - 6 w skali pola i 4 w skali gospodarstwa, stosowanych w różnych krajach europejskich (1, 14, 33, 11, 22, 21, 27, 28, 18, 20, tab. 1). Na podstawie obliczonych bilansów dokonano porównania wyników otrzymanych sald fosforu.

Źródłem danych były ankiety i kopie sprawozdań wykonywanych dla GUS charakteryzujące produkcję rolną, zebrane bezpośrednio w gospodarstwach. Część danych pochodziła z kart pól uzyskanych bezpośrednio w gminach oraz lokalnych placówkach ODR. Wykonano również badania laboratoryjne, które dotyczyły analiz chemicznych zawartości fosforu w paszach i produktach roślinnych (dodatki paszowe, części roślin, materiał nasienny). Poszczególne pozycje bilansu obliczono w oparciu o dane uzyskane w gospodarstwach oraz wskaźniki zawartości składników w różnych produktach.

Depozycja fosforu obejmowała łączne osiadanie w postaci PO_4 oraz fosforu organicznego (31, 29, 30, 10). Wielkość opadu fosforu w przeliczeniu na czysty składnik dla poszczególnych regionów badanego obszaru mieściła się w przedziale $0,07-0,41 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. Wielkość strat składnika na skutek wymycia z gleby obliczono na podstawie danych podawanych przez Roszyka i Spiak [23, cyt. za Miniejewem 1984] oraz Fotymę i Mercika [8].

Tabela 1. Elementy bilansu fosforu wg różnej metodologii stosowanej w kraju i za granicą wykorzystanej w badaniach
Table 1. Components of phosphorus balance in accordance with methodology which is used in country and abroad

Elementy bilansowe	Bilanse w skali pola			Bilanse w skali gospodarstwa						
	"net balance"	"gross balance"	"na pow. pola" OECD	klasyczny "na pow. pola"	wg Mazura i in.	MacroBil	"u wrót, OSPAR-COM	"u wrót" OECD	klasyczny "u wrót" gospodarstwa"	mieszany
A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
C			X	X	X	X			X	X
D									X	X
E			X	X	X			X	X	X
F	X		X	X	X	X	X	X		X
I									X	X
J			X	X						
K				X	X	X	X	X		
L				X		X			X	X
Rozchód										
L	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
M								X	X	X
N							X	X	X	X
O							X	X	X	X
P							X	X	X	X
R									X	X
W					X				X	X

¹ - odpady przemysłowe wykorzystywane jako pasze bądź kompostowane, zużyte podłoża ogrodnicze, popiół

Obsadę inwentarza obliczono na podstawie stanów średniorocznych zwierząt. W pracy wykorzystano współczynniki przeliczeniowe na DJP (duża jednostka przeliczeniowa) wg zaleceń Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 10 maja 2005 r. [25]. Wyliczenie jednostek umownych pozwoliło na obliczenie ilości wyprodukowanych nawozów naturalnych, a w dalszej kolejności fosforu w nich zawartego. Produkcję nawozów naturalnych obliczono wg współczynników oraz wytycznych Rozporządzenia Rady Ministrów z dn. 18 maja 2005 r. [26]. Zawartość fosforu nawozach naturalnych obliczono za Wrześniowskim i in. [32] różnicując dla poszczególnych gatunków zwierząt oraz systemu chowu.

Określenie ilości fosforu w ciałach zwierząt w przypadku ich zakupu, sprzedaży bądź upadków oraz w produktach zwierzęcych (mleko, żywiec, wełna, jaja) wykonano na podstawie dostępnych w literaturze współczynników [3, 34, 12, 13] i zalecanych przez niemieckie ośrodki doradztwa rolniczego oraz wg Elmadfa i Muskata [5].

Zawartość fosforu w plonie towarowym roślin rolniczych z gruntów ornych (ziarno, korzenie roślin okopowych, bulwy itp.), trwałych użytków zielonych oraz w plonie ubocznym (słoma zbóż i roślin motylkowych oraz motylkowatych, łęty ziemniaczane, liście buraczone, korzenie) określono na podstawie dostępnych źródeł literaturowych, tabel zawartości składników w produktach spożywczych oraz opracowań naukowych i zaleceń dla praktyki jak i analiz własnych.

3. Wyniki

3.1. Charakterystyka gospodarstw rolnych

Gospodarstwa wielkoobszarowe zlokalizowane były w 33 gminach, z czego 26 przynależało do 7 OSN na terenie woj. wielkopolskiego, dolnośląskiego i lubuskiego (rys. 1). Powierzchnia 26 wytypowanych do badań gospodarstw wielkoobszarowych mierzona w UR mieściła się w przedziale 195,0-10 887,0 ha (średnio 1604,8 ha). Udział gruntów ornych w użytkach rolnych wyniósł 86,5% ogólnej powierzchni. Obszar zajmowany przez trwałe użytki zielone wahał się w poszczególnych gospodarstwach od 12,0 do 910,0 ha i stanowił średnio 12% UR.



