

Beata Jurga, Jerzy Kopiński

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

BILANSE AZOTU I FOSFORU JAKO WSKAŹNIKI ODDZIAŁYWANIA ROLNICTWA NA ŚRODOWISKO*

Słowa kluczowe: bilans składników, azot, fosfor, efektywność wykorzystania, wskaźnik agrosrodowiskowy

Wstęp

We współczesnym rolnictwie postindustrialnym coraz większego znaczenia nabierają jego funkcje użyteczności społecznej (będące odzwierciedleniem relacji zachodzących pomiędzy wartością środowiska - jako dobra publicznego, a wartością prowadzonej w tym środowisku produkcji rolniczej); (8, 42). To większe zainteresowanie skutkami oddziaływania produkcji rolniczej na środowisko wynika ze znaczącej ingerencji człowieka w naturalny obieg składników pokarmowych, stwarzającej potencjalne zagrożenia dla równowagi ekosystemów. O całkowicie zamkniętym obiegu składników można mówić tylko w naturalnych ekosystemach, z których nie zbiera się żadnej masy roślinnej. W rolnictwie ubytek składników nawozowych wynoszonych z pola wraz z plonami roślin musi być wyrównany w dostarczanych nawozach naturalnych i mineralnych. W celu zachowania tej równowagi konieczna jest optymalizacja wykorzystania składników pokarmowych w gospodarstwie na podstawie rozeznania i kontroli ich dopływu oraz odpływu (4).

Cele dotyczące ograniczenia zagrożeń środowiskowych powodowanych przez rolnictwo, z podkreśleniem jego funkcji użyteczności społecznej (41), znajdują wyraz w regulacjach i aktach prawnych, które bezpośrednio nie ograniczają intensyfikacji produkcji, ale nakazują uwzględniać ochronę zasobów naturalnych. Na rolnictwo polskie, od 2004 roku po akcesji do struktur UE, silny wpływ wywiera także Wspólna Polityka Rolna (WPR); (3, 37). Według P o c z t y (34), mimo wielu pozytywnych zmian, w ujęciu sektorowym nie nastąpiła zasadnicza poprawa w zakresie wykorzystania zasobów czynników produkcji i ich nakładów. Pośrednim skutkiem warunków

* Opracowanie wykonano w ramach zadań 1.6, 2.1 i 2.2 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

kreowanych przez WPR było nasilenie procesów specjalizacji, koncentracji i polaryzacji produkcji (27, 30, 43). Intensywność stosowanych technologii produkcji, obok uwarunkowań przyrodniczych i organizacyjno-ekonomicznych, jest jedną z cech, które różnicują polskie rolnictwo (16, 28).

Do oceny oddziaływania rolnictwa na środowisko stosowane są różne metody i modele, w zależności od skali zastosowania (kraje, gospodarstwa) i potrzeb odbiorców. Na poziomie gospodarstw należy wymienić m.in. model RISE (*Response-Inducing Sustainability Evaluation*); (11), a w szerokim ujęciu globalnym, w tym głównie ekonomicznym, sektorowy model częściowej równowagi CAPRI (*Common Agricultural Policy Regionalised Impact*); (2). Jednym z wielu wskaźników służących do oceny potencjalnego stanu zagrożenia środowiska, jako skutku oddziaływania presji rolniczej są bilanse głównych składników nawozowych według podejścia „na powierzchni pola”, od 2011 roku określanego także jako budżet azotu i fosforu brutto (29).

Bilans azotu powinien być teoretycznie zrównoważony, jednak saldo azotu brutto na poziomie „0” jest w praktyce niemożliwe, gdyż wówczas rolnictwo nie mogłoby realizować swoich podstawowych celów produkcyjnych i ekonomicznych. Natomiast ocena salda bilansu fosforu powinna być konfrontowana ze stanem zasobności gleb w ten składnik. Z przeglądu różnych opracowań dotyczących oceny bilansu azotu brutto (9, 21, 23) wynika, że saldo to powinno znajdować się w granicach od 30 kg (zachodniopomorskie) do 70 kg (podlaskie) na ha UR w d.k.¹, a fosforu (P) w przedziale od -5 do 5 kg·ha⁻¹ UR w d.k.

W pracy przedstawiono szeroko ujęte zagadnienia bilansu azotu i fosforu brutto, będącego ważnym wskaźnikiem aktualnego oddziaływania rolnictwa na środowisko w Polsce.

Material i założenia metodyczne

Podstawowe źródło informacji stanowiły wyniki badań własnych (14, 21) oraz dane statystyczne GUS (10, 35, 38, 39, 44). W badaniach wykorzystano analizę struktury zjawisk (cech) oraz dynamiki zmian w ujęciu względnym lub opisanej równaniem trendu. Badania obejmowały okres od 2002 do 2014. W przestrzennej analizie porównawczej wskaźniki dla poszczególnych województw skonfrontowano ze średnimi dla Polski jako układ odniesienia.

Do określenia ilości azotu powstającego w czasie produkcji zwierzęcej na stanowisku utrzymania zwierząt (tzw. „brutto”) wykorzystano wyniki bilansu azotu brutto sporządzonego na podstawie metodyki zaproponowanej przez OECD/Eurostat (29). W budżecie azotu i fosforu brutto:

