

Kazimierz Kęsik, Tamara Jadczyzyn, Beata Jurga, Jerzy Kopiński

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

**POZIOM SZACOWANEGO ODPLYWU FOSFORU DO BAŁTYKU
A KRAJOWY BILANS TEGO SKŁADNIKA W ROLNICTWIE POLSKIM***

Słowa kluczowe: odpływ fosforu do Bałtyku, bilans fosforu w Polsce,

Wstęp

Prawidłowa ocena udziału fosforu pochodzącego ze źródeł rozproszonych w rolnictwie w kształtowaniu całkowitego stopnia zanieczyszczenia wód Bałtyku jest zadaniem trudnym i wymagającym uwzględnienia wielu czynników modyfikujących, wśród których wymienić należy m.in.: wielkość odpływu wód rzecznych, poziom retencji składnika w osadach dennych czy koncentrację różnych form P na szlaku spływu z pól uprawnych do Morza. Właściwa alokacja ładunków wymaga ponadto szczegółowych danych statystycznych: dotyczących zużycia nawozów fosforowych, naturalnych, poziomu uzyskiwanych plonów oraz wielkości zrzutów fosforu z oczyszczalni ścieków do rzek. Polskie zlewisko Bałtyku stanowią dorzecza dwu wielkich rzek: Wisły i Odry (łącznie blisko 90% powierzchni kraju) oraz relatywnie niewielka powierzchnia dorzeczy rzek Przymorza. Całkowity ładunek fosforu odprowadzany z obszaru Polski do Morza Bałtyckiego jest zatem sumą ładunków składnika zarejestrowanych w ciągu roku w stacjach pomiarowych przy ujściach tych rzek i może być konfrontowany z wielkością nadwyżki fosforu w rolnictwie określonej w skali całego kraju. Z uwagi na małą rozdzielczość dostępnych danych niezbędnych do wyliczenia bilansu składnika w rolnictwie bardzo trudna jest analiza wpływu nadwyżki fosforu w rolnictwie na jakość wód w mniejszych jednostkach administracyjnych.

Oczywiście wszelkie porównania dotyczące obszaru całej Polski mają charakter przybliżony wobec nie do końca precyzyjnych szacunków w zakresie poszczególnych składników bilansu fosforu na poziomie kraju. Również dane monitoringowe dotyczące koncentracji fosforu w wodzie nie są zbierane w sposób ciągły i mogą

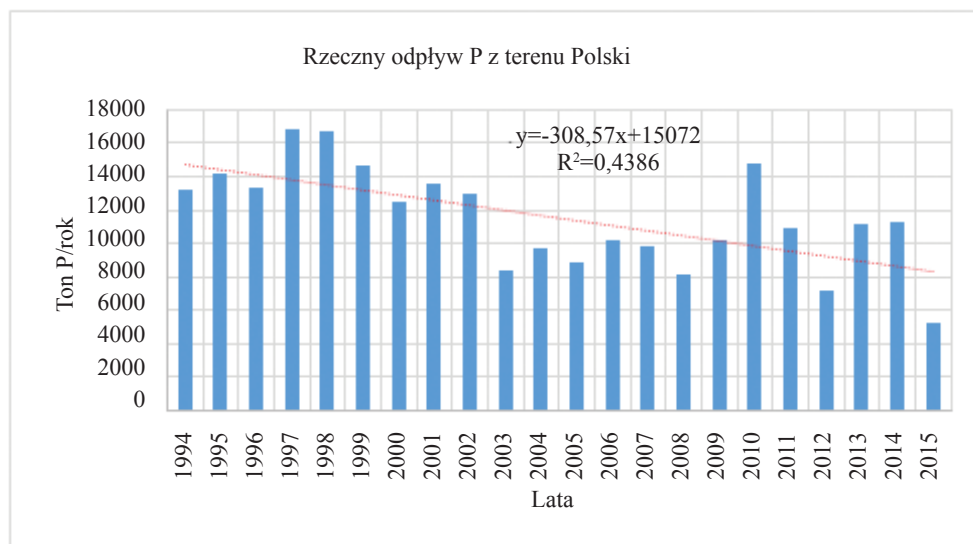
* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.6 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

być obarczone znacznym błędem. Pomimo tego zestawienie danych dotyczących poziomu rozproszenia fosforu z rolnictwa oraz wielkości emisji tego składnika do Morza Bałtyckiego dają pogląd o wpływie działalności rolniczej na stan środowiska wodnego w Polsce.

W pracy przedstawiono analizę zmian ilości fosforu emitowanego z terenu Polski do Morza Bałtyckiego oraz zmian ilości fosforu rozpraszanego z rolnictwa.

Analiza zmian odpływu fosforu do Bałtyku głównymi rzekami Polski

Roczny odpływ fosforu całkowitego (TP) z terenu Polski wszystkimi rzekami do Bałtyku w okresie od 1995 do 2015 r. szacuje się na 11445 t rocznie (dane udostępnione przez KZGW). Porównując zmienność TP w latach można zauważyć znaczące fluktuacje tego parametru w stosunkowo szerokim przedziale od 528 t do 16697 t rocznie (Rys. 1), niemniej uwidacznia się długoletni trend spadkowy. Występowanie takiego trendu potwierdzają autorzy Krajowego Programu Ochrony Wód Morskich (11). Spadek emisji fosforu do Morza Bałtyckiego w latach 1994-2012 z obszaru Polski oszacowali oni na 29% (z 13800 do 9900 t P rocznie).



