

MARIUSZ FOTYMA

*Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach*

KAZIMIERZ KĘSIK

*Akademia Rolnicza w Puławach*

## SKUTKI INTENSYWNEGO NAWOŻENIA FOSFOREM

*Bilans fosforu*

W krajach rozwiniętego rolnictwa dawki nawozów fosforowych przewyższają z reguły pobranie tego składnika z plonem roślin. W tabeli 1 przedstawiono bilans fosforu za trzy okresy pięcioletnie dla wybranych krajów europejskich. Zużycie nawozów mineralnych wzięto z roczników statystycznych, ilość fosforu w oborniku oszacowano na podstawie obłady zwierząt gospodarskich, a pobranie fosforu przez rośliny uzyskano przeliczając plony notowanych w roczniku statystycznym roślin na jednostki zbożowe i zakładając, że pobranie fosforu wynosi 0,90 kg  $P_2O_5$  na jednostkę zbożową. W większości krajów nadwyżka bilansowa fosforu przekracza 20 kg  $P_2O_5$ /ha/rok, a w niektórych krajach osiąga 40—70 kg  $P_2O_5$ . Warto przy tym zwrócić uwagę, że przyrost zużycia fosforu wyprzedza przyrost plonów roślin (pobranie składnika) i nadwyżka bilansowa składnika w kolejnych okresach 5-letnich jest coraz większa. Jak wykazują liczne badania [27, 32, 41, 42, 45, 46] fosfor wniesiony do wierzchniej warstwy gleby nie ulega z reguły przemieszczeniu poza zasięg systemu korzeniowego roślin. W wieloletnich doświadczeniach lizymetrycznych na czterech glebach o różnym składzie mechanicznym Vömel [41, 42] nie stwierdziła żadnego przemieszczania fosforu do głębokości poniżej 1 m. Z badanych składników pokarmowych jedynie bilans fosforu (przy stosowaniu corocznie 31 kg  $P_2O_5$ /ha) był dodatni. W doświadczeniach polskich [45, 46] wymywanie fosforu z lizymetrów do głębokości 1 m wynosiło zaledwie ok. 0,029 g  $P_2O_5$ /1 m<sup>2</sup>/rok i było kilkadziesiąt do kilkuset razy mniejsze od wymywania pozostałych składników mineralnych. Bilans fosforu w tych doświadczeniach był również z reguły dodatni. Munk [28] prowadził badania nad wysokością strat fosforu na gruntach ornych i użytkach zielonych, przy różnych poziomach nawożenia tym składnikiem. Wychodząc z ilości przesiąkającej wody (ok. 200 mm/ha) w okresie wegetacyjnym i znanego stężenia fosforu wyciągu 1n  $H_2SO_4$  autor szacuje powstające straty fosforu na drodze wymywania z profilu o głębokości 1 m na 18—180 g  $P_2O_5$ /ha/rok. Są to wartości mieszczące

Tabela 1

## Bilans fosforu dla wybranych krajów Europy

Kraj	Lata 1961—65				Lata 1966—70				Lata 1971—75			
	wniesiono		różnica bilan-sowa P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/ha	rośliny pobrały P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/ha	wniesiono		różnica bilan-sowa P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/ha	rośliny pobrały P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/ha	wniesiono		różnica bilan-sowa P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/ha	rośliny pobrały P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/ha
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> nawozy mine-ralne	kg/ha obornik			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> nawozy mine-ralne	kg/ha obornik			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> nawozy mine-ralne	kg/ha obornik		
Belgia	64,5	29,2	+47,2	46,5	86,8	31,9	49,1	+69,6	98,1	36,6	66,0	+68,7
Bulgaria	15,8	10,9	+ 2,9	23,8	36,1	10,6	33,8	+12,9	40,6	10,5	39,7	+11,4
Czechosłowacja	27,5	13,9	+14,8	26,6	36,7	12,6	32,0	+17,3	51,5	12,7	38,7	+25,5
Dania	38,3	25,8	+23,1	41,0	40,7	26,7	41,3	+26,1	44,5	27,3	42,3	+29,5
Francja	30,7	10,9	+10,0	31,6	43,7	11,1	39,5	+37,7	57,3	12,3	48,8	+20,8
Holandia	47,6	30,0	+28,0	49,6	48,4	32,3	54,0	+26,7	47,4	35,4	62,2	+20,6
NRD	38,6	17,5	+26,3	29,8	55,2	18,2	34,5	+38,9	66,7	19,6	39,4	+49,6
RFN	49,8	18,4	+31,7	36,5	57,7	19,9	42,2	+35,4	67,2	21,4	47,3	+41,3
Polska	12,8	12,3	+ 3,4	21,7	23,7	13,6	25,5	+11,8	40,1	15,5	29,6	+26,1
Rumunia	6,6	9,0	- 3,9	19,5	11,1	9,7	24,0	- 3,2	19,0	10,5	29,5	0,0
Szwecja	26,8	11,5	+ 4,4	33,9	35,3	11,5	32,3	+14,5	41,6	11,5	39,0	+14,1
Węgry	13,0	9,3	- 2,9	25,2	21,9	9,0	31,5	- 0,6	42,1	9,6	41,3	+10,4

się w granicach błędu doświadczalnego. Niektórzy autorzy zwracają uwagę na możliwość wymywania fosforu tworzącego połączenia z substancją organiczną gleby, lub nawozów. Według Margowskiego [22] wyższa koncentracja fosforu w głębszych warstwach profilu gleb leśnych w porównaniu z glebami ornymi wynika z wymywania związków fosforu z kwasami fulwonowymi, których udział jest większy w glebach leśnych. Szczurek [40] badając wyciągi wodne z gleb stwierdzał zawsze większą koncentrację związków fosforu organicznego i związanego z koloidami, w porównaniu z fosforem mineralnym.

Pola intensywnie nawożone gnojowicą wykazują znaczne przyrosty zawartości fosforu przyswajalnego nie tylko w warstwie ornej. Często obserwowany jest znaczny wzrost zasobności w ten składnik głębszych warstw gleby. Wyniki wskazujące na duże ilości przemieszczającego się fosforu na polach nawożonych gnojowicą przytaczają Vetter i Klasnik (1972), Le la Lande Cremer (1974), Kolenbrander (1973), Rehbein, Schönmeier i Asmus (1975), Tietjen i Vetter (1972), Unwin (1974) i inni [cyt. 21].

De la Lande Cremer (1974) stwierdził przyrost zasobności fosforu w glebie piaszczystej na głębokości 100 cm po zastosowaniu dawki 240 m<sup>3</sup> gnojowicy na hektar rocznie. W doświadczeniach polowych Vettera i Klasnika (1972) stwierdzono szybsze przemieszczanie się fosforu na obiektach z gnojowicą w porównaniu z obiektami z nawozem mineralnym. Autorzy tłumaczą to silniejsze przemieszczanie się fosforu wpływem substancji organicznej gnojowicy a częściowo również dużym uwilgotnieniem gleby nawożonej nawozem płynnym.

Większe wymywanie fosforu tworzącego połączenia organiczne należy rozumieć w sposób relatywny i w praktyce przemieszczanie fosforu ogólnego poza zasięg systemu korzeniowego roślin zachodzi tylko w wyjątkowych przypadkach. Na tle tego stwierdzenia interesujące jest, że próby bilansowania fosforu uwzględniające fosfor wnoszony w nawozach, pobranie składnika z plonami oraz przyrost (ew. ubytek) zawartości fosforu ogólnego w wierzchnich warstwach gleby dają z reguły saldo ujemne [28].

