

## ZMIANY ZAWARTOŚCI FOSFORU W GLEBIE I ROŚLINNOŚCI ŁĄKOWEJ W SIEDEM LAT PO ZANIECHANIU NAWOŻENIA TYM SKŁADNIKIEM

**Andrzej SAPEK, Barbara SAPEK**

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

*Słowa kluczowe: fosfor, gleba, nawożenie, użytki zielone*

### Streszczenie

Zaniechanie nawożenia fosforem gleby łąkowej nawożonej uprzednio przez 10 lat nadmiarem tego składnika nie spowodowało w kolejnych siedmiu latach istotnego zmniejszenia plonów suchej masy, lecz skutkowało istotnym zmniejszeniem jego zawartości w materiale roślinnym. Podobnie stężenie fosforanów w słabym wyciągu (1%  $K_2SO_4$ ) drastycznie malało w kolejnych latach. Zmniejszanie tego stężenia ograniczało się tylko do powierzchniowej warstwy gleby. Test wyciągu 1%  $K_2SO_4$  odzwierciedla zawartości dostępnego fosforu w glebie łąkowej, w odniesieniu do potencjalnej zawartości tego składnika w rosnącej zielonej masie roślin.

### WSTĘP

Wieloletnie stosowanie mineralnych nawozów fosforowych może doprowadzić do nadmiernego nagromadzenia fosforu w glebie, niepotrzebnego do prawidłowego wzrostu roślin i powodującego eutrofizację środowiska tym składnikiem.

Celem pracy było rozpoznanie wpływu kilkuletniego zaniechania nawożenia fosforem gleb bogatych w ten składnik na jego zawartość w glebie i roślinie oraz plon roślin łąkowych.

---

Adres do korespondencji: prof. dr hab. A. Sapek, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, Zakład Chemii Gleby i Wody, al. Hrabstwa 3, Falenty, 05-090 Raszyn; tel. +48 (22) 720-05-31, w. 223, e-mail: a.sapek@imuz.edu.pl

## OPIS DOŚWIADCZENIA I METODY

Badania prowadzono w latach 1996–2003. Objęto nimi dwa obiekty nawożone takimi samymi dawkami NPK od 1987 roku: obiekt N-240 i obiekt N-240P-0, na którym w 1997 r. zaniechano nawożenia fosforem. Azot stosowano w postaci saletry amonowej w czterech dawkach pod każdy pokos, odpowiednio 80, 60, 60 i 40 kg N·ha<sup>-1</sup>. Fosfor w postaci superfosfatu granulowanego stosowano jednorazowo przed pierwszym odrostem w dawce 52,4 kg P·ha<sup>-1</sup>. Na wszystkich obiektach doświadczenia do 1990 r. zbierano trzy pokosy, a od 1991 r. – cztery.

Łąkę na potrzeby doświadczenia zdrenowano na głębokości 180 cm, dlatego, w celu zapewnienia dostatku wody stosowano nawodnienie deszczowniane w ilości od 120 do 240 mm rocznie, w dawkach polewowych 20 mm. Poza strefę korzeniową przesiąkało rocznie od 45 do 200 mm wody, w zależności od natężenia i rozkładu opadów. Średnie stężenie fosforu w wodzie do nawodnień wynosiło około 0,141 mg P·dm<sup>-3</sup>. Z opadem deszczowym wnoszono rocznie około 0,3 kg P·ha<sup>-1</sup>.

Wydajność mineralizacji fosforu w glebie badano metodą inkubacji *in situ*, polegającą na oznaczaniu zawartości fosforu w próbkach gleby z plastikowych rurek umieszczanych na każdym poletku obiektu nawozowego [ADAMS i in., 1989; RAISON, CONNELL, HENJES, 1987; SAPEK B., 1999; SAPEK, SAPEK, BARSZCZEWSKI, 2002]. Rurki plastikowe, o średnicy wewnętrznej 28,0 mm, wciskano w glebę do głębokości 10 cm i przykrywano perforowanym z boku wieczkiem, o średnicy wewnętrznej 32,0 mm, w celu uniknięcia wpływu roślinności i opadu. Na każdym poletku obydwóch obiektów umieszczono po trzy rurki (trzy powtórzenia). Próbkę pobierano przed wysiewem nawozów:

- wczesną wiosną przed ruszeniem wegetacji – termin I (próbki inkubowane od ostatniego pokosu poprzedniego roku),
- po kolejnych odrostach runi – terminy II i IV (próbki inkubowane w czasie kolejnych odrostów runi).

