

Mariusz Fotyma, Janusz Igras, Jerzy Kopiński, Wiesław Podyma

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

OCENA ZAGROŻEŃ NADMIAREM AZOTU POCHODZENIA ROLNICZEGO W POLSCE NA TLE INNYCH KRAJÓW EUROPEJSKICH*

Wstęp

Rolnictwo jest jedną z dziedzin gospodarki, która istotnie wpływa na środowisko przyrodnicze. Azot i fosfor są podstawowymi składnikami nawozowymi odgrywającymi zasadniczą rolę zarówno w produkcji roślinnej, jak i zwierzęcej. Związki azotu i fosforu zaliczane są do podstawowych składników biogenicznych istotnie oddziałujących na jakość wody.

W krajach UE szczególnie duży nacisk kładzie się na ograniczenie emisji związków azotu poprzez wprowadzanie regulacji prawnych dotyczących zasad stosowania nawozów, ochrony zasobów wodnych oraz zanieczyszczeń atmosfery (1). Poziom antropopresji związkami azotu w makroskali jest jednak zróżnicowany regionalnie i uzależniony od rozwoju gospodarczego kraju i intensywności rolnictwa (28). Z analiz makroekonomicznych wynika, że poziom intensywności rolnictwa w Polsce jest znacznie niższy niż w innych krajach UE (29) i wynika głównie z gorszych warunków klimatycznych i glebowych (22). Dlatego też jednostkowy potencjał produkcyjny rolnictwa w Polsce nie jest zbyt duży i ustępuje potencjałowi większości krajów Europy Zachodniej. Według K r a s o w i c z a i in. (23) ogólny potencjał produkcyjny rolnictwa jest jednak znaczny z uwagi na dużą powierzchnię użytków rolnych, stanowiącą około 11% powierzchni użytków w 25 krajach UE i przewagę w tej powierzchni gruntów ornych, a także ze względu na duże zasoby siły roboczej w rolnictwie (29). Według tych samych autorów stopień wykorzystania potencjału produkcyjnego jest jednak stosunkowo niski i wykazuje znaczne zróżnicowanie regionalne. Cechą charakterystyczną rolnictwa w Polsce jest również mała skala produkcji towarowej i jej rozproszenie. Produkcja rolnicza opiera się w dużej mierze na ekstensywnym modelu organizacji produkcji, wynikającym z dużego rozdrobnienia gospodarstw i struktury użytkowania ziemi. Przeciętna powierzchnia gospodarstwa wynosi około 8,8 ha (25). W poszczególnych częściach kraju wskaźnik ten jest zróżnicowany, niemniej w żadnym z województw średnia nie przekracza 18 ha.

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.2 w programie wieloletnim IUNG - PIB

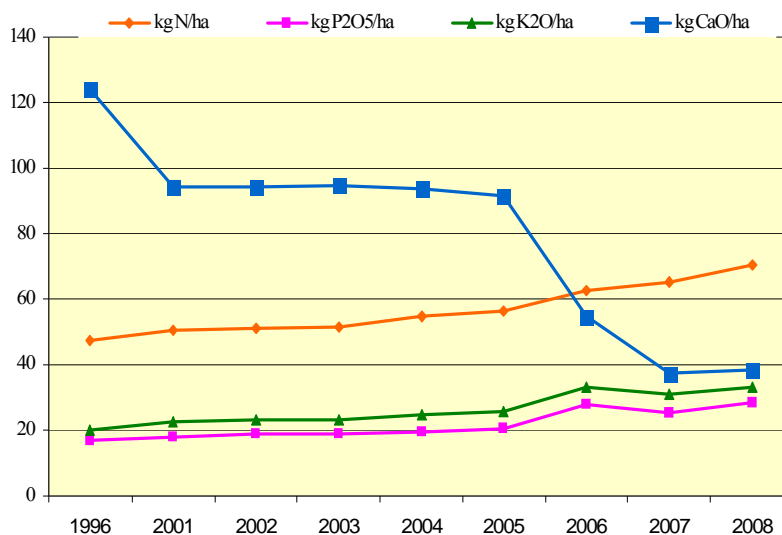
Zarówno warunki naturalne, jak i niskonakładowe technologie produkcji wskazują, że Polska ma warunki do produkcji zdrowej, bezpiecznej żywności, a stopień zagrożeń środowiskowych jest relatywnie niski. Powszechnie przyjętą metodą pośrednią oceny presji rolnictwa składnikami biogenicznymi na środowisko jest ich zużycie w nawozach mineralnych i naturalnych oraz bilans i wykorzystanie tych składników w produkcji roślinnej. Natomiast jako metody bezpośrednie wykorzystuje się zmiany zawartości azotu mineralnego w profilu glebowym oraz bezpośrednią ocenę jakości wody na podstawie zawartości azotu azotanowego.

Celem opracowania była ocena aktualnej presji azotu pochodzącego z rolnictwa na środowisko w Polsce na tle innych krajów europejskich na podstawie wybranych wskaźników. W pracy dokonano także oceny zagrożenia związkami azotu w układzie regionalnym na poziomie NUTS-2 (województwa).

Wyniki badań i dyskusja

Zużycie i wykorzystanie azotu z nawozów mineralnych w Polsce i w krajach Unii Europejskiej

W Polsce po gwałtownym załamaniu zużycia nawozów NPK, które nastąpiło z początkiem lat 90. ubiegłego wieku, ich jednostkowe zużycie w okresie ostatnich 12 lat powoli, ale systematycznie wzrasta (rys. 1). Jedyne zużycie nawozów wapniowych wykazuje stałą tendencję spadkową. W 2008 roku zastosowano średnio 133 kg NPK, w tym 71 kg N, 29 kg P_2O_5 , 33 kg K_2O i 38,5 kg CaO na 1 ha użytków rolnych.



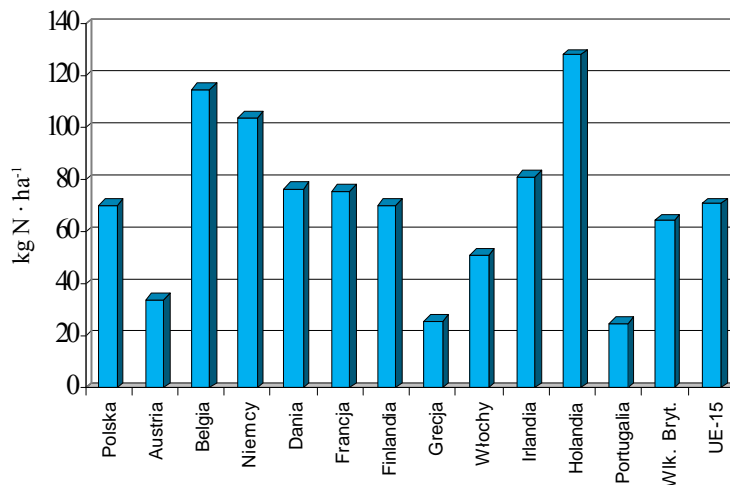
Rys. 1. Zużycie nawozów w rolnictwie polskim w latach 1996–2008

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (27).

Największy wzrost zużycia nastąpił w nawozach azotowych, a stosunek składników pokarmowych N : P : K w nawożeniu ulega stale poszerzeniu na rzecz azotu. Ze względów produkcyjnych, ale też środowiskowych jest to zjawisko niekorzystne, gdyż prowadzi do zubożenia gleby w przyswajalne formy fosforu i potasu oraz do obniżenia efektywności działania nawozów azotowych. Innym bardzo niekorzystnym zjawiskiem jest zmniejszenie zużycia nawozów wapniowych i w związku z tym postępujące zakwaszenie gleb. Na glebach kwaśnych uzyskuje się małe plony roślin i niską efektywność działania pozostałych składników nawozowych.

Wzrost zużycia nawozów azotowych w Polsce jest sprzeczny z tendencjami mającymi miejsce w krajach UE-15, w których notuje się w tym samym okresie spadek lub stabilizację zużycia azotu. W 2008 roku zastosowano w Polsce taką samą przeciętną dawkę nawozów azotowych, jak w krajach UE-15, a pod względem zużycia azotu na 1 ha użytków rolnych kraj nasz ustępował jedynie Belgii, Danii, Niemcom, Francji, Irlandii i Holandii (rys. 2).

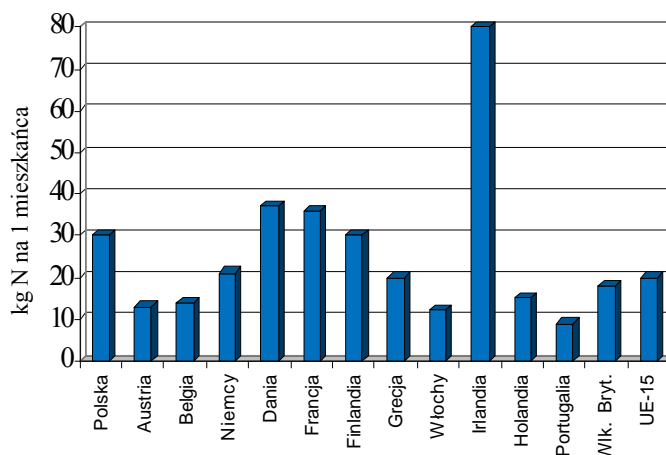
Zużycie nawozów na 1 ha użytków rolnych jest wskaźnikiem bardzo ogólnym, a oparte na nim porównania mogą prowadzić do błędnych wniosków. Wynika to z różnej struktury użytkowania gruntów (grunty orne, użytki zielone, plantacje trwałe itp.) w poszczególnych krajach, zróżnicowanej jakości gleb oraz wielkości uzyskiwanych plonów roślin. Ponadto w ostatecznym rachunku nawozy są podstawowym środkiem produkcji dla żywności przeznaczanej na potrzeby mieszkańców danego kraju i na eksport, dlatego ich zużycie powinno być zróżnicowane zależnie od liczby konsumentów płodów rolnych. Dostępność porównywalnych danych jest jednak praktycznie niemożliwa i w dalszej części pracy ograniczono się do porównania dwóch wskaźników – zużycia nawozów azotowych na 1 mieszkańca danego kraju i na jednostkę



Rys. 2. Zużycie nawozów azotowych w 2008 r. w wybranych krajach UE
 Źródło: opracowanie własne na podstawie danych EFMA (9, 10).

podstawowej produkcji roślinnej, jaką stanowi 100 kg ziarna zbóż (tzw. jednostka zbożowa).