W badaniach Szczurka [40] opartych o 44-letnie doświadczenia statyczne ze Skierniewic nie wykrywano w warstwie ornej 31—55% ogólnej ilości zastosowanego fosforu. Pondel [34] określał bilans fosforu w glebach z doświadczeń wieloletnich prowadzonych w ZDUNG przez okres 10 lat. Uwzględniając warstwę 0—20 cm autor wykrywał w większości gleb 33—53% wniesionej ilości fosforu, a w glebie wytworzonej z lessu ilość odnalezionego fosforu wynosiła zaledwie 11%. Obydwaj autorzy twierdzą, że w pracach nad bilansem fosforu należy koniecznie uwzględnić również głębsze warstwy gleby. Einicke [11] w oparciu o doświadczenia statyczne prowadzone przez okres 80 lat nie stwierdził przemiesz-

czania się fosforu ogólnego poniżej warstwy 40 cm. W badaniach tych wystąpiło również ujemne saldo fosforu, ale nie odnaleziona ilość składnika wynosiła zaledwie ok. 10% w stosunku do ilości wniesionej. W doświadczeniach wieloletnich z reguły nie dysponuje się oznaczeniami zawartości wyjściowej fosforu ogólnego i wnioskuje o bilansie składnika trzeba oprzeć na rozumowaniu pośrednim. Przykład takiego rozumowania podano za Einickiem [11] w tabeli 2. Przeprowadzony w tabeli 2

Tabela 2

Bilans fosforu za okres 80 lat [11]

Nawożenie	Plon w q suchej masy średnio w roku	Kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha/80 lat			Kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha w warstwie 0—40 cm	
		wniesiony w nawozach	pobrano przez rośliny	różnica	znaleziony w 1958 r.	wyliczony dla 1879 r.
0	35,7	49	536	—487	2316	2803
NPK	64,9	2005	1016	989	3600	2611
obornik	64,3	1621	1032	589	3060	2471

rachunek powinien oczywiście wykazać w przybliżeniu jednakową wyjściową (w 1879 r.) ilość fosforu w glebie wszystkich poletek. W rzeczywistości różnica na niekorzyść kombinacji NPK wyniosła prawie 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, a na niekorzyść kombinacji z obornikiem ponad 300 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Te właśnie ilości fosforu dają ujemne saldo bilansu składnika.

Ujemne saldo fosforu ogólnego może również wynikać z trudności metodycznych z oznaczaniem tego pierwiastka. Jak wykazały badania Roszyk [36a] zgodne wyniki oznaczania całkowitej ilości fosforu w glebie uzyskuje się tylko przy zastosowaniu metody stopów, lub też rozkładu gleby kwasem fluorowodorowym, lub kwasem nadchlorowym. Większość cytowanych autorów stosowała natomiast metodę wyciągów w stężonym kwasie azotowym lub siarkowym, za pomocą których odnajduje się do 50% ilości fosforu wykrywanego metodami bardziej drastycznymi.

### Nagromadzenie fosforu przyswajalnego w glebie

Pod pojęciem fosforu przyswajalnego należy rozumieć taką formę składnika podlegającą ekstrakcji z gleby, której zawartość dodatnio koreluje z plonem roślin, a ujemnie z ich reakcją na nawożenie fosforem.



Dobór najlepszej metody ekstrakcji zależy od rodzaju gleby oraz formy stosowanych nawozów fosforowych. Obecnie wymaga się, aby wybrana metoda pozwalała nie tylko na określenie stopnia zaopatrzenia roślin w fosfor, ale również na ocenę wartości fosforu nagromadzonego w wyniku nawożenia dawkami składnika przekraczającymi potrzeby pokarmowe roślin. Według Behrensa [2] stosowane środki ekstrakcyjne można podzielić na trzy grupy: do pierwszej należą wyciągi rozpuszczające lepiej pozostałości surowych fosforytów, niż superfosfatu (wyciąg Truoga, Pe-echa, Thorntona i Engera-Riehma); do drugiej należą wyciągi rozpuszczające w podobnym stopniu pozostałości surowych fosforytów i superfosfatu (wyciąg Morgana, Braya II); do trzeciej należą wyciągi rozpuszczające lepiej pozostałości superfosfatu (wyciąg Braya I, Olsena).

W badaniach wieloletnich nad nagromadzaniem fosforu w glebie należy się zawsze posługiwać jedną metodą, gdyż wyniki uzyskane różnymi metodami są nieporównywalne. Z uwagi na powszechność jej stosowania w Polsce najbardziej interesujące są dla nas wyniki badań opartych o metodę Egnera-Riehma. W licznych badaniach [1, 4, 9, 13, 15, 17, 18, 23, 31, 38] stwierdzono korelację pomiędzy wielkością nadwyżki bilansowej fosforu, a przyrostem przyswajalnych form składnika w glebie. Adamus [1] stwierdziła w doświadczeniach polowych, że po 8 latach regularnego stosowania dawki 144 kg  $P_2O_5$ /ha przyrost zawartości fosforu oznaczonego metodą Egnera-Riehma wyniósł 4—8 mg  $P_2O_5$ /100 g gleby. Przyrost zawartości fosforu przyswajalnego był większy na glebach kompleksów pszennych w porównaniu z kompleksami żytnimi oraz na glebach o wyjściowej niskiej zawartości fosforu w porównaniu z glebami o zasobności wysokiej. Fotyma i inni [13] wyznaczyli zależność funkcyjną pomiędzy wartościami nadwyżki bilansowej fosforu, a przyrostem zasobności gleby uwzględniając jako zmienne towarzyszące kompleks glebowy oraz zawartość wyjściową fosforu.

Zależność ta, oparta o wyniki kilkudziesięciu doświadczeń polowych ze zróżnicowanymi dawkami fosforu, prowadzonymi przez okres przynajmniej 12 lat da się opisać następującym równaniem:

$$Y = 0,412359 - 0,104776 x_1 + 0,015890 x_2 + 0,00733 x_3$$

$$R = 0,53 \quad R^2 = 0,29$$

gdzie: Y oznacza zmianę zawartości fosforu oznaczonego metodą Egnera-Riehma wyrażoną w mg  $P_2O_5$ /100 g gleby;  $x_1$  oznacza kompleks glebowy, wprowadzony jako wartość liczbowa (1, 2, 3...7),  $x_2$  oznacza wyjściową zawartość fosforu wg metody Egnera-Riehma wyrażoną w mg  $P_2O_5$ /100 g gleby,  $x_3$  oznacza wartość nadwyżki bilansowej fosforu w kg  $P_2O_5$ /ha.

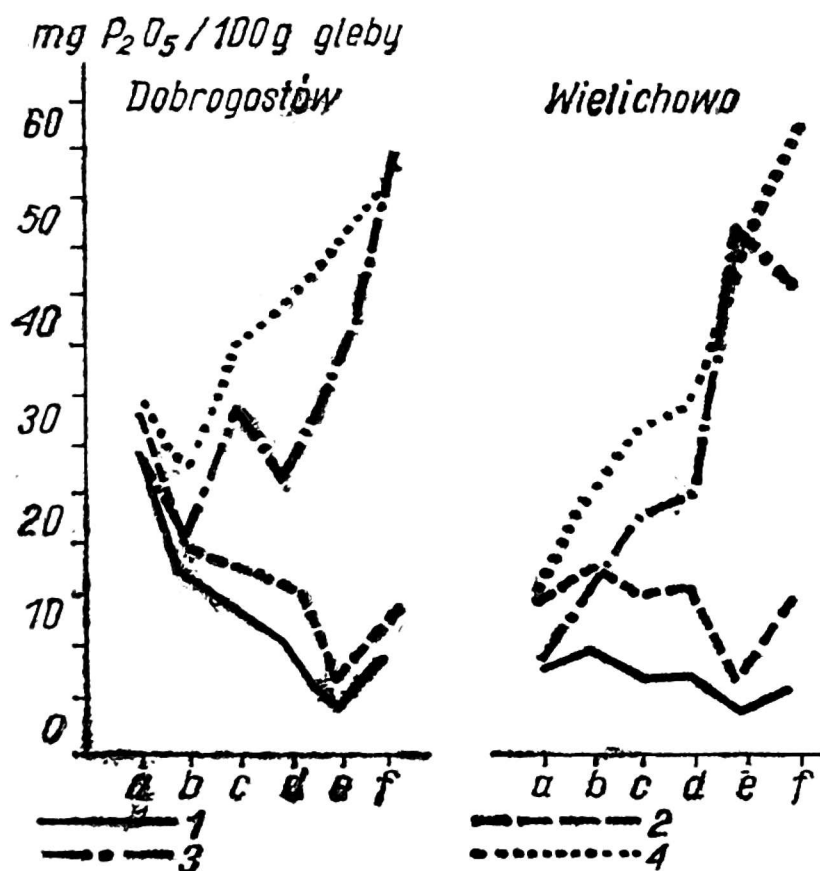
Jeszcze ściślejszą zależność pomiędzy wielkością nadwyżki bilansowej

