

OBIEG SKŁADNIKÓW NAWOZOWYCH W GOSPODARSTWIE ROLNYM – RYS HISTORYCZNY I WSPÓŁCZESNE PODEJŚCIE

Stefan PIETRZAK

Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Zakład Chemii Gleby i Wody

Słowa kluczowe: gospodarstwo rolne, obieg składników nawozowych, oddziaływanie azotu i fosforu na środowisko, zarządzanie składnikami nawozowymi

Streszczenie

Straty składników nawozowych z produkcji rolnej, zwłaszcza azotu i fosforu, pogarszają wyniki ekonomiczne gospodarstw rolnych oraz wpływają na powstawanie niekorzystnych zmian w środowisku naturalnym. Potrzeba przeciwdziałania temu spowodowała, że w ciągu ostatnich dziesięcioleci (zwłaszcza w Europie Zachodniej i Ameryce Północnej) znacznie rozpowszechniły się i rozwinęły badania dotyczące obiegu składników nawozowych w rolnictwie. Problematykę tę, w wieloaspektowym ujęciu, zaprezentowano w niniejszej pracy na podstawie przeglądu literatury. Omówiono zmiany zachodzące w przepływie składników nawozowych w kolejnych fazach rozwoju rolnictwa i ich konsekwencje, znaczenie i możliwości wykorzystania modeli obiegu składników nawozowych, współczesne podejście do zarządzania składnikami nawozowymi. Uznano, że badania nad obiegiem składników nawozowych w gospodarstwie rolnym i jego kształtowaniem mają bardzo duże znaczenie dla upowszechnienia metod produkcji rolnej opartych na harmonizacji celów ekonomicznych i ekologicznych i istnieje uzasadniona potrzeba ich rozwijania.

WSTĘP

Gospodarstwo rolne to podstawowa jednostka organizacyjna, w której jest realizowany proces produkcji żywności, pasz dla zwierząt i surowców rolnych. Proces ten angażuje duże ilości składników nawozowych, z których tylko część zostaje przetworzona na produkty roślinne i zwierzęce. Pozostała ilość jest niewykorzysta-

Adres do korespondencji: dr inż. S. Pietrzak, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Zakład Chemii Gleby i Wody, 05-090 Raszyn; tel. +48 (22) 720 05 31 w. 224; e-mail: S.Pietrzak@imuz.edu.pl

na i ulega akumulacji w glebie, bądź migruje do wód powierzchniowych i podziemnych oraz do atmosfery. Gorlach [GORLACH, MAZUR, 2001] podaje, że według istniejącego stanu wiedzy 17 pierwiastków (tj. makroelementy: C, H, O, N, P, S, K, Ca, Mg i mikroelementy: Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Cl, Ni) uznaje się za niezbędne do wzrostu i reprodukcji wyższych roślin, a 22 pierwiastki określa się jako konieczne dla życia zwierząt (wszystkie makroelementy potrzebne roślinom, poza tym sód i chlor oraz wszystkie, z wyjątkiem boru, mikroelementy wymagane dla roślin i dodatkowo jeszcze jod, fluor, kobalt, selen, chrom). Z tej dużej grupy mineralnych składników odżywczych roślin i zwierząt szczególną uwagę skupiają obecnie dwa, tj. azot i fosfor – ponieważ z jednej strony w zasadniczym stopniu wpływają na poziom produkcji rolnej, a z drugiej mogą stanowić poważne zagrożenie dla środowiska naturalnego. Oddziaływanie azotu i fosforu na środowisko jest związane ze stratami tych składników z gospodarstw rolnych, a konkretnie z występowaniem takich zjawisk jak:

- erozja oraz spływ powierzchniowy z pól uprawnych i terenu zagród (w wyniku czego następuje transport związków azotu i fosforu do wód powierzchniowych),
- wymycie azotanów (NO_3^-) z gleb użytków rolnych,
- emisja amoniaku (NH_3) z nawozów naturalnych i gleb użytków rolnych nawożonych nawozami,
- emisja podtlenku azotu (N_2O) i tlenków azotu (NO_x) z gleb i nawozów naturalnych.

Konsekwencje związanych z tym zaburzeń w środowisku zależą od rodzaju czynnika oddziałującego i jego chemicznej postaci (tab. 1).

W warunkach nadmiernego wzbogacenia wód powierzchniowych azotem i fosforem dochodzi do ich eutrofizacji, co objawia się gwałtownym rozwojem fitoplanktonu – przeważnie glonów. W rezultacie eutrofizacji następuje degradacja wód, co poważnie ogranicza możliwość ich wykorzystania do celów bytowych, gospodarczych i rekreacyjnych. Z kolei wody podziemne, gdy stężenie azotu na skutek wymycia azotanów jest w nich zbyt duże, stają się nieprzydatne do spożycia przez ludzi i zwierzęta. Amoniak po opuszczeniu źródła emisji powraca z atmosfery do wód powierzchniowych, gleby i roślin w opadzie suchym i mokrym [SAPEK, 1998]. Następstwem nadmiernej podaży azotu z atmosfery może być m.in.: eutrofizacja naturalnych ekosystemów lądowych, zwiększona podatność drzew na czynniki stresowe, zakwaszenie gleby i zwiększone wymycie azotanów z gleby [VAN KEULEN i in., 2000]. Podtlenek azotu trafia z przestrzeni rolniczej do atmosfery jako produkt uboczny procesów nityfikacji i denityfikacji. Jest jednym z gazów odpowiedzialnych za efekt cieplarniany oraz przyczynia się do niszczenia strefy ozonowej [SAPEK, 2002]. W zanieczyszczaniu powietrza, a pośrednio w zakwaszaniu ekosystemów lądowych i wodnych, biorą ponadto udział tlenki azotu wydzielające się w trakcie mikrobiologicznych procesów glebowych.