Rys. 1. Usytuowanie obszarów OSN, w których zlokalizowane były gospodarstwa wielkoobszarowe i średnioobszarowe woj. wielkopolskiego, lubuskiego i dolnośląskiego: 1 – Kopel, 2 – Samica Stęszewska i Mogilnica, 3 – Rów Racocki, 4 – Olszynka, 5 – Pogona i Dąbrowka, 6 – Rów Polski, 7 – Orla

Fig. 1. Localization of NVZ's in which were located large area and mid-sized farms of wielkopolskie, lubuskie and dolnoslaskie province: 1 – Kopel, 2 – Samica Stęszewska i Mogilnica, 3 – Rów Racocki, 4 – Olszynka, 5 – Pogona and Dąbrowka, 6 – Rów Polski, 7 – Orla

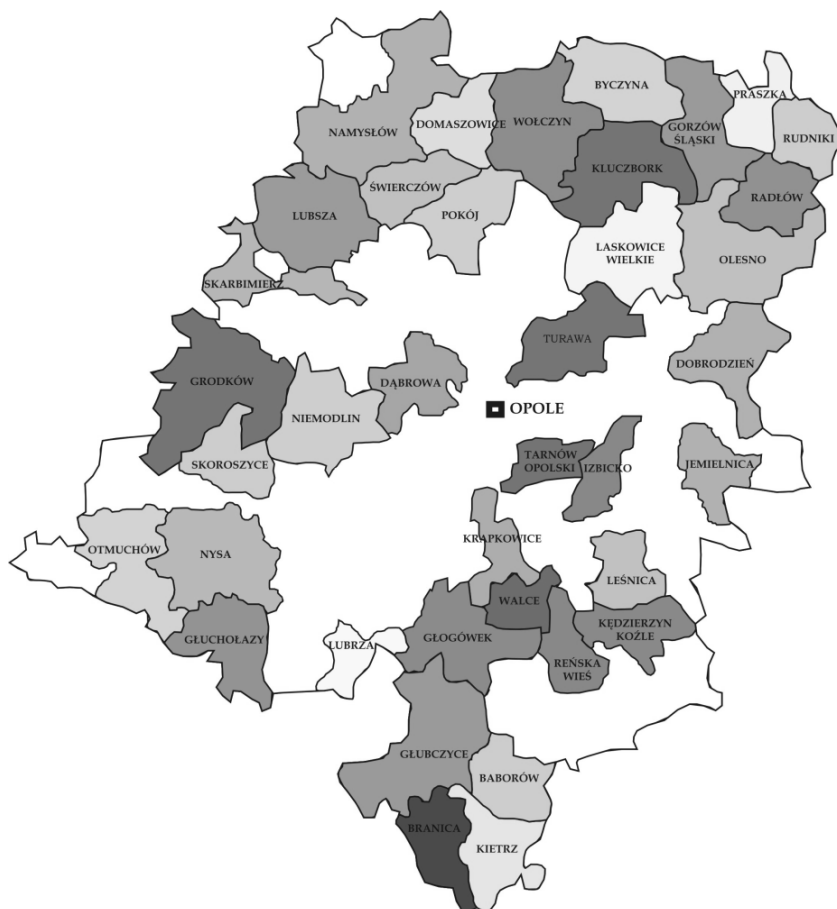
Poziom nawożenia mineralnego w badanych gospodarstwach wielkoobszarowych był wysoki. Gospodarstwa wprowadzały na 1 ha UR średnio $13,1 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$, przy wahaniach od 0 do $28,7 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$, czyli znacznie więcej niż przeciętnie w kraju i regionie. Cechą charakte-

rystyczną wszystkich wytypowanych do badań gospodarstw wielkoobszarowych było posiadanie bydła, a jego udział w strukturze inwentarza wyniósł średnio 81,4%. Ilość DJP w gospodarstwach wahała się od 0,3 do 1,2 DJP·ha⁻¹ UR (średnio 0,6 DJP·ha⁻¹ UR).

Grupa 65 gospodarstw średnioobszarowych administracyjnie przynależała do 22 gmin, z których 21 częściowo lub w całości umiejscowione były w 6 strefach OSN (rys. 1). Wielkość wytypowanych do badań gospodarstw średnioobszarowych wahała się od 10,3 do 112,0 ha UR (średnio 24,1 ha UR). W strukturze użytków rolnych dominowały grunty orne (87,4%). Trwałe użytki zielone zajmowały 12,3% powierzchni. Pozostałe 0,3% stanowiły sady i jagodniki.

Przeciętne zużycie fosforowych nawozów mineralnych w badanych gospodarstwach średnioobszarowych było dużo większe aniżeli średnio w kraju i regionach. Średnia ilość fosforu, która została wykorzystana pod uprawy wynosiła 13,6 kg P·ha⁻¹ UR, przy wahaniach od 0 do 51,3 kg P·ha⁻¹ UR. W grupie 65 badanych gospodarstw 53,8% specjalizowało się w chowie bydła mlecznego, a 43,9% w produkcji żywca wieprzowego. Porównując stan pogłowia zwierząt w gospodarstwach z produkcją mleka i żywca wieprzowego można zauważyć, że w gospodarstwach mlecznych ilość inwentarza była znacznie większa. Obsada zwierząt przypadająca na 1 ha UR w zagrodach z dominacją chowu bydła wahała się od 0,5 do 3,1 DJP·ha⁻¹ UR (średnio 1,7 DJP·ha⁻¹ UR). W 30,5% gospodarstw obsada inwentarza przekraczała zalecaną, bezpieczną dla środowiska wielkość 1,5 DJP·ha⁻¹ UR. W gospodarstwach specjalizujących się w produkcji żywca wieprzowego obsada inwentarza była znacznie mniejsza, średnio wynosiła 1,0 DJP·ha⁻¹ UR i tylko w 4 gospodarstwach przekroczyła zalecaną przez Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej wielkość 1,5 DJP·ha⁻¹ UR.