fosforu i przyrostem zasobności gleby stwierdzono w doświadczeniach wazonowych [14]. Zależność tę dla gleb pobranych z pól nie nawożonych przez 8—12 lat fosforem, oraz dla gleb pobranych z pól, na których stosowano regularnie dawkę 108—144 kg  $P_2O_5$ /ha/rok można opisać równaniami regresji;

$$\text{dla gleb nienawożonych} \quad Y = -6,37 + 21,22 x$$

$$\text{dla gleb nawożonych} \quad Y = -1,90 + 20,95 x$$

gdzie Y oznacza przyrost zawartości fosforu wg metody Egnera-Riehma wyrażony w mg  $P_2O_5$ /100 g gleby, x oznacza wartość nadwyżki bilansowej fosforu wnoszonego pod 5 kolejnych roślin do wazonów wyrażoną wg  $P_2O_5$ /wazon. W doświadczeniach używano wazonów Mitscherlicha o pojemności 7 kg gleby. Dla lepszego zilustrowania wyników przedstawiono je na rys. 1 dla gleb pochodzących z dwóch wybranych Zakładów Doświadczalnych.



Rys. 1. Zmiany w zawartości przyswajalnego fosforu oznaczonego wg metody Egnera-Rehma (Fotyma i Gosek [14])

1) gleba nie nawożona w polu i nie nawożona do wazonu, 2) gleba nawożona w polu i nie nawożona do wazonu, 3) gleba nie nawożona w polu i nawożona do wazonu, 4) gleba nawożona w polu i nawożona do wazonu, a przed założeniem doświadczenia, b, c, d, e, f — po spręcie kolejnych roślin

W oparciu o wieloletnie doświadczenie niemieckie Kerschberger [18] wyznaczył zależność liniową pomiędzy wartością nadwyżki bilansowej fosforu i przyrostem zawartości składnika w glebie oznaczanego metodą Egnera-Riehma. Współczynniki regresji były zróżnicowane zależnie od składu mechanicznego gleby i jej wyjściowej zasobności w fosfor. Wyniki badań Kerschbergera podano w syntetycznym ujęciu w tabeli 3.

Jak wynika z danych przedstawionych w tabeli 3 dla uzyskania takiego samego wzrostu zawartości fosforu przyswajalnego należało zasto-

Tabela 3

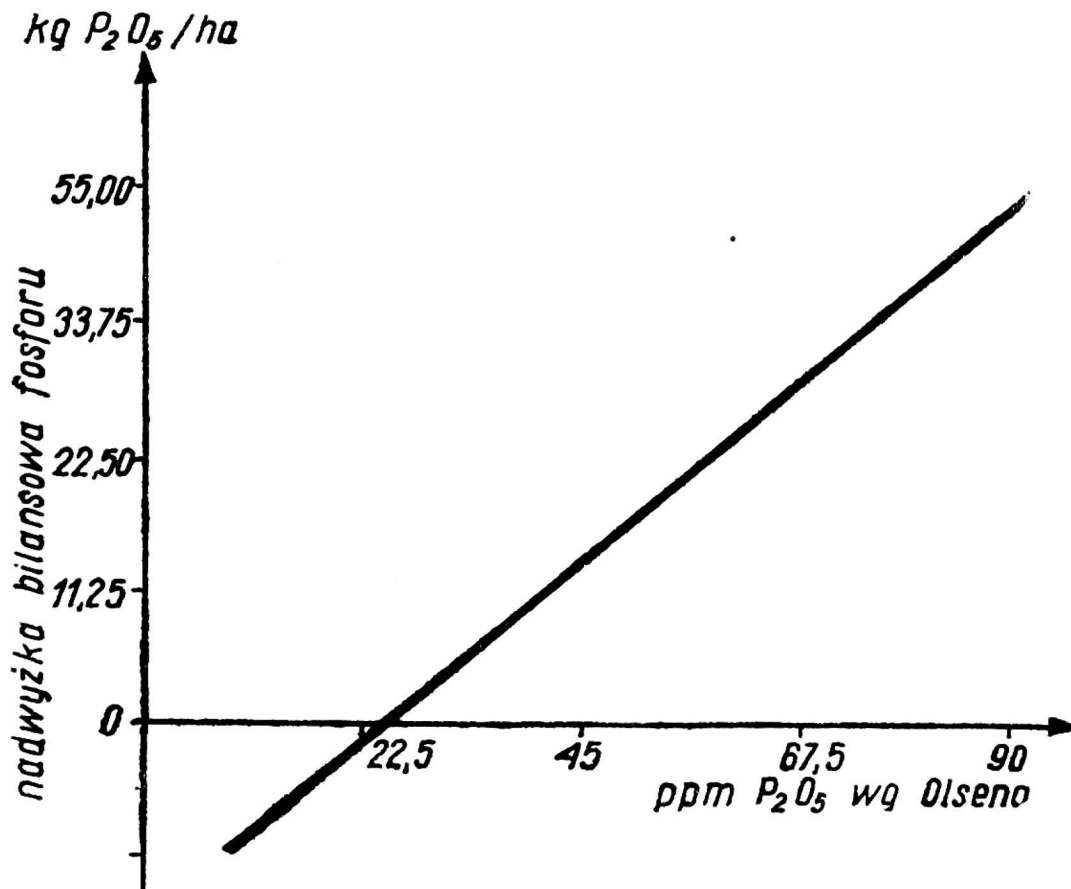
Zmiany zasobności gleby pod wpływem wieloletniego nawożenia fosforem [18]

Skład mechaniczny gleb	Wyjściowa zasobność w fosfor	Liczba doświadczeń	Równanie regresji	Współcz. korelacji	Średnie pH gleb
ps, pgl, pgm, gl	niska	8	$Y = -0,130 + 0,0153x$	0,30	5,2
gs, gc, i	niska	16	$Y = -0,112 + 0,0200x$	0,61	6,1
ps, pgl, pgm, gl	średnia	9	$Y = -0,321 + 0,0021x$	0,66	5,6
gs, gc, i	średnia	7	$Y = -0,085 + 0,0279x$	0,77	6,5

Y — oznacza wzrost zawartości fosforu wg metody Egnera-Riehma wyrażony w mg/100 g gleby.

x — oznacza wartość nadwyżki bilansowej fosforu wyrażoną w kg  $P_2O_5$ /ha.

sować większą nadwyżkę bilansową na glebach lekkich w porównaniu z glebami ciężkimi (co według autora wynikało z bardziej kwaśnego odczynu gleb lekkich) oraz na glebach o niskiej zasobności w fosfor w porównaniu z glebami o zasobności średniej.