Tabela 1. Oddziaływanie nadmiaru azotu i fosforu na środowisko [ISERMANN, 1991]**Table 1.** The environmental effects of nitrogen and phosphorus surplus [ISERMANN, 1991]

Możliwe konsekwencje dla środowiska Possible environmental consequences	Pierwiastki i ich związki oddziałujące na środowisko Elements and their compounds affecting the environment	
	N	P
1. Zmiana klimatu Climate changes efekt cieplarniany greenhouse effect	N ₂ O	–
2. Zanieczyszczenie powietrza (kwaśny deszcz) Air pollution (acid rain) – zakwaszenie ekosystemów lądowych i wodnych acidification of terrestrial and aquatic ecosystems – korozja budowli building corrosion	NO _x = NO + NO ₂ HNO ₃ ; NO ₃ ⁻ ; NH ₃ + NH ₄ ⁻ ; NH ₄ ; NO ₃ NH ₄ ; HSO ₄ i (NH ₄) ₂ SO ₄	–
3. Eutrofizacja (hipertrofia) wrażliwych: Eutrophication (hypertrophy) of sensitive: – ekosystemów lądowych (lasów, wrzosowisk, wysokich torfowisk, itp.) terrestrial ecosystems (forests, heaths, high moors, etc.)	wszystkie metaboliczne związki N wykazane w pkt. 1 i 2, w szczególności: all metabolic N com- pounds listed in 1 and 2, especially: NH ₃ + NH ₄ ⁺ ; NO ₃ ⁻	HPO ₄ ²⁻ ; H ₂ PO ₄ ⁻
– ekosystemów wodnych (wody śródlądowe, uj- ścia rzek do oceanów, w szczególności wody przybrzeżne) aquatic ecosystems (inland waters, estuaries oceans, esp. coastal waters)	NH ₃ + NH ₄ ⁻ ; NO ₃ ⁻	HPO ₄ ²⁻ ; H ₂ PO ₄ ⁻

Niekorzystne następstwa ekologiczne, a zarazem i ekonomiczne, wywoływane stratami azotu i fosforu z produkcji rolnej zwróciły uwagę środowisk naukowych i decyzyjnych oraz opinii publicznej na potrzebę podjęcia działań zmierzających do ich ograniczenia. Wpłynęło to w ciągu ostatnich dziesięcioleci (zwłaszcza w Europie Zachodniej i Ameryce Północnej), na znaczne rozpowszechnienie i rozwój badań nad obiegiem składników nawozowych w rolnictwie.

OBIEG SKŁADNIKÓW NAWOZOWYCH W PERSPEKTYWIE HISTORYCZNEJ

Charakteryzując obieg składników nawozowych w historii społecznego rozwoju MAGDOFF, LANYON i LIEBHARDT [1997] wyróżniają trzy okresy: rolnictwa naturalnego, urbanizacji i rolnictwa przemysłowego. Autorzy ci analizując zagadnienie stwierdzają, że wraz z początkami rozwoju rolnictwa, kiedy ludność zaczęła prowadzić bardziej osiadły tryb życia, naturalny przepływ składników, który w ekosystemach lądowych przebiega w zasadzie dwukierunkowo – z gleby do roślin oraz z roślin do gleby, uległ zmianie. W okresie rolnictwa naturalnego odchody zwierząt i resztki roślinne w większości trafiały na pola uprawne i duża część składników nawozowych powracała do gleby (rys. 1a). W średniowiecznej Europie wprowadzenie do upraw roślin pastewnych, zwłaszcza koniczyny, uczyniło łatwiejszym chów zwierząt gospodarskich. Rośliny motylkowe wiążąc azot atmosferyczny uzupełniały zasoby azotu dostępnego w glebie i podnosiły produktywność gospodarstwa.

W Europie i USA, aż do początku XX wieku, większość produktów rolnych była konsumowana w miejscu produkcji lub w jej pobliżu. Proces urbanizacji doprowadził do stopniowego odseparowania miejsc produkcji żywności i jej konsumpcji (rys. 1b). W tej sytuacji powrót składników nawozowych od głównych konsumentów (ludzi) do gospodarstw, ze względu na odległości i koszty, stał się o wiele trudniejszy. Do tego rodzaju zmian dochodzi obecnie w krajach rozwijających się.

Towarzyszące dalszemu rozwojowi społeczno-ekonomicznemu czynniki, takie jak koncentracja produkcji zwierzęcej i dostępność tanich nawozów azotowych, doprowadziły do kolejnych zmian w obiegu składników nawozowych. Pojawiła się specjalizacja w produkcji rolnej polegająca na oddzieleniu produkcji roślinnej od zwierzęcej (rys. 1c).

Oddzielenie miejsc konsumpcji żywności i produkcji zwierzęcej od produkcji roślinnej wpłynęło na zmniejszenie efektywności wykorzystania składników nawozowych w rolnictwie. Odchody zwierząt stały się poważnym obciążeniem dla środowiska naturalnego, zwłaszcza dla wód powierzchniowych i podziemnych.

Na przeobrażenia zachodzące w obiegu składników nawozowych w rolnictwie na przestrzeni lat zasadniczy wpływ miała gospodarka łąkowo-pastwiskowa. Zagadnienie to podjęli w swojej pracy WEISSBACH i ERNST [1994] analizując trzy okresy rozwoju rolnictwa: I okres – przed stosowaniem nawozów mineralnych, II okres – po wprowadzeniu nawozów mineralnych, III okres – współczesnego rolnictwa intensywnego. W swoich rozważaniach cytowani autorzy zwrócili również uwagę na konsekwencje różnych sposobów eksploatacji użytków zielonych dla ich składu florystycznego.

W pierwszym okresie (I), zaopatrywanie roślin w składniki odżywcze odbywało się drogą naturalną, co prowadziło do stopniowego zubożania zasobności gleb

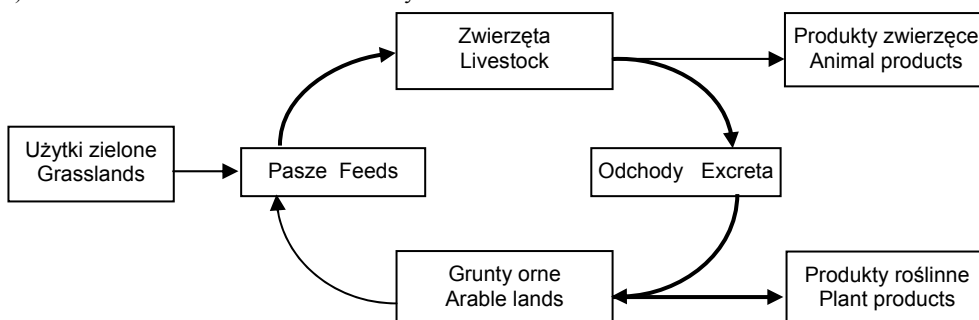
i w dłuższej perspektywie czasu zmniejszało plony roślin. Niedobór składników nawozowych w glebach uprawnych był kompensowany przez ich transfer z łąk i pastwisk (rys. 2a). W przepływie składników nawozowych pośredniczyły przeżuwacze, z jednej strony jako konsumenci pasz z użytków zielonych, a z drugiej – producenci nawozów naturalnych stosowanych na grunty orne. Wyniki produkcji roślinnej zależały więc od ilości posiadanego inwentarza – gdy obsada zwierząt była duża, uzyskiwano stosunkowo wysokie plony roślin uprawnych. W rezultacie tego rodzaju gospodarowania doszło m.in. do zubożenia gleb użytków zielonych i wyginięcia wielu specyficznych gatunków roślin.