Gospodarstwa średnioobszarowe województwa opolskiego umiejscowione były w 38 gminach poza strefami OSN (rys. 2). Wielkość 39 wybranych do badań gospodarstw tego regionu wahała się od 13,9 do 248,2 ha UR. Średnia wielkość gospodarstwa wyniosła 68,4 ha, przy czym największą grupę stanowiły gospodarstwa do 50 ha.



Rys. 2. Lokalizacja gmin, w których umiejscowione były badane gospodarstwa średnioobszarowe na obszarze woj. opolskiego

Fig. 2. Location of communes in which were located investigated mid-sized farms in opolskie province

Analizowane gospodarstwa rolne cechował bardzo wysoki udział gruntów ornych (93,4%) w użytkach rolnych. Nawożenie mineralne w przeliczeniu na 1 ha UR wyniosło średnio 26,1 kg P (0-49,7 kg P·ha⁻¹ UR). W badanych gospodarstwach województwa opolskiego w strukturze zasiewów dominowały zboża (75,3%). Spośród 39 gospodarstw woj. opolskiego w 82,1% z nich prowadzona była produkcja zwierzęca. W strukturze inwentarza dominowała trzoda chlewna (56,1%). Bydło

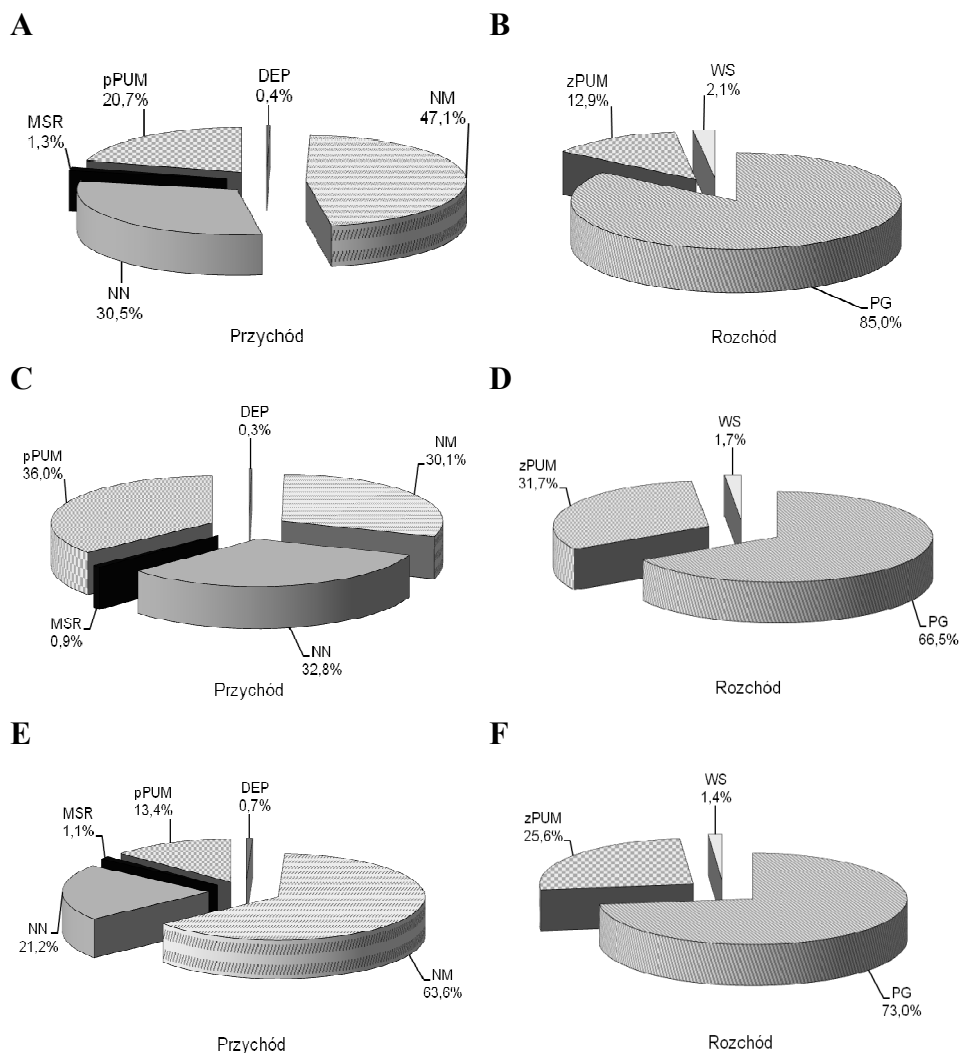
stanowiło 43,9% udziału. W zdecydowanej większości przypadków obsada zwierząt nie przekraczała maksymalnego obciążenia $1,5 \text{ DJP} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$, określonego przez Kodeks Dobrych Praktyk Rolniczych [17] jako bezpieczna dla środowiska. Tylko w jednym przypadku ilość DJP była 2,5-krotnie większa od zalecanej. Średnio na jedno gospodarstwo przypadało $0,7 \text{ DJP} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$.

