

Stefan Pietrzak  
Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach

## EFEKTYWNOŚĆ WYKORZYSTANIA AZOTU I FOSFORU W GOSPODARSTWACH UKIERUNKOWANYCH NA PRODUKCJĘ MLEKA ORAZ ANALIZA MOŻLIWOŚCI JEJ MAKSYMALIZACJI ZA POMOCĄ MODELU MATEMATYCZNEGO

### Streszczenie

Dokonano oceny stanu wykorzystania azotu i fosforu w trzech gospodarstwach ukierunkowanych na produkcję mleka z województwa podlaskiego oraz przeprowadzono analizę możliwości jego poprawy za pomocą modelu matematycznego opracowanego przez Schrödera i in. [2003]. Stwierdzono, że teoretycznie można w rozpatrywanych gospodarstwach zwiększyć efektywność wykorzystania azotu około 3.krotnie, a fosforu ponad 3,7.krotnie pod warunkiem poprawy efektywności przepływu składników nawozowych w produkcji rolnej między wszystkimi ogniwami łańcucha: gleba→ziemiopłody →pasza→zwierzę→gleba. Zastosowanie rozwiązań częściowych, obejmujących jedynie polepszenie przepływu składników między wybranymi ogniwami, nigdy nie byłoby tak skuteczne. Wskazano, że w następstwie zwiększenia wykorzystania azotu i fosforu w gospodarstwa specjalizujących się w produkcji mleka następuje zmniejszenie zanieczyszczenia środowiska tymi składnikami oraz obniżenie kosztów produkcji rolnej.

**Słowa kluczowe:** efektywność wykorzystania azotu i fosforu, gospodarstwa ukierunkowane na produkcję mleka, model przepływu składników nawozowych w gospodarstwie

### Wstęp

Efektywność wykorzystania azotu i fosforu należy do podstawowych wskaźników służących do oceny stanu zrównoważenia produkcji rolnej w aspekcie środowiskowym i ekonomicznym. W skali całego gospodarstwa efektywność wykorzystania składników nawozowych, w tym azotu i fosforu, najczęściej szacowana jest jako stosunek ich ilości wprowadzanych do gospodarstwa z zewnątrz (przychód) i wyprowadzanych na zewnątrz (rozchód) [Pietrzak 1997]. W gospodarstwach rolnych specjalizujących się w produkcji mleka i żywca wołowego wykorzystanie azotu i fosforu na ogół nie jest duże. W warunkach holenderskich np. wynosi ono przeciętnie odpowiednio 16% i 27% (dane dotyczą intensywne gospodarstwach mlecznych) [Jarvis, Aar-

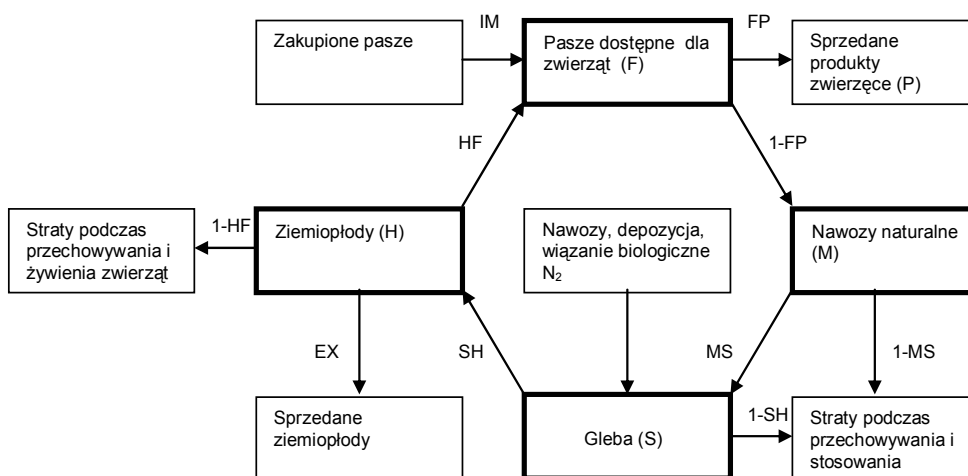
ts 2000]. W krajach o wysoko rozwiniętym rolnictwie, poprawie efektywności wykorzystania azotu i fosforu w gospodarstwach zajmujących się chowem bydła poświęca się dużą uwagę, ponieważ generują one duże nadmiary tych składników (różnica między przychodem składnika a jego rozchodem), co ma niekorzystny wpływ na jakość wody i atmosfery, a także przynosi straty ekonomiczne. W mniejszej pracy przedstawiono współczesne podejście do rozwiązania tego problemu na przykładzie badań przeprowadzonych w trzech gospodarstwach ukierunkowanych na produkcję mleka z woj. podlaskiego o powierzchni użytków rolnych (własnych i dzierżawionych): 32,4, 29,4 i 16,6 ha oraz obsadzie bydła, odpowiednio: 1,1, 1,1 i 1,3 DJP/ha (w 2004 r.).