Ograniczenia związane z tym systemem produkcji rolnej były nie do przecięcia, aż do czasu wprowadzenia, ponad 100 lat temu, nawozów mineralnych. Był to moment przełomowy w rolnictwie. Nawożenie mineralne było stosowane w celu uzupełnienia składników nawozowych wynoszonych z pól wraz ze zbieranymi plonami, co przyczyniło się do utrzymania urodzajności gleb. Szerokie stosowanie nawozów mineralnych umożliwiło znaczące zwiększenie produkcji pasz z użytków zielonych, ogólnie jednak, ten system gospodarowania (okres II) był ciągle oparty na sprzężeniu produkcji roślinnej i zwierzęcej w jeden układ, w którym istotną rolę odgrywały nawozy naturalne. Uzyskiwane plony upraw roślinnych były związane z obsadą inwentarza, a stosowane nawozy kompensowały nieuniknione straty składników nawozowych (rys. 2b). Użytki zielone w tym okresie ze względów ekonomicznych nie były nawożone zbyt dużymi dawkami, dzięki czemu zachowała się ich bioróżnorodność.

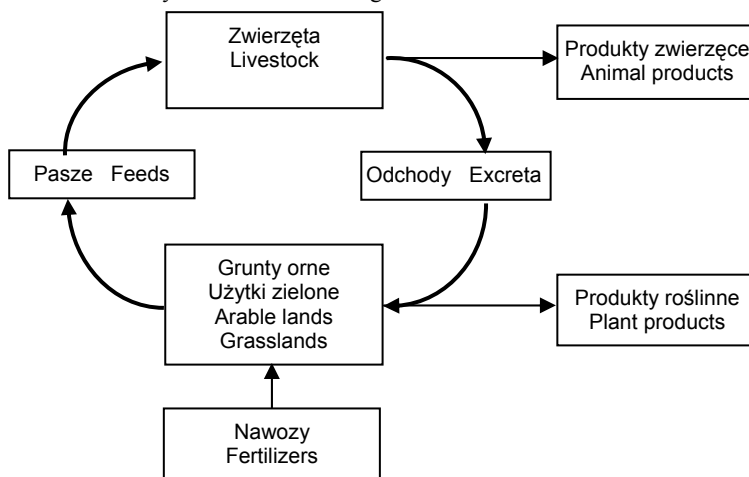
Okolo 30–40 lat temu nastąpiła inna zmiana w rolnictwie Europy Zachodniej. Pod wpływem presji ekonomicznej doszło do specjalizacji i silnej intensyfikacji produkcji w niektórych regionach. Powstały gospodarstwa rolne specjalizujące się jednostronnie w produkcji roślinnej lub zwierzęcej (okres III). W gospodarstwach ukierunkowanych na produkcję mleka, wydajność krów zwiększyła się znacznie w wyniku żywienia ich paszami treściwymi pochodzącymi z zakupu. Ilość składników nawozowych wnoszona obecnie do tego typu gospodarstw z zakupionymi paszami przewyższa ich ilość wynoszoną w sprzedawanych produktach zwierzęcych (rys. 2c). W dodatku gospodarstwa te zużywają duże ilości nawozów mineralnych w celu uzyskania wysokich plonów pasz własnych dla zwierząt. Produkcja pasz na użytkach zielonych została silnie zintensyfikowana, co m.in. doprowadziło do istotnego zubożenia ich składu gatunkowego.

Tak więc należy stwierdzić, że w porównaniu z naturalnymi ekosystemami w ekosystemie rolniczym występuje dłuższa i bardziej zróżnicowana droga przepływu składników nawozowych w jego wnętrzu i otoczeniu. Związane jest to z jednej strony z wynoszeniem z produktami rolnymi składników na zewnątrz systemu produkcji rolniczej, a z drugiej – z wnoszeniem z nawozami mineralnymi, paszami itp. Wiele współczesnych agroekosystemów ma ogólnie mniejszą zdolność gromadzenia składników nawozowych i generuje niestety duże ich straty, co wpływa na zmniejszenie sprawności ich obiegu.

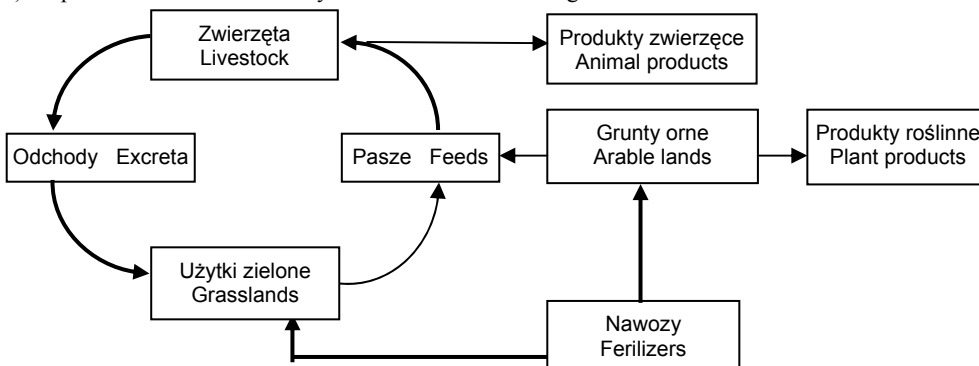
a) Przed stosowaniem nawozów mineralnych Before the use of mineral fertilizers



b) Po wprowadzeniu nawozów mineralnych After introducing mineral fertilizers



c) Współczesne rolnictwo intensywne Present intensive agriculture



Rys. 2. Uproszczony obieg składników nawozowych w różnych okresach rozwoju rolnictwa [WEISSBACH, ERNST, 1994]