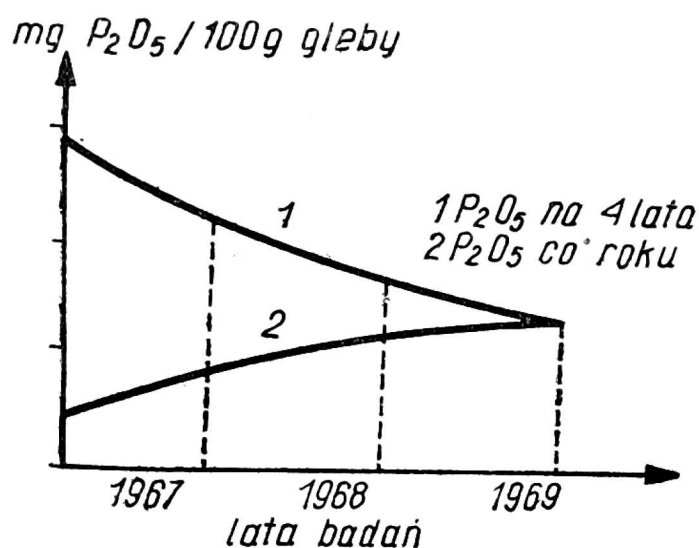
Rys. 2. Zależność między nadwyżką bilansową i przyrostem zawartości P przyswajalnego wg Cooca [9].

W wieloletnich doświadczeniach prowadzonych w Rothamsted Cook [9] stwierdził liniową zależność pomiędzy przyrostem zawartości fosforu oznaczanego metodą Olsena a wartością nadwyżki bilansowej tego skład-

nika. Wyniki badań Cooka przedstawiono na rys. 2. Po około 60 latach prowadzenia doświadczenia statycznego autor stwierdził przyrost zasobności gleby o 17,17 ppm  $P_2O_5$  (wg metody Olsena) na każde 11,45 kg  $P_2O_5$ /ha/rok nadwyżki bilansowej fosforu. Griiffin i Hanna [15] wprowadzili pojęcie tzw. równoważnika fosforowego (fertilizer equivalent), który oznacza ilość fosforu w nawozach jaką trzeba zastosować dla uzyskania wzrostu zasobności gleby o określonej wartości. Na podstawie 6-tygodniowych doświadczeń inkubacyjnych, bez obsiewu roślinami, przeprowadzonych na glebach ze stanu New Jersey autorzy stwierdzili, że dla podniesienia zawartości fosforu mierzonej metodą Braya I o 1,03 kg należy zastosować 1,37—4,81 kg  $P_2O_5$ /ha w nawozach. W badaniach Peccka [31] na glebie ugorującej zawartość fosforu przyswajalnego oznaczonego metodą Braya I wzrastała o ok. 1/4 ilości fosforu dostarczonego w formie nawozów. Proporcja ta była niezależna od przebiegu warunków klimatycznych. Należy podkreślić, że przyrost zawartości fosforu przyswajalnego uzyskiwany w wyniku stosowania wysokich dawek nawozów jest wyższy od przyrostu innych form składnika. W związku z tym w glebach intensywnie nawożonych fosfor przyswajalny stanowi wyższy procent ogólnej zawartości fosforu. W badaniach Pondla [34] przeprowadzonych na 9 glebach o różnym pochodzeniu i składzie mechanicznym nie nawożonych fosforem od 8—12 lat fosfor oznaczany metodą Egnera-Riehma stanowił ok. 11% w stosunku do ogólnej zawartości tego składnika. W tych samych glebach nawożonych corocznie dawką 108—144 kg  $P_2O_5$  udział fosforu przyswajalnego w fosforze ogólnym wzrastał do ok. 17%. W doświadczeniach przedstawionych przez Minhasa (1971) udział fosforu przyswajalnego oznaczonego metodą Egnera-Riehma w fosforze ogólnym wynosił 2,8% w glebach poletek nie nawożonych od 8 lat fosforem i 8,3% w glebach poletek regularnie nawożonych. Einicke [11] podaje, że w glebach nie nawożonych fosforem od 80 lat udział fosforu oznaczonego metodą Egnera-Riehma w fosforze ogólnym wynosił 12%, natomiast w glebach poletek, które w tym czasie otrzymały 2000 (w nawozach mineralnych) lub 1600 (w oborniku) kg  $P_2O_5$ , wzrósł do 24—25%. Również w badaniach Eberta [10] i Wernera [44] stwierdzono proporcjonalnie większy przyrost przyswajalnych form fosforu, oznaczanych różnymi metodami, pod wpływem intensywnego nawożenia tym składnikiem w porównaniu z formami trudno przyswajalnymi. O wzroście przyswajalnych form fosforu w glebie decyduje wysokość dawki tego składnika, a nie rodzaj użytych nawozów mineralnych. Porównanie wpływu nawozów mineralnych było przedmiotem licznych badań [7, 25, 28] i jest praktycznie mało w Polsce interesujące. Duże znaczenie ma natomiast sposób wnoszenia nawozów. Według Neikovej [30] przy stosowaniu fosforu na zapas na okres 4 lat stężenie składnika w roztworze było od po-



czątku i przez cały badany okres wyższe od stężenia w glebie fosforu przy jego stosowaniu corocznym. Wyniki badań Neikovej przedstawiono na rys. 3. W doświadczeniach stosowano dawkę 120 kg  $P_2O_5$  corocznie lub 480 na okres 4 lat. Hagemann [16] badał możliwość podniesienia zawartości przyswajalnych form fosforu w glebie przez jednorazowe zastosowanie wysokiej (800 kg  $P_2O_5$ /ha) dawki nawozów. Autor stwierdził, że zawartość fosforu oznaczonego metodą Egnera-Riehma podniosła się w pierwszym roku po zastosowaniu nawozów o 20,6—41,2  $P_2O_5$ /100 g gleby, a następnie nieco spadła i przez następne 5 lat utrzymywała się na poziomie o 4,58—13,74  $P_2O_5$ /mg wyższym od kontroli. Zagadnienie nawożenia skomasowanego jest złożone i zostanie omówione w oddzielnym opracowaniu.



Rys. 3. Wpływ wapnowania gleby na pobranie fosforu przez rośliny z gleb nie nawożonych i nawożonych różnymi formami nawozów fosforowych w okresie 68 lat wg Munca [28]

Warto również podkreślić duże nagromadzenie fosforu przyswajalnego jakie się stwierdza przy stosowaniu wysokich dawek gnojowicy. Vetter i Klasink (1972) [cyt. 21] badając zmiany zawartości fosforu przyswajalnego na polach produkcyjnych nawożonych gnojowicą w stosunku do pól nie nawożonych stwierdzili średni przyrost 17—74 mg  $P_2O_5$ /100 g gleby. Na polach tych zastosowano w ciągu 15—20 lat 2000 m<sup>3</sup> gnojowicy, co w skali rocznej stanowiło 800 kg  $P_2O_5$ /ha.

Zwiększanie zawartości fosforu przyswajalnego powyżej poziomu, przy którym rośliny nie reagują na nawożenie tym składnikiem wydaje się niecelowe [35]. Po osiągnięciu takiego poziomu i dla jego utrzymania teoretycznie wystarczyłoby stosować ilości nawozów, które wyrównują pobranie fosforu z plonami roślin. W rzeczywistości nieliczne jak dotychczas wyniki badań, wskazują, że tzw. nawożenie zachowawcze musi być wyższe od pobrania fosforu przez rośliny przy czym różnica obydwu wartości zależy od wielu czynników, a głównie od odczynu i poziomu utrzymywanej zasobności gleby. Ciekawe doświadczenia na ten temat przeprowadził Platzen [33]. Autor pobrał do wazonów glebę nie reagującą

na nawożenie fosforem i uprawiał na niej kolejno 7 roślin. Pod każdą z roślin stosowano nawożenie fosforem w wysokości 1 x, 1,5 x, 2,0 x i 3,0 x pobranie fosforu przez roślinę bezpośrednio ją poprzedzającą. Optimum dawki fosforu, z punktu widzenia wysokości plonów roślin zależnie od rodzaju gleby wynosiło 1,5—3,0 x pobranie składnika. Nawożenie na poziomie pobrania było również zbyt niskie dla utrzymania zawartości fosforu przyswajalnego, mierzonej różnymi metodami, na poziomie wyjściowym. Średnie dla wszystkich gleb zawartości fosforu przyswajalnego przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4