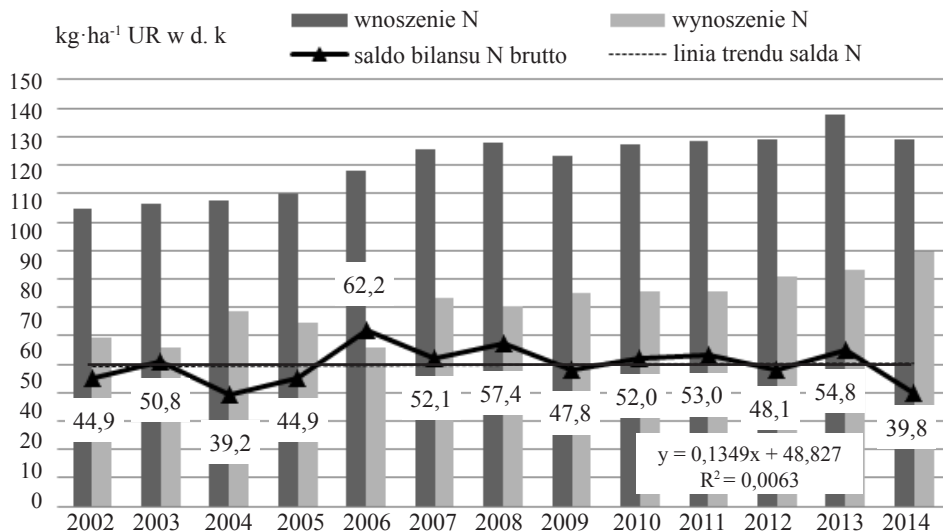
- po stronie przychodów uwzględnia się:
 - ilość składnika w nawozach mineralnych, organicznych i naturalnych (na stanowisku utrzymania zwierząt), ilość wprowadzaną z materiałem siewnym i sadzeniakowym;

¹UR w dk – użytki rolne w dobrej kulturze (użytkowane rolniczo); wg definicji GUS

- depozycję atmosferyczną azotu;
 - wiązanie biologiczne azotu;
- po stronie rozchodów uwzględnia się:
- ilości składników wynoszone w plonach głównych zbieranych z gruntów ornych;
 - ilości składników w plonach z trwałych użytków zielonych;
 - ilości składników wynoszone w plonach ubocznych roślin i poplonach zbieranych z gruntów ornych.

Tendencje zmian bilansu azotu brutto w Polsce

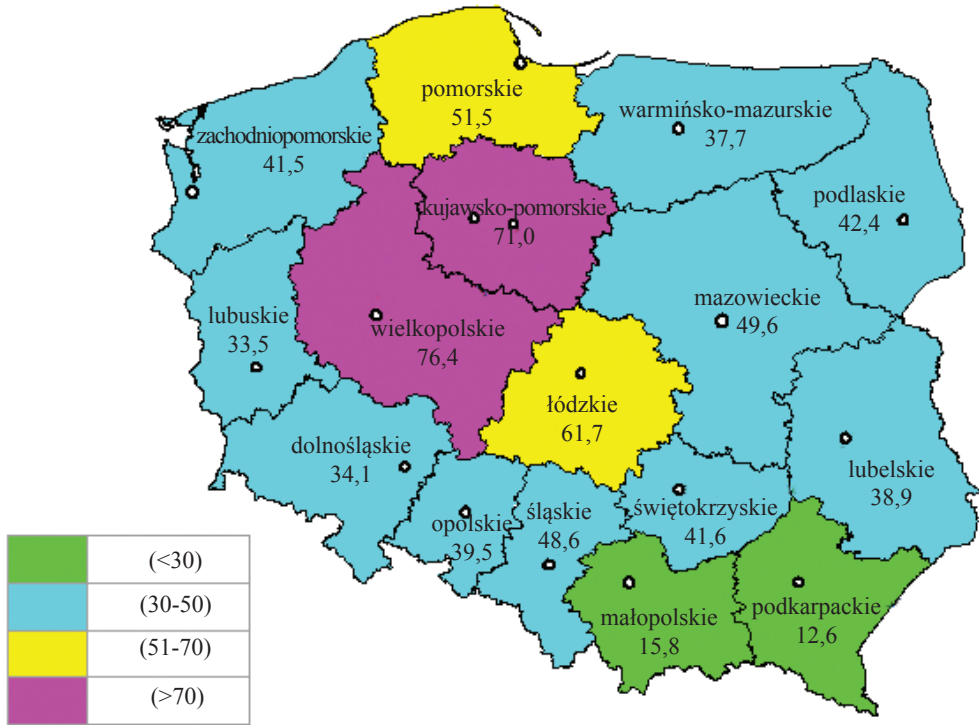
Saldo bilansu azotu brutto w Polsce, w latach 2002-2014, znajdowało się w niewielkiej tendencji wzrostowej rzędu $0,13 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Zmieniało się ono w granicach $39,2\text{--}62,2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$ w dk (rys. 1), z medianą wynoszącą $50,8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$ w dk. Należy jednak zauważyć, że najczęściej przekraczało ono poziom $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ w latach 2006-2013. Rekordowo wysoki, jak na warunki Polski, poziom salda w 2006 roku wynikał z bardzo niekorzystnych warunków pogodowych (susza); (18). Ponieważ wielkość salda bilansu azotu brutto jest silnie uzależniona od jego strony przychodowej ($R^2=71,96\%$); (24), obecnie na jego wielkość decydujący wpływ mają zmiany poziomu intensywności produkcji roślinnej, mierzonej zużyciem azotowych nawozów mineralnych (12). Oczywiście saldo także wzrasta w sytuacji, gdy tempo wzrostu nawożenia azotem i fosforem przewyższa tempo wzrostu wydajności jednostkowej produkcji roślinnej (20). Prowadzi to do pogorszenia efektywności wykorzystania azotu w procesie produkcji rolniczej, a w konsekwencji do wzrostu ryzyka zagrożeń dla środowiska (glebowego, wodnego i powietrza). W ostatnim 10-leciu, mimo zwracania większej uwagi na stan środowiska, nadal w wielu krajach Unii Europejskiej (UE), w tym głównie w krajach intensywnego rolnictwa (UE-15), poziom sald azotu brutto często przekracza poziom $90 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$ (1). Zdaniem K o p i ń s k i e g o (20) uzasadnione produkcyjnie i środowiskowo optima dopuszczalnych sald azotu (N) w Polsce mieszczą się w granicach od 30 do $76 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$, a średnio dla Polski saldo brutto nie powinno przekraczać $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$.