Rys. 1. Ładunek fosforu całkowitego odprowadzany do Bałtyku wodami rzek z terenu Polski
Źródło: dane KZGW za okres od 1994 do 2015 roku (12)

Jednocześnie obserwuje się obniżenie emisji fosforu przez oczyszczalnie ścieków w dużych miastach (tab.1) oraz zmniejszenie zużycia fosforu w rolnictwie (w nawozach mineralnych, organicznych i naturalnych); (tab.2).

Tabela 1

Ladunek biogenów z oczyszczalni obsługujących aglomeracje, oszacowany na podstawie danych z raportów Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej

Rok	Fosfor ogólny emitowany z oczyszczalni 50 głównych miast Polski	
	tony P	2006 = 100%
2006	3324	100%
2010	2931	88%
2015	2657	80%

Źródło: KZGW, (11)

Niemniej dopływ fosforu z obszaru Polski do Morza Bałtyckiego w latach 1995-2015 jest wciąż oceniany przez ekologów jako zbyt wysoki i stwarzający potencjalne zagrożenie dla życia biologicznego w tym akwenie. Wg danych Komisji Helsińskiej (HELCOM), ładunek TP odprowadzony przez polskie rzeki i źródła punktowe stanowił w latach 2000-2006 ok. 36-37% całkowitego ładunku fosforu wnoszonego do Bałtyku drogą wodną przez wszystkie kraje nadbałtyckie (6). W związku z tym Komisja Helsińska sugeruje drastyczne (o 51%) obniżenie ładunku fosforu odprowadzanego do Bałtyku z obszaru Polski. Oczekuje się, że do roku 2021 roczny ładunek TP nie będzie przekraczał 4845 t rocznie (11). Według najnowszych badań można stwierdzić, że założone przez HELCOM redukcje są błędne, niewspółmiernie kosztowne w stosunku do możliwych korzyści i przerzucają na nasz kraj większość działań w tym obszarze (28).

Tabela 2

Zużycie fosforu w nawozach w Polsce

Rok	Nawozy mineralne, organiczne i naturalne	
	tony P	2005=100%
2006	318808	100
2010	304241	95,4
2015	263566	82,6

Źródło: Jurga i Kopiński, 2016 (11), Jurga i Kopiński, niepublikowane (10)

Odniesienie przeciętnej wartości ładunku fosforu, który w okresie 1995-2015 wynosił średniorocznie 11445 t P, do powierzchni użytków rolnych w dobrej kulturze (UR dkr) i przypisanie rolnictwu całkowitego wpływu na zanieczyszczenie wód fosforem wskazywałoby, że straty fosforu z produkcji roślinnej mogą wynosić przeciętnie ok. 0,70 kg P z 1 ha rocznie (z wahaniami od 0,37 do 1,02 kg P·ha⁻¹ w poszczególnych latach). Z ekonomicznego punktu widzenia taki poziom strat składnika nawozowego nie stanowi istotnego problemu. Dla porządku należy uwzględnić w tym miejscu fakt, że całkowita pula składnika odpływającego do morza (ilość monitorowana w stacjach pomiarowych przy ujściu Wisły i Odry) nie obejmuje pełnej emisji fosforu z terenów dorzeczy do wód powierzchniowych w Polsce. Zgodnie z najnowszymi badaniami modelowymi Pastuszek i wsp. w latach 1995-2015 (28) retencja fosforu pochodzenia rolniczego w wodach obu tych dorzeczy (głównie

w postaci osadów dennych) została obliczona na 7637 t rocznie, co wskazuje, że rzeczywista ilość fosforu rozpraszanego z rolnictwa jest większa o dodatkowe 0,47 kg P z 1 ha UR dkr. Nie zmienia to zasadniczo globalnej ekonomicznej oceny strat fosforu z rolnictwa, jednak bardzo utrudnia wycenę wpływu rolnictwa na całkowitą emisję fosforu do wód Bałtyku. Pula fosforu zdeponowanego w korytach rzek może bowiem potencjalnie zostać uruchomiona w czasie powodzi, wezbrań wiosennych lub po okresowo występujących intensywnych opadach, zakłócając tym samym relacje pomiędzy ilością bieżąco rozpraszanego fosforu z rolnictwa a całkowitą ilością tego składnika dopływającego do Morza Bałtyckiego.

Sugerowana przez HELCOM redukcja emisji fosforu z obszaru Polski wzbudza znaczny niepokój. Na razie nie ma ona jeszcze wiążącego charakteru jednak nie można wykluczyć, że po 2021 r. (docelowy rok osiągnięcia sugerowanego poziomu emisji fosforu) nie zostaną wprowadzone konkretne zalecenia dla rolnictwa polskiego.