Fig. 2. Simplified schemes of nutrient cycling in different periods of agriculture development [WEISSBACH, ERNST, 1994]

MODELE OBIEGU SKŁADNIKÓW NAWOZOWYCH W GOSPODARSTWIE ROLNYM I ICH ZASTOSOWANIE

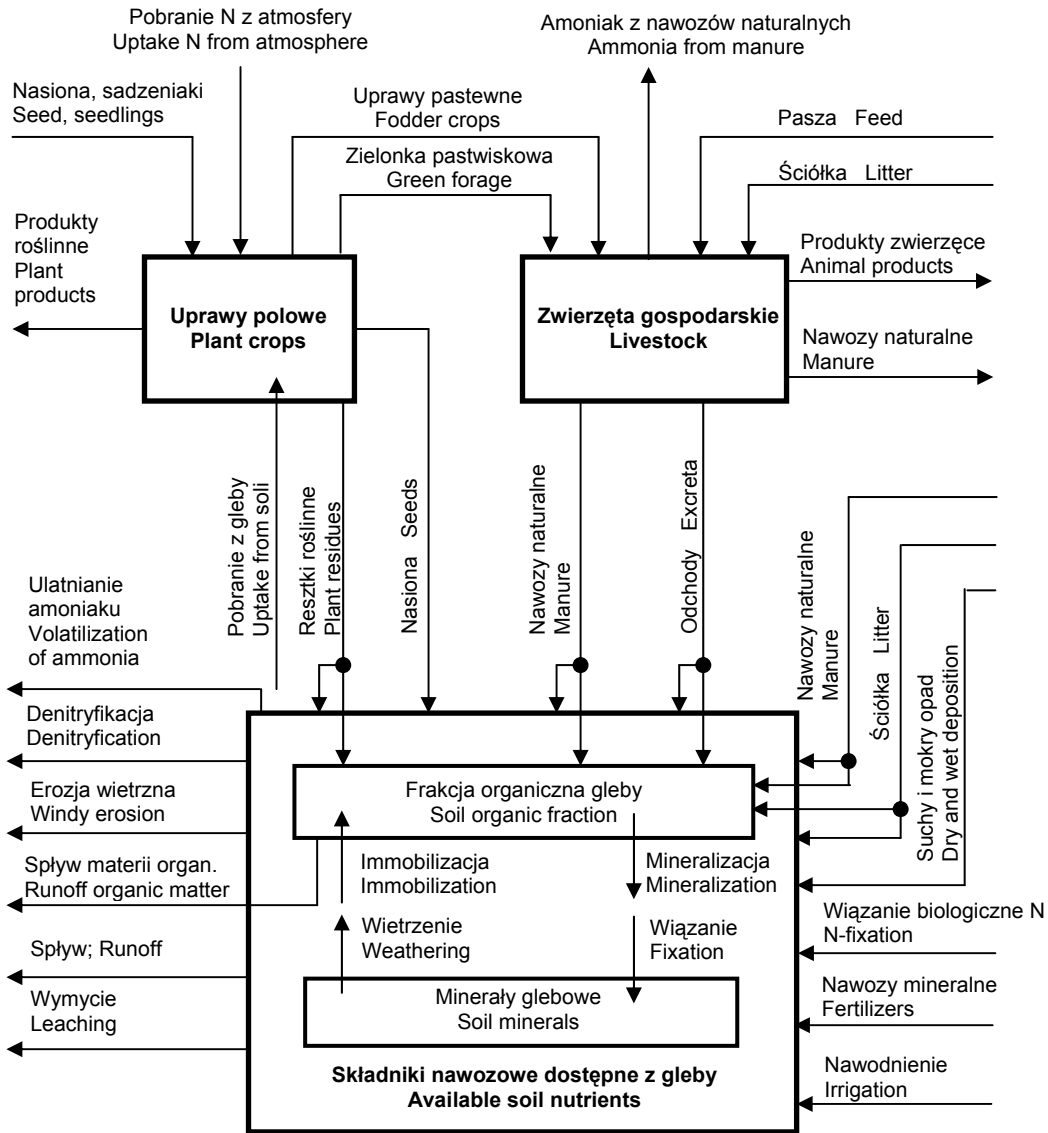
Do analizy i oceny obiegu składników nawozowych potrzebne jest zbudowanie odpowiedniego modelu pojęciowego odwzorowującego faktyczne kierunki przepływu tych składników, środowiska ich transformacji oraz granice systemu, w obrębie których się przemieszczają. Bardzo duże znaczenie dla opisania, wyjaśnienia i usystematyzowania tej problematyki miało międzynarodowe sympozjum „Cycling of mineral nutrients in agricultural ecosystems”, które odbyło się w dniach 31.05–4.06.1976 r. w Amsterdamie. Zaprezentowany na tym sympozjum przez Frissela [Cycling ..., 1978] schemat obiegu składników nawozowych w agroekosystemie, wraz z wykładnią podstaw jego konstrukcji, można uznać za rozwiązanie wzorcowe dla następnych prac z tego zakresu (rys. 3).

W ostatnich trzech dziesięcioleciach prace nad obiegiem składników nawozowych w rolnictwie bardzo się rozwinęły i przeszły ewolucję od wyjaśniania i opisu jego natury do teoretycznych i praktycznych zastosowań. W obecnym podejściu, model obiegu składników nawozowych jest traktowany jako użyteczne narzędzie do analizy i propozycji rozwiązań optymalizujących metody produkcji rolnej, a także do jej monitorowania. W myśl tezy postawionej przez BACONA, LANYONA i SCHLAUDERA [1990], ocena przepływu składników nawozowych do, z i wewnątrz gospodarstwa jest podstawą zrozumienia dynamiki zmian zachodzących w produkcji rolnej w ujęciu przestrzennym i czasowym oraz konsekwencji podejmowanych w gospodarstwie decyzji dla wielu procesów biologicznych. Jako przykład teoretycznego podejścia można wskazać tu pracę KOHNA i in. [1997]. Autorzy ci na podstawie modelu obiegu azotu (rys. 4) opracowanego dla hipotetycznego gospodarstwa mlecznego o powierzchni 35 ha, uzyskującego stały plon białka z upraw niemotylkowych równoważny $180 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, a z upraw motylkowych – $270 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, przeprowadzili matematyczną analizę wpływu sposobu żywienia zwierząt, praktyk postępowania z nawozami naturalnymi oraz doboru upraw na możliwości zmniejszenia strat azotu z gospodarstwa.