Jednocześnie, z każdego poletka obiektu nawozowego, pobierano średnie (z czterech nakłuc na poletku) próbki gleby z warstw 0–10, 10–30, 30–60 i 60–100 cm. Otrzymane wyniki służyły do obliczenia średniej zawartości fosforu w glebie z obiektu nawozowego. Zawartość fosforu oznaczono też w próbkach roślinności pobieranych z każdego pokosu i poletka.

Próbki gleby odmierzano objętościowo w specjalnym aparacie stosując nacisk równy 1,3 MPa. Stosowano wyciąg z gleby roztworem 1% K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, zachowując stosunek objętościowy gleba : roztwór = 1:4. Rozcieńczony 1% (0,057 mol·dm<sup>-3</sup>) roztwór siarczanu potasu jest stosowany w Zakładzie Chemii Gleby i Wody IMUZ do rutynowego sporządzania wyciągu z gleby w celu oznaczania w nim zawartości azotanów i amonu [ISERMANN, HENJES, 1989]. W wyciągu tym oznaczano również fosforany, przyjmując, że przechodzi do niego łatwo rozpuszczalna frakcja fosforu glebowego. Rozpuszczalne fosforany (P<sub>roz</sub>) oznaczano metodą błękitu molibdenowego za pomocą autoanalyzera przepływowego. Wyniki podawano w przelicze-

niu na  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  w 0–10 cm warstwie gleby. W sumie analizowano 960 próbek gleby pobranych spod roślinności i 720 próbek z inkubacji *in situ*. Przedstawione dane zbierano od 31 marca 1996 r. do 10 października 2003 r.

## OMÓWIENIE WYNIKÓW

Zawartość fosforu rozpuszczalnego w glebie nie przekraczała  $4 \text{ mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Zawartość ta w próbkach po inkubacji *in situ*, pobranych przed rozpoczęciem badań (1996 r.) z obydwóch obiektów, była na ogół większa (średnia zawartość  $1,88 \text{ mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) niż spod roślinności ( $1,20 \text{ mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$ ). Zawartość ta była największa w próbkach pobranych po I i IV pokosie, niezależnie od obiektu nawozowego (tab. 1). W próbkach gleby pobranych spod roślinności zawartość oznaczanej postaci fosforanów była największa w warstwie powierzchniowej (0–10 cm) i wyraźnie malała w głąb profilu.

**Tabela 1.** Średnia zawartość rozpuszczalnej postaci fosforanów ( $P_{\text{roz}}$ ) w glebie w zależności od warstwy gleby i terminu pobrania próbek,  $\text{mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$  (wyniki z roku 1996)

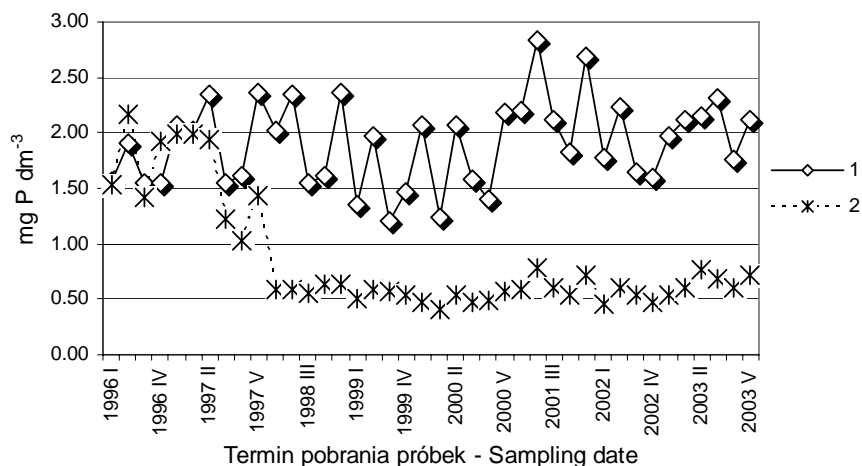
**Table 1.** Mean content of soluble phosphates ( $P_{\text{sol}}$ ) in relation to soil horizon and sampling date,  $\text{mg P dm}^{-3}$  (results from 1996)

Termin pobrania próbki Sampling date	Zawartość $P_{\text{roz}}$ w próbkach gleby Content of $P_{\text{sol}}$ in soil samples			
	po mineralizacji <i>in situ</i> after mineralisation <i>in situ</i>	pobranych spod roślinności taken from under growing plants		
		0–10 cm	10–30 cm	30–60 cm
I	1,85	1,15	0,24	0,09
II	2,02	1,37	0,33	0,12
III	1,76	1,10	0,27	0,11
IV	1,77	1,15	0,25	0,08
V	2,00	1,26	0,29	0,11

Objaśnienia: I – przed ruszeniem wegetacji, II – po I pokosie, III – po II pokosie, IV – po III pokosie, V – po IV pokosie.