Udział rolnictwa w rozpraszaniu fosforu do środowiska Morza Bałtyckiego

Próby oszacowania udziału rolnictwa w całkowitej emisji fosforu do Morza Bałtyckiego z terenu Polski podjęli Igras i Fotyma (7). Autorzy wykazali, że w 2006 r. całkowity dopływ fosforu do rolnictwa w Polsce w nawozach mineralnych, naturalnych oraz w innych produktach wynosił 324,4 tys. t P, podczas gdy odpływ w głównych i ubocznych produktach rolnych kształtował się na poziomie 231,4 tys t P. Różnica pomiędzy dopływem i odpływem w skali kraju wynosiła 92,5 tys. t P czyli ok. 5,8 kg P·ha⁻¹ UR dkr. Tak obliczone saldo bilansu składnika autorzy w całości określają jako pulę fosforu rozproszonego z rolnictwa. Z zestawionego przez cytowanych autorów rachunku wynika, że ok. 69,0 tys. t P (74,6% fosforu rozproszonego) pozostało na polu i ulega retencjonowaniu w glebach w formach przyswajalnych dla roślin, jak i w związkach nierozpuszczalnych stanowiących zapasową formę składnika. Około 23,5 tys. t P trafiło do wód gruntowych (25,4% rozproszonego P). Z tego na szlaku przemieszczania się wód gruntowych z pól uprawnych do rzek pozostało (wskutek wtórnej retencji) ok 9,3 tys. t P (10,0% rozproszonego P), a 14,2 tys. t P trafiło do wód rzek i jezior (15,3% rozproszonego P). Ostatecznie do Bałtyku zdaniem autorów trafiło 5,4 tys. t P (5,8% rozproszonego P) a 8,8 tys. t P (9,5% rozproszonego P) pozostało w osadach dennych rzek i jezior. Szacunki cytowanych autorów dowodzą, że obszarowe źródła rolnicze odpowiadały za 5,4 tys. t P (55,7% dopływającego fosforu do morza), a źródła punktowe (komunalne) za 2,2 tys. t (22,7% dopływającego fosforu do morza), pozostałe źródła fosforu, rozumiane jako tło naturalne, stanowiły 2,1 tys. t P (21,6% fosforu dopływającego do morza). Inną strukturę ładunku fosforu trafiającego do Bałtyku z wodami rzek w 2012 r. przedstawił KZGW (11). Uwzględniając znormalizowane przepływy wód w dorzeczach ustalono, że udział fosforu pochodzącego ze źródeł rolniczych wynosi 21- 33%, a ze źródeł komunalnych ok. 32-43%. Wyniki badań modelowych KZGW przeprowadzonych z wykorzystaniem danych z 2015 r. (12) wskazują, że udział rolnictwa w emisji fosforu

do Morza Bałtyckiego wynosił 38%, a ze źródeł komunalnych - 39%. Powyższe szacunki udziału rolnictwa w całkowitej emisji P do Bałtyku mimo różnic wskazują, że wpływ ten jest znaczący i najprawdopodobniej w przyszłości będzie się relatywnie zwiększał z racji spadającego udziału źródeł komunalnych w ogólnej ilości fosforu rozpraszanego do wód (m.in. na skutek rozwoju sieci wodno-kanalizacyjnej na obszarach wiejskich, budowy i modernizacji wielu oczyszczalni ścieków w Polsce oraz postępu technologicznego w gospodarce wodno-ściekowej).

Bilans fosforu w polowych doświadczeniach ścisłych i w gospodarstwach o różnej specjalizacji i intensywności produkcji

Zasadnicze znaczenie dla kształtowania salda bilansu fosforu ma wielkość dawek tego składnika stosowanych pod rośliny uprawne, zarówno w nawozach naturalnych jak i mineralnych (tab.3); (5, 13,14,18,19,23,25,28,31). Relatywnie wysokie dawki fosforu stosowane w rolnictwie do końca lat osiemdziesiątych wynikały przede wszystkim z przyjętej wówczas polityki rolnej, nastawionej na maksymalizację produkcji i intensyfikację nawożenia, skutkującej wysokimi dodatnimi wartościami salda bilansu fosforu. W niektórych gospodarstwach, w których stosowano dawki nawozów mineralnych na poziomie 80 kg P·ha⁻¹ saldo bilansu P (rozumiane jako różnica pomiędzy ilością zastosowanego P i ilością P pobranego z plonami roślin) przekraczało 50 kg P·ha⁻¹ corocznie (13, 14), a wg wyników prac Goska i Maćkowiaka (5, 25) w skrajnych przypadkach przekraczało nawet 100 kg P·ha⁻¹. Dominował wówczas pogląd, że w warunkach Polski straty fosforu z nawozów są znikome. Potwierdzały to wyniki doświadczeń lizymetrycznych (30), w których badacze wskazywali na niewielkie straty P zachodzące wskutek przesiąkania wody w głąb profilu gleby, pomijając jednak zupełnie aspekt erozyjnych strat P do wód.

Tabela 3

Wyniki bilansu P na powierzchni pola w wybranych doświadczeniach ścisłych
i w produkcyjnych gospodarstwach rolnych

Lata	Rodzaj nawozu / gospodarstwa	Średnie lub zakres wahań salda bilansu P kg·ha ⁻¹ rocznie	Autorzy
Doświadczenia ścisłe			
1976-1983	Nawozy mineralne	Dawki w 9 doświadczeniach Bez nawożenia P: od -29,0 do -10,0 20 kg P·ha ⁻¹ : od -9,7 do +7,3 40 kg P·ha ⁻¹ : od +9,3 do +24,0 80 kg P·ha ⁻¹ : od +46,0 do +61,3	Kęsik i Fotyma, 1990 (13)
1983-1988	Nawozy mineralne	Dawki w 9 doświadczeniach Bez nawożenia P: od -23,0 do -18,1 20 kg P·ha ⁻¹ : -4,2 do +0,2 40 kg P·ha ⁻¹ : +14,8 do +18,8 80 kg P·ha ⁻¹ : +53,7 do +57,5	Kęsik i Fotyma, 1991(14)
1985-1989	Lizymetry – nawozy mineralne	18 kg P·ha ⁻¹ : od -18,1 do -12,1 36 kg P·ha ⁻¹ : od +2,4 do +3,6 54 kg P·ha ⁻¹ : od +14,9 do +18,8	Ruszkowska i in., 1993 (30)
12 lat dośw.	Gnojowica różne dawki	od+15 do +137	Maćkowiak, 2001 (25)
1991-1998	Obornik różne dawki	od -1,9 do +27,1	Rabikowska, Piszcz, 2002 (29)

Tabela 3 cd.