W tym miejscu należy jednak podkreślić, że jakość gleb w Polsce jest znacznie gorsza niż w krajach Europy Zachodniej. Również klimat naszego kraju jest mniej sprzyjający dla produkcji roślinnej (23). Ponad 70% gleb Polski wytworzyło się głównie z plejstocenijskich glin i piasków zwałowych silnie rozmytych i przesortowanych przez wody polodowcowe, w tym ponad 28% gleb zostało wytworzonych ze żwirów oraz piasków luźnych i słabogliniastych. Ogółem ponad 40% powierzchni gleb w naszym kraju wykazuje niską jakość i przydatność rolniczą. Klimat Polski charakteryzuje się mniejszymi opadami i niższymi średnimi temperaturami niż klimat w krajach Europy Zachodniej. Długość okresu wegetacyjnego waha się od poniżej 200 dni w północno-wschodniej części kraju do ponad 240 dni w części południowo-zachodniej (22). Tylko część południowo-zachodnia ma warunki klimatyczne porównywalne do panujących u naszych zachodnich sąsiadów. W sumie, przyjmując za 100 punktów warunki glebowe i klimatyczne w krajach Europy Zachodniej wskaźnik ten dla Polski kształtuje się w granicach 60 punktów. Fakt gorszych warunków do produkcji rolnej znalazł pełne zrozumienie Komisji Europejskiej, która zgodziła się na zaliczenie około 52% powierzchni rolnej Polski do obszarów o niesprzyjających warunkach produkcyjnych (ONW) (3). Dla zapewnienia koniecznego poziomu produkcji rolnej, głównie na potrzeby wewnętrzne, niska jakość gleb i gorsze warunki klimatyczne muszą być substytuowane zwiększonym zużyciem nawozów mineralnych przy mniejszej efektywności ich działania. Dlatego wskaźniki zużycia nawozów azotowych na 1 mieszkańca i na 100 kg ziarna zbóż w wybranych krajach europejskich należy rozpatrywać z uwzględnieniem gorszych warunków naturalnych do produkcji rolnej (rys. 3 i 4).



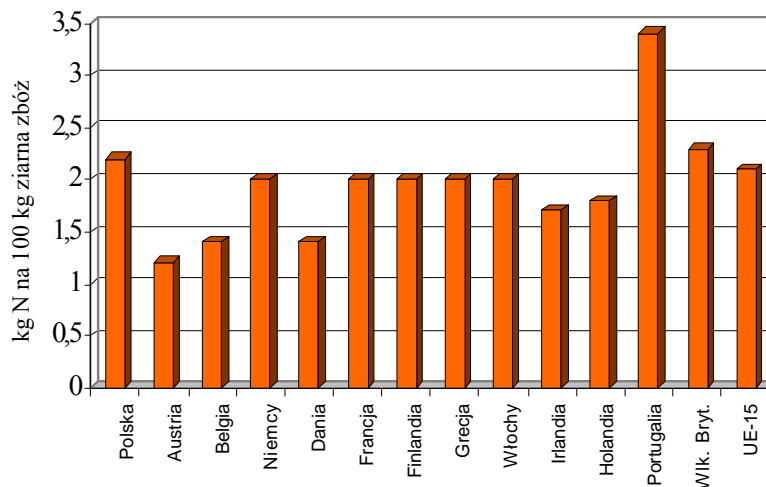
Rys. 3. Zużycie azotu na 1 mieszkańca w wybranych krajach UE

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych EFMA (9, 10).

Zużycie nawozów azotowych na 1 mieszkańca (rys. 3) jest największe w Danii i Francji, co można tłumaczyć faktem, że kraje te są dużymi eksporterami produktów rolnych i żywią więcej ludzi niż w nich zamieszkuje. W Polsce argumentem przemawiającym za dużym zużyciem azotu na 1 mieszkańca są natomiast opisane wyżej znacznie gorsze warunki naturalne do produkcji rolnej i konieczność jej wspomagania nawozami.

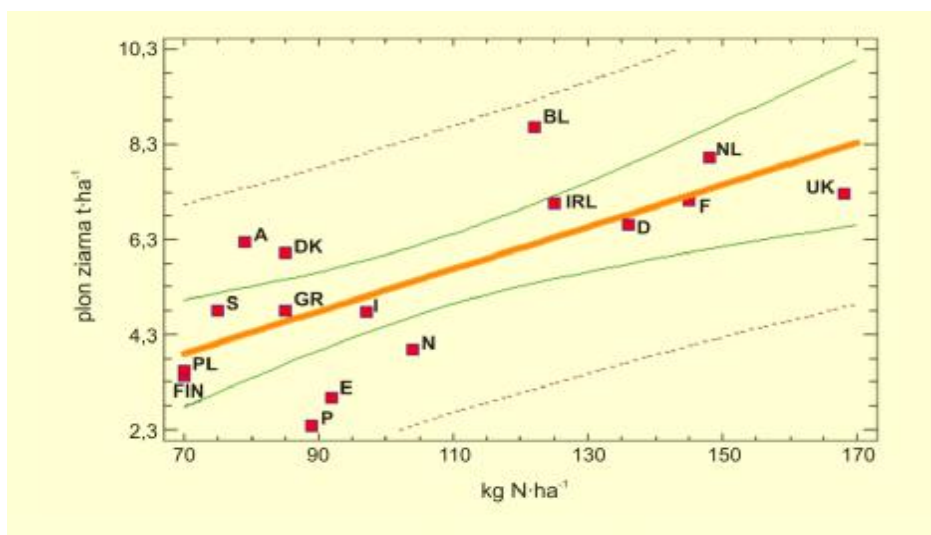
Jednostkowe zużycie nawozów azotowych, czyli tak zwana nawozochłonność produkcji zbóż jest „odwrotnością” efektywności nawożenia wyliczonej z funkcji produkcji. W Polsce nawozochłonność zbliżona jest do średniej wartości dla krajów UE-15 (rys. 4), ustępując pod tym względem Austrii, Belgii, Danii, Irlandii i Holandii. Kraje te mają jednak znacznie lepsze warunki do produkcji rolnej oraz większą obsadę zwierząt i produkcję nawozów naturalnych. Nawozochłonność produkcji zbóż w granicach 2 kg N na 100 kg ziarna jest uzasadniona fizjologicznie, gdyż podobnie kształtuje się pobranie azotu z plonem końcowym tej grupy roślin. Można zatem uznać, że jednostkowe zużycie nawozów azotowych w Polsce zbliżone jest do przeciętnej dla krajów europejskich, a małe plony zbóż w naszym kraju mogą wynikać ze zbyt małych dawek nawozów azotowych stosowanych pod te rośliny.

W krajach UE-15 pomiędzy zużyciem nawozów azotowych i wielkością plonów zbóż występuje dosyć ścisła korelacja ($r = 0,72$). Poniżej dolnej granicy przedziału ufności regresji prostej pozostają Hiszpania, Norwegia i Portugalia – kraje o niesprzyjających warunkach do produkcji zbóż (rys. 5). W krajach tych uzyskuje się mniejsze plony zbóż od oczekiwanych na podstawie zużycia nawozów azotowych. Powyżej górnej granicy przedziału ufności znajdują się natomiast Austria, Belgia i Dania – kraje



Rys. 4. Zużycie nawozów azotowych na wyprodukowanie 100 kg ziarna zbóż w wybranych krajach UE w 2007 roku

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych EFMA (9, 10).

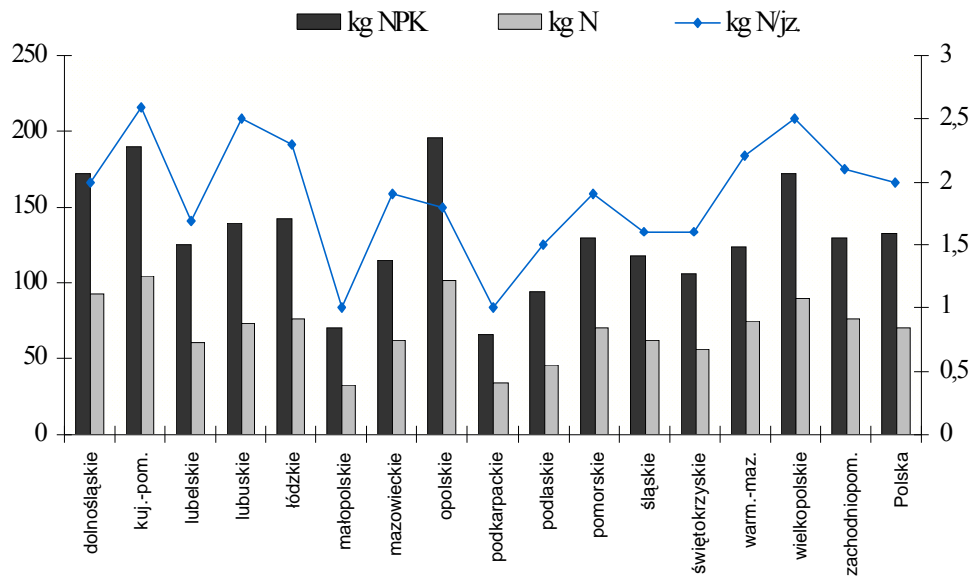


Rys. 5. Zależność pomiędzy wielkością dawek nawozów azotowych i plonami zbóż w krajach EU15 w latach 2004–2006

Źródło: opracowanie własne (6) na podstawie danych EFMA (9, 10).

o wysokiej obsadzie inwentarza i dużej produkcji nawozów naturalnych. Państwa te uzyskują duże plony, przy względnie małym zużyciu nawozów azotowych (26).