Zmiany zawartości fosforu przyswajalnego zależnie od nawożenia w wazonach [33]

Okres pobierania prób i nawożenie	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100 g gleby według metody			
	wielokrotna ekstrakcja wodą	jednokrotna ekstrakcja wodą	Egner	
			DL	CAL
Wyjściowa w 1966 r.	6,8	3,6	15	12
Końcowa w 1972 r. nawożenie 1 x pobranie	6,1	2,7	16	13
Końcowa w 1972 r. nawożenie 1,5 x pobranie	10,3	4,1	31	27

Findlay [12] prowadził badania nad wpływem 8-letniego nawożenia na zmiany zawartości fosforu oznaczonego metodą Braya-Kurtza w glebach piaszczystych różniących się wyjściową zawartością przyswajalnego składnika. Autor, posługując się regresją wielokrotną wyznaczył zależność pomiędzy końcową zasobnością gleby  $\bar{S}$ , a zasobnością wyjściową  $S_i$  i ilością nawozów RT, rozumianą jako iloczyn dawki R i ilości lat jej stosowania T. Równanie to miało następującą formę ogólną:

$$\bar{S} = a + S_i + R \times T + S_i \times T$$

Z równania wyznaczono wysokość dawek nawozów potrzebną do utrzymania wyjściowej zawartości gleby  $S_i$  na stałym poziomie przez założony przeciąg czasu T. Wyliczone dawki nawozów podano w tabeli 5.

Zachowawcze dawki fosforu były tym wyższe, im wyższa była wyjściowa zawartość przyswajalnego składnika i zależały to od długości czasu przez jaki zamierzano tę wyjściową zawartość utrzymać na stałym poziomie. Wzrost wysokości dawki zachowawczej nawozu, w miarę dłuższego czasu w jakim zamierzano utrzymać zasobność gleby na niezmiennym poziomie, stanowi pośredni dowód na postępujący proces starzenia się wprowadzonego do gleby fosforu nawozów na co zwracał uwagę również Platzen [33]. Tym niemniej zachowawcze dawki fosforu określone przez Findlaya nie przekraczały 45,8 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/rok. Również

Tabela 5

Dawki nawozów w kg  $P_2O_5$ /ha potrzebne do utrzymania wyjściowej zasobności gleby [12]

Wyjściowa zawartość fosforu w ppm $P_2O_5$ /100 g gleby	Ilość lat utrzymywania zawartości wyjściowej			
	2	5	8	11
180	—25,4	3,66	10,99	14,20
292	1,84	23,13	28,62	31,14
405	28,85	42,59	46,26	47,86

Cook [9] podaje, że dla monokultury zbożowej na polu doświadczalnym w Rothamsted dawka 11,45  $P_2O_5$ /ha/rok była wystarczająca dla utrzymania zawartości przyswajalnego fosforu oznaczonego metodą Olsena na poziomie 45 ppm. Dawka ta odpowiadała zwyżce pobrania fosforu na poletkach nawożonych tym składnikiem, w stosunku do poletek kontrolnych. W zmianowaniu norfolkskim na polu w Park Grass dla utrzymania zawartości fosforu na poziomie 45 ppm  $P_2O_5$  konieczne było regularne stosowanie dawki 16 kg  $P_2O_5$ /ha/rok. Dawka ta nie wyrównywała zwyżki pobrania fosforu na poletkach nawożonych w stosunku do poletek kontrolnych. Dane Cooka wskazują na dużą zdolność badanych gleb do uruchamiania fosforu w przeciągu czasu do 100 lat prowadzenia doświadczeń. Zagadnienie nawożenia zachowawczego wiąże się ściśle z pojęciem tzw. punktu równowagi fosforu w glebie. W punkcie tym pobranie fosforu z plonami roślin, przyrost zawartości fosforu przyswajalnego spowodowany stosowaniem określonej dawki nawozów i ubytek fosforu przyswajalnego spowodowany procesami starzenia się, wzajemnie się równoważą i zawartość fosforu przyswajalnego utrzymuje się na niezmiennym poziomie.

Z punktu widzenia praktycznego interesujące jest oczywiście utrzymanie zasobności na takim poziomie, przy którym rośliny nie reagują na aktualne nawożenie fosforem, a więc fosfor nie stanowi czynnika ograniczającego plonowanie. Określenie takiej „progowej” zawartości fosforu jest trudne i w literaturze spotyka się na ten temat niewiele danych. Według Büchnera [8] rośliny nie reagują na aktualne nawożenie fosforem o ile zawartość składnika mierzona metodą Egnera-Riehma przekracza 20—25 mg  $P_2O_5$ /100 g gleby. Platzen [33] podaje jako optymalną zawartość 32 i 36 mg  $P_2O_5$ /100 g gleby oznaczonego odpowiednio metodą Egnera w modyfikacji DL lub CAL. Cooke (1972) na podstawie wyników doświadczeń statycznych określa progowe zawartości fosforu na 22,9—45,8 ppm  $P_2O_5$  według metody Olsena. Nie ulega wątpliwości, że zawartość fosforu przy której rośliny nie reagują na aktualne nawożenie

tym składnikiem zależy od gatunku rośliny, rodzaju gleby oraz układu warunków klimatycznych.

*Wykorzystanie przez rośliny rezerw fosforu nagromadzonych  
w wyniku nawożenia*

Określenie stopnia wykorzystania fosforu nagromadzonego w glebie w wyniku wieloletniego nawożenia jest zadaniem metodycznie trudnym [7, 20]. W doświadczeniach polowych można obrać dwie drogi postępowania. Pierwsza droga polega na zaprzestaniu nawożenia po kilku czy kilkunastoletnim stosowaniu zróżnicowanych dawek fosforu i ocenie wykorzystania składnika metodą różnicową przez porównanie jego pobrania na poletkach uprzednio nawożonych i poletkach kontrolnych. Druga droga polega na podziale poletek nawożonych uprzednio zróżnicowanymi dawkami nawozów fosforowych i zastosowaniu na ich częściach kilku poziomów nawożenia aktualnego. Działanie fosforu nagromadzonego w glebie tzw. „starego” wycenia się wtedy w porównaniu z udziałem fosforu zastosowanego w roku badań, a więc tzw. „świeżego”. Niezależnie od obranej drogi, obok plonów roślin oznacza się zmiany zawartości przyswajalnych frakcji składnika w glebie i bilansuje z jego pobraniem. Obszerne badania przy zastosowaniu drugiej z podanych metod przeprowadzili w Rumunii Hera [17] i na Węgrzech Sarkadi [37]. W doświadczeniach Sarkadiego przeprowadzonych na czarnoziemie wapiennym wytworzonym z lessu przez okres 8 lat stosowano zróżnicowane dawki 0,30 i 60 kg  $P_2O_5$ /ha/rok. Po 8 latach każde z poletek podzielono na cztery części i pod trzy kolejne uprawy pszenicy traktowanej jako roślina testowa stosowano 0,40, 80 i 120 kg „świeżego nawożenia fosforem”. Średnie plony pszenicy za okres 3 lat przedstawiono w tabeli 6.

Sarkadi wyznaczył równoważnik nawozowy fosforu nagromadzonego w glebie wyrażony w kg nawożenia świeżego. Obliczenia dokonano w oparciu o krzywe efektywności nawożenia, bilans fosforu, oraz zmiany zawartości fosforu przyswajalnego (oznaczonego metodą Olsena) w glebie. Wartość równoważnika wynosiła ok. 200 tzn. działanie 200 kg  $P_2O_5$  nagromadzonego w glebie można było zrównoważyć wniesieniem 100 kg  $P_2O_5$  pod rośliny kontrolne. Boyd [7] badał działanie fosforu nagromadzonego w glebie z nawozów stosowanych w latach 1952—1964 w porównaniu ze „świeżym fosforem” zastosowanym pod roślinę testową w 1965 r. Działanie następcze fosforu uwidoczniło się tylko w kombinacjach, w których nie zastosowano świeżego nawożenia tym składnikiem. Matocha [23] w wyniku regularnego nawożenia uzyskiwał nagromadzenie do 893 ppm  $P_2O_5$  przyswajalnego w glebie. Działanie następcze nagromadzonego fosforu mogło być zrównoważone nawożeniem świeżym odpowiadającym zawartości 135 ppm  $P_2O_5$ .