1973-1999	Różne dawki: gnojowica nawozy mineralne	od -7,0 do +102,8 od -13 do +48,5	Gosek, 2002 (5)
Gospodarstwa rolne			
2000-2004	Produkcja roślinna Produkcja mleka Produkcja mięsa Produkcja mleka i mięsa	-10 do 0 -2 do +19,0 -1 do +32,0 +2 do +12	Kopiński, 2006 (18)
2003-2004	Małe - 6,8 ESU Małe II - 11,7 ESU Średnie - 27,9 ESU Duże - 51 ESU	-2,1 +13,4 +22,4 +20,7	Kopiński, 2006 (19)
2002-2006	Gospodarstwa z OSN (wielkopolskie, dolnośląskie, lubuskie)	-38,3 do +36,2	Kupiec, 2010 (23)
2008	Gospodarstwa ekologiczne Produkcja roślinna Produkcja mieszana Produkcja zwierzęca	-7,2 -4,0 +9,4	Stalenga, 2010 (32)

Po zmianach ustrojowych w 1989 r. poziom nawożenia fosforem w Polsce drastycznie się obniżył, o czym zdecydowały głównie czynniki ekonomiczne. Zaprzestano bowiem w latach dziewięćdziesiątych dotowania produkcji nawozów fosforowych, wskutek czego nastąpił gwałtowny wzrost ich cen. Zmieniło się także nastawienie do intensyfikacji nawożenia fosforem w rolnictwie wskutek doniesień wynikających z badań środowiskowych o zanieczyszczeniu wód powierzchniowych fosforanami.

Promowane obecnie zasady zrównoważonego nawożenia zakładają stosowanie nawozów w dawkach uzależnionych od zasobności gleby i potrzeb pokarmowych roślin uprawnych. Jako generalną zasadę przyjęto wyznaczanie dawek z zachowaniem zrównoważonego (zerowego) bilansu tego składnika. Dodatni wynik bilansu dopuszcza się w warunkach gleb o zasobności niskiej i bardzo niskiej, a w przypadku gleb o zasobności wysokiej i bardzo wysokiej zaleca się stosowanie dawek mniejszych niż prognozowane potrzeby pokarmowe roślin w odniesieniu do fosforu. Jednak w praktyce często producenci nadal preferują maksymalizację plonu i intensywne nawożenie. Świadczą o tym wyniki badań ankietowych Kęsika i in. (15, 16) obejmujące gospodarstwa współpracujące z ośrodkami doradztwa rolniczego w Polsce (ponad 4000 ankiet z gospodarstw charakteryzujących się wyższym poziomem produkcji niż przeciętne gospodarstwa). Analiza ww. ankiet pokazała, że w produkcji zbóż ankietowani rolnicy stosowali przeciętnie o ponad 7 kg P·ha⁻¹ więcej niż wynikałoby to z zaleceń nawozowych IUNG-PIB. Ponadto, badane gospodarstwa nie uwzględniały fosforu wnoszonego w nawozach naturalnych przy ustalaniu dawki nawozów mineralnych, co zaniżało uzyskane wyniki salda bilansu, czyli rzeczywista nadwyżka bilansowa fosforu była jeszcze większa.

Problemy z nadmiernym dodatnim saldem fosforu występują najczęściej w gospodarstwach nastawionych na intensywną produkcję zwierzęcą. Import do gospodarstwa pasz treściwych o dużej zawartości składników pokarmowych powoduje, że występują w nich znaczne nadwyżki pierwiastków biogenicznych (N i P). Zestawione w tabeli 4 wyniki bilansu fosforu pokazują, że w gospodarstwach prowadzących produkcję zwierzęcą nadwyżki bilansowe mogą przekraczać $20 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}$ (18, 19, 23). Nawet w gospodarstwach ekologicznych, powszechnie uznawanych za prowadzące precyzyjną gospodarkę składnikami nawozowymi, w produkcji zwierzęcej istnieje ryzyko wystąpienia znaczących dodatnich wartości salda fosforu (32).

Problem nadmiaru składnika w produkcji zwierzęcej wiąże się także z wysokimi kosztami aplikacji nawozów naturalnych i nasila się szczególnie, gdy droga transportu do pól jest wydłużona. Dlatego w gospodarstwach nastawionych na produkcję zwierzęcą obciążenie pól ładunkiem fosforu pochodzącym z nawozów naturalnych jest zwykle nierównomierne. Największe ładunki fosforu trafiają na pola leżące blisko gospodarstwa. Przedstawione dane wskazują, że istnieje potrzeba wyznaczenia dla gospodarstw prowadzących produkcję zwierzęcą limitów salda bilansu fosforu na wzór ograniczenia jakie postawiono wobec azotu. Maksymalna dawka tego składnika pochodzącego z nawozów naturalnych nie może przekraczać $170 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ rocznie. Limit ten ogranicza pośrednio także ilość wnoszonego fosforu jednak w odniesieniu do nawozów naturalnych o relatywnie wysokich koncentracjach fosforu (pomiót ptasi, gnojowica świńska) wydaje się on jednak niewystarczający z uwagi na kumulację tego składnika w wierzchniej warstwie gleby. Kupiec (23) przytacza wartości referencyjne dla salda bilansu fosforu liczonego „metodą na powierzchni pola wg procedury OECD” w Nowej Zelandii, gdzie saldo poniżej $+20 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}$ uznano za bezpieczne, zaś saldo powyżej $+30 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}$ jako niebezpieczne, mające istotny wpływ na nagromadzenie się form przyswajalnych w glebie i w konsekwencji negatywnie oddziaływujące na środowisko wodne. Zdaniem autorów w warunkach Polski również potrzebne wydaje się wprowadzenie dopuszczalnego salda fosforu, ale w dalszej perspektywie celowym byłoby wprowadzenie także innych wskaźników charakteryzujących skumulowany wpływ wysokiego dodatniego salda bilansu fosforu. Interesującym pod tym względem wydaje się wskaźnik P-saturation, który określa poziom akumulacji fosforu w glebie i stopień wysycenia zdolności sorpcyjnych gleby względem tego składnika (17).