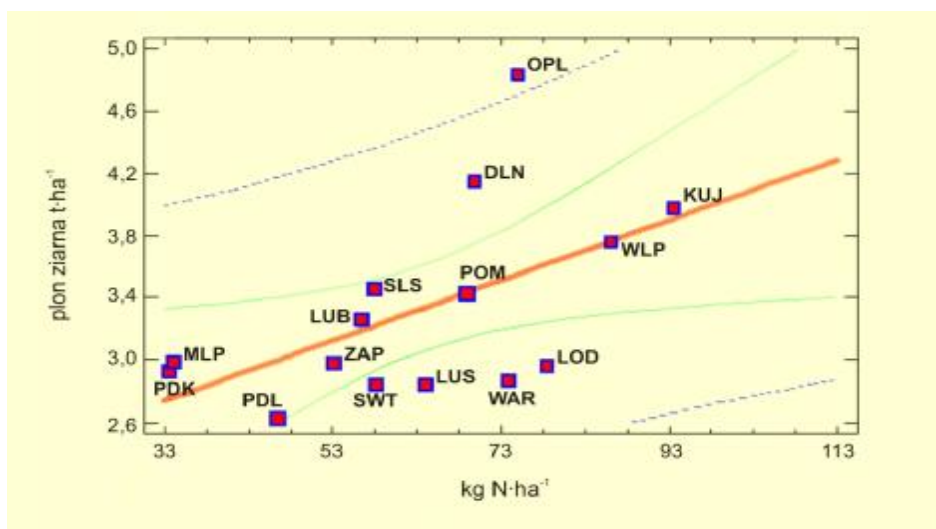
Prezentowane dotychczas dla obszaru całej Polski średnie wskaźniki nawozowe mogą służyć do porównań międzynarodowych, ale nie odzwierciedlają rzeczywistej sytuacji wewnątrz kraju. Zużycie nawozów mineralnych, a szczególnie nawozów azotowych, jest w Polsce bardzo zróżnicowane regionalnie (rys. 6). Najwięcej nawozów mineralnych, w tym azotowych, zużywa rolnictwo w rejonie zachodniej i północno-zachodniej Polski, a najmniej w Polsce centralnej i wschodniej. W województwach dolnośląskim, kujawsko-pomorskim, opolskim i wielkopolskim zużycie nawozów azotowych przekroczyło znacznie średni poziom dla państw EU i zbliży się do przodujących pod tym względem krajów Europy Zachodniej. W województwach małopolskim, podkarpackim i podlaskim, o rozdrobnionym rolnictwie, zużycie nawozów azotowych jest natomiast bardzo małe i nie przekracza 50 kg N na 1 ha użytków rolnych. Ilość nawozów azotowych zużywanych na 1 ha użytków rolnych nie przesądza jeszcze o rozmiarze presji środowiskowej ze strony nawożenia. Duża nawozochłonność świadczy o tym, że tylko część zastosowanego azotu zabierana jest z pola z plonem roślin, a znaczne pozostałości składnika stanowią zagrożenie dla środowiska glebowego i wodnego. W województwach kujawsko-pomorskim, lubuskim, łódzkim, warmińsko-mazurskim, wielkopolskim i zachodniopomorskim nawozochłonność produkcji roślinnej przekracza, niekiedy znacznie, średnią wartość dla Polski. Należy podkreślić, że z wymienionych województw dwa, tj. kujawsko-pomorskie i wielkopolskie wykazują równocześnie duże zużycie nawozów azotowych i dużą nawozochłonność produkcji



Rys. 6. Zużycie nawozów ogółem NPK i nawozów azotowych w województwach w 2008 roku
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (27).

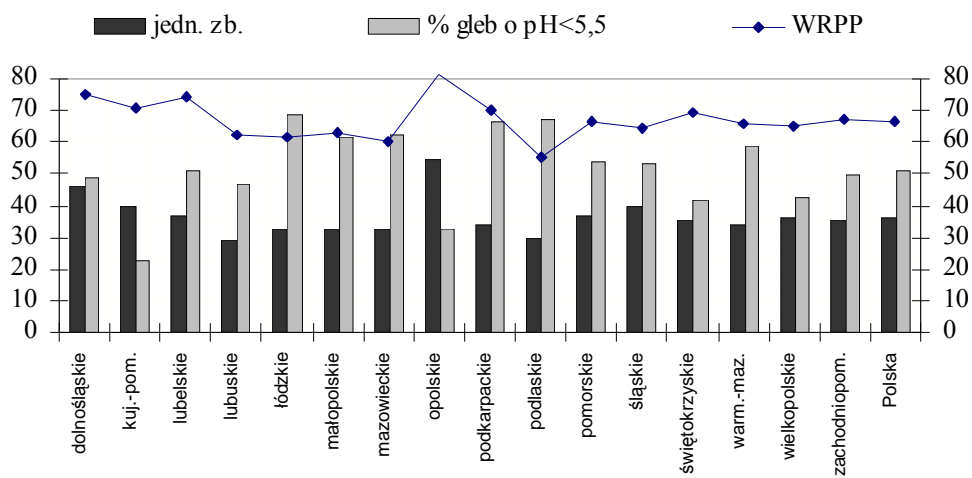
roślinnej. Może to wskazywać na nie zrównoważenie gospodarki tymi nawozami i dużą presję nadmiaru azotu na środowisko.

W Polsce występuje również dość ścisła korelacja ($r = 0,72$) pomiędzy zużyciem nawozów azotowych i wielkością plonów zbóż (rys. 7). Poniżej dolnej granicy przedziału ufności prostej regresji pozostają województwa lubuskie, łódzkie, podlaskie, mazowieckie i warmińsko-mazurskie. Województwa te posiadają niesprzyjające warunki naturalne do produkcji zbóż. Największą produkcję roślinną uzyskano w 2008 r. w województwach dolnośląskim, kujawsko-pomorskim, opolskim i śląskim, a niewiele mniejszą w województwach pomorskim i wielkopolskim (rys. 8). Analizując rysunek 8 można stwierdzić dodatnią zależność pomiędzy wielkością plonów roślin i wskaźnikiem jakości rolniczej przestrzeni produkcyjnej (WRPP) oraz ujemną zależność pomiędzy wielkością plonów i udziałem gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych o $pH < 5,5$. Od tej prawidłowości występują jednak wyjątki, tj. w województwach kujawsko-pomorskim, lubelskim i świętokrzyskim, gdzie mimo lepszych niż średnie dla Polski warunków naturalnych wielkość uzyskiwanych plonów roślin jest niezadowolająca. W województwach lubelskim i świętokrzyskim można to tłumaczyć małymi dawkami nawozów azotowych i tutaj zwiększenie ich wielkości może być uzasadnione. W województwie kujawsko-pomorskim stosuje się jednak największe w kraju dawki nawozów, a gleby wykazują uregulowany odczyn. Zatem przyczyna niższych od oczekiwanych plonów leży w czynnikach pozanawozowych, tj. organizacyjnych. W województwach łódzkim, małopolskim, mazowieckim, podkarpackim i warmińsko-mazurskim przyczyną małych plonów roślin jest silne zakwaszenie gleb. W województwach tych,



Rys. 7. Zależność pomiędzy wielkością dawek nawozów azotowych i plonami zbóż w województwach w Polsce w latach 2004–2006

Źródło: opracowanie własne (6).



Rys. 8. Plony roślin w jednostkach zbożowych z ha w 2008 roku, udział gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych oraz wskaźnik waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej WRPP w województwach i w Polsce

Źródło: opracowanie własne.

a zwłaszcza w łódzkim i warmińsko-mazurskim nie powinno się zwiększać dawek nawozów azotowych (i tak już dużych) przed uregulowaniem odczynu gleb, gdyż wystąpi tu duża presja środowiskowa powodowana nadmiarem azotu. Ta uproszczona analiza potwierdza tezę, że rozpatrując skutki produkcyjne i środowiskowe nawożenia, trzeba koniecznie uwzględniać naturalne warunki do produkcji rolnej (w tym odczyn gleby) oraz wielkość uzyskiwanych plonów roślin.