Celem badań była ocena stanu wykorzystania azotu i fosforu w tych gospodarstwach oraz określenie możliwości jego poprawy za pomocą modelu matematycznego opracowanego przez Schrödera i in. [2003].

### Metoda badań

W latach 2003-2004, w wytypowanych do badań gospodarstwach, oszacowano ilości azotu i fosforu wprowadzane do gospodarstw z zewnątrz (otoczenia), przemieszczane wewnątrz nich w sektorach produkcji roślinnej i zwierzęcej oraz wyprowadzane na zewnątrz (rys. 1). W tym zakresie określono szczególnie ilości N i P:

- w zebranych ziemiopłodach -  $H$ , kg/ha,
- dostarczonych zwierzętom w paszach i ściółce -  $F$ , kg/ha,
- w sprzedanych produktach zwierzęcych -  $P$ , kg/ha,
- w wydalonych odchodach zwierząt -  $M$ , kg/ha,
- wprowadzonych na użytki rolne -  $S$ , kg/ha.



Rys 1. Schemat przepływu składników nawozowych w gospodarstwach o produkcji mieszanej [Schröder i in. 2003]

Fig. 1. Scheme of fertilizer component circulation on the farms of mixed production [Schroeder et al., 2003]

Wykorzystując te dane, oszacowano współczynniki konwersji *SH*, *HF*, *FP* i *MS* wyrażające sprawność (wydajność) procesu przemieszczania się składników nawozowych wewnątrz gospodarstwa oraz współczynniki *IM* i *EX* charakteryzujące ilości tych składników odpowiednio - wnoszone do gospodarstw w zakupionych paszach oraz wynoszonych z niego w sprzedanych produktach roślinnych. Wymienione współczynniki wyznaczono, określając udział składników nawozowych w:

- zebranych ziemiopłodach do ich ilości wprowadzonych na użytki rolne – *SH*,
- paszach gospodarskich i ściółce dostarczonym zwierzętom w ich ogólnej ilości w zebranych ziemiopłodach przeznaczonych nie na sprzedaż – *HF* (przyjęto na podstawie literatury),
- zawartych w produktach zwierzęcych do ich ilości dostarczonych zwierzętom w paszy i ściółce – *FP*,
- nawozach naturalnych wprowadzonych do gleby w ich ogólnej ilości w odchodach wydanych przez zwierzęta – *MS* (w przypadku azotu współczynnik *MS* wyznaczono na podstawie oszacowanych strat amoniaku z nawozów naturalnych),
- zakupionych paszach w ogólnej ich ilości we wszystkich paszach dostępnych dla zwierząt – *IM*,
- sprzedanych produktach roślinnych w ogólnej ich ilości zawartej w zebranych ziemiopłodach – *EX*.