3.2. Bilanse w skali pola

Bilans fosforu w skali pola obliczony różnymi metodami wykazał najwyższe wartości w przypadku dwóch typów bilansu – wykorzystywanym w narzędziu komputerowym, opracowanym przez IUNG w Puławach, zwanym MacroBil [7] i „wg Mazura i in.” (tab. 2). Salda obliczone tymi dwoma sposobami kształtują się na identycznym poziomie. Bilans „wg Mazura i in.” w porównaniu z MacroBil, obok innych elementów przychodu, bierze dodatkowo pod uwagę materiał siewny i rozmnożeniowy (MSR), a po stronie rozchodowej straty składnika poprzez wymycie z gleby (WS). Elementy te nie wpłynęły jednak znacząco na wynik bilansu z powodu bardzo małych ilości wniesionych bądź wyniesionych z pola (rys. 3 A-F). Na zawyżenie salda mogły wpłynąć przyorane resztki poźniwne (pPUM), które były charakterystyczne dla tych dwóch bilansów, a nie występowały w pozostałych bilansach w skali pola. Udział przyoranych resztek poźniwnych był dość znaczny w przychodzie i dochodził nawet do 36,0% (rys. 3 A, C, E). Bilans „na pow. pola” OECD oraz klasyczny bilans „na powierzchni pola” wykazują salda na podobnym poziomie (tab. 2). Elementy, które różnicowały te dwa typy bilansów w wielu krajach mają duże znaczenie i są stosowane w znacznych ilościach jako nawozy (osady ściekowe, kompostowana masa organiczna, odpady przemysłu spożywczego, tab. 1). W 130 badanych gospodarstwach wykorzystanie tego typu środków produkcji było marginalne, stąd też nie miało to wpływu na wielkość przychodu. Najniższe wartości liczbowe zanotowano w przypadku „gross balance” (tab. 2). Różnice pomiędzy największymi i najmniejszymi saldami w poszczególnych typach gospodarstw wynoszą od 5,8 do $17,2 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$. Wyniki wyliczone metodą „net balance” wykazały tylko nieznacznie niższe wartości w porównaniu z bilansem „na pow. pola” OECD oraz klasycznym „na powierzchni pola” (tab. 2).

Tabela 2. Porównanie sald bilansu fosforu obliczonych różnymi metodami w badanych gospodarstwach
Table 2. Comparison of phosphorus balances calculated by various methodology in surveyed farms

Wartość	Salda bilansów w skali pola [kg P·ha ⁻¹ UR]				Salda bilansów w skali gospodarstwa [kg P·ha ⁻¹ UR]					
	"net balance"	"gross balance"	"na pow. pola" OECD	klasyfikacyjny "na pow. pola"	wg MacroBil zura i in.	MacroBil	"u wrót" OSPAR-COM	"u wrót" OECD	klasyfikacyjny "u wrót gospodarstwa"	"mieszany"
Gospodarstwa wielkoobszarowe										
min.	-11,2	-11,3	-10,8	-10,8	-6,3	-6,2	-18,6	-8,6	-16,1	-15,9
maks.	20,1	19,9	20,6	20,6	25,7	25,7	16,1	23,2	26,2	26,3
średnia	0,6	0,5	1,0	1,0	6,3	6,4	-0,1	5,8	2,9	3,7
Gospodarstwa średnioobszarowe woj. wielkopolskiego i dolnośląskiego										
min.	-27,1	-27,2	-26,4	-26,4	-18,7	-18,7	-27,0	-11,7	-14,0	-14,2
maks.	36,9	35,9	36,2	36,2	73,7	73,8	74,3	87,9	111,9	90,0
średnia	3,2	2,9	3,3	3,3	20,0	20,1	2,6	12,9	17,9	16,9
Gospodarstwa średnioobszarowe woj. opolskiego										
min.	-38,7	-39,0	-38,3	-38,3	-33,3	-33,3	-20,9	-20,9	-21,1	-20,9
maks.	28,9	28,6	29,5	29,5	37,4	37,3	32,3	39,4	40,4	40,7
średnia	4,0	3,7	4,4	4,4	9,5	9,5	8,7	13,9	12,8	13,1



Rys. 3. Zestawienie elementów przychodu i rozchodu bilansu fosforu w skali pola w gospodarstwach wielkoobszarowych (A, B), średnioobszarowych woj. wielkopolskiego i dolnośląskiego (C, D) oraz średnioobszarowych woj. opolskiego (E, F)

Fig. 3. Comparison of phosphorus input and output in field scale in large area farms (A, B), mid-sized farms of wielkopolskie and dolnoslaskie provinces (C, D) and mid-sized farms of opolskie province (E, F)