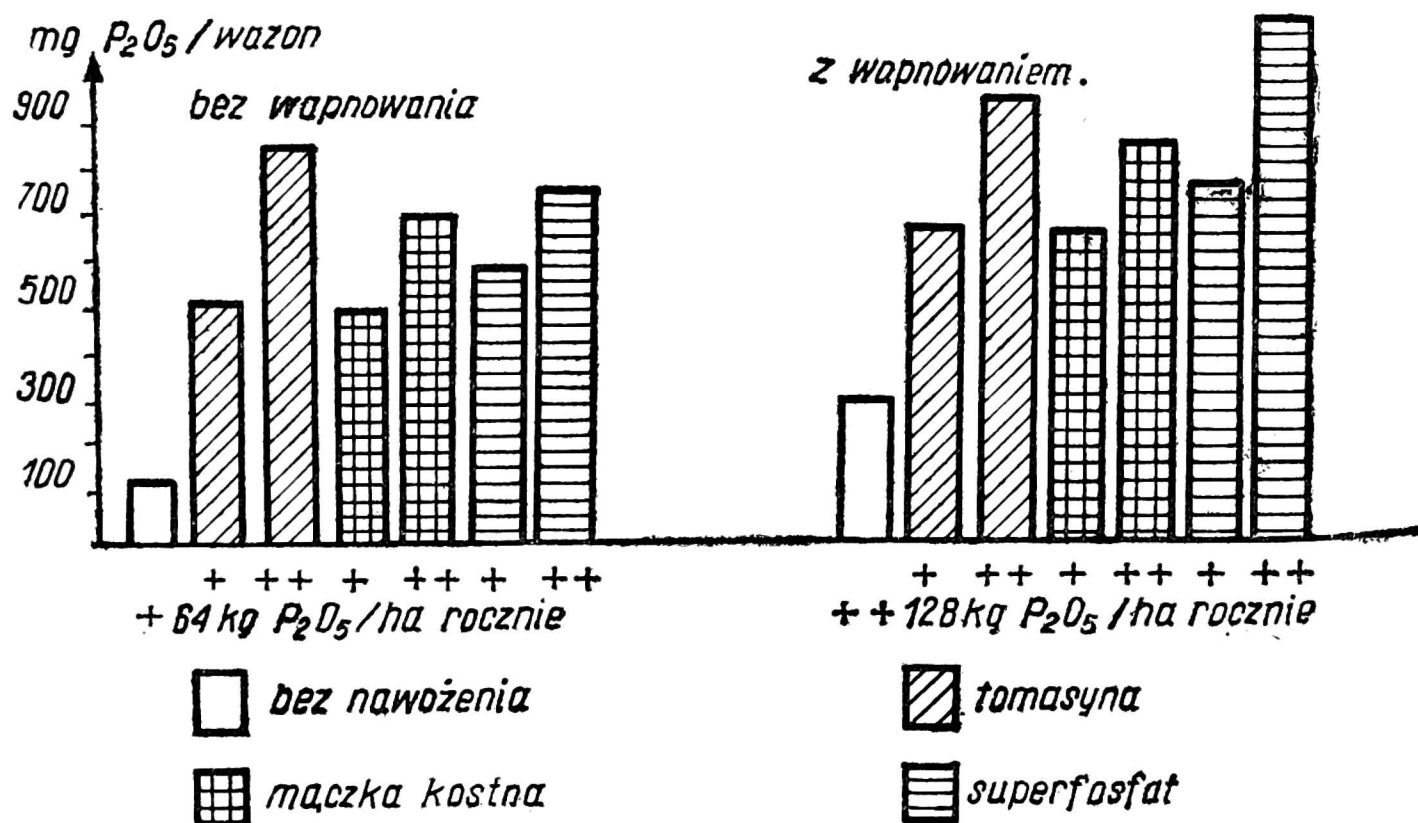
Tabela 6

## Plon pszenicy w q z ha [37]

Sumaryczna dawka nawożenia za 8 lat kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	Nawożenie pod pszenicę kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha/rok				Zwyżka plonu na 1 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	0	40	80	120	
0	15,0	25,2	29,7	33,5	15,1
240	24,9	31,2	35,4	38,2	11,0
480	30,7	35,5	36,6	37,4	5,2

Do oceny wartości fosforu nagromadzonego w wyniku wieloletniego nawożenia znacznie częściej stosuje się metody badań wegetacyjnych [3, 6, 13, 19, 28, 33, 39, 43, 44]. Kick i Minhas [19] pobierali glebę z pola z kombinacji przez 8 lat nie nawożonych fosforem i kombinacji na których stosowano regularne dawki różnych nawozów fosforowych. Wartość nagromadzonego fosforu oceniano w wazonach o pojemności 10 kg gleby zbierając kolejno 2 plony rajgrasu i 5 plonów koniczyny czerwonej. W wazonach napełnionych glebą z poletek nie nawożonych rośliny pobrały ogółem 607 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, przy czym ubytek fosforu przyswajalnego (oznaczonego metodą Egnera-Riehma) wyniósł 298 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Ponad 50% ogólnej pobranej przez rośliny ilości fosforu pochodziło zatem z form trudnodostępnych. W wazonach wypełnionych glebą regularnie nawożoną w polu, rośliny pobrały ogółem 964 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Spadek zawartości fosforu przyswajalnego (przy znacznie oczywiście wyższej jego zawartości wyjściowej) wyniósł 727 mg. Z form trudnodostępnych rośliny pobrały zatem tylko ok. 25% ogólnej ilości fosforu. Rośliny pobierały tutaj fosfor z form trudnodostępnych już w momencie gdy zawartość fosforu przyswajalnego była wyższa od zawartości wyjściowej stwierdzanej w glebie nie nawożonej tym składnikiem w polu. Zjawisko to utrudnia oczywiście ocenę wartości fosforu nagromadzonego w glebie w wyniku wieloletniego nawożenia. Fotyma [13] przeprowadził badania wegetacyjne na glebach pobranych z 9 wieloletnich doświadczeń polowych. W wazonach wypełnionych glebą z poletek kontrolnych pobranie fosforu przez kolejne 5 plonów roślin wyniosło 799 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, a ubytek fosforu przyswajalnego w glebie (oznaczonego metodą Egnera-Riehma) osiągnął 515 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Niemal 60% ogólnej ilości fosforu rośliny pobrały zatem z form trudno przyswajalnych. W wazonach wypełnionych glebą regularnie nawożoną w polu pobranie fosforu wynosiło 1136 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, a ubytek zawartości fosforu przyswajalnego 773 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Rośliny pobrały zatem z form trudnodostępnych tylko 30% ogólnej ilości fosforu. Werner [43] prowadził badania wegetacyjne w warunkach prowokacyjnych. W tym celu glebę z poletek różnie nawożonych w polu mieszano z pias-

kiem w takiej proporcji, aby z glebą z poletek uzyskujących najwyższą dawkę nawozów fosforowych wprowadzić 100 mg  $P_2O_5$ /wazon oznaczonego wg metody Egnera-Riehma. Glebę traktowano zatem jako „nawóz” fosforowy. W wazonach uprawiano rajgras holenderski zbierając trzy pokosy trawy. W tych warunkach fosfor przyswajalny (wg metody Egnera-Riehma) stanowiący różnicę pomiędzy jego zawartością w glebie poletek kontrolnych i glebie poletek nawożonych był przez rośliny wykorzystywany średnio w 100% (z zakresem wahań od 75% do 128% zależnie od rodzaju badanej gleby). Oczywiście fosfor przyswajalny stanowił tylko część ogólnej ilości fosforu nagromadzonej w wyniku wieloletniego nawożenia. Przeprowadzając odpowiednią korektę Werner [43] określa ostatecznie wykorzystanie przez rajgras nagromadzonego fosforu na 26—59%.