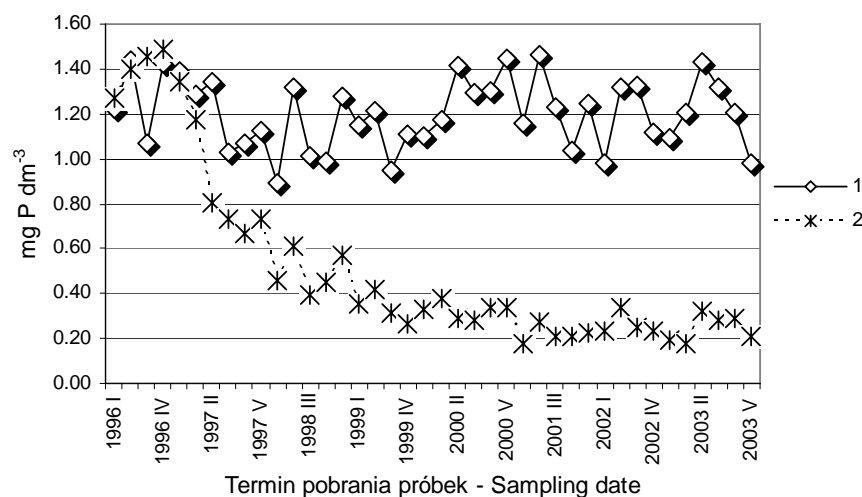
Explanations: I – before vegetation season, II – after I cut, III – after II cut, IV – after III cut, V – after IV cut.

Zaniechanie nawożenia fosforem na obiekcie N-240P-0 skutkowało zmniejszeniem zawartości  $P_{\text{roz}}$  już w pierwszym roku doświadczenia (1997), zarówno w próbkach gleby po inkubacji *in situ*, jak i spod roślinności (rys. 1, 2). W próbkach gleby po inkubacji z obiektu bez nawożenia fosforem zawartość  $P_{\text{roz}}$  była około trzy razy mniejsza niż z obiektu kontrolnego N-240 już po dwóch latach i utrzymywała się na tym poziomie przez następne lata doświadczenia. W próbkach gleby spod roślinności z porównywalnej warstwy 0–10 cm zmniejszenie się zawar-



Rys. 1. Średnia zawartość  $P_{roz}$  w wyciągu 1%  $K_2SO_4$  z próbki gleby z 0–10 cm warstwy inkubowanej *in situ* z obiektu: 1 – nawożonego fosforem (N-240) i 2 – nienawożonego fosforem od 1997 r. (N-240P-0); I–V terminy pobrania próbek w ciągu sezonu wegetacyjnego, jak w tabeli 1

Fig. 1. Mean content of  $P_{sol}$  in 1%  $K_2SO_4$  extract from samples taken from *in situ* incubated soil in 0–10 cm layer of the objects: 1 – fertilised with phosphorus (N-240) and 2 – not fertilised with P since 1997 (N-240P-0); I–V sampling dates as in Tab. 1