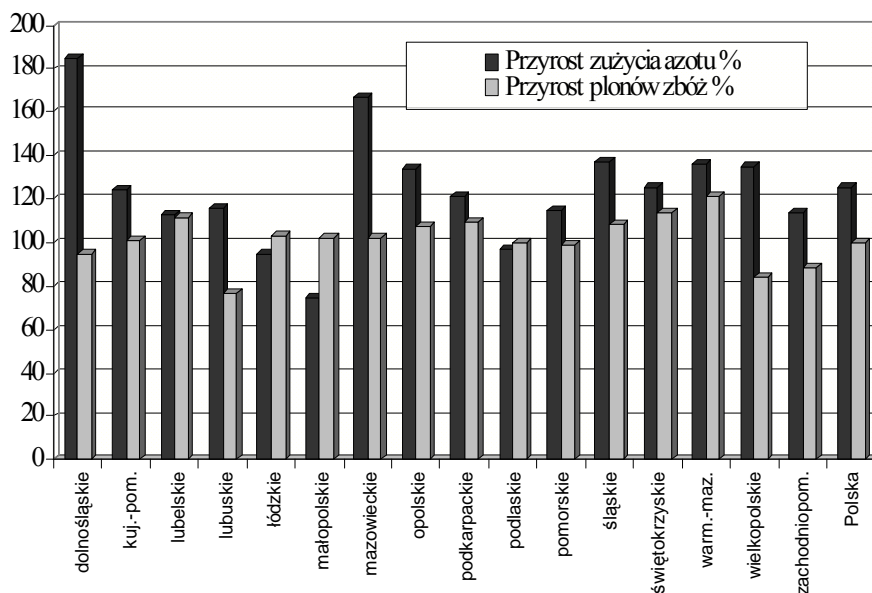
Prognozując zapotrzebowanie na nawozy na podstawie związku pomiędzy ich zużyciem i wielkością plonu roślin należy przyjąć, że na każde 100 kg przyrostu plonu zbóż trzeba będzie dodatkowo przeznaczyć co najmniej 2 kg N. Zakładając utrzymanie obecnej produkcji zbóż na poziomie 26-28 mln ton i konieczność wycofania spod uprawy około 1 mln ha gruntów orných (z przeznaczeniem na produkcję roślin energetycznych) obecne plony zbóż powinny ulec zwiększeniu o 400–500 kg ziarna z ha (21). Przyjmując podaną wyżej nawozochłonność produkcji zbóż zużycie nawozów azotowych powinno się zwiększyć o około 10 kg N · ha⁻¹. Wyniki te są dosyć zbieżne z wyliczeniami zapotrzebowania na nawozy azotowe na podstawie trendu ich zużycia (21). Słabość takiego rozumowania w konfrontacji z sytuacją w krajach Europy Zachodniej polega na tym, że przy podobnej nawozochłonności produkcji roślinnej uzyskuje się w większości z nich dwukrotnie większe plony zbóż od uzyskiwanych w Polsce. Jak już wcześniej wspomniano w krajach tych od wielu lat jest ustabilizowane zużycie nawozów, a nawet postępuje spadek tego zużycia. Wynika to z lepszych w tych krajach warunków naturalnych do produkcji rolnej, starej „siły nawozowej” gleb, ale również ze wzrastającego znaczenia pozanawozowych czynników produkcji (postęp genetyczny w nasiennictwie, ochrona roślin, struktura obszarowa itp.), które w Polsce nie są w pełni uruchamiane.

Dosyć pesymistyczne są również wnioski z porównania trendów przyrostu zużycia nawozów azotowych i plonów zbóż w latach 2005–2008 (rys. 9). W okresie tym zużycie nawozów azotowych w Polsce wzrosło o ponad 25%, a nawozów ogółem NPK o niemal 30%, podczas gdy plony zbóż uległy zmniejszeniu o około 0,4%, a ogólnie produkcja roślinna wzrosła o zaledwie 6%. W większości województw (z wyjątkiem łódzkiego, małopolskiego i podlaskiego) przyrost zużycia nawozów azotowych wyprzedzał, niekiedy znacznie, przyrost plonów zbóż.

Wydaje się, że wydajność produkcji roślinnej w ostatnich latach nie nadąża za przyrostem zużycia nawozów mineralnych, zwłaszcza azotowych. Zagadnienie to wymaga jednak głębszej analizy wykraczającej poza ramy niniejszego opracowania.

Zużycie nawozów naturalnych

O wielkości produkcji nawozów naturalnych decyduje obsada i struktura pogłowia oraz system utrzymania zwierząt gospodarskich. Wielkość pogłowia krów i produkcja mleka są istotnie skorelowane z udziałem trwałych użytków zielonych, a obsada trzody chlewnej z udziałem zbóż w strukturze zasiewów, stanowiących główne źródło paszy dla tej grupy zwierząt. W okresie ostatnich 7 lat średnia obsada zwierząt w Polsce jest względnie stała i wynosi 0,42-0,45 DJP · ha⁻¹ UR. Obsada zwierząt

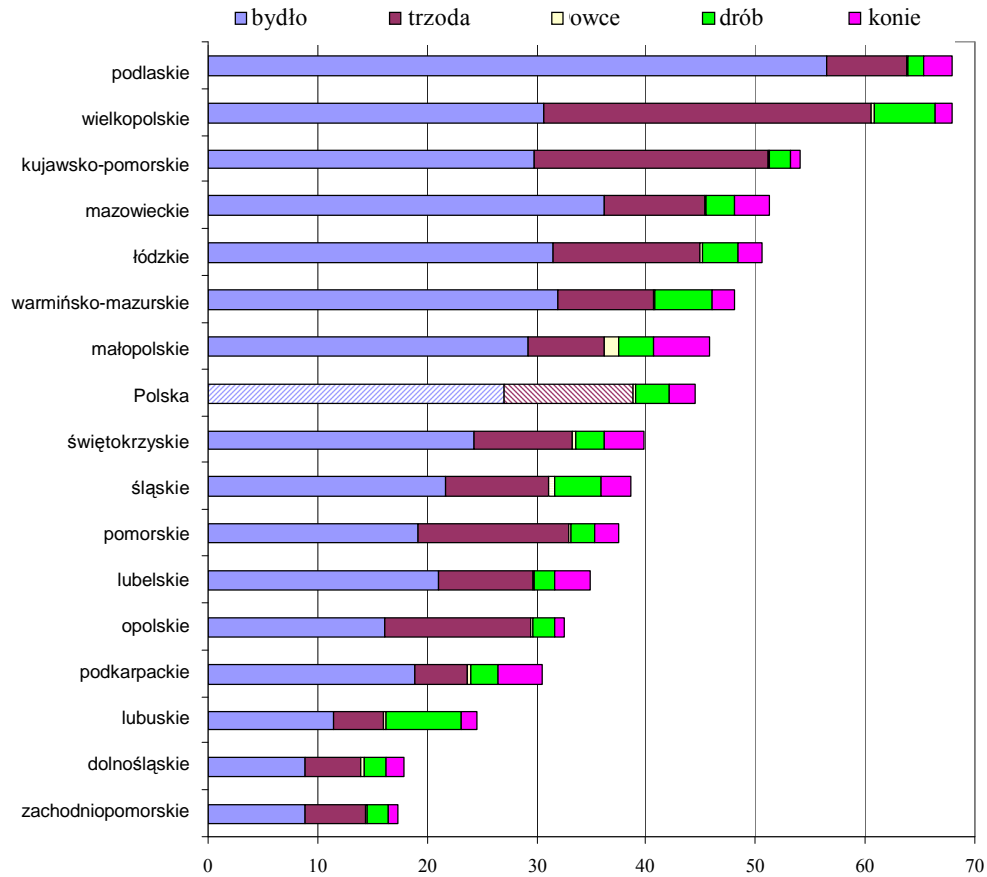


Rys. 9. Względny przyrost zużycia nawozów azotowych i plonów zbóż w latach 2005–2008 w województwach (stan na 2005 roku przyjęto za 100%)

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych PIPC, GUS (26, 27).

wyказuje jednak bardzo znaczne zróżnicowanie regionalne (rys. 10). Największa obsada zwierząt występuje w województwach podlaskim i wielkopolskim (ok. $0,67 \text{ DJP} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$), a najmniejsza w województwach: dolnośląskim, lubuskim i zachodniopomorskim ($0,16\text{-}0,26 \text{ DJP} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$). Znaczne zróżnicowanie regionalne widoczne jest także w kierunkach produkcji zwierzęcej. W województwach: podlaskim, mazowieckim, warmińsko-mazurskim, małopolskim i podkarpackim dominuje wyraźnie chów bydła, zaś w województwach wielkopolskim, kujawsko-pomorskim, pomorskim i opolskim utrzymywane jest w połowie bydło i w połowie trzoda chlewna. W województwach wielkopolskim, warmińsko-mazurskim i lubuskim utrzymuje się dużo drobiu. Konie nie odgrywają większej roli w strukturze pogłównia zwierząt i z reguły występują w województwach o rozdrobnionym rolnictwie, tj. małopolskim, świętokrzyskim, lubelskim i podkarpackim.

Na podstawie obsady zwierząt można określić produkcję nawozów naturalnych (obornik, gnojowica, gnojówka), a następnie ilość składników mineralnych (tab. 1). Średnio w Polsce wnosi się z tymi nawozami 84 kg NPK , w tym niemal 29 kg azotu N , $15 \text{ kg fosforu } (\text{P}_2\text{O}_5)$ i ponad $40 \text{ kg potasu } (\text{K}_2\text{O})$ na 1 ha użytków rolnych. Są to ilości o około $1/3$ mniejsze od dostarczanych w nawozach mineralnych (13). W województwach: kujawsko-pomorskim, mazowieckim, podlaskim i wielkopolskim zużycie NPK pochodzące z nawozów naturalnych osiąga i przekracza 100 kg na ha , w tym $35\text{-}45 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$. W tym miejscu warto podać, że jednostka przeliczeniowa zwierząt (DJP) emituje rocznie do gleb w formie nawozów naturalnych około 64 kg N , $33 \text{ kg P}_2\text{O}_5$ (14 kg P) i niemal $90 \text{ kg K}_2\text{O}$ (75 kg K); (8, 19).