Dane dotyczące przepływu azotu przez gospodarstwo uzyskali na podstawie równań:

- pasza dla zwierząt = odchody + produkty zwierzęce,
- ziemiopłody (bez motylkowych) + wiązanie N przez rośliny motylkowe + zakupione pasze = pasza do skarmiania,
- odchody + zakupione nawozy naturalne = azot z nawozów naturalnych dostępny dla roślin + straty z nawozów naturalnych podczas składowania,
- nawozy mineralne + azot z nawozów naturalnych dostępny dla roślin = ziemiopłody (bez motylkowych) + straty z pól.

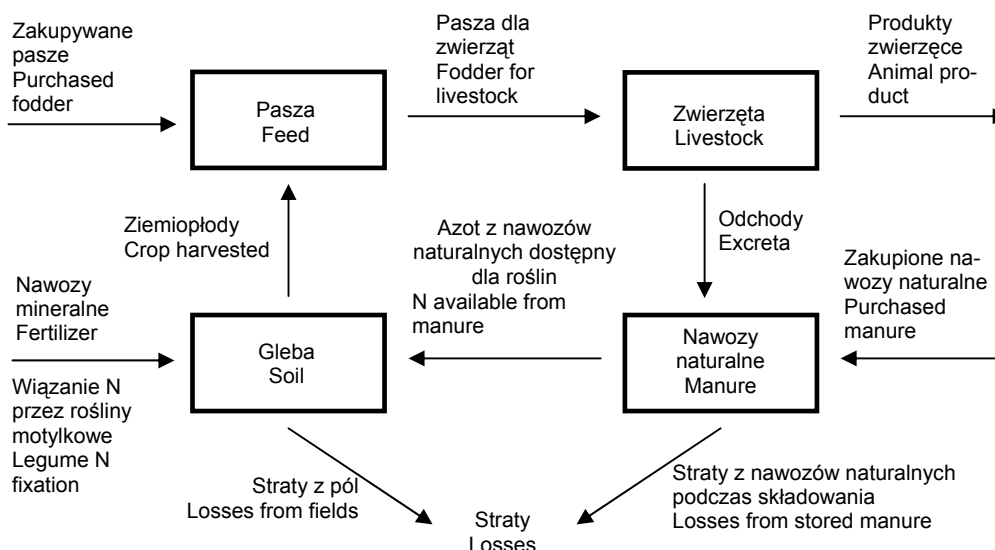
Na podstawie przeprowadzonych symulacji, dla przyjętych warunków gospodarowania, wykazali m.in., że przez zwiększenie współczynnika konwersji azotu



Rys. 3. Obieg składników nawozowych w agroekosystemie (zmodyfikowany) [Cycling, 1978]

Fig. 3. Nutrient cycling in agroecosystem (modified) [Cycling, 1978]

z paszy na produkty zwierzęce o 50% (tj. przez poprawę systemu żywienia zwierząt) można zwiększyć wykorzystanie azotu w całym gospodarstwie o 48% oraz zmniejszyć straty azotu na jednostkę produktu o 36–40%. Zmniejszenie strat azotu podczas gromadzenia, przechowywania i aplikacji nawozów naturalnych na polu, którego wynikiem byłoby zwiększenie o 100% ilości azotu z tych nawozów do-



Rys. 4. Model przepływu azotu w gospodarstwie ukierunkowanym na chów bydła mlecznego [KOHN i in., 1997]

Fig. 4. The model of nitrogen flow in a dairy farm [KOHN et al., 1997]

stępnego w glebie, poprawiłoby całkowitą efektywność wykorzystania N w mniejszym stopniu, bo tylko o 13% i zmniejszyło nadmiar N o 14%. Właściwy dobór upraw i odpowiednie zabiegi mogłyby zwiększyć pobranie składników nawozowych z gleby o 50% i w rezultacie zwiększyć efektywność wykorzystania N w gospodarstwie o 59% oraz zmniejszyły nadmiar N do 41% w zależności od rodzaju stosowanego nawożenia azotowego.

Teoretyczne prace nad obiegiem składników są bezpośrednio wykorzystywane również w praktyce rolniczej. Bardzo znamienym przykładem jest w tym przypadku, zainicjowany pod koniec lat 1980 w Holandii, projekt mający na celu opracowanie, sprawdzenie i wdrożenie systemu gospodarowania spełniającego obowiązujące w przepisach prawnych wymogi ochrony środowiska i mogącego służyć jako wzorzec dla rozwoju gospodarstw mlecznych na glebach piaszczystych ze średnią produkcją mleka (tj. około $12\,000\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) [VAN KEULEN i in., 2000]. Punktem wyjścia do opracowania projektu była analiza relacji zachodzących między produkcją roślinną a zwierzęcą w różnych gospodarstwach. Analiza ta obejmowała przede wszystkim zależności między plonem roślin a nawożeniem i uwilgotnieniem gleby oraz między dzienną produkcją mleka od krowy i ilością energii, białka i fosforu dostarczanych w dawkach żywieniowych. Na podstawie przeprowadzonych analiz, spośród teoretycznie akceptowalnych, wybrano metody gospodarowania najbardziej atrakcyjne pod względem technicznym i ekonomicznym oraz najbardziej interesujące z naukowego punktu widzenia i wykorzystano je do