Rys. 4. Zależność stężenia fosforu w wyciągu wodnym od sposobu wnoszenia nawozów wg Neikovej [30]

W doświadczeniach Munka [28] na glebie z doświadczenia prowadzonego przez okres 68 lat ze zróżnicowanymi dawkami i formami nawozów fosforowych stwierdzono znaczne różnice w ilości fosforu pobranego przez uprawiany w wazonach rajgras zależnie od nawożenia w polu. Wyniki tych badań przedstawiono na rys. 4. Jak wynika z przedstawionego rysunku wapnowanie gleby przed napełnieniem nią wazonów spowodowało znaczny wzrost dostępności zarówno rodzimego, jak i nagromadzonego w wyniku nawożenia fosforu dla rośliny testowej.

Dobierając odpowiednią metodę oznaczania fosforu przyswajalnego można przynajmniej w doświadczeniach wazonowych, uzyskane zawar-

tości składnika traktować ilościowo i porównywać ich zmiany z pobraniem fosforu przez rośliny [10, 20]. W Polsce dla gleb nie węglanowych i przy stosowaniu superfosfatu jako praktycznie jedyne go nawozu fosforowego najlepszą metodą (w podanym rozumieniu) oznaczania fosforu przyswajalnego jest metoda Egnera-Riehma [2, 28, 43, 44].

Wykorzystanie fosforu z nawozów mierzy się dotychczas przy użyciu tzw. metody różnicowej. W metodzie tej określa się różnicę pobrania fosforu na poletkach nawożonych i nie nawożonych i wyraża ją w procentach zastosowanej dawki nawozów. Tak mierzone wykorzystanie fosforu rzadko przekracza 20% [24, 29]. Metoda różnicowa zakłada, że główne źródło fosforu stanowi gleba, a tylko różnica pobrania składnika na poletkach nawożonych pochodzi z nawozów. Takie założenie wydaje się intuicyjnie nieprawidłowe, gdyż wykorzystanie fosforu rodzimego (gleby) będzie się najprawdopodobniej zmieniać zależnie od poziomu stosowanego nawożenia. Nawet jednak przy uwzględnieniu odpowiedniej poprawki, co jest możliwe przy zastosowaniu metody izotopowej, wykorzystanie fosforu w dotychczasowym rozumieniu tego wskaźnika było bardzo niskie co sugerowało konieczność stosowania dawek nawozów daleko przekraczających potrzeby pokarmowe roślin. Dopiero uwzględnienie faktu, że fosfor stosowany w dawkach przekraczających potrzeby pokarmowe roślin nagromadza się w glebie w formach przyswajalnych, które mogą być wykorzystane przez rośliny następcze spowodowało zasadniczą zmianę przyjmowanych wartości współczynników wykorzystania tego składnika. Fotyma i Gosek (w druku) zaproponowali następujący wzór dla określenia stopnia wykorzystania fosforu z nawozów:

$$P = \frac{(y_1 + y_0) + (x_1 - x_0)}{D} \%$$

- gdzie P oznacza procent wykorzystania fosforu z nawozów w czasie t,  
 $y_1$  oznacza przyrost zawartości fosforu przyswajalnego w glebie nawożonej fosforem przez czas t,  
 $y_0$  oznacza ubytek zawartości fosforu przyswajalnego w glebie nie nawożonej fosforem przez czas t,  
 $x_1$  oznacza pobranie fosforu przez plony roślin uprawianych na poletkach nawożonych fosforem,  
 $x_0$  oznacza pobranie fosforu przez plony roślin uprawianych na poletkach nie nawożonych fosforem,  
D oznacza sumaryczną dawkę nawozów fosforowych zastosowanych w czasie t.

W doświadczeniach wazonowych prowadzonych przez autorów (Fotyma i Gosek w druku) tak liczone wykorzystanie fosforu wynosiło prawie 100%. Inni autorzy przyjmujący podobną metodę w odniesieniu do wa-

runków polowych szacują wykorzystanie fosforu z nawozów w dłuższych okresach czasu na 60—80% [8, 10, 11, 29, 44].

### *Wnioski i wytyczne dla dalszych badań*

1. W większości krajów rozwiniętego rolnictwa dawki nawozów fosforowych przewyższają pobranie składnika z plonami roślin.

2. Nadmiar fosforu nagromadza się w glebie w formie ogólnej i przyswajalnej. Mimo, że fosfor nie ulega z reguły wypłukaniu z gleby saldo bilansu składnika uwzględniające przyrost jego formy ogólnej jest w większości przypadków ujemne. Zagadnienie to wymaga dalszych badań, w tym metodycznych.

3. Przy regularnym stosowaniu nawożenia zwiększa się udział fosforu przyswajalnego w fosforze ogólnym. Pomiedzy nadwyżką bilansową fosforu i przyrostem zawartości form przyswajalnych istnieje zależność funkcyjna, z reguły o charakterze liniowym. Należy dopracować opisane zależności ilościowe dla różnych rodzajów gleb, zmianowań, form i sposobów wnoszenia nawozów fosforowych (np. nawożenie okresowe, dawkami skomasowanymi itp.).

4. Zachowawcza dawka fosforu, umożliwiająca utrzymanie zawartości składnika w glebie na określonym poziomie, powinna być prawdopodobnie wyższa od pobrania fosforu z plonami roślin. Wynika to ze starzenia się fosforu zawartego w formach przyswajalnych. Badania w tym zakresie zostały dopiero rozpoczęte i wymagają zintensyfikowania.

5. Przy określonym poziomie zawartości fosforu przyswajalnego w glebie rośliny nie reagują na aktualne nawożenie tym składnikiem. Należy dążyć do wyznaczenia takiej progowej zawartości fosforu dla różnych gleb, roślin i najmniej sprzyjających (a prawdopodobnie statystycznie) układów warunków klimatycznych.

6. Nowoczesne doradztwo nawozowe musi uwzględniać gospodarke fosforem w dłuższych przeciągach czasu, a przynajmniej w skali jednego obiegu zmianowania roślin.

### LITERATURA

1. Adamus M., Boratyński K., Kozłowska H.: Wpływ wieloletniego nawożenia fosforem na plonowanie roślin i dynamikę fosforu w glebie. *Pamiętnik Puławski* z. 59 s. 27—37, 1975.
2. Behrens U.: Die Anreicherung des Bodens durch Phosphatdüngung und ihr Nachweis mit verschiedenen Bodenuntersuchungsmethoden. *Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkunde* 96/1 str. 35, 1962.
3. Bogusławski W., von Lach G.: Ergebnisse der chemischen Bodenuntersuchung und Nährstoffzustand im Gefass — und Feldversuche. *Landwirtsch. Forsch.* 26, 3, 1973.
4. Boguszewski W., Gosek S., Grześkiewicz H.: Wyniki doświadczeń z wysokimi dawkami fosforu i potasu w Zakładach Doświadczalnych IUNG. Cz. I. *Pamiętnik Puławski* z. 42 s. 55, 1971.