Rys. 10. Struktura i obsada zwierząt inwentarskich w $DJP \cdot 100 \text{ ha}^{-1} \text{ UR}$ w Polsce i województwach w roku 2007

Źródło: obliczenia własne (16, 20).

Zużycie azotu pochodzącego z nawozów mineralnych i naturalnych

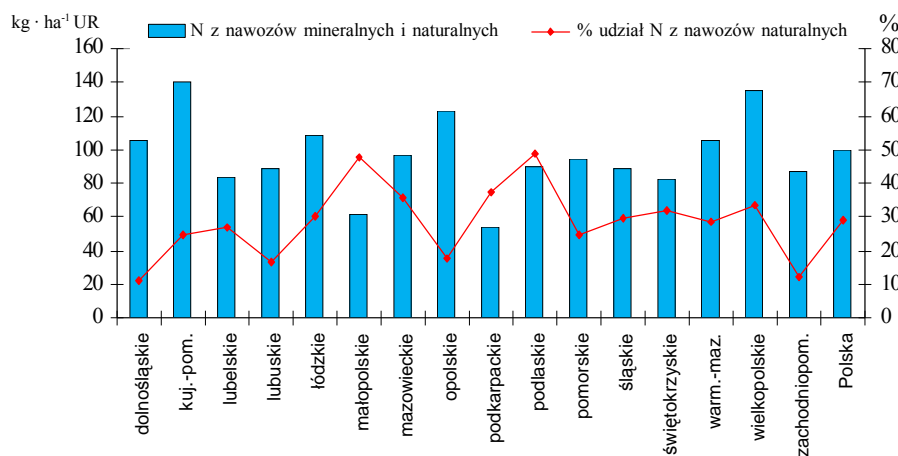
Presję na środowisko ze strony składników mineralnych należy oceniać łącznie w stosunku do składników pochodzących z nawozów mineralnych i nawozów naturalnych. Na rysunku 11 podano sumaryczne ilości azotu pochodzącego z obydwu źródeł w województwach, z zaznaczeniem udziału tego składnika pochodzącego z nawozów naturalnych. Przeciętne zużycie azotu z obydwu źródeł wynosi w Polsce niemal $100 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, w tym azot z nawozów naturalnych stanowi 29%. Zarówno zużycie, jak i udział azotu wykazuje jednak bardzo duże zróżnicowanie regionalne. Znacznie większe od średniej dla Polski ilości azotu zużywane są w województwach kujawsko-pomorskim, opolskim i wielkopolskim, a nieco mniejsze, ale również przewyższające średnią krajową, w województwach łódzkim i warmińsko-mazurskim. W wojewódz-

Tabela 1

Produkcja składników nawozowych (netto) w nawozach naturalnych w województwach i w Polsce w latach 2005–2008

Województwa	N		P ₂ O ₅		K ₂ O		NPK	
	tys. ton	kg·ha ⁻¹ UR	tys. ton	kg·ha ⁻¹ UR	tys. ton	kg·ha ⁻¹ UR	tys. ton	kg·ha ⁻¹ UR
Dolnośląskie	11,5	11,8	6,2	6,4	14,6	15,0	32	33
Kujawsko-pomorskie	36,8	34,6	20,7	19,4	50,2	47,2	108	101
Lubelskie	34,6	22,6	17,6	11,5	49,2	32,1	101	66
Lubuskie	7,2	14,7	3,7	7,6	8,5	17,4	19	40
Łódzkie	36,5	33,0	18,7	17,0	51,1	46,3	106	96
Małopolskie	20,7	29,2	9,8	13,8	30,0	42,2	60	85
Mazowieckie	73,5	34,2	35,2	16,3	107,4	49,9	216	100
Opolskie	12,0	21,4	6,9	12,3	15,9	28,3	35	62
Podkarpackie	15,4	20,0	7,5	9,7	21,4	27,9	44	58
Podlaskie	48,5	43,6	21,6	19,4	76,8	69,0	147	132
Pomorskie	18,1	23,4	10,2	13,2	24,3	31,3	53	68
Śląskie	12,2	26,3	6,4	13,8	16,1	34,7	35	75
Świętokrzyskie	15,0	26,2	7,4	13,0	21,1	36,9	44	76
Warmińsko-mazurskie	29,9	29,9	14,5	14,5	43,7	43,7	88	88
Wielkopolskie	80,6	45,0	47,3	26,5	101,8	56,9	230	128
Zachodniopomorskie	10,4	10,7	5,8	5,9	13,2	13,5	29	30
Polska	463,0	28,9	239,5	14,9	645,3	40,2	1348	84

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 11. Zużycie azotu w nawozach mineralnych i naturalnych oraz udział azotu z nawozów naturalnych w ogólnym zużyciu składnika w województwach w 2008 roku

Źródło: obliczenia własne.

twach tych należy się liczyć z dużą presją azotu pochodzącego z nawozów na środowisko glebowe i wodne. Znacznie większy od średniej dla Polski udział azotu pochodzącego z nawozów naturalnych stwierdza się w województwach małopolskim, mazowieckim, podkarpackim i podlaskim, w których zużycie nawozów mineralnych jest najmniejsze w kraju. Świadczy to o substytucji mineralnych nawozów azotowych przez azot z nawozów naturalnych, co należy uznać za zjawisko korzystne.

Nawozochłonność produkcji roślinnej liczona w stosunku do całej ilości stosowanego składnika jest większa od opisanej wcześniej nawozochłonności liczonej w stosunku do nawozów mineralnych. Tak liczona nawozochłonność wynosi przeciętnie w Polsce 2,8 kg N na jednostkę zbożową plonu globalnego. W województwach kujawsko-pomorskim, łódzkim i wielkopolskim nawozochłonność dawki całkowitej osiąga 3,5 kg N · j.zb.⁻¹, a w województwach lubuskim, podlaskim i warmińsko-mazurskim przekracza 3 kg N · j.zb.⁻¹. W województwach tych należy się liczyć z pewnymi zagrożeniami dla środowiska z powodu nadmiaru azotu pochodzącego ze stosowanych nawozów mineralnych i naturalnych.

Bilans azotu na powierzchni pola

Poza nawozami mineralnymi i naturalnymi azot dopływa do rolnictwa w formie opadu atmosferycznego, wiązania azotu przez bakterie wolnożyjące i bakterie symbiotyczne oraz z białkiem importowanych pasz. Z uwagi na presję jego związków na środowisko bardziej interesujące niż suma dopływu jest saldo bilansu azotu rozumiane jako różnica pomiędzy dopływem ze wszystkich źródeł i odpływem w produktach roślinnych zabieranych z pola lub produktach rolnych sprzedawanych z gospodarstwa.

W analizach regionalnych stosuje się z reguły metodę bilansowania składników „na powierzchni pola”, zalecaną oficjalnie i obowiązującą dla azotu i fosforu w krajach członkowskich OECD (2, 15). W metodzie tej po stronie przychodów uwzględnia się ilość składników w nawozach mineralnych i naturalnych, ilość składników wprowadzanych z materiałem siewnym (sadzeniakowym), a w przypadku azotu również w opadzie azotu z atmosfery i wiązanie biologiczne. Po stronie rozchodów uwzględnia się ilość składnika zabieraną z pola z plonami roślin. Dzięki jednolitej metodyce możliwe jest dokonywanie porównań pomiędzy poszczególnymi państwami (tab. 2).

Przeciętne saldo bilansu azotu dla krajów UE-15 latach 2002–2004 wynosiło 88 kg N · ha⁻¹ UR. W tym okresie Polska wykazywała saldo bilansu o połowę mniejsze i ustępowała pod tym względem tylko Austrii, Francji i Portugalii, co należy uznać za wynik bardzo dobry. Saldo bilansu azotu w krajach UE-15 ulega jednak systematycznemu zmniejszaniu, na co wskazuje porównanie jego stanu z lat 1990–1992 (rys. 12). W ciągu 10-14 lat (po roku 1990) saldo bilansu azotu w krajach UE-15 uległo zmniejszeniu o około 20%, a w niektórych krajach o wysokiej wyjściowej wartości tego salda jego zmniejszenie było jeszcze większe. W Polsce w tym okresie nie nastąpiły istotne zmiany salda bilansu azotu. Natomiast znaczący spadek miał miejsce wcze-

Tabela 2

Saldo bilansu azotu i wykorzystanie azotu w wybranych krajach UE-15 w latach 2002–2004*

Wyszczególnienie**	A	BL	DK	FIN	F	D	IRL	I	NL	PL	P	S	UK	N	UE15
Bilans $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \text{UR}$	44	206	131	55	24	102	82	46	254	43	31	75	54	84	88
Wykorzystanie N (%)	65	49	46	71	86	66	73	75	45	57	61	68	88	88	67

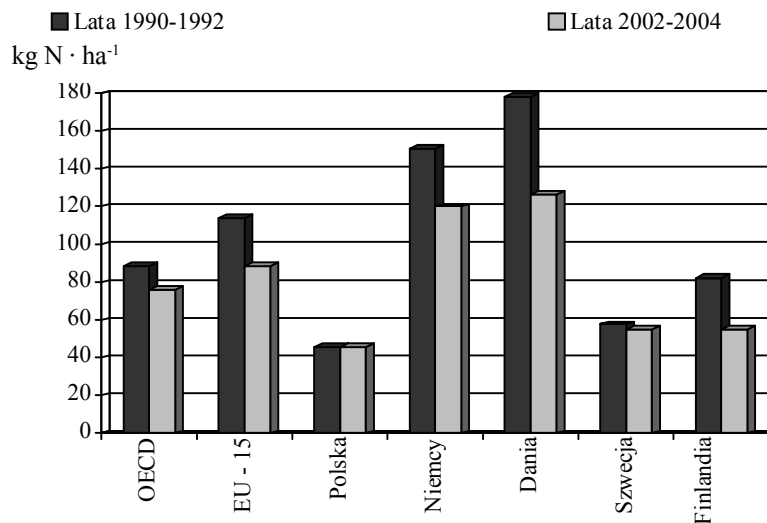
* nowsze dane nie są jeszcze dostępne

** A – Austria, BL – Bułgaria, DK – Dania, FIN – Finlandia, F – Francja, D – Dania, IRL – Irlandia, I – Włochy, NL – Holandia, PL – Polska, P – Portugalia, SE – Szwecja, UK – Wlk. Brytania, N – Norwegia

Źródło: opracowanie własne (6, 7).

