

przez rośliny [Pietrzak 1997; Ellmer i in. 1999; Sądej 2000; Sapek 2001]. Pełniejszy obraz bilansu fosforu w glebie daje porównanie różnicy bilansowej ze zmianami zawartości fosforu ogólnego w glebie [Moskal i in. 1999].

Celem niniejszej pracy było sporządzenie bilansu fosforu nawozowego w trzech systemach nawożenia roślin: nawożenie wyłącznie mineralne, wyłącznie organiczne i organiczno-mineralne, kontynuowane przez wiele lat. Bilans został wykonany za lata 1996–2001 na podstawie ilości zastosowanego fosforu w nawozach mineralnych lub oborniku, pobrania P przez rośliny oraz w oparciu o zmiany fosforu ogólnego w glebie do głębokości 65 cm.

METODY

Zamieszczone w pracy wyniki badań obejmują okres od 1996 do 2001 na tle statycznych doświadczeń nawozowych, prowadzonych nieprzerwanie od roku 1923 na Polu Doświadczalnym SGGW w Skierniewicach. Doświadczenia polowe prowadzone są tu na glebie płowej typowej według klasyfikacji FAO Haplic Luvisols. Zawartość części spławialnych w profilu glebowym wynosi odpowiednio: Ap (0–25 cm) 15–17 %, Eet (26–45 cm) 10–12%, Bt (46–65 cm) 25%. Zawartość C-org. w warstwie Ap wynosi 0,5–0,8%. Dokładniejszy opis tych doświadczeń oraz warunków glebowych i klimatycznych podaje Moskal i in. [1999].

Badania dotyczące bilansu fosforu w trzech systemach nawożenia prowadzono w następujących zmianowaniach: nawożenie wyłącznie mineralne na polach A ze zmianowaniem dowolnym na kombinacjach wapnowanych (CaNK, CaNPK) i niewapnowanych (NK, NPK) oraz w monokulturze żyta (D), nawożenie wyłącznie organiczne na polu z monokulturą żyta (D), gdzie obornik stosuje się co rok w dawce 20 t ha^{-1} , oraz nawożenie w systemie organiczno-mineralnym na polach ze zmianowaniem pięciopolowym (ziemniaki + $30 \text{ t obornika ha}^{-1}$, jęczmień jary, koniczyna czerwona, pszenica ozima, żyto ozime). W latach badań na polach A uprawiano kolejno pszenżyto jare, pszenżyto jare, ziemniaki, pszenicę jary, pszenżyto ozime.

Do badań wybrano kombinacje nawożone i nienawożone fosforem: wapnowane CaNPK i CaNK (pola A₆, E, D), niewapnowane NPK i NK (pole A₁) oraz kombinację wapnowaną i nawożoną obornikiem 20 t ha^{-1} co rok (Ca+FYM) z pola D. Nawozy mineralne stosuje się na wszystkich polach w niezmienionym schemacie od r. 1923, w trzech (pola A) lub pięciu (pola E i D) powtórzeniach. Od roku 1976 dawki nawozów wynoszą: 90 kg N ha^{-1} (w formie saletry amonowej), 26 kg P ha^{-1} (w formie superfosfatu) i 91 kg K ha^{-1} (w formie soli potasowej). Na kombinacjach wapnowanych wapno stosuje się co 4 lata w ilości 1,6 t

CaO ha⁻¹ na polach A i D. Na polu E wapno stosuje się co 5 lat w ilości 2,0 t CaO ha⁻¹ po zbiorze ziemniaków.

Próby gleby były pobierane z pól oddzielnie z każdego powtórzenia, z trzech głębokości: 0–25; 26–45; 46–65 cm. Głębokości te odpowiadały kolejnym poziomom genetycznym gleby: Ap, Eet, Bt. W próbach tych oznaczono fosfor ogólny (P – og.) metodą wanadanowo-molibdenową po całkowitym roztworzeniu mikrofalowym próbek glebowych przy użyciu kwasów: HNO₃, HF, HCl z dodatkiem H₃BO₃ [Gworek i in. 1999].