zaprojektowania systemu gospodarowania spełniającego przyjęte cele produkcyjne i środowiskowe. System ten wdrożono w Holandii w gospodarstwie doświadczalnym „De Marke” w 1992 r. W następnych latach był on korygowany i rozwijany po kątem lepszego spełniania założeń projektu. Funkcjonowanie systemu – od nazwy gospodarstwa zwanego również „De Marke” – było od początku w sposób możliwie jak najpełniejszy monitorowane przez rejestrowanie przepływu suchej masy i składników nawozowych. Ponadto w gospodarstwie prowadzono również badania szczegółowe dotyczące azotu, fosforu, wody i materii organicznej w środowisku glebowym. Na podstawie tych badań wykazano, że możliwe jest uzyskiwanie dobrych efektów produkcyjnych i jednocześnie zachowanie (obowiązujących w Holandii) norm środowiskowych dotyczących strat azotu i akumulacji fosforu w glebie. W wyniku poprawy wykorzystania nawozów naturalnych zmniejszono dawki mineralnych nawozów azotowych na hektar o 74% w porównaniu z dawkami przeciętnie stosowanymi w rolnictwie holenderskim. Osiągnięto duże zrównoważenie bilansu fosforu w gospodarstwie – nadmiar P wynosił tylko 18% nadmiaru występującego w typowych gospodarstwach. Stwierdzono dużą zgodność parametrów obiegu składników nawozowych w gospodarstwie uzyskiwanych realnie z parametrami tego obiegu przyjętymi na podstawie istniejącej wiedzy. To ostatnie potwierdza przydatność opracowywania modeli obiegu składników nawozowych na potrzeby praktyki.

PODSTAWY ZARZĄDZANIA SKŁADNIKAMI NAWOZOWYMI W SKALI GOSPODARSTWA ROLNEGO

Aż do początku lat 1980, zarówno rolnicy jak i naukowcy, problematykę stosowania i wykorzystania składników nawozowych bezpośrednio kojarzyli jedynie z polem. Rozwój badań nad przepływem składników nawozowych w produkcji rolnej w kompleksowym łańcuchu: gleba–roślina–zwierzę doprowadził do powstania współczesnej koncepcji zarządzania składnikami¹⁾ nawozowymi, w której punktem odniesienia stało się całe gospodarstwo rolne. Założenia tej koncepcji przedstawili w swojej pracy OENEMA i PIETRZAK [2002]. Według tych autorów, w obecnym rozumieniu, zarządzanie składnikami nawozowymi można zdefiniować jako „zespół działań mających na celu optymalne pod względem ekonomicznym

¹⁾ Podane wyrażenie „zarządzanie składnikami nawozowymi” należy tu rozumieć jako odpowiednik terminu „nutrient management”, który wszedł na trwałe do literatury anglojęzycznej na początku lat 80. Samo pojęcie „management” jest dość niejednoznaczne. Ewoluuowało ono od łacińskiego słowa „manus” – ręka, co sugeruje, że odnosi się ono do jakiejś aktywnej formy działalności (sterować, kierować, prowadzić, trzymać w rękę). W przekładzie na język polski tłumaczy się je jako umiejętne postępowanie, pokierowanie, zarządzanie, jak też gospodarowanie. Zaproponowana forma odczytania słowa „management” jako „zarządzanie” wydaje się odpowiednia dla oddania sensu i istoty zagadnienia do którego się odnosi.

oraz ochrony środowiska wykorzystanie składników nawozowych w produkcji rolnej, ze wszystkich ich źródeł występujących w gospodarstwie”.

W praktyce działalność ta polega na dostarczeniu roślinom i zwierzętom odpowiednich składników, w odpowiednich ilościach, w odpowiednim czasie i w odpowiednim miejscu. Zarządzanie składnikami nawozowymi jest więc celowo ukierunkowanym, świadomym sterowaniem przez człowieka ich przepływem w gospodarstwie. W podanym ujęciu zarządzanie składnikami nawozowymi pojmuje się jako proces złożony z sekwencji takich zdarzeń jak: analiza, podejmowanie decyzji, planowanie, wykonawstwo, monitoring i ocena. W pewnym uproszczeniu scharakteryzować je można następująco [OENEMA, PIETRZAK, 2002]:

1. Analiza – ocena rodzaju potrzebnych składników nawozowych, ich zasobów i źródeł, ocena ograniczeń powodowanych przez zasoby pracy, kapitał, regulacje prawne, itp.
2. Podejmowanie decyzji
 - wypracowanie różnych opcji (scenariuszy) działania na podstawie przeprowadzonych analiz,
 - ocena przydatności różnych opcji,
 - wybór opcji najlepszej dla osiągnięcia zakładanych celów rolnych i środowiskowych.
3. Planowanie – opracowanie projektu potrzebnych do wykonania działań: co, kiedy, gdzie, jak. Na tym etapie wyznacza się zapotrzebowanie na składniki nawozowe, biorąc pod uwagę maksymalizację korzyści ekonomicznych i minimalizację wpływu na środowisko.
4. Wykonawstwo – wdrożenie planu gospodarowania składnikami nawozowymi do praktyki z uwzględnieniem aktualnych warunków środowiska i najlepszych zaleceń.
5. Monitoring i ocena – zbieranie (gromadzenie) danych dotyczących wyników produkcyjnych, jakości plonu i strat składników nawozowych.
6. Ocena – kontrola i weryfikacja wyników uzyskanych w stosunku do zakładanych.

Zarządzanie składnikami nawozowymi w skali gospodarstwa ma charakter hierarchiczny i ma trzy poziomy: strategiczny, taktyczny i operacyjny [BEEGLE, CARTON, BAILEY, 2000]. Zarządzanie na poziomie strategicznym jest związane z długoterminowymi zamierzeniami i dotyczy takich czynników jak rodzaj, skala i intensywność produkcji oraz zamierzone do uzyskania cele produkcyjne i środowiskowe (cele środowiskowe również w pełni uwzględnia się na poziomie strategicznym, aby można było zarządzać składnikami nawozowymi na taktycznym i operacyjnym poziomie efektywnie i skutecznie). Decyzje podejmowane na poziomie taktycznym służą realizacji strategicznych celów. Na tym poziomie jest opracowywany roczny plan gospodarowania składnikami nawozowymi (który jest rodzajem przewodnika jak osiągnąć cele strategiczne). Decyzje operacyjne są związane z wprowadzaniem planów gospodarowania składnikami nawozowymi do praktyki.