Rys. 1. Tendencje zmian głównych elementów bilansu azotu brutto w Polsce w latach 2002-2014
 Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (36, 38, 39, 44), GIOŚ (10) i KOBiZE (35)

W ostatnich latach (rys. 2) bardzo wysokie nadwyżki bilansowe azotu notowane są w regionie zachodnio-centralnym, a szczególnie w województwach: wielkopolskim i kujawsko-pomorskim (ponad 70 kg·ha⁻¹ UR). W tych województwach aktualne ich salda znacznie, bo o kilkanaście kg N, przekraczają wyznaczone dla nich dopuszczalne wartości graniczne (20). Jest to wynikiem dostarczania znacznych ilości azotu do systemu, które pomimo wysokiej intensywności produkcji roślinnej, z różnych powodów nie są efektywnie wykorzystywane. Wymowę tej oceny może pogarszać fakt, że Polska zachodnia ma duży udział gleb lekkich o mniejszej pojemności wodnej, które są bardziej narażone na procesy przemiywania (7).

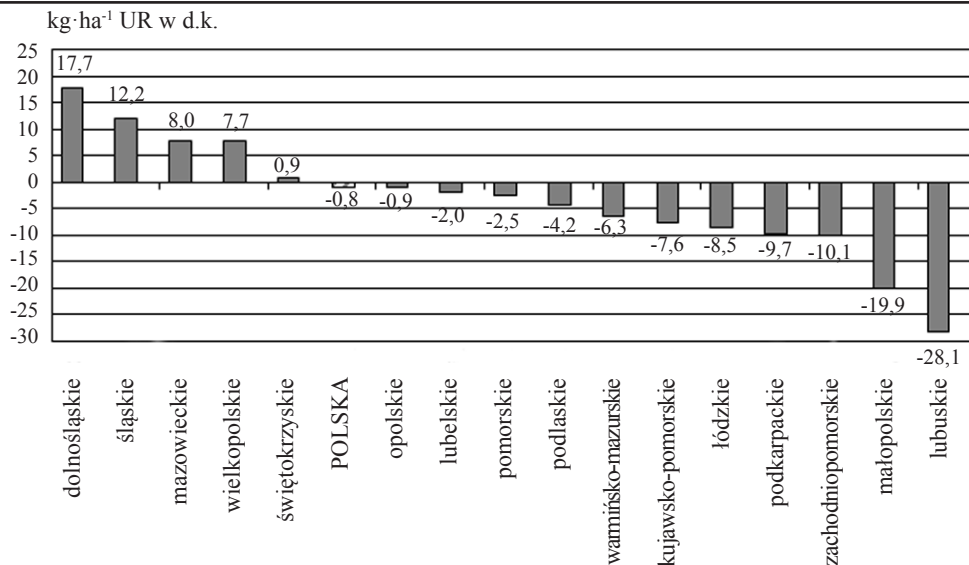
W ciągu ostatnich 10 lat znaczący wzrost nadwyżki bilansu azotu wystąpił, poza Wielkopolską, w województwach które dotychczas miały niskie i umiarkowane salda (rys. 3). Do znacznej redukcji wielkości sald azotu brutto doszło natomiast w województwach: lubuskim, małopolskim, zachodniopomorskim i podkarpackim, a więc leżących w przeciwległych regionach Polski. Przyczyny tego zjawiska mogą być jednak złożone, gdyż proces ten wynikał z poprawy plonowania roślin (zachodniopomorskie) lub z pogłębienia ekstensyfikacji produkcji roślinnej, głównie zwierzęcej (małopolskie i podkarpackie). Utrzymywanie, w tych dwóch województwach, sald N na poziomie niewiele przekraczającym wielkość opadu z atmosfery (ok. 11,5 kg·ha⁻¹ UR); (10) prowadzić może do spadku żyzności gleb.



Rys. 2. Salda bilansu azotu brutto (kg N·ha⁻¹ UR w d.d.) w województwach Polski (średnio w okresie lat 2012-2014)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (36, 38, 39, 44), GIOŚ (10) i KOBiZE (35)

Struktura (ilościowa) wnoszenia i wynoszenia azotu z powierzchni użytkowanej rolniczo wykazuje dość znaczne zróżnicowanie regionalne (rys. 4). Po stronie przychodowej bilansu brutto dominuje azot dostarczany w nawozach mineralnych, a w latach 2012-2014 jego udział wyniósł 60%. Niestety, dominującymi nawozami w strukturze zużycia nawozów azotowych w Polsce są saletrzano-amonowe i mocznik (12), zawierające formy N-NH₄ i N-NH₂, które w największym stopniu przyczyniają się do zakwaszenia gleby, powodując szereg ujemnych skutków, m. in. zmniejszenie dostępności pozostałych składników pokarmowych, co może prowadzić do ograniczenia produktywności gleb. W konsekwencji zmniejsza się zdolność buforowa i odporność gleb na procesy prowadzące do degradacji ich żyzności (5), a niewykorzystane związki azotu przedostają się do zbiorników wodnych (33). Obecnie w Polsce ok. 35% gleb o odczynie kwaśnym i bardzo kwaśnym wymaga koniecznego wapnowania (31).