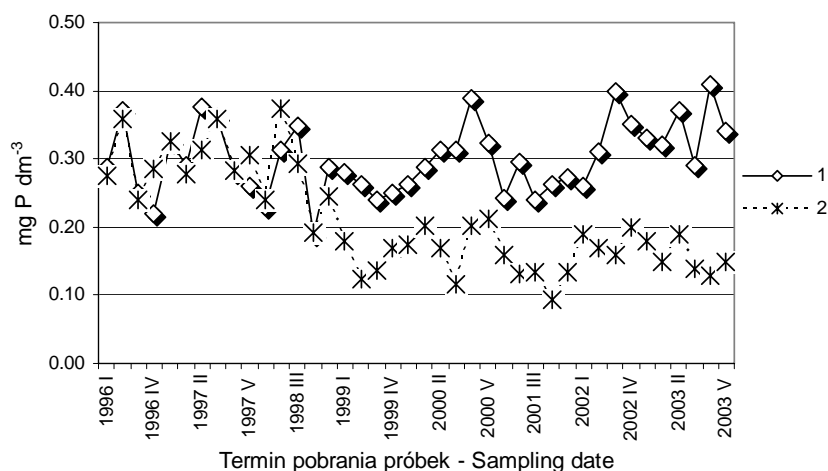
Rys. 2. Średnia zawartość  $P_{roz}$  w wyciągu 1%  $K_2SO_4$  z próbki z 0–10 cm warstwy gleby spod roślinności z obiektu: 1 – nawożonego fosforem (N-240) i 2 – nienawożonego fosforem od 1997 r. (N-240P-0); I–V terminy pobrania próbek w ciągu sezonu wegetacyjnego, jak w tabeli 1

Fig. 2. Mean content of  $P_{sol}$  in 1%  $K_2SO_4$  extract from soil samples taken from under sward from 0–10 cm layer of the objects: 1 – fertilised with phosphorus (N-240) and 2 – not fertilised with P since 1997 (N-240P-0); I–V sampling dates as in Tab. 1

tości  $P_{roz}$  trwała dłużej. Wydaje się, iż zawartość ta osiągnęła równowagę dopiero po czterech latach doświadczenia i była ponad pięć razy mniejsza niż na obiekcie kontrolnym – N-240. Utrzymywanie się zawartości  $P_{roz}$ , po początkowym zmniejszeniu, na stałym poziomie, świadczy o ustalaniu się równowagi tej frakcji fosforu z jego główną pulą w glebie. Równowaga ta była szczególnie widoczna w glebie po inkubacji, z której fosfor nie był pobierany przez rośliny. Można więc przypuszczać, że ta frakcja odpowiada potencjałowi rozpuszczalności fosforu w glebie nienawożonej tym składnikiem. Dłuższy czas ustalania się równowagi w glebie spod roślinności może wynikać z aktywnego oddziaływania roślin na zapas fosforu w glebie.

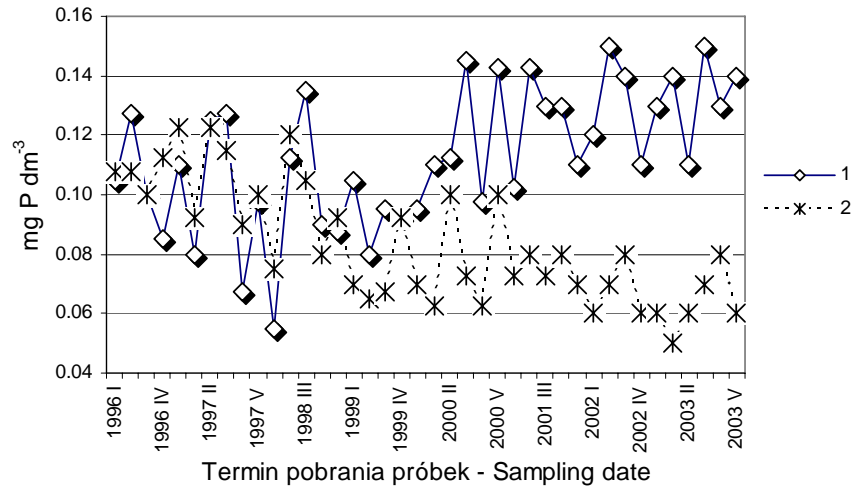
Zaniechanie nawożenia fosforem skutkowało zmniejszeniem zawartości  $P_{roz}$  w profilu gleby tylko do głębokości 60 cm (rys. 3, 4, 5). Zmniejszanie się zawartości frakcji  $P_{roz}$  w warstwie 10–30 cm gleby było istotne już w trzecim roku doświadczenia, a w warstwie 30–60 cm taką tendencję obserwowano dopiero w piątym. Na tym etapie badań nie można określić czy zmiany te są skutkiem ograniczenia wymywania fosforu w głąb profilu, czy też zwiększonego jego pobierania z głębszych warstw w wyniku jego wyczerpywania z warstwy powierzchniowej.