Bilans fosforu na poziomie kraju

Systematyczne bilansowanie fosforu w rolnictwie polskim rozpoczęto na początku obecnego wieku (tab. 4). Natomiast pierwsze prace obejmują okres końca lat dziewięćdziesiątych. Obliczone wówczas saldo bilansu dla wielu województw było ujemne, a na poziomie kraju przyjmowało wartości dodatnie (nie przekraczające $+3 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}$ rocznie). W następnych latach wartości salda bilansu P podlegały pewnym wahaniom spowodowanym zmianami cen nawozów, poziomem produkcji zwierzęcej

oraz wielkością uzyskiwanych plonów. Przeciętne wartości dla całego kraju mieściły się w przedziale od +2,4 do +6,0 kg P·ha⁻¹, a w poszczególnych województwach od -2,3 do +14,5 kg P·ha⁻¹. Dane te obarczone są jednak dużym błędem bowiem obejmują różne okresy, a ponadto stosowano wówczas niejednorodną metodykę obliczeń. Wyczerpujące studium na temat metodyk obliczania bilansów azotu i fosforu można znaleźć u Kupca (24). W Polsce, należącej od 1996 r., do OECD bilanse fosforu w skali kraju (NUTS-1) i województw (NUTS-2) wg uzgodnionej jednolitej metodyki (26) są obligatoryjnie wykonywane i corocznie raportowane. W metodzie tej po stronie przychodów uwzględnia się ilość kładnika aplikowanego w formie nawozów mineralnych i naturalnych oraz dostarczanego do gleby w materiale siewnym i innych częściach roślin, zaś po stronie rozchodów uwzględnia się ilość fosforu w plonach głównych roślin zbieranych z gruntów ornych i użytków zielonych oraz, w dających się określić, zbieranych plonach ubocznych.

W związku z powyższym miarodajne dla oceny zmian wielkości salda fosforu w czasie wydają się wyliczenia Jurgi i Kopińskiego (10) wykonane wg jednolitej metody w dłuższym okresie (Rys. 5). Z uwagi na zmieniającą się powierzchnię użytków rolnych bardziej miarodajnym wskaźnikiem wydaje się globalna wielkość salda niż wartość przeliczona na jednostkę powierzchni UR.

Tabela 4

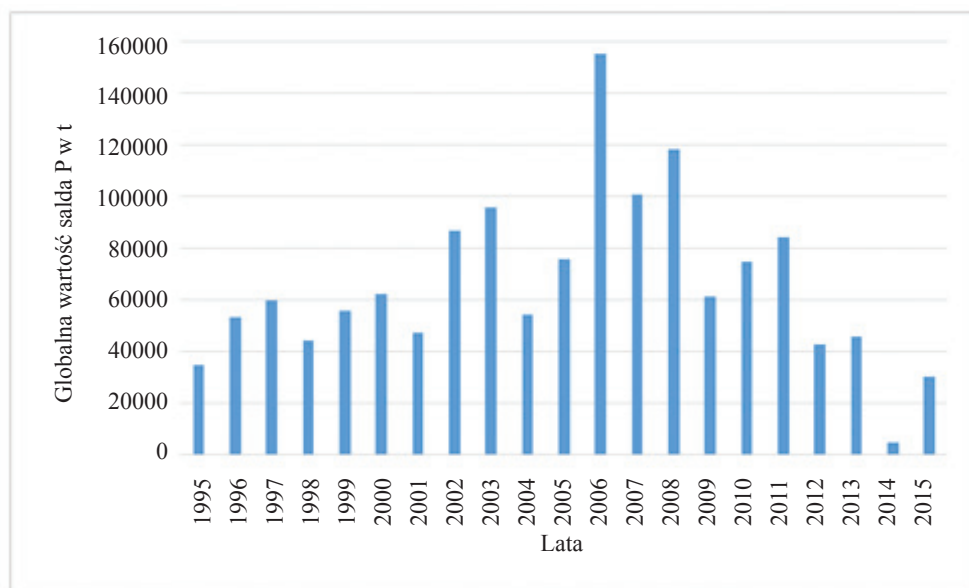
Wyniki bilansu fosforu brutto (tzw. bilans na powierzchni pola) dla Polski
wyliczone dla lat 1996-2014 na podstawie danych GUS

Oceniane lata	Średnie saldo bilansu P kg·ha ⁻¹	Zakres wahań salda dla województw	Autorzy
1996-1998	+0,7	-	Fotyma i in., 2000 (1)
1996-1998	+0,3	-	Fotyma, 2000 (2)
1999	+1,4	-	Igras i Kopiński, 2001 (8)
1999-2001	+2,7	-1,3 do +8,0	Fotyma, 2002 (3)
2002-2005	+2,5	-2,3 do +5,9	Tujaka, 2007 (34)
2002-2005	+2,4	-2,3 do +9,4	Fotyma i in., 2009 (4)
2007	+6,0	+1,0 do +12,0	Wrzaszcz, 2009 (36)*
2002-2007	+3,7	-1,7 do +13,3	Kopiński i Tujaka, 2009 (20)
2002-2008	+3,9	-1,0 do +14,5	Tujaka, 2010 (35)
2005-2009	+5,0	+1,3 do +11,6	Kopiński i Tujaka, 2010 (21)
2010	+3,8	-	Toczyński i in., 2013 (33)*
2002-2004 2012-2014	+5,0 +2,5	- -1,9 do +6,2	Jurga i Kopiński, 2016 (9)
2014	+0,8	-	Kopiński, 2016 (22)

*dane spisu rolnego w 2007 i 2010 r.