Na podstawie wyznaczonych współczynników konwersji oraz współczynników *IM* i *EX* oszacowano efektywność wykorzystania azotu i fosforu w gospodarstwie – *O/I*, w oparciu o model przepływu składników nawozowych opracowany przez Schrödera i in. [2003] w postaci:

$$\frac{O}{I} = \frac{FP + \frac{EX \cdot (1 - IM)}{HF \cdot (1 - EX)}}{IM + \frac{(1 - IM)}{HF \cdot (1 - EX)} \cdot SH - (1 - FP) \cdot MS}$$

gdzie:

*O/I* - efektywność wykorzystania składników nawozowych w całym gospodarstwie, przy czym:

*O* - rozchód składników nawozowych z gospodarstwa, kg składnika/ha na rok,

*I* - przychód składników nawozowych do gospodarstwa, kg składnika/ha na rok.

Wartości strumieni przepływu azotu i fosforu w gospodarstwie oszacowano na podstawie prowadzonego rejestru danych charakteryzujących działalność produkcyjną gospodarstw (obejmującego takie pozycje jak: masa zakupionych pasz, nawozów, sprzedanych produktów roślinnych i zwierzęcych; plon

i powierzchnia upraw; liczba zwierząt, itp.) oraz wskaźników zawartości składników nawozowych w nawozach, paszach i produktach rolnych, a także wskaźników wnoszenia azotu w wyniku biologicznego wiązania i z opadami atmosferycznymi. Wskaźniki te przyjęto na podstawie literatury, częściowo też z etykiet ze składem pasz i nawozów.

### Wyniki badań i dyskusja

Na bazie zbioru danych dotyczących działalności produkcyjnej analizowanych gospodarstw z lat 2003-2004, oszacowano średnie dla całej ich grupy wartości strumieni przepływu azotu i fosforu, współczynniki *SH*, *HF*, *FP*, *MS*, *IM* i *EX* charakteryzujące ten przepływ oraz efektywność wykorzystania N i P zgodnie z formułą Schrödera i in. [2003] (tab. 1).

Przeciętna efektywność wykorzystania azotu i fosforu w gospodarstwach była dość niska – na poziomie odpowiednio 18,5% i 26,7%. Efektywność ta w głównej mierze zależała od sprawności - wyrażonej współczynnikami konwersji *SH*, *FP*, *HF* i *MS*, z jaką przemieszczały się składniki nawozowe wewnątrz gospodarstwa pomiędzy poszczególnymi ogniwami ich obiegu (gleba, rośliny uprawne, zwierzęta, nawozy naturalne).

W tym zakresie, średnie dla azotu i fosforu wartości *SH* wynosiły odpowiednio 0,66 i 0,62; *FP* – 0,26 i 0,31 a *MS* – 0,70 i 1,00 (*HF* = 0,71 dla N i 0,75 dla P przyjęto z literatury). Wyznaczone wartości współczynników konwersji były na ogół większe od wartości adekwatnych im współczynników charakteryzujących holenderskie gospodarstwa mleczne, lecz znacznie mniejsze w większości przypadków, od ustalonych dla nich górnych (maksymalnych) wartości granicznych (tab. 2).

Uzyskane wyniki badań wykazały dość słaby stan gospodarowania azotem i fosforem w badanej grupie gospodarstw i zwróciły uwagę na potrzebę jego polepszenia. Rozpatrzono w związku z tym różne scenariusze postępowania zmierzających do zwiększenia wykorzystania azotu i fosforu w gospodarstwach poprzez poprawę efektywności procesu przepływu tych składników między elementami łańcucha: gleba→ziemiopłody→pasza→zwierzę→gleba. Potencjalnie istniejące w tym zakresie możliwości analizowano opierając się na modelu matematycznym opracowanym przez Schrödera i in. [2003]. Wykorzystując to narzędzie dokonano symulacji zmian efektywności wykorzystania azotu i fosforu w całym gospodarstwie (*O/I*) w zależności od zmiany wartości współczynników konwersji: *SH*, *HF*, *FP* i *MS*.