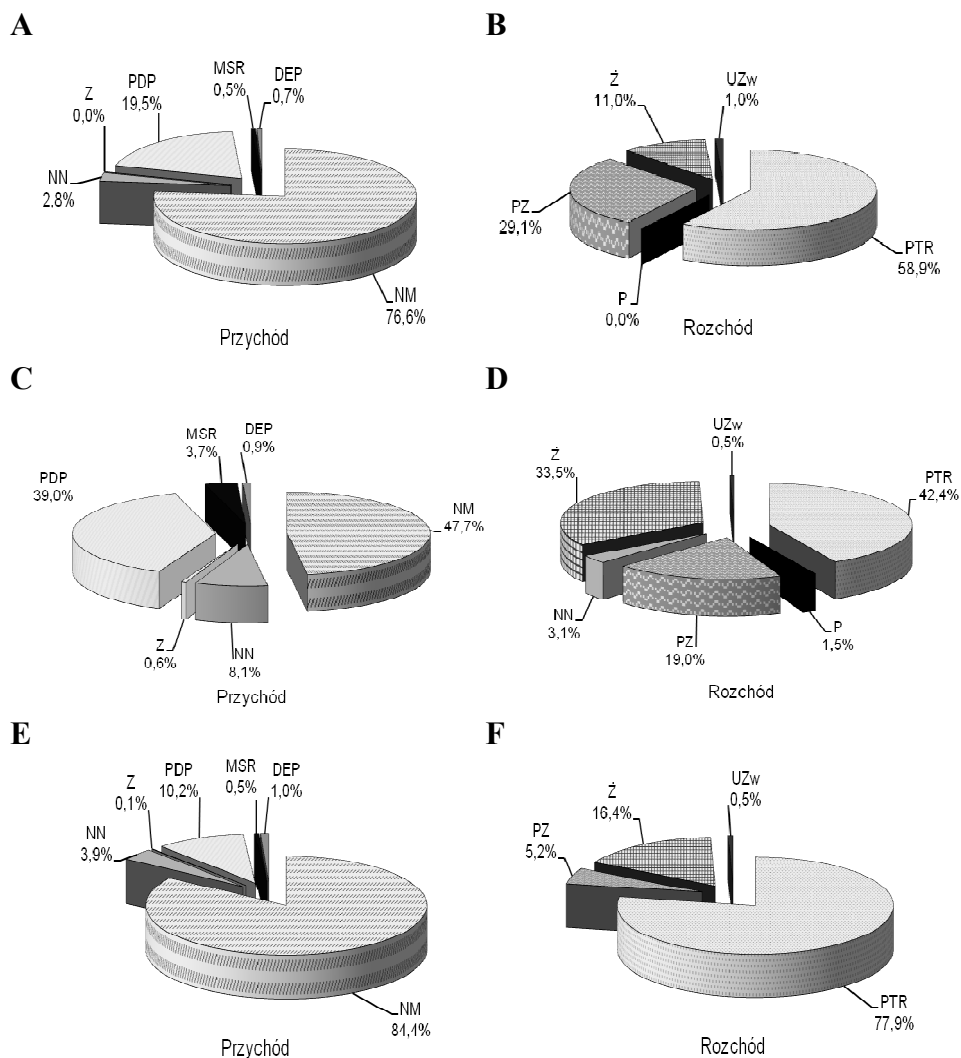
Objaśnienia do skrótów na rysunkach

DEP – depozycja z atmosfery, NM – nawozy mineralne, NN – nawozy naturalne, MSR – materiał siewny i rozmnożeniowy, pPUM – przyorany plon uboczny i międzyplony, zPUM – zebrany plon uboczny i międzyplony, PG – plony główne roślin, WS - wymycie składnika

Porównania różnych typów bilansów zarówno w Polsce jak i za granicą na większą skalę nie były do tej pory wykonywane. Porównania 3 typów bilansów podjęli się Fotyma i in. [6]. Autorzy wyliczyli 3 bilanse fosforu dla Polski - dwa w skali pola (nawozowy i poszerzony) oraz jeden w skali gospodarstwa (zwykły OECD) za okres 1996-1998 r. Różnica pomiędzy wynikami bilansu nawozowego (odpowiednik „gross balance”) i poszerzonego (odpowiednik bilansu „na pow. pola” OECD) obliczonych przez Fotymę i in. [6] była bardzo mała i kształtowała się na poziomie 1 kg. Wyniki uzyskane w niniejszych badaniach dla wszystkich gospodarstw dały zbliżone wartości nieprzekraczające 1 kg ($0,4-0,7 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$). Różnica wynikała głównie z dodatkowych elementów, które zostały policzone w bilansie OECD – nawozy organiczne (NO), materiał siewny i rozmnożeniowy (MSR) i depozycja z atmosfery (DEP). Elementy te miały nikły udział w przychodzie fosforu (rys. 3 A, C, E).

3.3. Bilanse w skali gospodarstwa

W przypadku bilansu fosforu w skali gospodarstwa brak jest jednoznacznych tendencji przy różnych metodach obliczania. Bilanse klasyczny „u wrót gospodarstwa” oraz „mieszany” kształtują się na podobnym poziomie. Różnicujące je elementy to materiał siewny i rozmnożeniowy (MSR), depozycja (DEP) oraz upadki zwierząt (UZw), co może świadczyć o tym, że nie mają one większego wpływu na wynik bilansu fosforu. Udział tych elementów po stronie przychodu i rozchodu został przedstawiony na rysunku 4 A-F. Klasyczny bilans „u wrót gospodarstwa” uwzględnia elementy przepływu składników zależne w znacznym stopniu od rolnika (zakupione i sprzedane produkty, tab. 1). Największe saldo w przypadku gospodarstw wielkoobszarowych i średnioobszarowych Opolszczyzny wykazuje bilans „u wrót” OECD. W metodologii tego bilansu praktycznie nie uwzględnia się aspektów produkcji zwierzęcej, takich jak zakupione pasze (PDP) czy sprzedane produkty zwierzęce (PZ) oraz żywiec (Ż, tab. 1). Ma to duży wpływ na wynik bilansu, ponieważ nie odzwierciedla w pełni obiegu wprowadzonych do gospodarstwa składników.