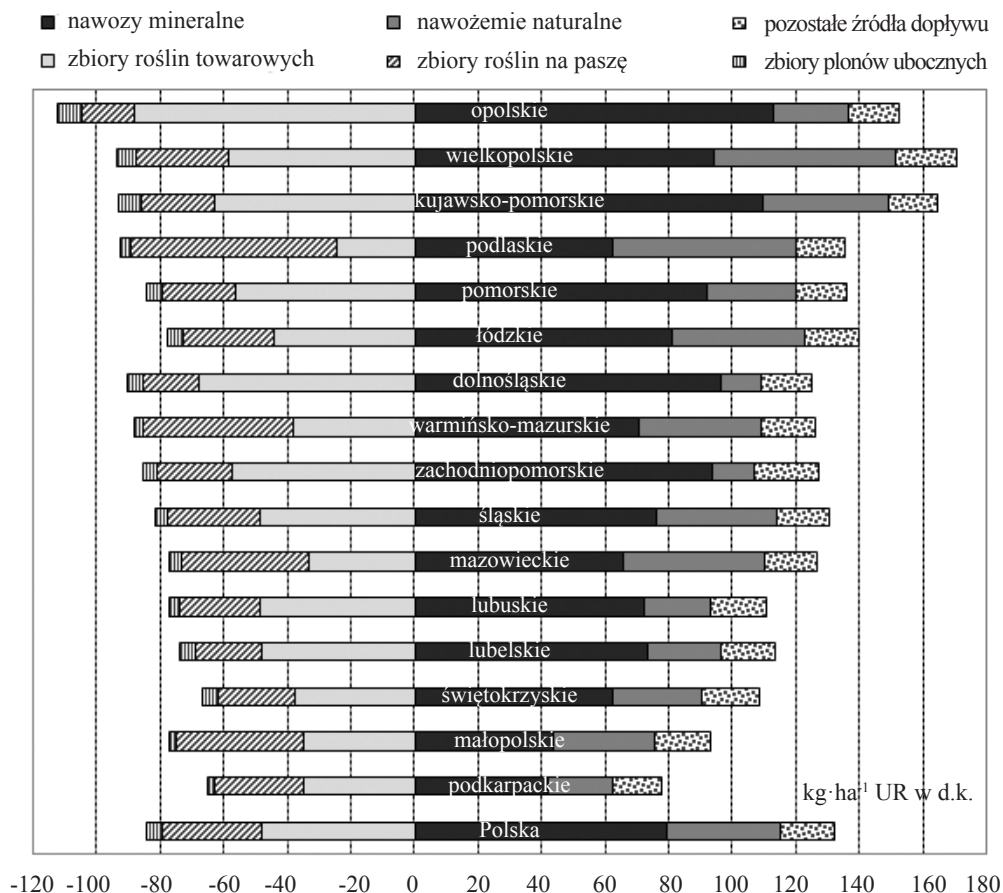


Rys. 3. Zmiany bilansu azotu brutto w poszczególnych województwach Polski pomiędzy latami 2002-2004 a 2012-2014

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (36, 38, 39, 44), GIOŚ (10) i KOBIZE (35)

Obserwowane obecnie zmiany zachodzące w strukturze pogłowia zwierząt gospodarskich zasadniczo nie wpływają na poziom nawożenia naturalnego azotem w odniesieniu do zmniejszającej się powierzchni gruntów ornych i użytków rolnych (22). O wiele mniejsze ilości azotu znajdujące się w obiegu produkcyjnym dostarczane są z pozostałych źródeł, tj. w opadzie atmosferycznym i wiązanego biologicznie, a także w materiale siewnym i sadzeniakowym.

W strukturze rozchodu dominującą pozycję stanowi azot zebrany w plonach roślin towarowych. Większe wynoszenie azotu w zbiorach roślin towarowych niż w roślinach zbieranych na paszę utrzymuje się w Polsce od początku lat 90. (26), kiedy to nastąpiły znaczące zmiany organizacyjne w polskim rolnictwie po tzw. transformacji ustrojowej (13, 15). Z przeprowadzonej analizy (rys. 4) wynika, że najbardziej zachowawczo gospodaruje się azotem w województwach podkarpackim i małopolskim, natomiast najwyższą intensywność gospodarowania azotem obserwuje się w województwach: opolskim, wielkopolskim, kujawsko-pomorskim i podlaskim. Należy jednak zaznaczyć, że nadwyżki bilansowe azotu w województwach opolskim i podlaskim są o 30 kg·ha⁻¹ UR mniejsze niż w wielkopolskim oraz kujawsko-pomorskim.



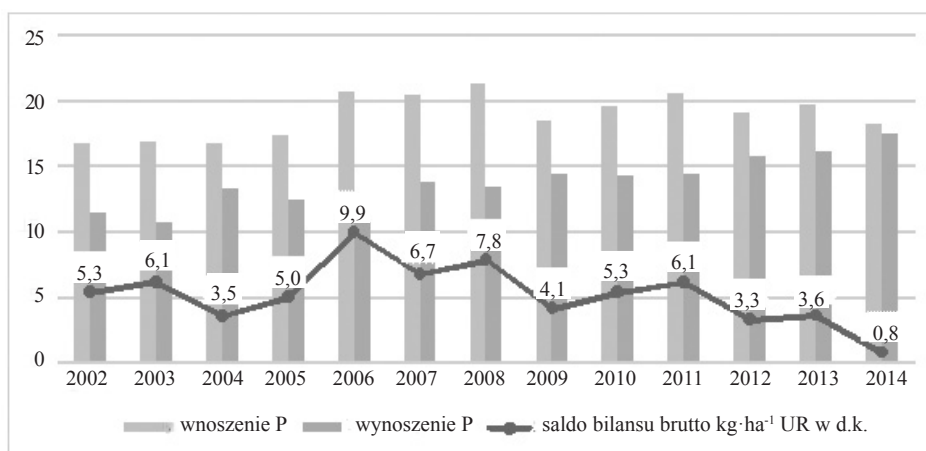
Rys. 4. Struktura ilościowa źródeł przychodu i rozchodu bilansu azotu brutto w poszczególnych województwach Polski w latach 2012-2014 (kg N ha⁻¹ UR w d.k.)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych: GUS (36, 38, 39, 44), GIOŚ (10) i KOBiZE (35)

Tendencje zmian bilansu fosforu brutto w Polsce

Bilans fosforu brutto jest jednym z ważniejszych narzędzi służących do oceny oddziaływania produkcji rolniczej na środowisko. Wielkość salda bilansu określa w pewnym stopniu ryzyko rozpraszania biogenów (związków fosforu) poza granice agrosystemów rolniczych. Znaczenie tego narzędzia dla zarządzania fosforem w środowisku wzrasta w zestawieniu ze znajomością stanu zasobności gleb. Efektem znacznych nadwyżek fosforu może być wzrost zasobności gleby, ale również podwyższone ryzyko strat fosforu do wód i związane z nim pogorszenie jakości wód gruntowych i powierzchniowych. Nie bez znaczenia jest też fakt, że oczyszczanie ekosystemów z nadmiaru fosforu jest procesem długotrwałym i kosztownym