*Efektywność wykorzystania azotu...*

*Tabela 1. Parametry charakteryzujące obiegu azotu i fosforu w badanych gospodarstwach w latach 2003-2004*

*Table 1. Characteristic parameters of nitrogen and phosphorus circulation on surveyed farms in 2003–2004*

Parametr	Składnik	
	N	P
Ilość składnika w zebranych ziemiopłodach $H$ (kg/ha)		
– zielonka	76,8	7,9
– zboże	15,1	3,1
– słoma	4,8	1,1
– kukurydza	28,7	5,7
– ziemniaki	0,7	0,1
– gorczyca	2,4	0,3
– lucerna/seradela	3	0,4
Razem $H$ (kg/ha)	131,3	18,5
Ilość składnika w sprzedanych ziemiopłodach $H_1$ (kg/ha)		
– ziemniaki	0,4	0,1
Razem $H_1$ (kg/ha)	0,4	0,1
Ilość składnika dostarczonego zwierzętom w paszach i ściółce $F$ (kg/ha)		
– pasze własne i ściółka – $F_1$ (kg/ha)	93,0	13,9
– pasze z zakupu $F_2$ (kg/ha), w tym:		
– mieszanki przemysłowe	13,5	4,4
– pasze objętościowe	9,4	0,9
Razem $F_2$	22,8	5,3
Razem $F$	115,8	19,1
Ilość składnika w sprzedanych produktach zwierzęcych $P$ (kg/ha)		
– mleko	26,4	4,9
– żywiec wołowy	3,4	1,0
Razem $P^1$	29,7	5,9
Ilość składnika w wydalonych odchodach zwierząt $M$ (kg/ha)		
Straty składnika z nawozów naturalnych $M_1$ (kg/ha)	26,1	0
Ilość składnika wprowadzonego na użytki rolne $S$ (kg/ha)		
– nawozy mineralne	115,3	16,7
– nawozy naturalne do gleby $M_2$ (kg/ha)	71,1	16,9
– nasiona	1,2	0,3
– wiązanie biologiczne przez rośliny bobowate	2,8	0
– mikroorganizmy wolnożyjące	10,0	0
– opad atmosferyczny	10,6	0
Razem $S$ (kg/ha)	210,9	33,8
$IM$	0,20	0,27
$EX$	0,003	0,003
$SH$	0,66	0,62
$HF$	0,71	0,75
$FP$	0,26	0,31
$MS$	0,70	1,00
Efektywność O/I, %	18,5	26,7

*Objaśnienia:  $F_1=(H-H_1) \cdot 0,71$  dla azotu;  $F_1=(H-H_1) \cdot 0,75$  dla fosforu;  $F = F_1 + F_2$ ;  $M = F - P$ ;  $M_1$  dla azotu oszacowano na podstawie liczby zwierząt i wskaźników emisji amoniaku [zmodyfikowanych na podstawie: Pietrzak 2006 ];  $M_2 = F - P - M_1$ ;  $IM = F_2/F$ ;  $EX = H_1/H$ ;  $SH = H/S$ ;  $HF$  – przyjęto 0,71 dla azotu i 0,75 dla fosforu na podstawie literatury [Jarvis, Aarts 2000];  $FP = P/F$ ;  $MS = (M - M_1)/M$ ;*

Dla potrzeb analizy przyjęto cztery poziomy zmian wskazanych współczynników:

- 0 – odpowiadający wyznaczonym wartościom współczynników konwersji,
- I – odpowiadający wyznaczonym wartościom współczynników konwersji powiększonym o  $\frac{1}{3}$  różnicy między wartościami granicznymi a wyznaczonymi,
- II – odpowiadający wyznaczonym wartościom współczynników konwersji powiększonym o  $\frac{2}{3}$  różnicy między wartościami granicznymi a wyznaczonymi,
- III – odpowiadający górnym granicznym wartościom współczynników konwersji z tabeli 2.

