



## **WPLYW NAWOZÓW FOSFORYTOWO – SIARKOWYCH NA PRZENIKANIE JONÓW FOSFORANOWYCH I SIARCZANOWYCH DO WÓD**

***Marek Jakubowski, Katarzyna Kantek, Ewa Stanisławska–Glubiak,  
Jolanta Korzeniowska***

*Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa PIB w Puławach*

## ***THE IMPACT OF PHOSPHATE – SULFUR FERTILIZERS ON THE PHOSPHATE AND SULFATE IONS PERMEATION TO WATERS***

### ***Streszczenie***

Tradycyjne systemy nawożenia roślin uprawnych fosforem w Polsce obarczone są dużym ryzykiem ekologicznym związanym z łatwością przenikania fosforanów (V) do wód powierzchniowych, a także wysokimi kosztami produkcji takich nawozów. Nakłada to konieczność poszukiwania nowych rozwiązań nawozowych, które z jednej strony stanowiłyby mniejsze zagrożenie dla środowiska naturalnego, a z drugiej byłyby równie dostępne dla roślin źródłem fosforu. Jednym z nich może być stosowanie mieszanek fosforytowo – siarkowych (FS), charakteryzujących się stopniowym uwalnianiem łatwo przyswajalnych fosforanów (V), a przez to również ich mniejszą migracją do wód. Dodatek siarki zwiększając dostępność fosforu z fosforytów, stanowi również źródło siarki jako składnika pokarmowego dla roślin. Celem badań było określenie wpływu dodatku siarki elementarnej do mielonego fosforytu na przenikanie jonów fosforanowych (V) i siarczanowych (VI) do wód. w doświadczeniach wegetacyjnych badano w jaki sposób nawożenie mieszkankami fosforytowo – siarkowymi wpływa na przemieszczanie się jonów fosforanowych (V) i siarczanowych (VI) do wód. Przeprowadzono dwa dwuletnie doświadczenia wazonowe, na których testowano działanie 6 wariantów mieszanek fosforytowo – siarkowych, różniących się stopniem przemiału fosfory-

tu (F1 i F2) oraz dodatku siarki (S1, S2, S3). Przeprowadzone badania nie wykazały zagrożenia przenikania znaczących ilości jonów fosforanowych (V) oraz siarczanowych (VI) do wód podziemnych w przypadku stosowania nawozów o stosunku fosforytu do siarki większym niż 7:1.

**Słowa kluczowe:** nawozy fosforowe, nawozy fosforowo – siarkowe, jony fosforanowe (V), jony siarczanowe (VI), fosforyt, wody powierzchniowe, odcieki, siarka, fosfor

### *Summary*

Traditional phosphorus fertilization of crops in Poland has a high environmental risk associated with the ease of transfer of into surface waters, as well as the high cost of production of such fertilizers. This imposes the need to find new solutions to fertilizer, which on one hand would be a lower risk to the environment, on the other hand would be equally accessible source of phosphorus for plants. One of them may be the use of phosphate – sulfur fertilizers (FS), characterized by a gradual release digestible phosphates (V), and hence the lower the migration to the water. The addition of sulfur increasing the availability of phosphorus from phosphate rock, is also a source of sulfur as a nutrient for plants. The aim of the study was to determine the effect of elemental sulfur to the ground rock phosphate on the phosphates (V) and sulfate (VI) ions permeation to waters. In vegetation experiments tested how use of phosphate – sulfur fertilizers affects the movement of phosphates (V) and sulfate (VI) ions to the water. Performed two two-year pot experiment, which tested effect 6 types of phosphate – sulfur fertilizer, differing in degree of milling phosphate (F1 and F2) and the addition of sulfur (S1, S2, S3). The study showed no significant threat to the permeation of phosphates (V) and sulfate (VI) ions into groundwater as a result of phosphate – sulfur fertilizers with ratio of phosphate to sulfur greater than 7:1.

**Key words:** phosphate fertilizers, phosphate – sulfur fertilizers, phosphate (V) ions, sulfate (VI) ions, phosphate, surface water, leachate, sulfur, phosphorus

## WSTĘP

Fosfor razem z azotem i potasem jest najważniejszym biogennym pierwiastkiem odpowiadającym za bujność życia w ekosystemach lądowych. Jego główne źródło w glebach użytkowanych rolniczo stanowią nawozy mineralne