Roczne wartości salda bilansu fosforu wyliczone dla okresu 1995-2015, charakteryzowały się dużą zmiennością, jednak zawsze były to wartości dodatnie.

Można poza tym zauważyć charakterystyczne dwa okresy: od 1995 do 2006 roku, gdzie obserwuje się trend wzrostowy oraz okres po 2006 roku, gdzie występuje tendencja spadkowa. Trend spadkowy po 2006 roku wynika zdaniem autorów ze wzrostu produktywności roślin uprawnych (zwiększone wynoszenie P z plonami) oraz malejącego pogłowia zwierząt gospodarskich w Polsce.



Rys. 5. Zmienność rocznych wartości salda bilansu fosforu w Polsce w latach 1995-2015 liczonego dla całej powierzchni UR w dobrej kulturze

Źródło: Jurgi i Kopińskiego, niepublikowane (10)

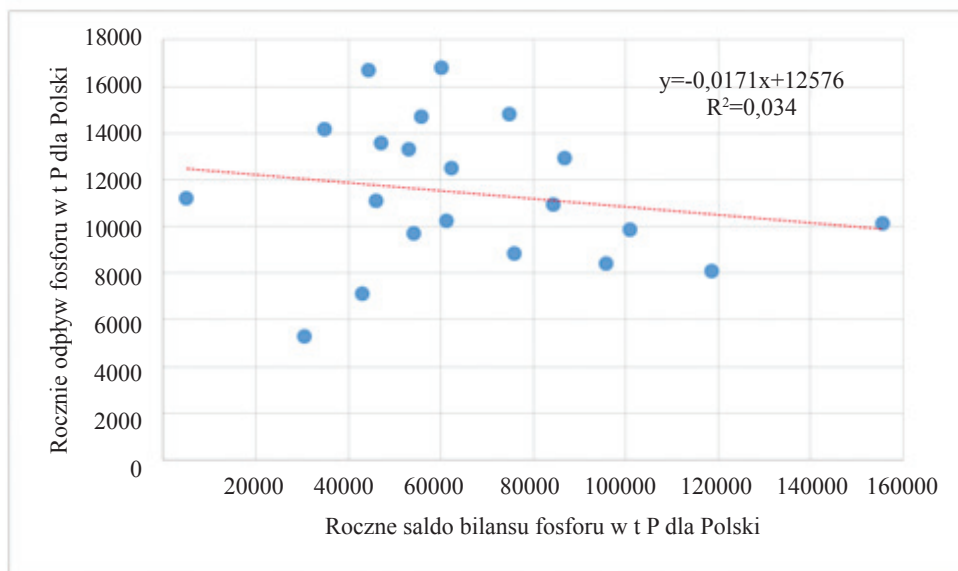
Dane zamieszczone zarówno w tab. 4., jak i na rys. 5. wskazują, że pewne ilości fosforu ulegają rozproszeniu z rolnictwa do środowiska. Nadwyżka fosforu w rolnictwie (66189 t P rocznie) jest ok. 6 krotnie większa od ilości składnika odprowadzanego z wodami rzek wpadających do Bałtyku (11445 t P rocznie).

To oznacza, że zasadnicza część rozpraszanego fosforu podlega retencji w glebach i pozostaje na polach, powiększając zasoby glebowe składnika dostępnego dla roślin uprawnych, ale także może stanowić potencjalne źródło zasilające wody powierzchniowe w latach następnych.

Zależność wielkości rocznych odpływów fosforu wodami rzek od wielkości salda fosforu w rolnictwie

Porównując trend zmian rocznego globalnego salda fosforu w rolnictwie w latach 1995-2015 oraz trend analogicznych zmian rocznego odpływu fosforu rzekami do Bałtyku (rys. 1. i 5.) nie można zaobserwować wyraźnej wzajemnej korelacji. Potwierdza

to także bezpośrednio zestawienie tych wartości na rysunku 6. Zależność regresyjna pomiędzy wzmiankowanymi parametrami wykazuje wprawdzie słabą korelację, co jednak nie musi świadczyć o braku związku przyczynowo skutkowego pomiędzy ilością rozpraszanego fosforu w rolnictwie a ilością składnika odprowadzanego do morza. Wskazuje mimo to na brak związku pomiędzy stosowanym nawożeniem i emisją fosforu do Bałtyku zachodzącą w tym samym roku. Należy spodziewać się, że efekt oddziaływania jest tu przesunięty w czasie i może ujawnić się w sposób skumulowany, zwłaszcza w sytuacji występowania silnych zdarzeń hydrologicznych. Wydaje się to uzasadnione z uwagi na małą mobilność różnych form fosforu w glebie. Zdeponowane w środowisku glebowym zasoby składnika z nawozów mogą zostać uwolnione do wód po uzyskaniu określonego stopnia wysycenia gleby tym składnikiem. W związku z tym zwiększonej emisji fosforu można spodziewać się po upływie kilku lub kilkunastu lat po aplikacji nawozów.