5. Boguszewski W., Gosek S.: Wyniki doświadczeń z wysokimi dawkami fosforu i potasu w Zakładach Doświadczalnych IUNG. Cz. III. Pamiętnik Puławski (w druku).
6. Boguszewski W., Gosek S.: Rezerwy glebowe fosforu wykorzystywanego przez rośliny, a zawartość fosforu przyswajalnego oznaczonego metodą Egnera-Riehma. Prace Nauk. Akad. Ekonom. Wrocław nr 58 *Chemia*, 1974.
7. Boyd D.A., Williams J. H., Farbes N.: Tests of long term residues of phosphorus fertilizers *Exp. Husb. t.* 22, 1972.
8. Büchner: Sturm Die Düngung im Intensivebetrieb DIG Verlag Frankfurt/Main 1973.
9. Cooke G.W.: Fertilizing for maximum yields London 1972.
10. Ebert K., Schneider E.: P-Bindungsformen und P-Verfügbarkeit im statischen Nährstoffmangelsversuch Thyrow bei Berlin. *Arch. Acker-u. Pflanzenbau u. Bodenkd.* 15 z. 9 s. 718, 1971.
11. Einicke W., Garz J., Hagemann O.: Untersuchungen zum Phosphathalt der Ackerböden an langjährigen Düngungsversuchen auf Salm und Sand-*lehm Brauschwarzerde. Arch. Acker-u. Pflanzenbau u. Bodenkd.* 20 z. 7 s. 477, 1976.
12. Findlay W.J.: Influence of fertilizer use on phosphorus and potassium status of sandy soils. *Canad. J. Soil Sci. t.* 53 z. 1, 1973.
13. Fotyma M. i in. Opracowanie wskaźników optymalizacji nawożenia. Cz. I. Nawożenie fosforem. Pamiętnik Puławski (w druku).
14. Fotyma M., Gosek S.: Wykorzystanie przez rośliny rezerw fosforu glebowego nagromadzonych w wyniku wieloletniego nawożenia. *Polish J. of Soil Sci* (w druku).
15. Griffin G., Hanna W.J.: *Soil Sci.* 103 s. 202. 1967.
16. Hagemann O., Ansorge H., Jauret R.: Möglichkeiten für eine Verbesserung des P-Versorgungszustandes der Boden durch hohe P-Gaben. *Arch. Acker-u. Pflanzenbau u. Bodenkd.* 16 z 4/5 s. 329, 1972.
17. Hera K., Triboj E.: Ustanowlenije dozy fosfora dla poddierzhanija fosforno-wo płodorodija poczw w zawisimosti od sistemy udobrienija w predsiestwu-juszczije gody. Międzynarodowa Konferencja Naukowa Puławy XII 1973 r., 1973.
18. Kerschberger M., Richter D.: Untersuchungen zur Erhöhung des P-Gehaltes in Boden (DL Methode). *Arch. Acker. u. Pflanzenbau. u. Bodenkd. t.* 16 z. 12, 1972.
19. Kick H., Minhas R.S.: Die Verfügbarkeit der durch langjährige Düngung im boden angereicherten Phosphate. *Landwirtsch. Forsch.* 27/I Shfte s. 184, 1972.
20. Larsen S.: *Neth. J. Agric Sci. t.* 22, s. 270, 1974.
21. Maćkowiak C.: Wpływ gnojowicy na chemiczne, biologiczne oraz fizyczne i fizyko-chemiczne właściwości gleby. Opracowanie problemowe CBR-Warszawa 1977.
22. Margowski Z., Bartoszewicz A.: Migracja związków fosforowych do wód gruntowych w różnych warunkach glebowych. *Prace Nauk. Akad. Ekonom. Wrocław nr 91 Chemia* s. 87, 1976.
23. Matocha J.E., Conrad B.E., Reyes L.: Residual value of phosphorus fertilizers on a calcareous soil. *Agr. J. t.* 62 s. 572, 1970.
24. Matzel W.: Probleme der Ausnützung des Dunger und Bodenphosphorus *Arch. Acker u. Pflanzenbau u. Bodenkd.* 18 z 7, 1974.
25. Mazur K.: Ocena wartości nawozowej mączki fosforytowej annofos w płodozmianie norfolkskim *Acta Agr. Silv. V ser. Agraria*, 1965.

26. Mazur K.: Wykorzystanie fosforu przez rośliny przy corocznym i zapasowym nawożeniu różnych użytków rolnych. Roczn. Nauk Roln. ser. A t. 99 z 1, 1973.
27. Munk H.: Zur vertikalen Wanderung mineralischer Phosphorsäure bei starker Phosphatdüngung. Landwirtsch. Forsch. 27/I Shfte s. 192, 1972.
28. Munk H., Grass K. von: Phosphatfraktionierung an langjährig differenziert gedüngten Boden. Landwirtsch. Forsch. 31/I Shfte s. 96, 1975.
29. Nazarov J., Skrypkin W.N.: Agrochimija 12 s. 20, 1974.
30. Neikova-Bocheva E. i in.: Effect of NPK in relation to the rate and frequencies of application. Agrochimica XVIII-5. s. 416, 1974.
31. Peck E.R., Kurtz Z.T., Tandon H.L.: Changes in Bray I soil phosphorus test values resulting from applications of phosphorus fertilizers. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 35 s. 595, 1973.
32. Pfaff C.: Das Verhalten der Phosphatsäure und Alkalien im Boden nach langjährigen Lysimeterversuchen. II Mitt. Acker-Pfl. Ban. t. 117 s. 100, 1963.
33. Plätzen H. von Munk H.: Zur Frage der optimalen Phosphatzufuhr auf Boden mit ausreichenden Nährstoffpotential. Landwirtsch. Forsch. 31/I S-hfte s. 258, 1974.
34. Pondel H., Gałczyńska J.: Wpływ poziomu nawożenia fosforowego na zawartość różnych form fosforu w glebie. Roczn. Glebozn. t. 28 z. 2, 1977.
35. Primost E.: Nährstoffentzug und Nährstoffverhältniss als Grundlage für die Bemessung der Düngung. Z. Acker- und Pflanzenbau 142 s. 54, 1976.
36. Rajinder Sing Minhas.: Die Verfügbarkeit der durch langjährigen Düngung im Boden angereicherten Phosphate Bonn 1971.
- 36a. Szkolnicka-Roszyk S.: Porównanie niektórych metod przeprowadzania do roztworu fosforu całkowitego zawartego w glebie Zesz. Nauk. WSR Wrocław nr 92, 1971.
37. Sarkadi J., Kadar J.: The interaction between phosphorus fertilizer residues and fresh phosphate dressings in a chernozem soil Agrok. es Talajtan t. 23 suppl. 93, 1974.
38. Schmitt L., Brauer A.: Ergebnisse von Feldversuchen zur Nachprüfung der Grenzwerte der chemischen Bodenuntersuchung. Landwirtsch. Forsch. XIX I s. 1, 1966.
39. Sommer G.: Die dynamik der Bodenphosphate unter dem Einfluss von Düngung und Entzug. Landwirtsch. Forsch. 27/II S-hfte s. 155, 1972.
40. Szczurek J.: Wpływ wieloeltniego nawożenia na zawartość związków fosforowych w glebie pod monokulturą żyta i ziemniaków. Roczn. Glebozn. t. XXIV z. 2 s. 430, 1973.
41. Vömel Annelise Der Versuch einer Nährstoffbilanz am Beispiele verschiedener Lysimeterboden Z. Acker u. Pflanzenb. 123 z. 2, 1973.
42. Vömel Annelise: Der Nährstoffumsatz in Boden und Pflanze auf grund von Lysimeterversuchen Paul Parey Berlin/Hamburg 1974.
43. Werner W.: Untersuchungen zur Pflanzenverfügbarkeit des durch langjährige Phosphatdüngung angereicherten Bodenphosphate. Z. Pflanzenernähr. Bodenkunde 126 z. 2 s. 135, 1970.
44. Werner W., Wiechmann H.: Untersuchungen zur Pflanzenverfügbarkeit des durch langjährige Phosphatdüngung angereicherten Bodenphosphate Ztschr. für Pflanzenernähr. Bodenkunde 133 z. 1 s. 4, 1972.
45. Zbiorowa/I: Dynamika i bilans składników pokarmowych w doświadczeniu lizymetrycznym Puławy R(55) 1973.
46. Zbiorowa: Dynamika i bilans składników pokarmowych w doświadczeniu lizymetrycznym Puławy R(96) 1974.