W próbkach roślinnych oznaczono kolorymetrycznie fosfor całkowity metodą wanadanowo-molibdenową, po ich wcześniejszym zmineralizowaniu w mieszaninie kwasów: HNO₃, HClO₄, H₂SO₄.

Na podstawie uzyskanych wyników sporządzono bilans fosforu dla każdego systemu na czterech badanych polach i dla każdej kombinacji nawozowej, wykorzystując: ilości P wprowadzonego do gleby w postaci superfosfatu lub obornika, wielkości pobranego fosforu całkowitego przez uprawiane rośliny, wyliczone na podstawie ich plonu i zawartości fosforu całkowitego w tych roślinach, pobranie fosforu z nawozów liczone jako różnicę pobrania fosforu przez rośliny na obiektach nawożonych fosforem i nienawożonych tym składnikiem oraz wyliczenie zmian zawartości fosforu ogółem w profilu glebowym (0–65 cm) w czasie trwania doświadczenia z uwzględnieniem średnich gęstości gleb w poszczególnych poziomach profilu glebowego, podane przez Stępnia i Mercika [1999].

W bilansie tym nie uwzględniano ilości fosforu w resztkach poźniwnych, przyjmując, że pozostając na polu wejdzie on powtórnie do obiegu. Ponadto przez odjęcie ilości P pobranego przez rośliny na poletkach nienawożonych od pobrania tego składnika na poletkach nawożonych otrzymano ilość fosforu pobranego z danego nawozu. Natomiast przez odniesienie tej ilości P do dawki P zastosowanego w nawozie otrzymano wykorzystanie tego składnika z nawozu.

WYNIKI

Ograniczona objętość niniejszej publikacji uniemożliwia zamieszczenie wyników badań dotyczących plonów różnych roślin za okres pięciu lat ani zawartości w nich fosforu, choć te wyniki najbardziej decydują o wyliczeniach bilansu fosforu. Najwyższe plony uzyskano przy łącznym nawożeniu mineralnym i obornikiem w zmianowaniu z rośliną motylkową. Wyraźnie niższe plony otrzymano w systemie nawożenia wyłącznie mineralnego (CaNPK na polach A i D), a najmniejsze na tych samych polach, ale na kombinacjach bez fosforu (CaNK). Podobne zależności otrzymano w innych doświadczeniach wieloletnich w Polsce [Mercik i in. 2003].

Niewielkie jest przemieszczanie się fosforu w profilu glebowym i dlatego nawożenie fosforowe prowadzi do wzrostu ilości tego składnika przede wszystkim w wierzchniej warstwie gleby [Sądej 2000; Steineck i in. 2002]. Jedynie przy stosowaniu nadwyżki bilansowej przez wiele lat może dojść do stosunkowo niewielkiego przemieszczania P w głąb profilu glebowego [Moskal i in. 1999; Sądej 2000]. O zawartości fosforu ogólnego w głębszych poziomach profilu glebowego decyduje wobec tego głównie typ gleby i zachodzące w niej procesy glebotwórcze, a także skład granulometryczny i mineralogiczny [Czepińska-Kamińska 1992].

W tabeli 1 przedstawiono zawartości fosforu ogólnego z lat 1996 i 2001 w zależności od nawożenia i zmianowania. Stosowane nieprzerwanie od 1923 r. nawożenie i zmianowanie roślin w największym stopniu zróżnicowało zawartość fosforu ogólnego w wierzchniej warstwie gleby, a mniej w warstwach głębszych.

Tabela 1. Zawartość fosforu ogólnego [mg P kg⁻¹] w trzech warstwach profilu glebowego w zależności od wieloletniego (od 1923 r.) systemu nawożenia.