(40). Utrzymujący się ujemny bilans fosforu sygnalizuje natomiast możliwość jego wyczerpywania z glebowych rezerw, co może prowadzić do zmniejszenia żyzności i produktywności gleb (32). Ujemne salda bilansu fosforu są szczególnie niekorzystne na glebach o niskiej zasobności w ten składnik. Z analiz prowadzonych na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat (6, 19) wynika, że taka tendencja utrzymuje się ciągle w regionie Polski południowo-wschodniej. Doprowadziło to, poza innymi czynnikami, do poważnego ograniczenia możliwości pełnego wykorzystania potencjału produkcyjnego rolnictwa tych województw. W praktyce, uwzględniając niekorzystny stan zasobności gleb w Polsce w fosfor oraz niewielkie jego ilości w opadzie atmosferycznym, zdaniem ekspertów, aktualnie dla Polski saldo fosforu nie powinno przekraczać średnio $2 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$ (9, 25).



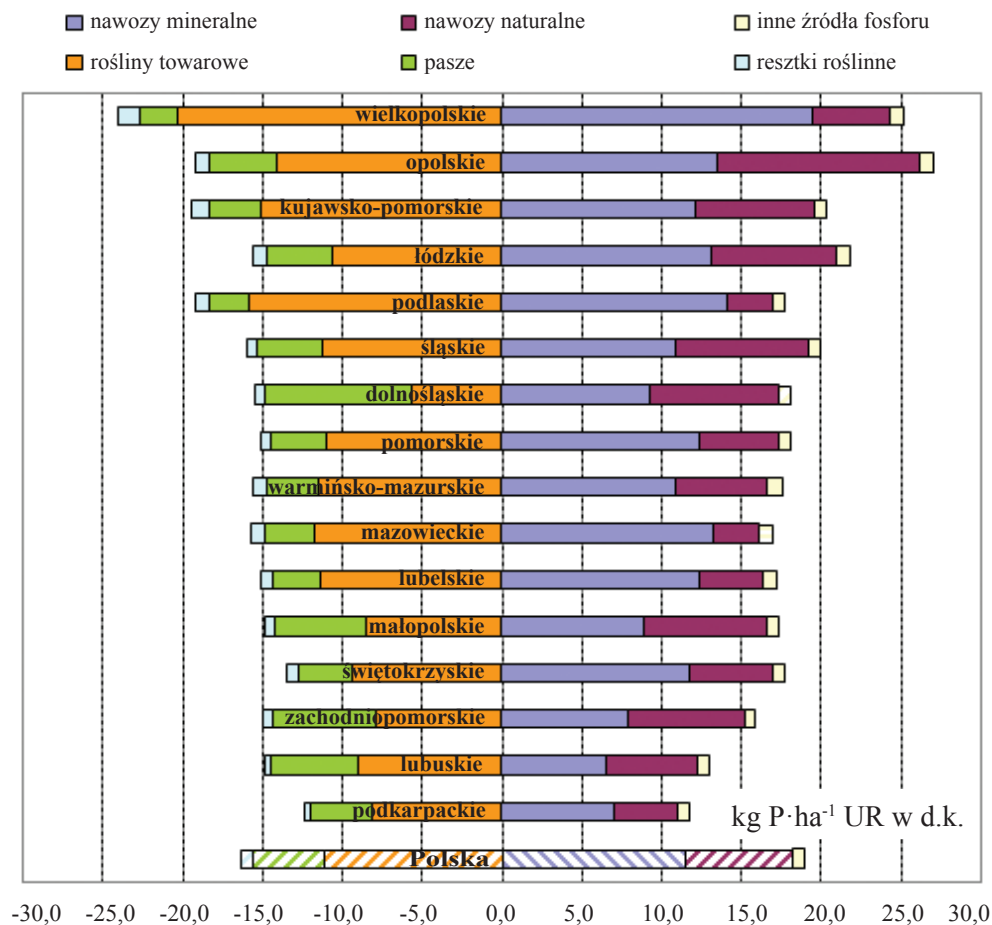
Rys. 5. Tendencje zmian głównych elementów bilansu fosforu brutto w Polsce w latach 2002-2014

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (36, 38, 39, 44) i GIOŚ (10)

Saldo bilansu fosforu brutto w Polsce ulega wahaniom, jednak systematycznie zmniejsza się, osiągając w 2014 r. wartość $0,8 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$ (rys. 5). Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że średnie saldo bilansu P uległo zmniejszeniu o połowę z $5,0 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$ w okresie 2002-2004 do $2,5 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$ w latach 2012-2014. Najwięcej fosforu w polskim rolnictwie wnosi się do gleb w postaci nawozów mineralnych, a nieco mniej w naturalnych. Największe wynoszenie (odpływ) następuje w zbiorach głównych roślin towarowych. Ilości te są na ogół ponad dwukrotnie większe niż wynoszenie fosforu w roślinach zbieranych na paszę i w plonach ubocznych roślin towarowych (rys. 6).

Można by stwierdzić, że wykazana nadwyżka bilansowa fosforu jest niezbędna dla podtrzymania odpowiedniej zawartości jego przyswajalnych form w glebie i nie wskazuje na potencjalne zagrożenia dla środowiska przyrodniczego. Jednakże wyniki bilansu fosforu z analogicznego okresu (2012-2014) na poziomie województw (NUTS-2) wykazują znaczne zróżnicowanie regionalne (rys. 8). Różnice wielkości

głównych elementów bilansu fosforu pomiędzy poszczególnymi województwami są często ponad dwukrotne. Średnie saldo bilansu fosforu brutto za lata 2012-2014 mieści się w granicach od $-1,8 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$ w województwie małopolskim do $8,3 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$ w województwie wielkopolskim.