śniej, w okresie intensywnych przemian gospodarczych i transformacji ustrojowej (17). Z dużą pewnością można przypuszczać, że w okresie ostatnich 6 lat nastąpiło dalsze zmniejszenie salda bilansu w większości krajów UE, za czym przemawia systematyczny spadek zużycia nawozów azotowych i utrzymujące się na wysokim poziomie plony roślin.

Wykorzystanie azotu w krajach europejskich wynosiło średnio 67%, natomiast Polska z wykorzystaniem azotu w granicach około 57% znajdowała się poniżej tej średniej (tab. 2). Bardzo dobre wykorzystanie azotu występuje we Francji, Wielkiej Brytanii i Norwegii. Małe wykorzystanie azotu notuje się w Holandii i Danii, co wynika z bardzo dużego dopływu składnika w nawozach naturalnych i mineralnych. W Polsce saldo bilansu azotu w ostatnich latach wyraźnie wzrosło i w 2008 roku dochodziło do



Rys. 12. Porównanie sald bilansu azotu w wybranych krajach UE w okresach 1990–1992 i 2002–2004

Źródło: opracowanie własne (7, 21).

60 kg N · ha⁻¹ (tab. 3). Wynika to ze zwiększonego w tym okresie zużycia nawozów azotowych i stagnacji plonów roślin. Obok salda bilansu azotu ważnym wskaźnikiem jest jego wykorzystanie, rozumiane jako iloraz całkowitego (ze wszystkich źródeł) dopływu i całkowitego odpływu. Jest on podobny do wskaźnika zwanego nawozochłonnością produkcji roślinnej.

Zarówno poszczególne elementy bilansu azotu, jak i jego saldo są znacznie zróżnicowane regionalnie (tab. 3). Bardzo duże nadwyżki bilansowe azotu występują w województwach kujawsko-pomorskim, łódzkim i wielkopolskim, a duże w województwie lubuskim. W województwach tych wykorzystanie azotu jest jednocześnie znacznie mniejsze od średniej wartości dla Polski. Małymi nadwyżkami azotu i dobrym wykorzystaniem tego składnika charakteryzują się natomiast województwa małopolskie i podlaskie. W województwach tych uzyskuje się jednak jedne z najmniejszych w kraju plonów roślin.

Zmiany zawartości azotu mineralnego w glebach Polski

Dokonana dotychczas ocena presji składników mineralnych, a szczególnie azotu na środowisko miała charakter pośredni, gdyż przeprowadzono ją na podstawie wskaźników zewnętrznych, tzn. ilości azotu w nawozach i nawozochłonności produkcji ro-

Tabela 3

Bilans azotu brutto dla Polski i województw (średnio z lat 2006–2008)

Województwo	Wartości elementów bilansu (kg N·ha ⁻¹ UR)					Wykorzystanie N (odpływ/ dopływ)
	dopływ			odpływ (b)	saldo (a-b)	
	ogółem (a)	w tym nawożenie:				
		mineralne	naturalne			
Dolnośląskie	115,4	75,9	15,3	71,6	43,8	62,0
Kujawsko-pomorskie	167,9	99,7	42,5	79,9	88,0	47,6
Lubelskie	112,7	59,3	27,1	62,2	50,5	55,2
Lubuskie	114,3	69,8	20,0	51,6	62,7	45,1
Łódzkie	141,5	76,0	40,5	65,6	75,9	46,4
Małopolskie	98,0	35,9	36,6	69,3	28,7	70,8
Mazowieckie	125,9	59,5	41,6	65,2	60,7	51,8
Opolskie	139,8	88,6	26,4	88,9	50,9	63,6
Podkarpackie	84,0	34,6	25,1	60,5	23,5	72,0
Podlaskie	121,2	47,1	49,9	81,6	39,6	67,3
Pomorskie	126,7	71,3	30,1	69,3	57,3	54,7
Śląskie	118,0	59,0	34,5	69,3	48,7	58,7
Świętokrzyskie	113,9	55,2	32,4	61,7	52,2	54,1
Warmińsko-mazurskie	137,7	76,0	37,1	75,2	62,5	54,6
Wielkopolskie	170,8	86,2	59,0	78,4	92,4	45,9
Zachodniopomorskie	113,2	74,2	14,4	59,3	53,9	52,4
Polska	129,0	67,9	36,0	69,8	59,2	54,1

Źródło: opracowanie własne (17, 18, 24).

ślinnej oraz bilansu azotu i wykorzystania całej ilości składnika dopływającego do rolnictwa. Ocenę tę, uwzględniając dostępność danych, prowadzono w układzie porównań z innymi krajami europejskimi. W Polsce dzięki wieloletnim badaniom monitoringowym możliwe jest także dokonanie oceny bezpośredniej, szacując ilość azotu (a ściślej azotanów) wymywanego z gleby i przenikającego do wód glebowo-gruntowych. Monitoring polega na regularnych, prowadzonych dwukrotnie w roku (jesienią i wiosną) pomiarach zawartości azotu mineralnego w profilu gleby do głębokości 90 cm. Różnica pomiędzy zawartością azotu jesienią i wiosną traktowana jest jako bezpośrednia miara presji nadmiaru składnika na środowisko wodne (12). Najważniejszymi czynnikami wpływającymi na tak rozumiane straty azotu z gleby okazały się jej skład granulometryczny oraz ilość azotu pozostająca w glebie po zbiorze roślin (jesienią) związana z gatunkiem uprawianej rośliny i wielkością zastosowanych pod nią dawek azotu w nawozach mineralnych i naturalnych (tab. 4).

Tabela 4

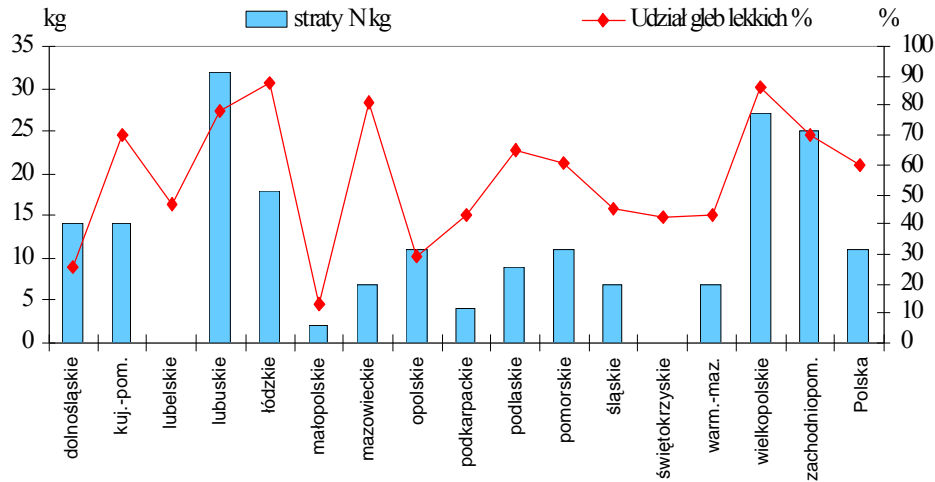
Przeciętny zasób azotu azotanowego w glebie w okresie jesieni i wiosny oraz straty azotu w okresie zimowym zależnie od kategorii agronomicznej gleby (lata 1998–2002)

Kategoria agronomiczna gleby	Liczba próbek gleby	Zawartość N-NO ₃ (kg·ha ⁻¹)		Różnice zawartości (straty N-NO ₃)
		jesień	wiosna	
Bardzo lekkie	10915	52,4	35,3	17,1
Lekkie	19786	63,9	52,5	11,4
Średnie	8844	68,0	62,2	5,8
Ciężkie	8030	72,5	69,4	3,1

Źródło: opracowanie własne (7, 12, 15).

Znając udział gleb zaliczonych do kategorii agronomicznych w poszczególnych województwach możliwe było oszacowanie bezpośrednich strat azotu azotanowego w układzie regionalnym w Polsce (rys. 13).

Największe straty azotu azotanowego do wód glebowo-gruntowych stwierdzono w województwach lubuskim, łódzkim, wielkopolskim i zachodnio-pomorskim, a najmniejsze (lub brak strat) w województwach lubelskim, małopolskim, podkarpackim i świętokrzyskim (4, 12). W województwach lubuskim, łódzkim i wielkopolskim obserwacje z badań pośrednich i bezpośrednich, dotyczące dużej presji nadmiaru azotu, są ze sobą dość zgodne. To samo dotyczy województw małopolskiego i podkarpackiego, w których małą presję nadmiaru azotu na środowisko wykazano obydwoma metodami. Straty azotu zbliżone do średnich dla Polski stwierdza się w województwach dolnośląskim, opolskim i śląskim, które wypadają również korzystnie w pośredniej metodzie oceny presji azotu. Rozbieżności występują natomiast w przypadku województw kujawsko-pomorskiego, w którym presja oszacowana pośrednio jest bardzo dużą, a wyznaczona na podstawie strat azotanów tylko nieco większa od średniej dla Polski oraz województwa świętokrzyskiego, w którym presja oszacowana metodami pośrednimi jest średnia, a ustalona na podstawie strat azotanów bardzo mała (straty



Rys. 13. Straty azotu azotanowego z profilu gleby 0-90 cm w $\text{kg N-NO}_3 \cdot \text{ha}^{-1}$ i udział gleb bardzo lekkich i lekkich w województwach (%)

Źródło: opracowanie własne (4, 5, 11).

zbliżone do zera). Ogólnie jednak zgodność obydwu metod szacowania presji azotu na środowisko należy uznać za zadowalającą.