*Tabela 2. Wartości współczynników konwersji w odniesieniu do azotu i fosforu uzyskiwane w praktyce przez wykwalifikowanych rolników w intensywnych gospodarstwach specjalizujących się w produkcji mleka w Holandii oraz możliwe do uzyskania maksymalne wartości graniczne tych współczynników*

*Table 2. Conversion coefficients in relation to nitrogen and phosphorus, obtained in practice by qualified farmers on intensive dairy farms in the Netherlands and possible to be obtained maximum boundary values of these coefficients*

Współ- czynnik	Kierunek przepływu składnika	Wartości przeciętne uzyskiwane w warunkach praktycznych w Holandii*		Możliwe do uzyskania maksymalne graniczne wartości **	
		N	P	N	P
FP	z paszy i ściółki do mleka i mięsa	0,18	0,22	0,30	0,40
MS	z wydalonych odchodów do nawozów naturalnych wprowadzanych do gleby	0,80	1,00	0,90	1,00
SH	z gleby do ziemiopłodów	0,53	0,60	0,90	1,00
HF	z zebranych ziemiopłodów do paszy gospodarskiej	0,71	0,75	0,90	1,00
* na podstawie: [Jarvis, Aarts 2000] **na podstawie: [Schröder, Bannik, Kohn 2003]					

Symulacje wykonano w dwóch wariantach. W pierwszym analizowano wpływ zmian pojedynczego współczynnika konwersji, przy założeniu, że pozostałe nie ulegają zmianie, a w drugim efekt jednocześnie występujących zmian wszystkich współczynników konwersji.

Przeprowadzone obliczenia wykazały, że maksymalizując tylko jeden ze współczynników *SH*, *HF* lub *FP* (tym czasie pozostałe z nich pozostawiając niezmiennie) teoretycznie można byłoby zwiększyć efektywność wykorzystania azotu w gospodarstwach do poziomu odpowiednio 27,6, 24,9 i 21,2%, a fosforu stosownie 56,0, 40,4 i 32,2% (rys. 2 i 3).

Zwiększenie wartości współczynnika MS do górnego poziomu granicznego przyniosłoby zwiększenie wykorzystania tego składnika w gospodarstwach do 20,8% (dla fosforu wartość współczynnika MS była stała równa „1”, stąd nie oddziaływał on na dalsze zwiększanie wykorzystania P w gospodarstwie). Natomiast w przypadku jednoczesnej maksymalizacji wszystkich współczynników konwersji potencjalnie można byłoby uzyskać efektywność wykorzystania azotu wynoszącą ok. 54%, a fosforu 100% (rys. 4).

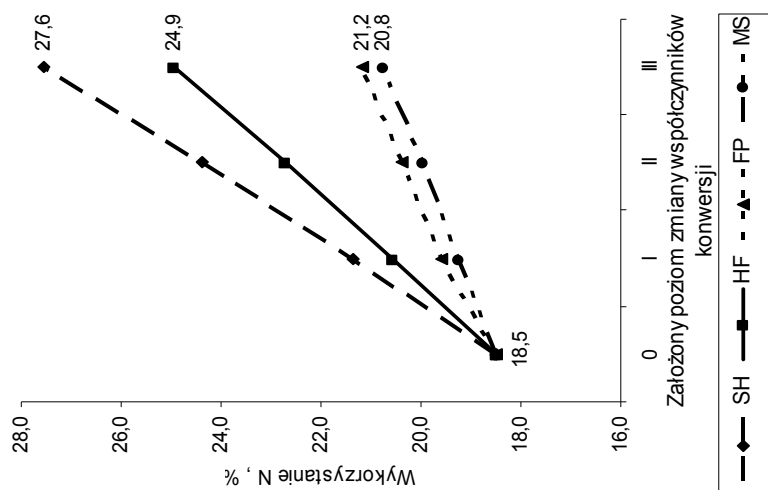
Wyniki symulacji wskazały, że działania zmierzające do poprawy gospodarowania składnikami nawozowymi najlepiej jest prowadzić w skali całego gospodarstwa rolnego. Oznacza to, że należy kompleksowo widzieć i kształtować obieg składników produkcji rolnej, mając na uwadze jednocześnie nawożenie roślin, żywienie zwierząt, gospodarowanie paszami i nawozami naturalnymi. Działania selektywne, uwzględniające optymalizację wykorzystania składników nawozowych jedynie w wybranych segmentach produkcji rolnej, nigdy nie przyniosą tak dobrych rezultatów jak tego rodzaju działania prowadzone całościowo.