Ten rodzaj decyzji jest związany z codzienną pracą w gospodarstwie. Jako poglądowne przykłady decyzji podejmowanych na poszczególnych szczeblach zarządzania można wymienić następujące przypadki [ONDERSTEIJN, 2002]:

- na poziomie operacyjnym: poprawa żywienia zwierząt i wykorzystania użytków zielonych, poprawa wykorzystania azotu z nawozów naturalnych,
- na poziomie taktycznym: zmniejszenie liczby młodego inwentarza, wprowadzenie mniej intensywnego systemu pastwiskowego, zmniejszenie zawartości białka i fosforu w paszach treściwych, zmniejszenie ilości stosowanych azotowych i fosforowych nawozów mineralnych, zmniejszenie proporcji zielonki łąkowo-pastwiskowej do kukurydzy w dawkach żywieniowych, zmniejszenie dawek pasz treściwych przypadających na krowę,
- na poziomie strategicznym: zmniejszenie intensywności gospodarowania, zwiększenie produkcji mleka przez wykorzystanie postępu w hodowli bydła.

Według wcześniejszych poglądów, w zarządzaniu składnikami nawozowymi największy nacisk kładziono na działania na poziomie operacyjnym, bez brania pod uwagę wpływu decyzji na poziomie strategicznym i taktycznym. Obecnie uznaje się, że zarządzanie składnikami nawozowymi w gospodarstwie rolnym może być efektywne i skuteczne wtedy, gdy decyzje operacyjne wynikają z decyzji strategicznych i taktycznych.

Jeśli chodzi o środki (sposoby) służące poprawie efektywności zarządzania składnikami nawozowymi w skali gospodarstwa to wyróżnia się pięć ich rodzajów [OENEMA, VELTHOF, 2000; OENEMA, PIETRZAK, 2002]:

1. Najlepsze praktyki rolnicze, tj. poprawa zasad gospodarowania na poziomie operacyjnym.
2. System usprawnień i innowacji, tj. optymalizacja założeń gospodarowania na poziomie taktycznym.
3. Nowoczesne technologie i biotechnologie, np. tzw. gospodarowanie precyzyjne, zarządzanie informatyczne, technologie sensorowe, przetwarzanie nawozów naturalnych.
4. Modyfikacje systemowe, tj. zmiany w systemie i strategii funkcjonowania gospodarstwa związane z dostosowaniem go np. do międzyregionalnej kooperacji, ekstensyfikacji produkcji, wielofunkcyjnego wykorzystania obszarów wiejskich.
5. Technologie tzw. „końca rury”, tj. zmniejszenie strat składników nawozowych np. przez kontrolowanie odwodnień, wykorzystanie ścieków, wypompowywanie powietrza z budynków inwentarskich.

Koszty ekonomiczne wprowadzania do produkcji rolnej każdej kolejnej opcji gospodarowania zazwyczaj zwiększają się, natomiast ich wybór jest związany z zakładanymi celami rolno-środowiskowymi. Pierwsza opcja – najlepszych praktyk rolniczych – jest możliwa do zastosowania w zasadzie we wszystkich gospodarstwach i zazwyczaj jest korzystna zarówno pod względem ochrony środowiska jaki i ekonomiki produkcji rolnej, chociaż uzyskiwane efekty są zróżnicowane

w zależności od gospodarstw. Koszty ekonomiczne związane z kolejnymi opcjami wzrastają często znacząco, co powstrzymuje ich wprowadzanie do praktyki. Ostatnia opcja nie wpływa na zwiększenie efektywności wykorzystania składników nawozowych wewnątrz systemu produkcji rolnej lecz zmniejsza ich straty na zewnątrz, do otaczającego środowiska. Tę opcję uwzględnia się w przypadku gospodarstw usytuowanych w pobliżu ekosystemów wrażliwych na zanieczyszczenia.

Należy podkreślić, że zarządzanie składnikami nawozowymi jest jednym z najważniejszych czynników determinujących wyniki produkcyjne gospodarstwa rolnego i jego wpływ na środowisko, jest również podstawowym czynnikiem determinującym efektywność wykorzystania składników nawozowych i wielkość ich strat, szczególnie w intensywnych systemach produkcji rolnej. Zarządzanie składnikami nawozowymi, aby było efektywne, powinno być pojmowane jako wyspecjalizowana działalność prowadząca do osiągnięcia ekonomicznych i ekologicznych celów. Te cele powinny być właściwie formułowane w skali przestrzennej i czasowej, być wyraźne, wymierne i możliwe do kontroli. W praktyce zarządzanie składnikami różni się w zależności od gospodarstw, stawianych celów i warunków środowiskowych. Wymaga ono zrozumienia istoty obiegu składników nawozowych, kompetencji, zdecydowania, precyzji i odpowiednich technologii [OENEMA, PIETRZAK, 2002].

PODSUMOWANIE

W pracy, na podstawie przeglądu literatury, omówiono problematykę obiegu składników nawozowych w skali gospodarstwa rolnego. Zwrócono uwagę na:

- zmiany zachodzące w przepływie składników nawozowych w kolejnych fazach rozwoju rolnictwa i ich konsekwencje,
- znaczenie i możliwości stosowania modeli obiegu składników nawozowych,
- współczesne podejście do zagadnienia zarządzania składnikami nawozowymi.

W świetle zaprezentowanego materiału należy stwierdzić, że badania nad obiegiem składników nawozowych i jego kształtowaniem w gospodarstwie rolnym, mają bardzo duże znaczenie dla upowszechnienia metod produkcji rolnej opartych na harmonizacji celów ekonomicznych i ekologicznych i uzasadnione jest ich rozwijanie.

LITERATURA

- BACON S.C., LANYON L.E., SCHLAUDER R.M. JR, 1990. Plant nutrient flow in the managed pathways of an intensive dairy farm. *Agron. J.* vol. 82 no 4 s. 755–761.
- BEEGLE D.B., CARTON O.T., BAILEY J.S., 2000. Nutrient management planning: justification, theory, practice. *J. Environ. Quality* no 29 s. 72–79.