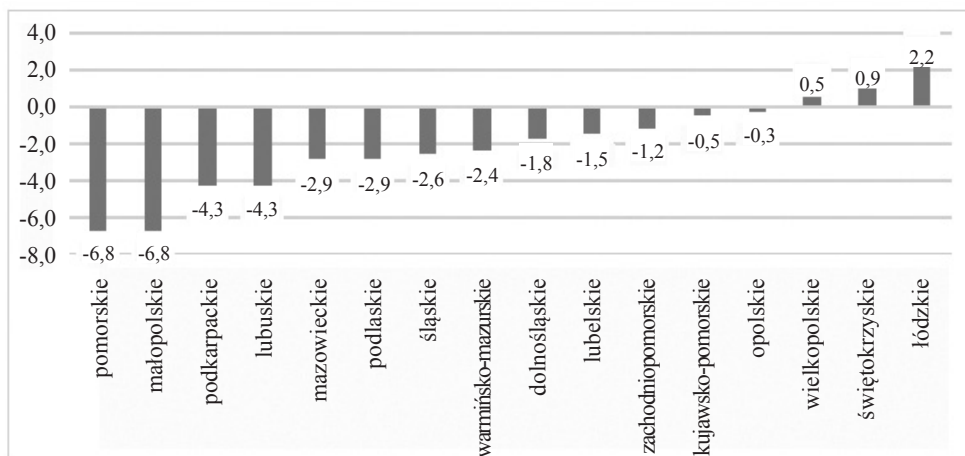
Rys. 6. Struktura ilościowa źródeł przychodu i rozchodu bilansu fosforu brutto w poszczególnych województwach Polski średnio w latach 2012-2014

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (36, 38, 39, 44) i GIOŚ (10)

Obserwowane różnice na ogół nie znajdują odzwierciedlenia we współczynniku negatywnej bonitacji gleb względem fosforu. Należy zauważyć, że wielkopolskie wyróżnia się na tle pozostałych województw najmniejszym udziałem gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości przyswajalnego fosforu (31). Wykazana nadwyżka bilansowa może więc wskazywać na znaczne ryzyko wypływania związków fosforowych poza agrosystem rolniczy.

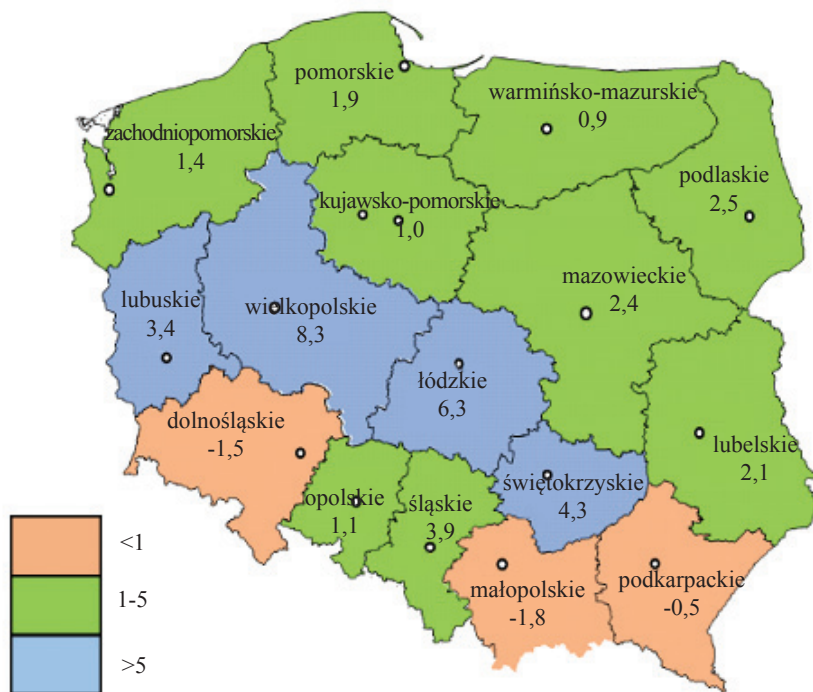
Na przestrzeni dekady salda bilansu w poszczególnych województwach uległy znaczącym zmianom (rys. 7). Największe spadki salda bilansu P brutto obserwowane są w województwach pomorskim i małopolskim ($-6,8 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ UR}$), a największy wzrost salda bilansu wykazano w województwie łódzkim $-2,2 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ UR}$. Ocenę tych zmian należy przeprowadzić w świetle obecnie stwierdzanych wartości bilansu fosforu (P). O ile redukcja nadwyżki P w województwie pomorskim, a znaczący wzrost salda bilansu P w województwie łódzkim doprowadziły do uzyskania salda bilansu P zbliżonego do rekomendowanego przez ekspertów (9, 25), o tyle znaczący spadek salda bilansu w małopolskim spowodował sytuację ujemnego bilansu P (rys. 8). Jeśli będzie się utrzymywać, może to skutkować wyczerpywaniem glebowych rezerw fosforu.

Zmniejszenie salda bilansu fosforu widoczne szczególnie w 2014 roku (podobnie jak i salda azotu) wynika z umiarkowanego wzrostu poziomu nawożenia fosforem w nawozach mineralnych, z jednoczesnym wzrostem produktywności roślinnej (a zatem większym jego wynoszeniem w zbiorach). Dodatkowo zmniejsza się także pula fosforu dostarczana do produkcji roślinnej w nawozach naturalnych, co wynika ze spadkowych tendencji pogłowia zwierząt gospodarskich (17, 25).