Poprawa efektywności wykorzystania azotu i fosforu jest ewidentnie korzystna, zarówno ze względu na ochronę środowiska jak i ekonomikę produkcji. Jeżeli wziąć pod uwagę wyszczególnione w tabeli 1 źródła przychodu (nawozy mineralne, mieszanki przemysłowe, pasze objętościowe, wiązanie biologiczne przez rośliny bobowate, mikroorganizmy wolnożyjące, opad atmosferyczny) oraz rozchodu (ziemiaki, mleko, żywiec wołowy) azotu i fosforu do gospodarstw to można stwierdzić, że wprowadzono do nich przeciętnie 161,4 kg N/ha i 22,0 kg P/ha, natomiast wyprowadzono 30,1 kg N/ha i 5,9 kg P/ha. Wynika z tego, że generowały one nadmiary azotu i fosforu odpowiednio na poziomie 131,3 kg N/ha i 16,0 kg P/ha.

Gdyby w tych gospodarstwach zwiększyć wykorzystanie N i P do wielkości, które Jarvis i Aarts [2000] uważają za technicznie osiągalne tj. odpowiednio do 36% i 100% to ten sam poziom sprzedaży produktów rolnych, jaki w nich występuje można byłoby osiągnąć w warunkach wprowadzania do nich ze źródeł zewnętrznych 83,6 kg N/ha i 5,9 kg P/ha. Oznaczałoby to zmniejszenie presji na środowisko i potrzeby zakupu azotu i fosforu (w nawozach i paszach) odpowiednio o 77,8 kg N/ha i 16,1 kg P/ha.

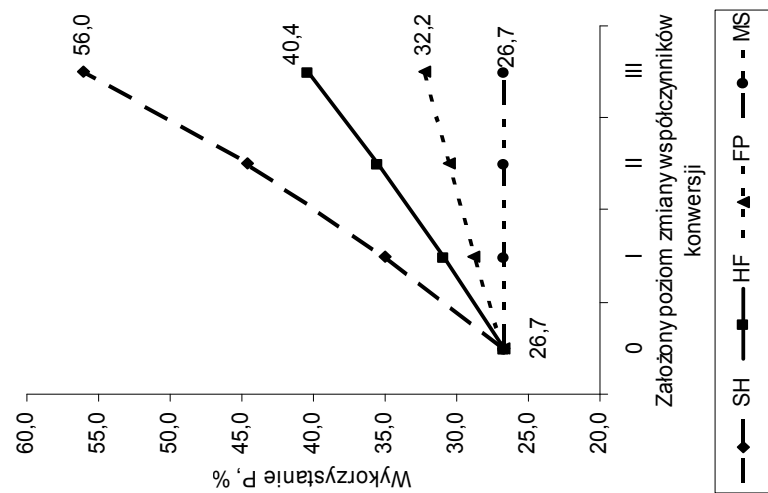
## **Wnioski**

1. Efektywność wykorzystania azotu i fosforu w gospodarstwach ukierunkowanych na produkcję mleka jest niewielka. W typowych gospodarstwach na Podlasu wynosi ona odpowiednio ok. 19% i 27%.
2. Efektywność wykorzystania azotu i fosforu w skali całego gospodarstwa zależy od efektywności przepływu tych składników w produkcji rolnej między ogniwami łańcucha: gleba→ziemiopłody→pasza→zwierzę→gleba.