Zmniejszenie zawartości  $P_{roz}$  w powierzchniowej warstwie gleby znalazło odzwierciedlenie w istotnym zmniejszeniu zawartości fosforu w suchej masie roślinności z niektórych pokosów, począwszy od drugiego roku doświadczenia, z wyraźną tendencją do zmniejszania tej zawartości w kolejnych latach (rys. 6). Zaniecha-



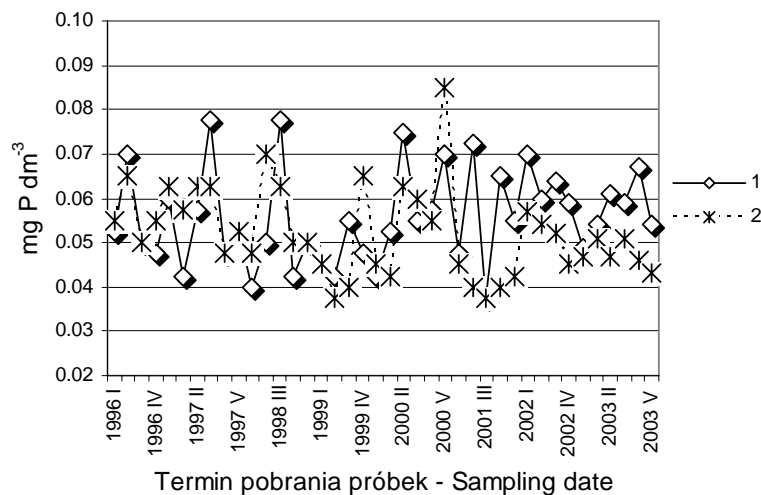
Rys. 3. Średnia zawartość  $P_{roz}$  w wyciągu 1%  $K_2SO_4$  z próbki z 10–30 cm warstwy gleby spod roślinności z obiektu: 1 – nawożonego fosforem (N-240) i 2 – nienawożonego fosforem od 1997 r. (N-240P-0); I–V terminy pobrania próbek w ciągu sezonu wegetacyjnego, jak w tabeli 1

Fig. 3. Mean content of  $P_{sol}$  in 1%  $K_2SO_4$  extract from soil samples taken from under sward from 10–30 cm layer of the objects: 1 – fertilised with phosphorus (N-240) and 2 – not fertilised with P since 1997 (N-240P-0); I–V sampling dates as in Tab. 1



Rys. 4. Średnia zawartość  $P_{\text{tot}}$  w wyciągu 1%  $K_2SO_4$  z próbki z 30–60 cm warstwy gleby spod roślinności z obiektu: 1 – nawożonego fosforem (N-240) i 2 – nienawożonego fosforem od 1997 r. (N-240P-0); I–V terminy pobrania próbek w ciągu sezonu wegetacyjnego

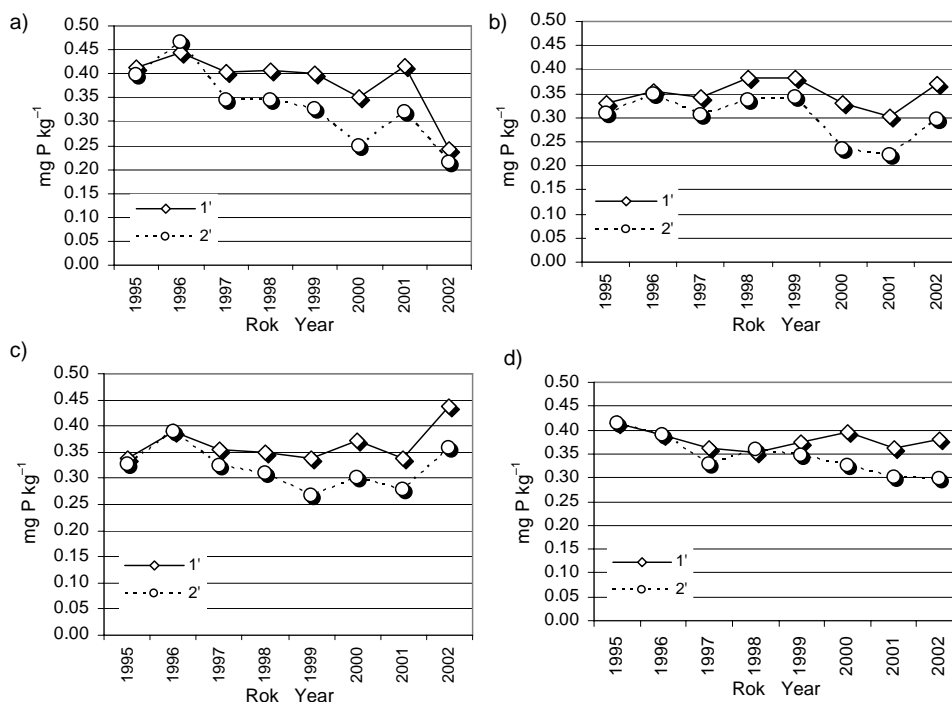
Fig. 4. Mean content of  $P_{\text{tot}}$  in 1%  $K_2SO_4$  extract from soil samples taken from under sward from 30–60 cm layer of the objects: 1 – fertilised with phosphorus (N-240) and 2 – not fertilised with P since 1997 (N-240P-0); I–V sampling dates during vegetation season