Rys. 7. Zmiany bilansu fosforu w poszczególnych województwach Polski pomiędzy latami 2012-2014 a 2002-2004

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (36, 38, 39, 44) i GIOŚ (10)



Rys. 8. Średnie salda bilansu fosforu brutto w województwach Polski dla lat 2012-2014

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (36, 38, 39, 44) i GIOŚ (10)

Podsumowanie

W Polsce saldo bilansu azotu brutto, przy niewielkiej tendencji wzrostowej rzędu $0,13 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$, w latach 2006-2013 utrzymywało się często powyżej poziomu $50 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ UR w d.k. Jednak w ostatnich latach (2012-2014) saldo to wynosiło $47,6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ UR w d.k. i w stosunku do stanu z okresu lat 2002-2004 uległo zmniejszeniu o ok. 1 kg. Wielkość tego salda, szczególnie w porównaniu do występującego w wielu krajach UE-15, należy uznać za umiarkowane w kontekście stwarzanych zagrożeń środowiskowych i uzasadnione obecnymi uwarunkowaniami produkcyjnymi rolnictwa. Niepokoić może natomiast wzrost dominacji mineralnych nawozów azotowych w przychodowej stronie bilansu azotu brutto. Większe zużycie nawozów saletrzano-amonowych i mocznika przyczynia się do wzrostu zakwaszenia gleb i obniżenia ich produktywności, a tym samym zmniejszenia efektywności wykorzystania tego składnika. Zwiększa to ryzyko rozpraszania związków azotu z rolnictwa do środowiska.

Saldo bilansu azotu na poziomie województw (NUTS-2) jest mocno zróżnicowane. Ciągłe wysokie nadwyżki azotu (ponad $70 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ UR) notowane są w regionie

zachodnio-centralnym, głównie w województwach wielkopolskim i kujawsko-pomorskim. Natomiast do znacznej redukcji wielkości salda azotu brutto doszło w ostatnich latach w województwach: lubuskim, małopolskim, zachodniopomorskim i podkarpackim, a więc leżących w przeciwległych regionach Polski.

Saldo bilansu fosforu brutto w Polsce ulega fluktuacjom, obserwowany jest jednak systematyczny spadek jego wartości. Od 2006 roku wielkość salda uległa redukcji o ponad 50%, osiągając wartość 0,8 kg P·ha⁻¹ UR w 2014 r. Analiza bilansu fosforu brutto na poziomie województw ujawniła pogłębiającą się w tym zakresie polaryzację polskiego rolnictwa.

Różnice wielkości salda pomiędzy poszczególnymi województwami mieszczą się w granicach od -1,8 kg P·ha⁻¹ UR w małopolskim do 8,3 kg P·ha⁻¹ UR w wielkopolskim. To zróżnicowanie jest w znacznym stopniu uwarunkowane czynnikami organizacyjno-produkcyjnymi, które wpływają na efektywność wykorzystania fosforu w rolnictwie. Jednak obserwowane różnice nie korespondują z potrzebami nawożenia fosforem, wyrażonymi współczynnikiem negatywnej bonitacji gleb, co jest zjawiskiem niekorzystnym, ponieważ świadczyć może o niedostosowaniu poziomu nawożenia fosforem do rzeczywistych potrzeb wynikających z zasobności gleb. Istnieje zatem potrzeba dalszych obserwacji w tym zakresie.

Literatura

1. Agri-environmental indicator - gross nitrogen balance. Eurostat. Data dostępu 18.05.2016, http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Agri-environmental_indicator_-_gross_nitrogen_balance
2. Britz W., Witzke P. (ed.): CAPRI model documentation 2014.
3. Bułkowska M.: Efekty WPR w odniesieniu do rolnictwa. W: Analiza efektów realizacji polityki rolnej wobec rolnictwa i obszarów wiejskich. M. Wigier (red.), IERiGŻ-PIB Warszawa, 2011, **26**: 56-80.
4. Davis J. M.: Sustainable Agriculture. Directory of Expertise, SAN, 1996, 3rd Edition.
5. Filipek T., Skowrońska M.: Aktualnie dominujące przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb użytkowanych rolniczo w Polsce. *Acta Agrophysica*, 2013, **20(2)**: 283-294.
6. Fotyma E., Fotyma M., Pietruch Cz.: Produkcyjne i środowiskowe skutki nawożenia. *Pam. Puł.*, 2002, **130**: 179-202.
7. Fotyma E., Fotyma M., Pietruch Cz.: Zasobność gleb Polski w azot mineralny. *Nawozy i Nawożenie*, 2015, **2(23)**: 41-48.
8. Fotyma M., Igras J., Kopiński J., Podyma W.: Ocena zagrożeń nadmiarem azotu pochodzenia rolniczego w Polsce na tle innych krajów europejskich. *Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy*, 2010, **20**: 53-75.
9. Fotyma M., Igras J., Kopiński J.: Produkcyjne i środowiskowe uwarunkowania gospodarki nawozowej w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy*, 2009, **14**: 187-206.
10. GIOŚ: <http://www.gios.gov.pl/chemizm2010/index.html> (data dost. 20.10.2014); http://www.gios.gov.pl/zalaczniki/artykuly/Informacja_o_realizacji_zadan_IOS_2013.pdf (20.10.2014)
11. Häni F., Braga F., Stämpfli A., Keller T., Fischer M., Porsche H.: RISE, a tool for holistic sustainability assessment at the farm level. *IAMA International Food and Agribusiness Management Review*, 2003, **6(4)**: 78-90.