Table 1. The content of total phosphorus [mg P kg⁻¹] in three layers of soil depending on long term (since 1923) fertilization system

Rok Year	Warstwa Layer cm	Systemy nawożenia* Fertilization systems*								
		A ₁ -M		A ₆ -M		E-M+O		D-M	D-O	
		Nawożenie Fertilization								
		NK	NPK	CaNK	CaNPK	CaNK	CaNPK	CaNK	CaNPK	Ca+FYM
1996	0-25	236	430	222	421	240	451	199	371	327
	26-45	138	210	131	189	135	194	113	159	164
	46-65	204	273	191	247	221	301	194	238	241
2001	0-25	230	438	213	426	240	461	190	380	338
	26-45	137	211	129	192	135	198	113	161	167
	46-65	203	275	193	248	221	305	195	235	242
Średnio Mean	0-25	233	434	217	424	240	456	194	375	332
	26-45	138	210	130	191	135	196	113	160	165
	46-65	204	274	192	248	221	303	194	236	242

*M – system nawożenia mineralnego – mineral fertilization system

O – system nawożenia organicznego – organic fertilization system

M+O – system nawożenia mineralno organicznego – mineral organic fertilization system

A₁, A₆ – pola ze zmianowaniem dowolnym bez rośliny motylkowej – fields with rotation without papilionaceous plant

E – pole ze zmianowaniem pięciopolowym: ziemniaki + 30 t obornika ha⁻¹, jęczmień jary, koniuczyna czerwona, pszenica ozima, żyto ozime – field with a five-plot rotation; potatoes + 30 t manure ha⁻¹, spring barley, red clover, winter wheat, winter rye

D – monokultura żyta – rye monoculture

szych. Przy stosowaniu fosforu w systemie mineralnym (CaNPK i NPK) na polach A₁, A₆, D otrzymano prawie dwukrotnie więcej fosforu ogólnego w warstwie gleby 0–25 cm niż na poletkach bez fosforu (CaNK, NK). Przy jednakowych dawkach superfosfatu wyraźnie mniej jest P ogólnego na polu z monokulturą żyta niż przy uprawie roślin w zmianowaniu. Pobieranie fosforu przez żyto w monokulturze było przeważnie większe niż w zmianowaniu dowolnym [Mercik i in. 1998; Moskal i in. 1999]. Na polach, gdzie nie stosuje się wapnowania (A₁), ilość fosforu ogólnego na obydwu kombinacjach (NK i NPK) jest nieco większa niż na porównywalnych kombinacjach wapnowanych (CaNK i CaNPK). Na polach niewapnowanych pobranie fosforu na skutek zakwaszenia jest bowiem wyraźnie mniejsze. Na polu z monokulturą żyta (D) mniej fosforu ogólnego nagromadziło się w warstwie 0–25 cm pod wpływem nawożenia obornikiem niż przy stosowaniu superfosfatu, mimo że z obydwoma nawozami zastosowano podobne dawki tego składnika. Stosowanie łącznego nawożenia mineralnego co rok i obornika raz na pięć lat na polu E spowodowało największe nagromadzenie fosforu ogólnego w profilu glebowym do 65 cm.

W warstwie 45–65 cm było mniej fosforu o ok. 10% na kombinacjach CaNK i NK i około 60–70% mniej na obiektach CaNPK i NPK niż w warstwie 0–25 cm. Najmniej fosforu utrzymuje się w warstwie 26–45 cm. Takie rozmieszczenie fosforu w poszczególnych warstwach gleby w dużej mierze związane jest nie tylko z nawożeniem, ale i ze składem granulometrycznym poszczególnych warstw. Warstwę 46–65 cm stanowi glina lekka, 0–25 cm piasek gliniasty, a 26–45 cm piasek słabogliniasty. Jak wynika z wielu badań, frakcja cząstek spławialnych zawiera więcej fosforu niż frakcja piasku [Ruszkowska i in. 1993; Sądej 2000]. Wyższe nagromadzenie fosforu w warstwie 0–25 cm niż w warstwie 46–65 cm, pomimo mniejszej zawartości części spławialnych, wiąże się z akumulacją tego składnika zarówno pochodzenia nawozowego, jak i z resztek poźniwnych. Na podkreślenie zasługuje fakt wyraźnie większej zawartości P ogólnego w warstwie 46–65 cm na poletkach nawożonych obornikiem niż superfosfatem. O większym przemieszczaniu P z nawozów organicznych niż z superfosfatu donoszą również Blacke i in. [1999] oraz Gosek [2002].