Rys. 4. Zestawienie elementów przychodu i rozchodu bilansu fosforu w skali gospodarstwa w gospodarstwach wielkoobszarowych (A, B), średnioobszarowych woj. wielkopolskiego i dolnośląskiego (C, D) oraz średnioobszarowych woj. opolskiego (E, F)

Fig. 4. Comparison of phosphorus input and output in farm scale in large area farms (A, B), mid-sized farms of wielkopolskie and dolnoslaskie provinces (C, D) and mid-sized farms of opolskie province (E, F)

Objaśnienia do skrótów na rysunkach

NM – nawozy mineralne, NN – nawozy naturalne, Z – zwierzęta na chów, PDP- pasze i dodatki paszowe, MSR – materiał siewny i rozmnożeniowy, DEP – depozycja, PTR – plon towarowy roślin, P – pasze, PZ – produkty zwierzęce, Ż – żywiec, UZw – upadki zwierząt

W zagrodach średnioobszarowych Wielkopolski i Dolnego Śląska największe nadwyżki wykazuje klasyczny bilans „u wrót gospodarstwa” oraz „mieszany”. Najmniejsze salda we wszystkich typach gospodarstw uzyskano na podstawie metodyki proponowanej przez OSPARCOM (Oslo and Paris Commission, tab. 2). Maksymalne różnice pomiędzy poszczególnymi wynikami bilansu fosforu w skali gospodarstwa w badanych typach gospodarstw wynoszą: w gospodarstwach wielkoobszarowych 3,8 kg P·ha⁻¹ UR, w średnioobszarowych woj. wielkopolskiego i dolnośląskiego 15,4 kg P·ha⁻¹ UR, w średnioobszarowych Opolszczyzny 5,2 kg P·ha⁻¹ UR.

W przypadku bilansu zwykłego OECD w skali gospodarstwa saldo wyliczone przez Fotymę i in. [6] wyniosło 5,6 kg·P ha⁻¹ UR. Podobną wartość uzyskano w niniejszych badaniach w przypadku bilansu dla gospodarstw wielkoobszarowych i jest to wartość mieszcząca się w normie. Bilans składników w aspekcie ochrony środowiska tylko teoretycznie powinien być zrównoważony. W praktyce jest to niemożliwe, ponieważ rolnictwo nie realizowałoby wówczas podstawowych celów produkcyjnych i ekonomicznych [6].

Z elementów, które miały największy wpływ na kształtowanie się salda bilansu fosforu w skali gospodarstwa można zaliczyć zakupione nawozy mineralne (NM). Ich udział w przychodzie, w poszczególnych grupach gospodarstw wahał się pomiędzy 47,7 a 76,6%. Znaczący był również udział pasz i dodatków paszowych (PDP) – 10,2-39,0% (rys. 4 A, C, E). Najmniej fosforu zostało wniesione z depozycją (DEP) (0,7-1,0%), zakupionym materiałem siewnym i rozmnożeniowym (MSR) (0,5-3,7%) oraz zakupionymi zwierzętami (Z) (0-0,6%). Cechą charakterystyczną badanych gospodarstw była bardzo mała sprzedaż pasz (P) (0-1,5%) oraz nawozów naturalnych (NN) (0-3,1%). Nikły udział w rozchodzie miały też upadki zwierząt (UZw) (rys. 4 B, D, F).

4. Wnioski

1. Bilans jest dobrym narzędziem monitoringu gospodarowania fosforem w produkcji rolniczej w aspekcie ochrony środowiska pod warunkiem odpowiedniego doboru elementów bilansu, zarówno po stronie przychodu jak i rozchodu. Nieodpowiednie zbilansowanie strony przychodowej i rozchodowej może prowadzić do zawyżania bądź zaniżania wyniku bilansu.
2. W bilansie fosforu w skali pola metody „net balance”, „gross balance”, „na powierzchni pola” OECD oraz klasyczna „na powierzchni pola” dały bardzo zbliżone wyniki. Na potrzeby monitoringu wystarczy zatem prosty i łatwy w stosowaniu bilans nawozowy („gross balance”), który uwzględnia po stronie przychodu fosfor w nawozach mineralnych i naturalnych, a po stronie rozchodu składnik wyniesiony w plonach roślin. Takie elementy jak depozycja czy zakupiony materiał siewny, które różnicowały ww. bilanse nie wpływały znacząco na saldo końcowe.
3. W przypadku bilansu fosforu w skali pola w bilansie proponowanym przez Mazura i in. oraz zastosowanym w oprogramowaniu MacroBil widać wyraźną tendencję do zawyżania wyników. Mają na to wpływ przede wszystkim przyorane plony uboczne i międzyplony, mające znaczny udział w przyroście tych składników. Jest to element trudny do oszacowania i komplikuje obliczanie bilansu. Na potrzeby monitoringu obliczanie tego elementu wydaje się być zbędne.
4. W skali gospodarstwa najbardziej właściwym dla wprowadzenia do praktyki rolniczej i monitorowania jakości środowiska pod kątem rozproszenia składników nawozowych jest klasyczny bilans „u wrót gospodarstwa”. Dla uproszczenia można zmodyfikować ten bilans poprzez wyłączenie elementów niewpływających znacząco na saldo, takich jak zakupiony materiał siewny i rozmnożeniowy, zwierzęta na chów oraz sprzedane pasze i upadki zwierząt.
5. Na wynik bilansu nie mają wpływu niektóre elementy sprzedaży, takie jak pasze czy nawozy naturalne, ze względu na brak nadwyżek tych produktów w zdecydowanej większości gospodarstw. Z martwymi zwierzętami we wszystkich badanych gospodarstwach wynoszono bardzo niewielką ilość składników. Pominięcie tych elementów nie będzie generować błędów w obliczaniu bilansu.