12. Jadczyzyn T, Kopiński J.: Nawożenie azotem w Polsce – aspekt produkcyjny i środowiskowy. *Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy*, 2013, **34(8)**: 125-143.
13. Józwiak W., Mirkowska Z.: Trendy w rolnictwie polskim (lata 1990-2009) i próba projekcji na 2013 rok. W: *Procesy zachodzące w rolnictwie polskim w latach 1990-2010, projekcje na rok 2013 i pożądana wizja rolnictwa w 2020 roku – zagadnienia wybrane*. IERiGŻ-PIB Warszawa, 2011, **21**: 9-31.
14. Jurga B., Kopiński J.: Analiza oraz testy dotyczące wdrożenia metodologii modelu Capri JRC do szacowania elementów bilansu azotu brutto na poziomie krajowym i wojewódzkim. *Raport końcowy dla GUS Warszawa, IUNG-PIB Puławy*, 2016.
15. Klepacki B.: Transformacja gospodarki narodowej i jej wpływ na rolnictwo w Polsce w latach dziewięćdziesiątych. W: *Transformacja rolnictwa polskiego i ukraińskiego w latach 90*. B. Klepacki i G. Czerewko (red.), *Więś Jutra, Warszawa*, 2012: 7-15.
16. Kopiński J., Krasowicz S.: Regionalne zróżnicowanie warunków produkcji rolnej w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy*, 2010, **22**: 9-29.
17. Kopiński J., Matyka M.: Forecast of food, farming and fertilizer use 2015-2025. *Fertilizers Europe*, 2015, **1**: 114.
18. Kopiński J., Nieróbca A., Ochal P.: Ocena wpływu warunków pogodowych i zakwaszenia gleb w Polsce na kształtowanie produktywności roślinnej. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 2013, t. 13, **2(42)**: 53-63.
19. Kopiński J., Tujaka A.: Bilans azotu i fosforu w rolnictwie polskim. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 2009, t. 9, **4(28)**: 103.
20. Kopiński J.: Agri-environmental effects of changes in agricultural production in Poland/ Agrośrodowiskowe skutki zmian produkcji rolnej w Polsce. *Economic and Regional Studies*, Biała Podlaska, 2015(a), **8(3)**: 5-18.
21. Kopiński J.: Criterion to determine optimum surpluses of gross nitrogen balance on the level NUTS-0, NUTS-2. *Acta Sci. Pol. Agricultura*, 2016(a), **15(1)**: 29-36.
22. Kopiński J.: Implikacje zmian pogłowia zwierząt gospodarskich w Polsce dla puli azotu pochodzącego z produkcji zwierzęcej. *Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy*, 2015(b), **43(17)**: 103-115.
23. Kopiński J.: Ocena gospodarowania fosforem w procesie produkcji rolnej na poziomie NUTS-0, NUTS-2. *Rocz. Nauk. SERiA*, 2016 (b), **18(1)**: 131-137.
24. Kopiński J.: Określenie stopnia polaryzacji oddziaływania produkcji rolnej na środowiska na podstawie bilansu azotu brutto. *Rocz. Nauk. SERiA*, 2015(c), **17(1)**: 112-117.
25. Kopiński J.: Opracowanie metody badań służącej do określenia optymalnych sald głównych składników nawozowych (NPK) w ujęciu wojewódzkim w latach 2011-2013. *Ekspertyza wykonana na potrzeby IERiGŻ-PIB. IUNG-PIB Puławy*, 2014.
26. Kopiński J.: Regionalne zróżnicowanie bilansu azotu, fosforu i potasu w rolnictwie polskim w latach 1999-2003. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization*, 2005, **2(23)**: 84-93.
27. Kopiński J.: Stopień polaryzacji intensywności i efektywności produkcji rolnej w Polsce w ostatnich 10 latach. *Rocz. Nauk. SERiA*, 2013, **15(1)**: 97-103.
28. Krasowicz S., Harasim A.: Intensywność technologii a wyniki ekonomiczne gospodarstw rodzinnych w różnych rejonach Polski. *Rocz. Nauk. SERiA*, 1998, **2(1)**: 581-589.
29. Kremer A. M.: *Nutrient Budgets EU-27, Norway, Switzerland. Methodology and Handbook*. Eurostat/OECD. EC Eurostat, Luxembourg 2013. (ver. 1.02, 17.05.2013).

30. Kuś J.: Specjalizacja gospodarstw rolnych i jej konsekwencje produkcyjne, ekonomiczne i siedliskowe. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, Puławy, 2013, **32**: 167-185.
31. Ochrona środowiska 2015. GUS Warszawa, 2015(a).
32. OECD. Environmental Indicators for Agriculture. Publications Service. OECD, Paris, 2006, **4(3)**.
33. Pastuszek M., Kowalkowski T., Kopiński J., Stalenga J., Panasiuk D.: Impact of forecasted changes in Polish economy (2015 and 2020) on nutrient emission into the river basins. *Science of the Total Environment*, 2014, **493**: 32-43.
34. Poczta W.: Przemiany w rolnictwie. W *Polska wieś 2010. Raport o stanie wsi*. Red. Wilkin J. Nurzyńska I. Warszawa, 2010: 9-43.
35. Poland's National Inventory Reports. Greenhouse Gas Inventory for 1988-2012. IOŚ, KOBiZE, Warszawa, 2014.
36. Produkcja upraw rolnych i ogrodniczych w latach 2002-2014. GUS Warszawa, 2003-2015.
37. Runowski H.: *Ekonomika rolnictwa – przemiany w gospodarstwach rolnych*. W: *Rolnictwo, gospodarka żywnościowa, obszary wiejskie – 10 lat w Unii Europejskiej*. SGGW, Warszawa, 2014: 31-48.
38. Środki produkcji w rolnictwie w roku gospodarczym 2001/2002...2014/2015. GUS, Warszawa, 2003-2016.
39. Użytkowanie gruntów, powierzchnia zasiewów i pogłowie zwierząt gospodarskich w latach 2002-2013. GUS, Warszawa, 2002-2013.
40. Zalewski, A., Igras, J.: Światowy rynek nawozów mineralnych z uwzględnieniem zmian cen bezpośrednich nośników energii oraz surowców (2). IERiGŻ-PIB Warszawa (PW 2011-2014), 2012, **37**.
- Zegar J. S.: Alternatywne formy rolnictwa w strategii rozwoju sektora rolno-żywnościowego i obszarów wiejskich. Synteza. W: *Z badań nad rolnictwem społecznie zrównoważonym*. IERiGŻ-PIB Warszawa (PW 2011-2014), 2014: **136**.
41. Zegar J. S.: Konkurencyjność celów ekologicznych i ekonomicznych w rolnictwie. IERiGŻ-PIB Warszawa, 2013, **93**: 28-46.
42. Ziętara W.: Tendencje zmian w produkcji mleka w Polsce, *Rocz. Nauk Rol.*, 2009, ser. G, **96(1)**: 27-35.
43. Zwierzęta gospodarskie w 2014 i 2015 roku. GUS Warszawa, 2014-2015(b).

Adres do korespondencji:

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