Regionalne zróżnicowanie presji środowiskowej azotu w Polsce

W opracowaniu przedstawiono kilka podstawowych wskaźników pozwalających na ocenę stopnia zagrożenia danego obszaru nadmiarem azotu pochodzącego z różnych źródeł, w tym przede wszystkim z nawozów mineralnych i naturalnych. Najmniejszą jednostką obszarową było województwo, gdyż tylko dla takich jednostek dostępne są wiarygodne dane liczbowe. Wskaźniki te starano się zintegrować i wyznaczyć na tej podstawie obszary zagrożone o szczególnie dużej presji środowiskowej ze strony azotu. Posłużono się w tym celu wielozmienną analizą skupień. Wskaźniki uwzględnione w analizie zamieszczono w tabeli 5. Na podstawie analizy skupień wydzielono 6 grup województw różniących się pod względem presji azotu na środowisko, warunków naturalnych do produkcji rolnej i wielkości produkcji roślinnej (tab. 6). Charakterystykę opisową skupień (poszczególnych grup województw) zamieszczono w tabeli 7.

Bardzo duża presja środowiskowa azotu występuje w 4 województwach (skupienia nr 2 i 4), tj. w województwach kujawsko-pomorskim, wielkopolskim, lubuskim i zachodniopomorskim o nienajlepszych warunkach naturalnych do produkcji rolnej. W kujawsko-pomorskim i wielkopolskim presja ta może być objaśniona dobrymi wynikami produkcyjnymi, a złe warunki naturalne są bardzo dobrze rekompensowane wysokimi dawkami nawozów azotowych.

Bardzo mała i mała presja środowiskowa azotu występuje w 7 województwach:

Tabela 5

Wskaźniki presji azotu w poszczególnych województwach uwzględnione w analizie skupień

Województwo (skrót nazwy)	Nawozy mineralne (kg N·ha ⁻¹ UR)	Nawozy naturalne (kg N·ha ⁻¹ UR)	Nawozochłon- ność (kg N j.zb. ⁻¹ plonu) ¹⁾	Saldo bilansu N (kg·ha ⁻¹ UR)	Wykorzy- stanie azotu (%) ²⁾	Straty ³⁾ N-NO ₃ (kg·ha ⁻¹)	Plon jedn. zboż·ha ⁻¹	Udział gleb kwasnych (%)	Udział gleb lekkich (%)
Dolnośląskie (DLN)	75,9	15,3	2,29	43,9	62,0	14	45,8	48,7	25,6
Kujawsko-pomorskie (KUJ)	99,7	42,5	3,50	88,0	47,6	14	40,0	22,6	69,8
Lubelskie (LUB)	59,3	27,1	2,28	50,4	55,2	0	36,6	50,9	46,8
Lubuskie (LUS)	69,8	20,0	3,04	62,7	45,1	32	29,2	46,7	72,2
Łódzkie (LOD)	76,0	40,5	3,32	75,9	46,4	18	32,8	68,7	87,8
Małopolskie (MLP)	35,9	36,6	1,89	28,6	70,8	2	32,6	61,6	14,3
Mazowieckie (MAZ)	59,5	41,6	2,99	60,6	51,8	7	32,3	62,6	81,0
Opolskie (OPL)	88,6	26,4	2,25	50,8	63,6	11	54,7	32,7	29,2
Podkarpackie (PDK)	34,6	25,1	1,60	23,5	72,0	4	33,8	66,3	52,0
Podlaskie (PDL)	47,1	49,9	3,02	39,6	67,3	9	29,7	67,2	65,3
Pomorskie (POM)	71,3	30,1	2,56	57,3	54,7	11	36,7	53,7	60,3
Śląskie (SLS)	59,0	34,5	2,22	48,7	58,7	7	39,9	53,1	45,3
Świętokrzyskie (SWT)	55,2	32,4	2,31	52,2	54,1	0	35,4	42,0	42,3
Warmińsko-mazurskie (WAM)	76,0	37,1	3,07	62,5	54,6	7	34,2	59,0	43,2
Wielkopolskie WLP)	86,2	59,0	3,71	92,4	45,9	27	36,4	42,2	86,0
Zachodniopomorskie (ZAP)	74,2	14,4	2,45	53,9	52,4	25	35,4	49,6	70,3
Polska (PL)	67,9	36,0	2,77	59,2	54,1	11	36,0	51,0	59,5

¹⁾ nawozochłonność produkcji roślinnej liczona w stosunku do całkowitej dawki N z nawozów mineralnych i naturalnych, ²⁾ stosunek odpływu do dopływu azotu,³⁾ różnica zawartości N-NO₃ w profilu glebowym 0-90 cm w okresie jesieni i wiosny

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 6

Zaszeregowanie województw do skupień pod względem rozmiaru presji azotu na środowisko

Skupienie	Województwo	Nawozy mineralne (kg N·ha ⁻¹ UR)	Nawozy naturalne (kg N·ha ⁻¹ UR)	Nawozochłonność (kg N _j ·zh ⁻¹ plonu)	Saldo bilansu N (kg·ha ⁻¹ UR)	Wykorzystanie azotu (%)	Straty N-NO ₃ (kg·ha ⁻¹)	Plon (jedn. zboż·ha ⁻¹)	Udział gleb kwaśnych (%)	Udział gleb lekkich (%)
1.	DLN, OPL	82,3	20,9	2,3	47,4	62,8	12,5	50,3	40,7	27,4
2.	KUJ, WLP	93,0	50,8	3,6	90,2	46,8	20,5	38,2	32,4	77,9
3.	LUB, POM, SLS, SWT, WAM	64,2	32,2	2,5	54,2	55,5	5,0	36,6	51,7	47,6
4.	LUS, ZAP	72,0	17,2	2,7	58,3	48,8	28,5	32,3	48,2	71,3
5.	LOD, MAZ, PDL	60,9	44,0	3,1	58,7	55,2	11,3	31,6	66,2	78,0
6.	MLP, PDK	35,3	30,9	1,7	26,1	71,4	3,0	33,2	64,0	33,2
Polska		67,9	36,0	2,77	59,2	54,1	11	36,0	51,0	59,5

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 7

Charakterystyka opisowa skupień województw

Skupienie	Województwo	Warunki naturalne	Produkcja globalna	Środowiskowa presja azotu
1.	DLN, OPL	bardzo dobre	bardzo wysoka	średnia
2.	KUJ, WLP	złe	wysoka	bardzo duża
3.	LUB, POM, SLS, SWT, WAM	dobrze	średnia	mała
4.	LUS, ZAP	złe	niska	bardzo duża
5.	LOD, MAZ, PDL	bardzo złe	bardzo niska	średnia
6.	MLP, PDK	dobrze	średnia	bardzo mała

Źródło: opracowanie własne.

lubelskim, pomorskim, śląskim, świętokrzyskim, warmińsko-mazurskim, małopolskim i podkarpackim o dobrych warunkach naturalnych do produkcji rolnej, ale o zaledwie średnim poziomie produkcji roślinnej (skupienia nr 3 i 6). Skrajnie zróżnicowane są skupienia nr 1 i 5. W obydwu skupieniach presja środowiskowa azotu jest średnia, ale w województwach dolnośląskim i opolskim, posiadających najlepsze warunki naturalne, uzyskuje się bardzo dużą produkcję roślinną. Natomiast w województwach łódzkim, małopolskim i podlaskim bardzo złe warunki naturalne rzutują na najniższy w kraju poziom produkcji roślinnej.

Podsumowanie

Na podstawie analizy można stwierdzić występowanie w Polsce presji spowodowanej stosowaniem mineralnych nawozów azotowych na środowisko (przynajmniej na pewnych obszarach). Obecnie obserwowany trend wzrostu zużycia nawozów azotowych jest odwrotny do tendencji w większości krajów UE-15, w których następuje obniżenie lub stabilizacja dawek nawozów. Zużycie tych nawozów zarówno na 1 ha użytków rolnych, jak i na mieszkańca jest jednak mniejsze niż w krajach Unii Europejskiej. Pomimo podobnej jak w innych krajach UE nawozochłonności produkcji roślinnej w Polsce uzyskuje się mniejsze plony zbóż. Jest to wynikiem znacznie gorszych warunków naturalnych do produkcji rolnej i konieczności jej wspomagania nawożeniem, ale również z powodu innych czynników decydujących o wielkości plonów roślin.

Niekorzystna sytuacja w zakresie stosowania nawozów wapniowych, których zużycie od 1995 roku systematycznie obniża się (osiągnęło poziom niespełna 40 kg CaO na 1 ha użytków rolnych) powoduje wzrost zakwaszenia gleb w Polsce, a w efekcie obniżenie plonów roślin i efektywności nawożenia mineralnego. Bez poprawy sytuacji w zakresie wapnowania gleb presja nawozów azotowych na środowisko będzie stale wzrastać. Występuje tu przeciwstawna zależność.