Jak należało oczekiwać, nawożenie fosforem przeważnie zwiększało zawartość tego składnika w uprawianych roślinach oraz ich plony. Z tego powodu przy każdym systemie nawożenia pobranie fosforu przez rośliny było większe przy nawożeniu CaNPK lub NPK niż CaNK lub NK (tab. 2). Przy nawożeniu superfosfatem rośliny najczęściej pobierały fosforu przy nawożeniu CaNPK z obornikiem (E), a najmniej przy nawożeniu NPK bez obornika. Przy podobnych dawkach fosforu zastosowanego w superfosfacie i oborniku (D) więcej fosforu pobierały rośliny z superfosfatu.

Tabela 2. Bilans fosforu nawozowego w różnych systemach nawożenia roślin, wyrażony w kg P ha⁻¹ na rok, obliczony za pięć lat (1996–2001)
 Table 2. The balance of phosphorus in different plant fertilization systems, expressed in kg P ha⁻¹ per year, calculated for five years (1996–2001)

Składniki bilansu P Ingredients of P balance		System nawożenia* Fertilization systems*								
		A ₁ -M		A ₆ -M		E-M+O		D-M		D-O
		Nawożenie Fertilization								
		NK	NPK	CaNK	CaNPK	CaNK	CaNPK	CaNK	CaNPK	Ca+FYM
dawka P dose P	superfosfat superphosphate	0	26	0	26	0	26	0	26	0
	obornik FYM	0	0	0	0	6,6	6,6	0	0	22
pobranie P przez rośliny uptake by plants	ogółem total	9,3	13,3	10,8	15,8	14,1	19,5	9,9	15,0	12,2
	z nawozów from fertilizers		4,0		5,0		5,4		5,1	2,3
	kg %		15,3		19,2		20,7		19,6	10,5
dawka - pobranie dose - uptake			12,7		10,3		13,1		11,0	9,8
(-) ubyło (+) przybyło w glebie (-) decrease (+) increase in soil		-9,4	+11,9	-11,2	+9,9	-3,7	+12,0	-10,4	+11,4	+10,7
uruchomienie P (+) release P (+)		+9,4		+11,2		+3,7		+10,4		
nie odnajdywano P P not found	kg		-0,8		-0,4		-1,1		-0,4	-0,9
% dawki, % of dose			3,1		1,5		2,6		1,5	3,8

*Jak w tabeli 1 As in table 1

Wykorzystanie fosforu z superfosfatu na wszystkich polach wynosiło około 20% i tylko na glebie bardzo kwaśnej (A₁) było znacznie mniejsze – 15%. Przy uprawie żyta w monokulturze prawie dwukrotnie większe było wykorzystanie fosforu z superfosfatu (20%) niż z obornika (10%). Na ogół wykorzystanie fosforu w badaniach krótkotrwałych jest mniejsze niż w doświadczeniach wieloletnich [Körschens 1994; Moskal i in. 1999]. Na przykład Moskal [1999] podaje, że obliczone za okres 20 lat wykorzystanie fosforu z superfosfatu wynosiło 28–32%. Większość doniesień literaturowych wskazuje na wyższe wykorzystanie fosforu z obornika niż z nawozów mineralnych [Mazur i Szagała 1992; Sądej 2000]. Natomiast z badań Mercika i in. [1998] wynika, że wykorzystanie fosforu z obornika stosowanego co rok na polu z monokulturą żyta wynosi tylko 18%. Pochodzi to zapewne stąd, że obornik stosuje się tu pod żyto co rok, a więc niezgodnie z zasadami agrotechniki. O małym wykorzystaniu fosforu z obornika przez żyto uprawiane w monokulturze donosi również Grzebisz i in. [1993].

Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że pomimo braku nawożenia fosforem i utrzymującej się niskiej zawartości fosforu przyswajalnego w glebie

rośliny pobierały znaczne ilości fosforu z form trudnodostępnych. Na poletkach nienawożonych superfosfatem ani obornikiem CaNK lub NK rośliny pobrały z gleby rocznie 9–11 kg P ha⁻¹. Podobne wyniki dla warunków skierniewickich za okres 30 lat uzyskali Stępień i Mercik [1999]. Stwierdzili oni, że dla uzyskania plonów ziarna zbóż na poletkach bez fosforu (CaNK) na poziomie 2–3 t ha⁻¹, rośliny pobierały rocznie 14 kg P ha⁻¹.

Stosowane dawki superfosfatu (26 kg P ha⁻¹) lub obornika (20 t ha⁻¹ co rok) wystarczyły na zaspokojenie potrzeb pokarmowych uprawianych roślin na poziomie 3,5–4,5 t ha⁻¹ ziarna zboża, nadwyżka bilansowa przy takich plonach w przeważającej części pozostała w glebie do głębokości 65 cm. Zmiany zawartości fosforu ogólnego w warstwie gleby do 65 cm w latach 1996–2001 były nieco mniejsze, niż mogłoby to wynikać z różnicy bilansowej. Obliczone w ten sposób przemieszczenie fosforu poniżej 65 cm na poletkach nawożonych nie przekroczyło 3% dawki fosforu. Tak wyliczone straty były nieco większe na poletkach nawożonych obornikiem niż nawozami mineralnymi. Większe straty fosforu z obornika niż z nawozów mineralnych otrzymali również inni autorzy [Blacke i in. 2000; Gosek 2002]. W niniejszych badaniach największe przemieszczenie fosforu poza głębokość 65 cm odnotowano na kombinacji z obornikiem, ale stosowanym pod żyto, a więc niezgodnie z zasadami agrotechniki. Niższe były w ten sposób oceniane straty P na polu E, gdzie obornik stosuje się raz w ciągu 5-letniego zmianowania.

WNIOSKI

1. W systemie nawożenia mineralnego plony roślin, zawartość fosforu w roślinach oraz jego pobranie przez rośliny były większe przy nawożeniu CaNPK lub NPK niż CaNK lub NK.
2. Różnice w przyroście P ogólnego w glebie przy jednakowych dawkach superfosfatu w systemie mineralnym i organicznym były niewielkie (odpowiednio 180–210 mg P ha⁻¹). Jedynie żyto uprawiane w monokulturze bardziej wyczerpywało glebę z fosforu ogólnego niż zboża uprawiane w zmianowaniu.
3. Wykorzystanie fosforu z superfosfatu na glebach wapnowanych wynosiło około 20%, a na kwaśnych 15%. Wykorzystanie fosforu z obornika (10%) było znacznie mniejsze niż z superfosfatu.
4. Na glebach nienawożonych fosforem przez wiele lat rośliny pobierały P z form zapasowych w ilościach około 10 kg P ha⁻¹ rocznie.
5. Przemieszczanie fosforu z superfosfatu lub obornika do warstwy gleby poniżej 65 cm nie przekraczało 3–4%.