Rys. 5. Średnia zawartość  $P_{\text{tot}}$  w wyciągu 1%  $K_2SO_4$  z próbki z 60–100 cm warstwy gleby spod roślinności z obiektu: 1 – nawożonego fosforem (N-240) i 2 – nienawożonego fosforem od 1997 r. (N-240P-0); I–V terminy pobrania próbek w ciągu sezonu wegetacyjnego

Fig. 5. Mean content of  $P_{\text{tot}}$  in 1%  $K_2SO_4$  extract from soil samples taken from under sward from 60–100 cm layer of the objects: 1 – fertilised with phosphorus (N-240) and 2 – not fertilised with P since 1997 (N-240P-0); I–V sampling dates during vegetation season

nie nawożenia fosforem nie miało natomiast istotnego wpływu na zmniejszenie plonu suchej masy roślinności, a ewentualna tendencja do jego zmniejszania uwi-  
doczniała się dopiero w szóstym i siódmym roku doświadczenia (tab. 2). Nie ob-  
serwowano również istotnej różnicy w plonach kolejnych odrostów w tych latach.



Rys. 6. Średnia zawartość P w suchej masie roślinności a) I pokosu, b) II pokosu, c) III pokosu oraz d) IV pokosu, z obiektu: 1 – nawożonego fosforem (N-240) i 2 – nienawożonego fosforem (N-240P-0) od 1996 r.

Fig. 6. Mean content of P in dry matter of plant material of a) I cut, b) II cut, c) III cut and d) IV cut, from objects: 1 – fertilised with phosphorus (N-240) and 2 – not fertilised with P since 1996 (N-240P-0)

**Tabela 2.** Plon suchej masy roślinności ( $t \cdot ha^{-1}$ ) z obiektu nawożonego (N-240) i nienawożonego fosforem od 1996 r. (N-240P-0)

**Table 2.** Dry matter yield ( $t \cdot ha^{-1}$ ) from objects fertilised with phosphorus (N-240) and not fertilised with phosphorus since 1996 (N-240P-0)

Obiekt Object	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
N-240	9,93	9,71	8,42	9,19	9,39	9,19	10,24	9,41	8,19
N-240P-0	9,60	9,52	8,71	8,44	9,76	9,25	9,61	8,58	7,27
NIR $\alpha = 0,05$	0,95	0,84	1,17	0,92	0,99	1,04	0,89	0,88	1,14

## DYSKUSJA I PODSUMOWANIE

Glebę w kolejnych 10 latach doświadczenia nawożono systematycznie dawką  $52,4 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ , a z plonem suchej masy wynoszono ok.  $30 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ , co powodowało wzbogacanie gleby w fosfor o ok.  $22 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ . W sumie gleba obiektów N-240P-0 i N-240 uległa w latach 1987–1996 wzbogaceniu o ponad  $220 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Ta ilość fosforu winna starczyć na 7 do 8 lat plonowania, bez istotnego zmniejszenia plonu suchej masy, co w pełni potwierdziły otrzymane wyniki. Można więc sądzić, że gleby mineralne użytków zielonych nawożone nadmiernymi ilościami fosforu nie wiążą tego składnika w sposób nieodwracalny, a nagromadzony w glebie fosfor może być wykorzystywany przez rośliny do uzyskania wysokich plonów po zaniechaniu nawożenia tym składnikiem. Zaniechanie takiego nawożenia skutkuje jednak zmniejszeniem zawartości fosforu w zbieranej paszy. Zawartość fosforu w próbkach roślinności zbieranej z poletek nienawożonych tym składnikiem od 1997 r. w niektórych odrostach była istotnie mniejsza niż w próbkach z obiektu kontrolnego nawożonego fosforem. Stwierdzenia te można wykorzystywać w doradztwie rolniczym zmierzającym do zmniejszenia eutrofizacji środowiska fosforem.