Rys. 6. Zależność wielkości rocznego ładunku P odprowadzonego do Bałtyku od wartości salda bilansu P dla Polski w rolnictwie

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Jurgi i Kopińskiego (10) oraz KZGW za okres od 1995 do 2015 roku (12).

Podsumowanie

Analiza zużycia przez rolnictwo środków produkcji zawierających fosfor (nawozy, pasze, inne) jak i odpływu całkowitej ilości tego składnika z wodami rzek wpadających do Bałtyku z obszaru Polski wskazuje na tendencje spadkowe w ostatnich latach. Równocześnie wielkość nadwyżki (dodatniego salda bilansu) fosforu w części gospodarstw rolnych, szczególnie prowadzących produkcję zwierzęcą, wskazuje na

nagromadzanie tego składnika w glebach uprawnych. W skali kraju obserwuje się wzrost procentowego udziału gleb o wysokiej i bardzo wysokiej zawartości fosforu, szczególnie odnosi się to do użytków rolnych w dobrej kulturze. Wskazuje to na potrzebę ciągłego monitorowania wielkości salda fosforu w rolnictwie oraz odpływu składnika rzekami do Bałtyku pomimo braku korelacji pomiędzy rocznymi wartościami obu parametrów. Stosunkowo niewielka zmienność przeciętnego rocznego odpływu fosforu wodami rzek wpadającymi do Bałtyku oraz istotna statystycznie zależność wielkości tego odpływu od ilości spływających wód jest wynikiem małej ruchliwości geochemicznej fosforu.

Dużym wyzwaniem dla organów zarządzających rolnictwem oraz dla administracji szczebla lokalnego są gospodarstwa prowadzące intensywną produkcję zwierzęcą, gdzie utrzymanie zrównoważonego bilansu fosforu staje się problemem środowiskowym i ekonomicznym. Dane monitoringu prowadzonego przez okręgowe stacje chemiczno-rolnicze pod merytorycznym nadzorem IUNG-PIB na polach z gospodarstw zlokalizowanych na obszarach szczególnie narażonych (OSN), gdzie udział gospodarstw o relatywnie wysokiej obsadzie zwierząt jest większy niż na pozostałym obszarze kraju, wskazują na wzrost stężenia fosforu fosforanowego w wodach drenarskich przy jednoczesnym zwiększeniu zasobności gleb w fosfor. Obowiązujący zgodnie z ustawą prawo wodne limit dopuszczalnej rocznej dawki nawozów naturalnych tak, aby nie została przekroczona granica $170 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ rocznie w odniesieniu do fosforu nie stanowi dostatecznego zabezpieczenia ze względu na zróżnicowany skład chemiczny tych nawozów. Celowe wydaje się zatem wprowadzenie dodatkowego parametru do oceny stopnia wysycenia gleby fosforem zwłaszcza w odniesieniu do gospodarstw prowadzących intensywną produkcję zwierzęcą.

Literatura

1. Fotyma M., Igras J., Kopiński J., Głowacki M.: Bilans azotu, fosforu i potasu w rolnictwie polskim. Pamiętnik Puławski, 2000, **120**: 91-99.
2. Fotyma M., 2000. Gospodarka nawozowa w Polsce w latach 1990-1999. Nawozy i Nawożenie **5**: 7-17.
3. Fotyma M.: Zrównoważona gospodarka fosforem w rolnictwie polskim. Nawozy i Nawożenie, 2002, **13**: 160-172.
4. Fotyma M., Igras J., Kopiński J.: Produkcyjne i środowiskowe uwarunkowania gospodarki nawozowej w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2009, **14**: 187-206.
5. Gosek S.: Bilans i przemieszczanie fosforu w profilu gleby nawożonej gnojowicą i nawozami mineralnymi. Nawozy i Nawożenie, 2002, **13**: 124-128.
6. HELCOM, Fifth Baltic Sea Pollution Load Compilation (PLC-5). Baltic Sea Environmental Proceeding, 2011, **128**: 1-217.
7. Igras J., Fotyma M.: Wykorzystanie i straty obszarowe fosforu z polowej produkcji roślinnej. 163-196, w: Igras J., Pastuszek M. (red.). Udział polskiego rolnictwa w emisji związków azotu i fosforu do Bałtyku. IUNG-PIB, 2009.
8. Igras J., Kopiński J.: Regionalne zróżnicowanie bilansu składników pokarmowych w rolnictwie polskim. Pamiętnik Puławski, 2001, **124**: 187-195.
9. Jurga B., Kopiński J.: Bilanse azotu i fosforu jako wskaźniki oddziaływania rolnictwa na środowisko. Studia iRaporty IUNG-PIB, 2016, **47(1)**: 125-138.