PIŚMIENNICTWO

- Blacke L., Mercik S., Korschens M., Moskal S., Poulton P.R., Goulding K.W.T., Weigel A., Paulson D.S. 1999. Phosphorus content in soil, uptake by plants and the phosphorus balance in the three Europe long-term field experiments. *Nutrient Cycle in Agroecosystems* 56, 263–275.
- Czepińska-Kamińska D. 1992. Wpływ procesów glebotwórczych na rozmieszczenie mineralnych związków fosforu w glebach. *Rozpr. Nauk. i Monogr. SGGW, Warszawa*, 78.
- Ellmer F., Baumecker M., Schweitzer K. 1999. Soil organic matter and P, K balances in the nutrient deficiency experiment at Thyrow (Germany) after 60-years. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 465, 93–102.
- Gosek S. 2002. Bilans i przemieszczanie fosforu w profilu gleby nawożonej gnojowicą i nawozami mineralnymi. *Nawozy i Nawożenie* 4, 13, 124–129.
- Grzebisz W., Blecharczyk A., Maj M. 1993. Wpływ wieloletniego nawożenia organicznego i mineralnego na formy fosforu w glebie pod monokulturą żyta i ugorem czarnym. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie* 277, 37, 1, 27–37
- Gworek B., Maciaszek D., Pieńkowska U., Polubiec E. 1999. Zastosowanie techniki mikrofalowej do oznaczania pierwiastków w materiale glebowym-badania porównawcze. *Rocz. Gleb.* 50, 1/2, 127–134.
- Körschens M. 1994. *Der Statische Düngungsversuch Bad Lauchstädt nach 90 Jahren*. BG, Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart–Liepzig, 1–179.
- Mazur T., Szagała J. 1992. Wpływ wieloletniego nawożenia organicznego i mineralnego na plon i skład chemiczny roślin. Cz. II. Zawartość azotu, fosforu i potasu w roślinach oraz bilans tych składników. *Rocz. Gleb.* 43, 1/2, 89–98.
- Mercik S., Mazur T., Łabętowicz J., Urbanowski S., Lenart S., Stepień W., Sądej W. 2003. Ocena trzech systemów nawożenia stosowanego w 5 wieloletnich doświadczeniach polowych na podstawie plonowania składników pokarmowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 494, 295–303.
- Mercik S., Moskal S., Stepień W., Turemka E. 1998. Losy fosforu z superfosfatu i z obornika w zależności od zmianowania w wieloletnich doświadczeniach nawozowych. *Prac. AE we Wrocławiu, Chemia* 792, 296–303.
- Moskal S., Mercik S., Turemka E., Stepień W. 1999. Bilans fosforu nawozowego w wieloletnich doświadczeniach polowych w Skierniewicach. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 465, 61–69.
- Pietrzak A. 1997. *Metoda bilansowania składników nawozowych w gospodarstwie rolnym*. Wyd. IMUZ, 22.
- Ruszkowska M., Sykut S., Kusio M. 1993. Plon roślin i bilans składników pokarmowych w zależności od rodzaju gleby i nawożenia w statycznym doświadczeniu lizymetrycznym (1977–1989). *Zesz. Nauk. AR w Krakowie* 277, 37, 1, 153–166.
- Sapek A. 2001. Rozpraszanie fosforu pochodzącego z rolnictwa i potencjalne zagrożenie dla środowiska. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 476, 269–280.
- Sądej W. 2000. *Badania nad przemianami fosforu w glebach i jego wykorzystaniem przez rośliny uprawne w warunkach zróżnicowanego nawożenia*. Praca habilit. UMW Olsztyn, 78.
- Stepień W., Mercik S. 1999. Zmiany zawartości fosforu i potasu w glebie oraz plonowania roślin na przestrzeni 30-tu lat na glebie nawożonej i nienawożonej tymi składnikami. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 467, 269–278.
- Steineck S., Jakobson Ch., Carlson G. 2002. Fosfor – stosowanie, wykorzystanie przez rośliny uprawne i nagromadzenie w glebach użytków rolnych. *Zeszyty Edukacyjne IMUZ* 7, 2002, 25–36.