- Cycling of mineral nutrients in agricultural ecosystems, 1978. Pr. zbior. Red. M. J. Frissel. Amsterdam-Oxford-New York: Elsevier Sci. Publ. Comp. ss. 356.
- GORLACH E., MAZUR T., 2001. Chemia rolna. Podstawy żywienia i zasady nawożenia roślin. Warszawa: Wydaw. Nauk. PWN ss. 348.
- KOHN R.A., DOU Z., FERGUSON J.D., BOSTON R.C., 1997. A sensitivity analysis of nitrogen losses from dairy farms. *J. Envir. Manag.* 50 s. 417–428.
- ISERMANN K., 1991. Nitrogen and phosphorus balances in agriculture. A comparison of several Western European countries. International conference on nitrogen, phosphorus and organic matter, May, 13-15, 1991, Helsingor (Denmark) maszyn. s. 19.
- VAN KEULEN H., AARTS H.F.M., HABEKOTTE B., VAN DER MEER H.G., SPIERTZ J.H.J., 2000. Soil-plant-animal relations in nutrient cycling: the case of dairy farming system “De Marke”. *Europ. J. Agron.* 13 s. 245–261.
- MAGDOFF F., LANYON L., LIEBHARDT B., 1997. Nutrient management more than an on-farm priority. Brochure based on article: “Nutrient cycling, transformations, and flows: Implications for a more sustainable agriculture”, in the *Advances Agronomy* vol. 60.
- OENEMA O., PIETRZAK S., 2002. Nutrient management in food production; achieving agronomic and environmental targets. In *AMBIO. J. Human Envir.* vol. 31 no 2 p. 159–168.
- OENEMA O., VELTHOF G.L., 2000. Developing nutrient management strategies at national and regional levels in the Netherlands. Pr. zbior. Red. A. Sapek. W: Scientific basis to mitigate the nutrient dispersion into environment. Conference proceedings. Falenty/Nadarzyn, December 13–14, 1999. Falenty: IMUZ Publisher 2000 s. 36–55.
- ONDERSTELJN C.J.M., 2002. Nutrient management strategies on Dutch dairy farms: An empirical analysis. PhD-thesis Wageningen University ss. 200.
- SAPEK A., 1998. Udział azotu z opadu atmosferycznego w zanieczyszczeniu zasobów wody. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. z.* 458 s. 485–494.
- SAPEK A., 2002. Emisja podtlenku azotu z rolnictwa i jej skutki w środowisku. *Zesz. Edukac.* nr 8/2002 s. 9–22.
- WEISSBACH F., ERNST P., 1994. Nutrient budgets and farm management to reduce nutrient emissions. W: *Grassland and society. Proc. of the 15th General Meeting of the European Grassland Federation*, June 6-9, 1994. Editors in chief L. ‘t Mannetje, J. Frame. Wageningen s. 343–360.

Stefan PIETRZAK

**NUTRIENT CYCLING IN THE FARM
– HISTORICAL OUTLINE AND CONTEMPORARY APPROACH**

Key words: farm, nutrient cycling, influence of nitrogen and phosphorus surplus on environment, nutrient management

S u m m a r y

Nutrient losses in agricultural production, especially losses of nitrogen and phosphorus, impoverish farm economy and result in unfavourable environmental changes. To counteract these effects, vigorous studies have been developed in the last decades (especially in Western Europe and North America) on nutrient cycling in agriculture. A review of this problem based on literature data is presented in this paper. Particular emphasis is put on: changes in nutrient flow during successive phases

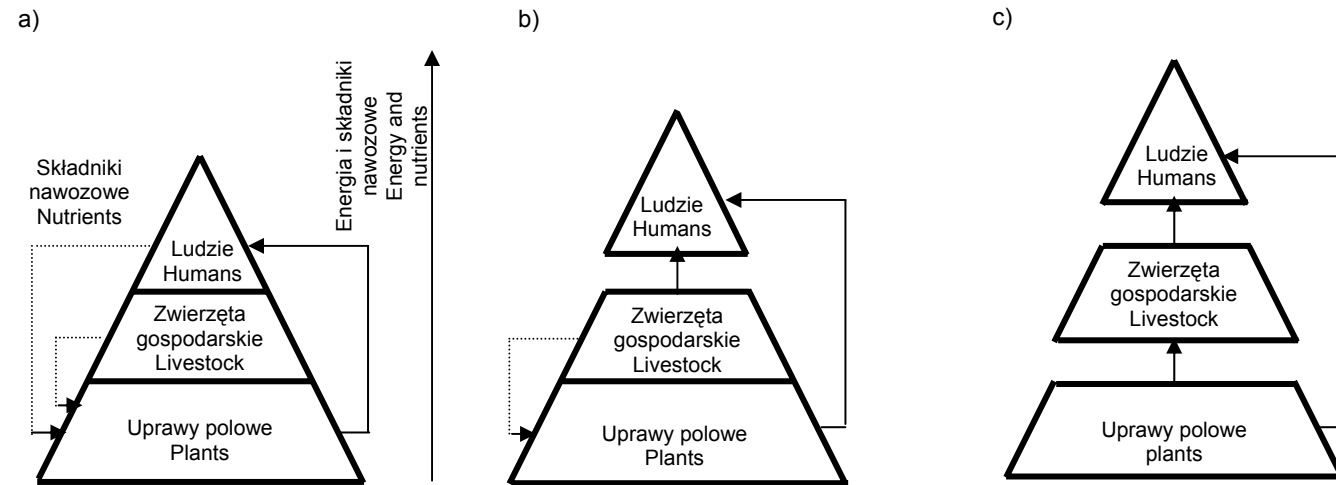
of agricultural development and their consequences, the importance and possibility of modelling nutrient cycles, contemporary approach to the question of nutrient management. It was concluded that studies on nutrient cycling and management in farms are important for promoting agricultural methods based on the harmony of economic and ecological objectives and that their development is reasonably justified.

Recenzenci:

prof. dr hab. Jan Łabętowicz

prof. zw. dr hab. Teofil Mazur

Praca wpłynęła do Redakcji 13.02.2003 r.



Rys. 1. Obieg składników w historii rozwoju społecznego [MAGDOFF, LANYON, LIEBHARDT, 1997]; a) wczesne rolnictwo (do połowy XIX wieku), b) okres urbanizacji społeczeństw (od połowy XIX do połowy XX wieku), c) rolnictwo przemysłowe (od połowy XX wieku)

Fig. 1. Nutrient cycling in the history of social development [MAGDOFF, LANYON, LIEBHARDT, 1997]; a) early agriculture (up to mid 19th century), b) urbanizing society (from mid 19th to mid 20th century), c) industrial agriculture (from mid 20th century)