Obsada zwierząt inwentarskich jest w Polsce stosunkowo niewielka i nie przekra-

cza 0,47 dużej jednostki przeliczeniowej (DJP) na 1 ha użytków rolnych. Poziom obsady inwentarza nie uległ zmianie w ostatnich latach. Ilość azotu wnoszona w nawozach naturalnych jest znacząca i stanowi niemal 30% ogólnej ilości składnika dostarczanego w nawozach. W województwach małopolskim, mazowieckim, podkarpackim i podlaskim azot z nawozów naturalnych wykorzystywany jest jako substytut azotu z nawozów mineralnych, natomiast w województwach kujawsko-pomorskim, łódzkim, opolskim, warmińsko-mazurskim i wielkopolskim stosuje się zbyt duże dawki tego składnika w obydwu rodzajach nawozów. W województwie opolskim jest to uzasadnione dużymi plonami roślin i stosunkowo małą nawozochłonnością produkcji roślinnej względem azotu. Natomiast w województwach kujawsko-pomorskim i wielkopolskim presja wynikająca z nadmiernego stosowania azotu w nawozach mineralnych i naturalnych jest największa.

Saldo bilansu azotu w Polsce uległo w ostatnich latach zwiększeniu. Niewielkiemu zmniejszeniu uległo wykorzystanie dopływającego do rolnictwa azotu (efektywność) spowodowane większym zużyciem nawozów azotowych bez wyraźnego postępu w wydajności jednostkowej produkcji roślinnej. Zarówno saldo bilansu azotu, jak i jego wykorzystanie wykazują znaczne zróżnicowanie terytorialne. Najmniej korzystnie kształtują się te wskaźniki w województwach kujawsko-pomorskim, łódzkim i wielkopolskim, w których należy oczekiwać dużej presji na środowisko ze strony nadmiaru azotu. Korzystna pod tym względem wydaje się sytuacja w województwach małopolskim i podlaskim, w których niewielka presja ze strony nadmiaru azotu wiąże się z małymi plonami roślin. Cele produkcyjne (duże plony roślin) i środowiskowe (umiarkowane saldo bilansu i dobre wykorzystanie azotu) są umiejętnie łączone w województwach dolnośląskim, opolskim i śląskim.

Bezpośrednia metoda oceny presji azotu na środowisko wykorzystująca badania monitoringowe zawartości azotu w glebach daje w ujęciu regionalnym podobne wyniki do metody pośredniej opartej na ilości azotu zastosowanego w nawozach i bilansie tego składnika (14). Województwa kujawsko-pomorskie, wielkopolskie, a także lubuskie i zachodniopomorskie mogą stanowić obszary zwiększonych zagrożeń pod względem presji nadmiaru azotu na środowisko. Województwa te położone są w całości lub znacznej części w zlewisku środkowej i dolnej Odry. Na wyróżnienie zasługują województwa dolnośląskie i opolskie odznaczające się bardzo dużą produktywnością i umiarkowaną presją środowiskową. Województwa te korzystają z „renty” posiadania bardzo dobrych warunków naturalnych do produkcji rolnej. Bardzo mała i mała presja środowiskowa azotu występuje w 7 województwach: lubelskim, pomorskim, śląskim, świętokrzyskim, warmińsko-mazurskim, małopolskim i podkarpackim o dobrych warunkach naturalnych do produkcji rolnej, ale o zaledwie średnim poziomie produkcji roślinnej.

Literatura

1. D u e r I.: Zasada wzajemnej zgodności nowym elementem Wspólnej Polityki Rolnej. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2009, **15**: 193-205.
2. Environmental indicators for agriculture: Table of contents. Agriculture Directorate, Paris. 2008, **vol. 4**.
3. Ewaluacja ex-post Planu Rozwoju Obszarów Wiejskich 2004–2006. Raport końcowy. MRiRW, Warszawa, 2009.
4. F o t y m a E., F o t y m a M., I g r a s J.: Stężenie azotanów w wodzie glebowej jako wskaźnik stanu środowiska rolniczego. *Fragm. Agron.*, 2005, **4(88)**: 19-36.
5. F o t y m a E., F o t y m a M.: Normatywy zawartości azotu mineralnego w glebie i stężeń azotanów w roztworze glebowym gleb gruntów ornych w Polsce. *Nawozy i Nawożenie/Fertilizers and Fertilization*, 2006, **1(26)**: 44-56.
6. F o t y m a M., I g r a s J., K o p i ń s k i J.: Produkcyjne i środowiskowe uwarunkowania gospodarki nawozowej w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy, 2009, **14**: 187-206.
7. F o t y m a M., I g r a s J., K o p i ń s k i J.: Wykorzystanie i straty obszarowe azotu z polowej produkcji roślinnej. W: *Udział polskiego rolnictwa w emisji związków azotu i fosforu do Bałtyku*. Red. J. Igras i M. Pastuszek. IUNG-PIB Puławy, 2009, 109-162.
8. F o t y m a M., K o p i ń s k i J.: Tabele pomocnicze. W: *Udział polskiego rolnictwa w emisji związków azotu i fosforu do Bałtyku*. Red. J. Igras i M. Pastuszek. IUNG-PIB Puławy, 2009, 377-388.
9. Forecast of food farming and fertilizer use. 2008–2018. Vol. 1: Executive summary and regional data. *Ann. Stat. Forec.*, EFMA, Brussels, 2006–2009.
10. Forecast of food farming and fertilizer use. 2008–2018. Vol. 2: Executive summary and regional data. *Ann. Stat. Forec.*, EFMA, Brussels, 2006–2009.
11. I g r a s J.: Stężenia składników mineralnych w wodach glebowo – gruntowych w Polsce. *Nawozy i Nawożenie/Fertilizers and Fertilization*, 2006, **1(26)**: 90-100.
12. I g r a s J.: Zawartość składników mineralnych w wodach drenarskich z użytków rolnych w Polsce. *Monografie i Rozprawy Naukowe*, IUNG-PIB Puławy, 2004, **13**: ss. 123.
13. I g r a s J., K o p i ń s k i J.: Zużycie nawozów mineralnych i naturalnych w układzie regionalnym. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2007, **5**: 107-115.
14. I g r a s J., P i e t r u c h C z.: Zawartość składników biogennych w wodach drenarskich w Polsce. *Nawozy i Nawożenie/Fertilizers and Fertilization*, 2005, **2(23)**: 97-111.
15. K o p i ń s k i J.: Bilans azotu brutto dla Polski i województw w latach 2002–2005. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2007, **5**: 117-131.
16. K o p i ń s k i J.: Stan i prognozowane kierunki zmian pogłowia zwierząt gospodarskich w Polsce do roku 2020. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2009, **17**: 149-159.
17. K o p i ń s k i J.: Wyniki bilansu azotu brutto w Polsce na tle zmian intensywności produkcji rolniczej. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2010, **20**: 39-51.
18. K o p i ń s k i J.: Zmiany intensywności organizacji produkcji rolniczej w Polsce. *J. Agribus. Rural Devel.*, 2009, **2(12)**: 85-92.
19. K o p i ń s k i J., M a d e j A.: Ilość azotu dostarczanego w nawozach naturalnych w zależności od obsady zwierząt. *Nawozy i Nawożenie/Fertilizers and Fertilization*, 2006, **4(29)**: 36-45.
20. K o p i ń s k i J., M a t y k a M.: Założenia do prognozy zużycia nawozów sztucznych dla Polski na lata na lata 2012/2013 i 2017/2018. *Ekspertyza dla PIPC*, 2009.
21. K o p i ń s k i J., T u j a k a A.: Bilans azotu i fosforu w rolnictwie polskim. *Woda Środ. Obsz. Wiejskie*. 2009, 9, **4(28)**: 103-116.
22. K o z y r a J., G ó r s k i T.: Wpływ zmian klimatu na uprawę roślin w Polsce. W: *Klimat –*

- Środowisko – Człowiek. Polski Klub Ekologiczny, 2004, 41-50.
23. K r a s o w i c z S., G ó r s k i T., B u d z y Ń s k a K., K o p i ń s k i J.: Charakterystyka rolnicza obszaru Polski. W: Udział polskiego rolnictwa w emisji związków azotu i fosforu do Bałtyku. Red. J. Igras i M. Pastuszek. IUNG-PIB, 2009, 41-108.
 24. Ochrona Środowiska. GUS Warszawa, roczniki 1991–2008.
 25. Roczniki Statystyczny. GUS Warszawa, 2009.
 26. Raport Roczny 2008 – Przemysł chemiczny w Polsce. Wyd. PIPC, 2009.
 27. Środki produkcji w rolnictwie. GUS Warszawa, roczniki 2001–2008.
 28. Z e g a r J., T o c z y ń s k i T., W r z a s z c z W.: Zrównoważenie polskiego rolnictwa w świetle danych statystyki publicznej. W: Z badań nad rolnictwem społecznie zrównoważonym (8). IERiGŻ-PIB Warszawa, 2009, **161**, ss. 156.
 29. Z i ę t a r a W.: Wewnętrzne uwarunkowania rozwoju polskiego rolnictwa. Roczn. Nauk Rol., G, 2008, **94(2)**: 80-94.

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Mariusz Fotyma
doc. dr hab. Janusz Igras
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
dr Jerzy Kopiński
Zakład Systemów i Ekonomiki Produkcji Roślinnej
IUNG-PIB Puławy
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.: (81) 886 34 21

e-mail: fot@iung.pulawy.pl; ij@iung.pulawy.pl; jkop@iung.pulawy.pl.