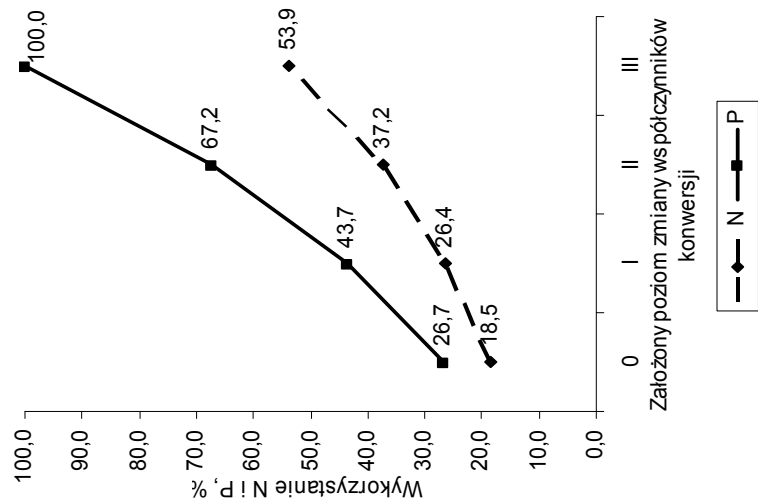
Rys. 2. Symulowane wykorzystanie azotu w zależności od zwiększenia jednego ze współczynników konwersji

Fig. 2. Simulated nitrogen usage depending on increasing one of the conversion coefficients



Rys. 3. Symulowane wykorzystanie fosforu w zależności od zmiany jednego ze współczynników konwersji

Fig. 3. Simulated phosphorus usage depending on changing one of the conversion coefficients



Rys. 4. Symulowane wykorzystanie azotu i fosforu w zależności od zmiany wszystkich współczynników konwersji jednocześnie

Fig. 4. Simulated nitrogen and phosphorus usage depending on simultaneous changing of all conversion coefficients



3. Na przykładzie analizowanej grupy gospodarstw, można przyjąć, że istnieją znaczne możliwości poprawy wykorzystania azotu i fosforu w gospodarstwach mlecznych, w szczególności poprzez zwiększenie pobrania tych składników przez uprawy polowe (zwiększenie współczynnika SH) oraz optymalizację procesu przygotowania pasz dla zwierząt (zwiększenie współczynnika HF).
4. Wraz z poprawą wykorzystania azotu i fosforu w gospodarstwie zmniejsza się obciążenie środowiska tymi składnikami a zarazem spadają nakłady na zakup środków produkcji takich jak nawozy i pasze.

### **Bibliografia**

Jarvis S.C., Aarts H.F.M. 2000. Nutrient management from a farming systems perspective. W: Grassland farming: Balancing environmental and economic demands. Proc. 18<sup>th</sup> Gen. Meeting EGF. Pr. zbior. Red. K. Søgaard, C. Ohlsson, J. Sehested, N.J. Hutchings, T. Kristensen. Aalborg, Denmark, 22-25 May 2000: 363-373

Pietrzak S. 1997. Metoda bilansowania składników nawozowych w gospodarstwie rolnym. Mater. Inst. Falenty: Wydawnictwo IMUZ: 22

Pietrzak S. 2006. Metoda inwentaryzacji emisji amoniaku ze źródeł rolniczych w Polsce i jej praktyczne zastosowanie. Woda Środ. Obsz. Wiej. t. 6 z. 1(16): 319-334

Schröder J.J., Aarts H.F.M., ten Berge H.F.M., van Keulen H., Neeteson J.J. 2003. An evaluation of whole-farm nitrogen balances and related indices for efficient nitrogen use. Eur. J. Agron. vol. 20, no 1: 33-44

Schröder J.J., Bannik A., Kohn R. 2005. Improving the efficiency of nutrient use on cattle operations. In: Pfeffer E., Hristov A.N. (Eds.) Nitrogen and phosphorus nutrition of cattle. CABI, Wallingford UK: 255-279