6. W bilansach niektóre elementy (osady ściekowe, nawozy organiczne, popiół, trociny, kora, zużyte podłoża ogrodnicze, oraz odpady przemysłu spożywczego) nie mają praktycznego znaczenia w warunkach polskich, ponieważ nie są zakupywane przez rolników. Zwierzęta na chów, materiał siewny i rozmnożeniowy, depozycja fosforu stanowiły niewielki udział w przychodzie.

Literatura

1. **Barszczewski J.:** *Wykorzystanie bilansów fosforu w doskonaleniu procesu produkcji w gospodarstwie*. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. IMUZ, Falenty, 4, 2a (11): 503-510, 2004.
2. **Burczyk P.:** *Gospodarowanie składnikami nawozowymi w gospodarstwach rolnych w otoczeniu Jeziora Miedwie*. Mat. Konf. 24-25.11.2003. IMUZ, Falenty: s.142, 2003.
3. **Dissemond H., Gomisek Y., Zessner M.:** *Landwirtschaftliche Sticstoffbilanzierung für Österreich under besonderer Berecksichtigung ihrer Einbeziehung in die Volkswirtschaft*. Die Dudenkultur, 42: 83-95, 1991.
4. Dyrektywa Rady (91/676/EWG) z dn. 12 grudnia 1991 roku dotycząca ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego. Official Journal L 375, 31/12/1991 P. <http://www.mos.gov.pl>.
5. **Elmadfa I., Muskat E.:** *Wielkie tabele kalorii i wartości odżywczych*. Muza SA Warszawa, 118 ss. 2003.
6. **Fotyma M., Igras J., Kopiński J., Głowacki M.:** *Bilans azotu, fosforu i potasu w rolnictwie polskim*. Pamiętnik Puławski, IUNG, Puławy, 120: 91-100, 2000.
7. **Fotyma M., Jadczyzyn T., Pietruch Cz.:** *System wspierania decyzji w zakresie zrównoważonej gospodarki składnikami mineralnymi MACROBIL*. Pamiętnik Puławski, IUNG, Puławy, 124: 81-89, 2001.
8. **Fotyma M., Mercik S.:** *Chemia rolna*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa: 341 ss., 1992.
9. **Gourley C. J. P; Powell J. M.; Dougherty W. J.; Weaver D. M.:** *Nutrient budgeting as an approach to improving nutrient management on Australia dairy farms*. Australian Journal of Experimental Agriculture. CSIRO Publishing. 47: 1064-1074, 2007.
10. GUS. Ochrona środowiska. Informacje i opracowania statystyczne. Zakł. Wyd. Stat., Warszawa: 522 ss., 2006.

11. **Isermann K.:** *Nitrogen and phosphorus balances in Agriculture – A comparison of several Western European Countries*. Proc. from int. conf. on „Nitrogen, Phosphorus and Organic Matter”, 13-15 May, Helsingor: 1-20, 1991.
12. **Isermann K.:** *Stickstoff-Emissionen der Landwirtschaft vor dem Hintergrund ihrer Stickstoff-bilanzen*. W: Verminderung des Stickstoffauftrags aus Landwirtschaftlich genutzten Flächen in das Grundwasser – Grundlagen und Fallbeispiele, Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau. Dtsch. Verb. Wasserwirtsch. Kult., 106: 59-94, 1994.
13. **Jamroz D.:** *Składniki mineralne*. W: Żywnienie zwierząt i paszoznawstwo (1). Fizjologiczne i biochemiczne podstawy żywienia zwierząt. Red. Kobylińska B., Zienkiewicz I. Wyd. PWN: 61-89, 2001.
14. **Kaczyńska E., Benedycka Z., Benedycki S.:** *Bilans fosforu i potasu na gruntach ornych i użytkach zielonych w gospodarstwach mlecznych*. Łąk. w Pol., PTL Poznań, 7: 129-140, 2004.
15. **Kopiński J.:** *Regionalne zróżnicowanie bilansu azotu, fosforu i potasu w rolnictwie polskim w latach 1999-2003*. Red. Lipiński W. i Fotyma M. Nawozy i nawożenie, IUNG, Puławy: 2(23): 84-93, 2005.
16. **Kupiec J.:** *Ocena bilansu składników biogenych (NPK) jako podstawy monitoringu produkcji rolnej w aspekcie ochrony środowiska*. Praca doktorska. Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu. 211 ss., 2008.
17. Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Ministerstwo Środowiska. *Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej*. (red.) Duer I., Fotyma M., Madej A., Warszawa: 112 ss., 2002.
18. OECD. *Towards sustainable development. Environmental indicators*. Paris. www.sourceoecd.org, 1998.
19. **Oenema O.:** *Nitrogen cycling and losses in agricultural systems*. W: Nitrogen cycle and balance in Polish agricultur. IMUZ Falenty: 25-43, 1999.
20. **Oenema O., Kros H., Vries W.:** *Approaches and uncertainties in nutrient budgets: implications for nutrient management and environmental policies*. Europ. J. Agronomy, 20, 3-16, 2003.
21. **Oviedo E.:** *Guidelines for calculating mineral balance. PARCOM (Oslo and Paris convention for the prevention of marine pollution)*. PRAM 95/7/6: 9 ss., 1995.
22. **Pietrzak S.:** *Metoda uproszczonego bilansowania azotu w gospodarstwie rolnym*. IMUZ, Falenty: 22 s. 1994.
23. **Roszyk E., Spiak Z.:** *Zagrożenie środowiska przez nawozy. W: Zagrożenia, ochrona i kształtowanie środowiska przyrodniczo-rolniczego*. Red. Bieszczad S., Sobota J. Wyd. AR, Wrocław: 25-43, 1999.

24. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 23 grudnia 2002 r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinny odpowiadać programy działań mających na celu ograniczenie odpływu azotu ze źródeł rolniczych. (Dz. U. nr 4, poz. 44 z dnia 15 stycznia 2003 r.).
25. Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 10 maja 2005 r. w sprawie określenia rodzajów przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko oraz szczegółowych kryteriów związanych z kwalifikowaniem przedsięwzięć do sporządzania raportu o oddziaływaniu na środowisko. (Dz. U. z 2005 r. Nr 92, poz. 769).
26. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 maja 2005b r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowych warunków i trybu udzielania pomocy finansowej na dostosowanie gospodarstw rolnych do standardów Unii Europejskiej objętej planem rozwoju obszarów wiejskich, Dz. U. Nr 93, poz. 778, 779 i 780.
27. **Sapek B.:** *Bilans azotu w gospodarstwie rolnym*. Konf. Międzyn. „Nadmiar azotu w rolnictwie czynnikiem zagrożenia zdrowia człowieka”. IMUZ, Falenty: 78-87, 1996.
28. **Szponar L., Traczyk I., Pawlik-Dobrowolski J.:** *Bilans azotu, fosforu i potasu w rolnictwie polskim*. IŻŻ, Warszawa, 80: 5-59, 1996.
29. WIOŚ. Raport o stanie środowiska w Wielkopolsce w roku 2004. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Poznań: 202 ss., 2005.
30. WIOŚ. Raport o stanie środowiska w Wielkopolsce w roku 2005. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Poznań: 208 ss. 2006.
31. WIOŚ. Stan środowiska w województwie Lubuskim w roku 2004. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Zielona, Góra-Gorzów Wlkp. <http://www.zgora.pios.gov.pl>, 2005.
32. **Wrześniowski Z., Sosnowska W., Stempel R.:** *Tabele pomocnicze do planowania rolniczej działalności gospodarczej*. Olsztyn Wydaw. ART.: ss.112, 1997.
33. **Zbierska J., Kupiec J.:** *Bilans fosforu w gospodarstwach rolnych na obszarze zlewni rzeki Samicy Sęszewskiej*. Roczn. AR, Poznań, Mel. i Inż. Środ., 365: 545-552, 2005.
34. **Zehetner A.:** *Vereinfachte gesamtbetriebliche stickstoffbilanzierung Eigenkontrolle der umweltgerechten Düngung*. Der Forderungsdienst, 40, 3: 22-23, 1992.

Comparison of Phosphorus Balance Results in Monitoring of Pollutions from Agricultural Sources

Abstract

The aim of presented paper was evaluation of selected types of phosphorus balance in environmental pollution monitoring from agricultural sources and rank estimation of elements of input and output and their influence on balance.

The survey contained data from 130 farms. 65 mid-sized and 26 large area farms were located in 7 nitrate vulnerable zones (NVZ's) in wielkopolskie, lubuskie and dolnoslaskie provinces. Leftover 39 mid-sized farms were situated in opolskie voivodship.

The surveys covered data from 2002-2006 years, two season for every farm. Data were collected directly in farms or in communes and Agricultural Advisory Centres. Large area and mid-sized farms were characterized with various types and levels of production. Mean size of selected large area farms was 1680.3 ha, mid-sized farms located in NVZ's – 24.7 ha and farms situated in opolskie province – 68.4 ha.

Using literature sources, 10 widespread phosphorus balances – 6 in field scale („net balance”, „gross balance”, „in field surface” OECD, classical „in field surface”, „under Mazur et. all”, „MacroBil”) and 4 in farm scale („at farmgate” OSPARCOM, „at farmgate” OECD, classical „at farmgate”, „mixed”) were selected to detailed analyzes.

Particular elements of phosphorus balance were calculated basing on nutrients content factors obtained from farms (labels of products – fertilizers, fodders), from literature sources and own chemical analyzes (content of nutrient in industrial fodders, seed and plant materials, crop residue). Deposition and phosphorus leaching were based on state monitoring.

The investigations have shown that phosphorus balance is a good tool of environmental monitoring if appropriate input and output elements of balance are used. Some elements of input in field scale balance such as seed material, deposition brought insignificant quantities of nutrient into field (seed material 0.9-1.3%, deposition 0.3-0.7% of input). Similar situation was in output. Share of phosphorus leaching in output showed 1.4-2.7% in particular farms.

From among studied field scale balances the highest results were noticed in „under Mazur et. all” and „MacroBil” balances. Significant influence could have ploughed crop residue. Share of this element in balance input reached even 36.0%. Methods „net balance”, „gross balance”, „on field surface” OECD, classical „on field surface” showed very similar results. On need to environmental monitoring simple and easy to amount „gross balance” could be

sufficient. This balance contains only important elements as manures, fertilizers and crops.

Analyzing farm scale balances the most proper to agricultural practice and environmental monitoring is classical „farmgate balance” because it contains element in a complete measure dependent of farmers (purchased and sold products). For simplification there is possibility to omit some elements of balance which bring on to farm or bring out from farm insignificant quantity of phosphorus (purchased seed material – 0.5-3.7% and animals – 0-0.6% of input, dead animals – 0.5-1.0%, sold fodder – 0-1.5% and manures – 0-3.1% of output).