Zawartość  $P_{\text{roz}}$  w wyciągu 1%  $\text{K}_2\text{SO}_4$  z 0–10 cm warstwy gleby uległo drastycznemu zmniejszeniu już w pierwszym roku po zaniechaniu nawożenia fosforem, co pozwala przypuszczać, iż ten test nie odzwierciedla zapasu dostępnego fosforu w glebie, a tylko aktualny stan nawożenia tym składnikiem. Test ten może jednak być wykorzystywany do śledzenia pobierania fosforu z głębszych warstw gleby łąkowej, aczkolwiek próbowano stosować w tym celu słabsze wyciągi jak wodę destylowaną [RYCHLIKA, 1979] lub  $0,01 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$  roztwór  $\text{CaCl}_2$  [BURZYŃSKA, SAPEK, KALIŃSKA, 2002].

## WNIOSKI

1. Zaniechanie nawożenia fosforem gleby łąkowej nawożonej uprzednio przez 10 lat nadmiarem tego składnika nie spowodowało w kolejnych siedmiu latach istotnego zmniejszenia plonów suchej masy, lecz skutkowało istotnym zmniejszeniem jego zawartości w materiale roślinnym.

2. Test wyciągu 1%  $\text{K}_2\text{SO}_4$  odzwierciedla zawartość dostępnego fosforu w glebie łąkowej, w odniesieniu do potencjalnej zawartości tego składnika w rosnącej zielonej masie roślin.



**LITERATURA**

- ADAMS M.A., POLGLASE P.J., ATTIWILL P.M., WESTON C.J., 1989. In situ studies of nitrogen mineralization and uptake in forest soils: some comments on methodology. *Soil Biol. Bioch.* 21(3) s. 423–429.
- BURZYŃSKA I., SAPEK B., KALIŃSKA D., 2002. Porównanie przydatności roztworów  $0,01 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$   $\text{CaCl}_2$  oraz  $0,5 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$   $\text{HCl}$  do oceny zasobności w składniki pokarmowe mineralnych gleb łąkowych. *Woda Środ. Obsz. Wiej.* t. 2 z. 1 (4) s. 65–75.
- ISERMANN K., HENJES G., 1989. Potential for biological denitrification in the (un-)saturated zone with different soil management. In: *Denitrification in soil, rhizosphere and aquifer*. Giessen: Justus Liebig Univ. s. 1–13.
- RAISON R.J., CONNELL M.J., KHANNA P.K., 1987. Methodology for studying fluxes of soil mineral-N in situ. *Soil Biol. Bioch.* 19 (5) s. 521–530.
- RYCHLIĆKA W., 1979. Rodzaje związków fosforowych w glebach organicznych na tle zmian wywołanych melioracją. *Falenty: IMUZ rozpr. dokt.* ss. 96.
- SAPEK A., SAPEK B., BARSZCZEWSKI J., 2002. Mineralizacja azotu w glebie łąki trwałej deszczowanej. *Nawozy Nawożenie* s. 238–246.
- SAPEK B., 1999. Ocena dynamiki mineralizacji związków azotu metodą inkubacji *in situ* i jego bilans w mineralnej glebie łąkowej. *Wiad. IMUZ* t. 20 z. 1 s. 39–57.

*Andrzej SAPEK, Barbara SAPEK*

**CHANGES OF PHOSPHORUS CONTENT IN SOIL AND MEADOW HERBAGE AFTER SEVEN YEARS OF KEEPING OUT OF FERTILIZATION WITH THIS NUTRIENT**

*Key words: fertilization, grassland, phosphorus, soil*

**S u m m a r y**

The omission of phosphorus fertilization on a grassland fertilized with a surplus of this nutrient through ten previous years did not result in decreasing of dry matter yield during seven subsequent years, though resulted in decreasing of phosphorus content in sward samples from some harvests starting since the third year of experiment. Similarly, the phosphate concentration in a week soil extract (1 %  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) drastically declined almost immediately after canceling the phosphorus fertilization. This concentration has declined only in the upper soil layer. The test of 1 %  $\text{K}_2\text{SO}_4$  extract reflects the amount available phosphorus in soil, regarding the potential its content in growing plants.

Praca wpłynęła do Redakcji 22.07.2005 r.