10. Jurga B., Kopiński J.: Bilans fosforu brutto jako wskaźnik oddziaływania rolnictwa na środowisko. Raport wysłany do EUROSTATU, 2018 (stan na 22.10.2018 niepublikowane, tytuł roboczy)
11. Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, 2016. KPOWM Krajowy Program Ochrony Wód Morskich – Raport do Komisji Europejskiej. KZGW – Warszawa, 2016.
12. Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, 2017. Opracowanie analizy presji i oddziaływań, w tym antropogenicznych, pochodzenia lądowego na wody morskie. KZGW – Warszawa, 2017.
13. Kęsik K., Fotyma M.: Reakcja roślin i członów zmianowań na coroczne i skomasowane nawożenie fosforem. Wydawnictwa IUNG, 1990 seria **S(69)**, ss. 46.
14. Kęsik K., Fotyma M.: Działanie następcze nawozów fosforowych. Wydawnictwa IUNG, 1991, seria **S(74)**, ss. 56.
15. Kęsik K., Krasowicz S., Zarychta M.: Dawki NPK stosowane w praktyce rolniczej pod zboża jare na tle zaleceń nawozowych. Nawozy i Nawożenie, 2010, **41**: 51-98.
16. Kęsik K., Krasowicz S., Zarychta M.: Dawki NPK stosowane w praktyce rolniczej pod zboża ozime na tle zaleceń nawozowych. Nawozy i Nawożenie, 2011, **44**: 51-96.
17. Kęsik K., Lipiński W., Jadczyzyn T., Boreczek B., Jurga B., Bochniarz A.: Metodyka oznaczania fosforu aktywnego w glebie w wyciągu chlorku wapnia oraz wyznaczania stopnia wysycenia gleb fosforem P-saturation. Instrukcja wdrożeniowa IUNG-PIB, 2015, **233**, ss. 12.
18. Kopiński J. Porównanie wybranych gospodarstw rolnych o różnych kierunkach produkcji w zakresie gospodarowania składnikami nawozowymi. Pam. Puł., 2006, **142**: 187-199.
19. Kopiński J.: Ocena efektów produkcyjno-ekonomicznych wybranych gospodarstw rolnych o różnej wielkości ekonomicznej w aspekcie rozwoju zrównoważonego. Stow. Ekon. Rol. i Agrob. – Roczn. Nauk., 2006, **VIII(1)**: 85-89.
20. Kopiński J., Tujaka A.: Bilanse azotu i fosforu w rolnictwie polskim. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 2009, **9(4)**: 103-116.
21. Kopiński J., Tujaka A.: Bilans azotu, fosforu i potasu w rolnictwie polskim w latach 2005-2009. Nawozy i Nawożenie, 2010, **41**: 120-132.
22. Kopiński J.: Ocena gospodarowania fosforem w procesie produkcji rolniczej na poziomie NUTS-0, NUTS-2. Stow. Ekon. Rol. i Agrob.-Roczn. Nauk., 2016, **XVIII(1)**: 131-137.
23. Kupiec J.: Porównanie bilansu fosforu w aspekcie monitorowania zanieczyszczeń ze źródeł rolniczych. Rocznik Ochrona Środowiska, 2010, **12**: 785-804.
24. Kupiec J.: Przegląd metod bilansowania makroskładników NPK w produkcji rolnej. Inżynieria i Ochrona Środowiska 2015, **18(3)**: 323-342.
25. Maćkowiak C.: Bilans fosforu przy wieloletnim obciążeniu gleby gnojowicą. Zesz. Prob. Pos. Nauk Rol., 2001, **475**: 209-213.
26. OECD. 2006. Environmental Indicators for Agriculture 4: 1-20. Paris: OECD Publication Service.
27. Pastuszak M., Zalewski M., Wodzinowski T, Pawlikowski K., 2016. Eutrofizacja w Morzu Bałtyckim – konieczność holistycznego podejścia do problemu. 95-lecie Morskiego Instytutu Rybackiego: aktualne tematy badań naukowych. T. II – Stan środowiska południowego Bałtyku: 13-44
28. Pastuszak M., Kowalkowski T., Kopiński J., Doroszewski A., Jurga B., Boguszewski B.: Long-term changes in nitrogen and phosphorus emission into the Vistula and Oder catchments (Poland) – modeling (MONERIS) studies, 2018, opracowanie w druku.
29. Rabikowska B., Piszcz U.: Bilans fosforu w warunkach długoletniego nawożenia obornikiem i azotem mineralnym. Nawozy i Nawożenie, 2002, **13**: 149-159.
30. Ruszkowska M., Rębowska Z., Sykut S., Kusio M.: Bilans składników pokarmowych w doświadczeniu lizymetrycznym (1985-1989). I. Bilans azotu, fosforu i potasu. Pam. Puł., 1993, **103**: 57-77.
31. Smoroń S., Twardy S., Kuźniar A.: Bilans azotu i fosforu w rolniczych obszarach karpaccich o niekorzystnych warunkach gospodarowania. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 2010, **10(4)**: 225-236.
32. Stalenga J.: Ocena stanu zrównoważenia gospodarki nawozowej w wybranych gospodarstwach ekologicznych w rejonie Brodnicy. J. Res. Appl. Agric. Eng., 2010, **55(4)**: 117-120.

-
33. Toczyński T., Wrzaszcz W., Zegar J.S.: Zrównoważenie polskiego rolnictwa, Powszechny Spis Rolny 2010, Warszawa, 2013, <http://www.stat.gov.pl>
 34. Tujaka A. 2007. Krajowy bilans fosforu w ujęciu regionalnym. Studia i Raporty IUNG-PIB, **5**: 133-139.
 35. Tujaka A.: Bilans fosforu na różnych poziomach integracji przestrzennej. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2010, **21**: 77-86.
 36. Wrzaszcz W.: Bilans nawozowy oraz substancji organicznej w indywidualnych gospodarstwach rolnych. W: Z badań nad rolnictwem społecznie zrównoważonym (7), IERGŻ-PIB, 2009, **129**: ss. 96
-

Adres do korespondencji:

dr Kazimierz Kęsik
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 47 86 838
e-mail: kesik@iung.pulawy.p