i organiczne [Kalembasa, Becher 2010; Rauba 2009]. Nadmierne stosowanie nawozów zawierających fosfor dobrze rozpuszczalny w wodzie może jednak spowodować przekroczenie pojemności sorpcyjnej gleb względem tego pierwiastka, następstwem czego mogą być jego straty i przedostawanie się jonów fosforanowych (V) do wód. Jest to zjawisko niebezpieczne ze środowiskowego punktu widzenia, jako że fosfor jest pierwiastkiem przyczyniającym się do zjawiska eutrofizacji zbiorników wodnych [Igras 2009; Sapek 2010]. Do nawożenia fosforowego roślin uprawnych w Polsce używa się przede wszystkim superfosfatów oraz nawozów wieloskładnikowych zawierających fosfor w formie łatwo rozpuszczalnej w wodzie. Stanowi to niebezpieczeństwo zanieczyszczenia wód powierzchniowych fosforanami [Haygarth, Jarvis 1999]. w dodatku wzrost cen surowców fosforowych na światowym rynku powodujący wzrost kosztów produkcji nawozów fosforowych zmusza do poszukiwania alternatywnych i tańszych źródeł fosforu do celów nawożenia. Rozwiązaniem może być wykorzystanie do celów nawozowych mielonych fosforytów bez kosztownej przeróbki chemicznej. Zawierają one nierozpuszczalny w wodzie fosforan (V) triwapnia, będący mniejszym zagrożeniem dla środowiska wodnego niż tradycyjne nawozy fosforowe, ale też stanowi gorzej przyswajalne dla roślin źródło fosforu.

Dostępność fosforu z fosforytu można zwiększyć poprzez rozmaite zabiegi agrotechniczne, biologiczne oraz chemiczne. Jednym z nich będzie zwiększenie efektywności agronomicznej fosforytów poprzez dodatek siarki. Wprowadzenie mieszanek fosforytowo – siarkowych do gleby powoduje utlenienie siarki do kwasu siarkowego pod wpływem bakterii z rodzaju *Thiobacillus* spp. [Iranipour i in. 2004]. Kwas ten reagując z cząstkami fosforytu powoduje jego częściowy rozkład – powstają wówczas fosforany mono – i diwapniowe. Rozpuszczalność fosforytu i jego dostępność dla roślin jest zatem wspomagana poprzez zakwaszenie gleby. Produkcja nawozu z naturalnie mielonego fosforytu ma duże znaczenie z powodu bezodpadowej technologii produkcji, jest także technologią konkurencyjną ze względu na niższe koszty wytwarzania nawozu fosforowego.

Nawozy fosforytowo – siarkowe należy traktować również jako źródło siarki w formie łatwo przyswajalnych dla roślin siarczanów (VI). Mniejsze w ostatnich latach zaopatrzenie gleby i roślin w ten składnik wynika z redukcji

jej dopływu z powietrza przy jednoczesnym ograniczeniu zużycia nawozów naturalnych i mineralnych zawierających siarkę. Jej niedostatek nakłada konieczność uwzględnienia siarki w nawożeniu roślin uprawnych [Gaj, Klikocka 2011]. Bezpośrednim dostępnym w glebie źródłem siarki dla roślin są siarczany (VI). Ta postać siarki w zależności od właściwości gleby, warunków pogodowych czy zabiegów uprawowych może łatwo ulegać wymyciu w głąb profilu glebowego. Decydujące znaczenie mają tutaj typ gleby, pH, zawartość tlenków glinu i żelaza oraz ilość opadów atmosferycznych. Gleby organiczne zawierają większe ilości siarczanów niż gleby mineralne charakteryzujące się niską pojemnością sorpcyjną [Kulczycki, Spiak 2003; Szulc i in. 2004]. Na większą koncentrację jonów siarczanowych (VI) w glebie wpływa też obniżenie pH oraz obecność tlenków żelaza i glinu posiadających zdolność do absorbowania jonów siarczanowych (VI) [Grzebisz 2009]. Coraz mniejsza oferta tradycyjnych nawozów siarkowych nakłada konieczność poszukiwania nowych rozwiązań w nawożeniu siarką. Jednym z nich mogą być testowane mieszanki fosforytowo – siarkowe.

Obecność jonów siarczanowych (VI) w wodach powierzchniowych nie stanowi niebezpieczeństwa ich eutrofizacji, jak w przypadku fosforanów (V). Duża zawartość siarczanów (VI) może jednak powodować wzrost zasolenia wód podziemnych, co znacząco wpływa się na jakość wody pitnej. Największa dopuszczalna zawartość siarczanów (VI) w ściekach wprowadzonych do wód lub do ziemi wynosi  $500 \text{ mg SO}_4/\text{dm}^3$  [Dz.U. 2004, Nr 32, Poz. 284].

Celem prowadzonych badań było określenie wpływu dodatku siarki elementarnej do mielonego fosforytu na migrację jonów fosforanowych (V) i siarczanowych (VI) do wód.

## **MATERIAŁY I METODY BADAŃ**

W latach 2010 – 2011 w Stacji Doświadczalnej IUNG – PIB w Jelczu – Laskowicach przeprowadzono doświadczenia wegetacyjne, w których badano w jaki sposób nawożenie mieszankami fosforytowo – siarkowymi (FS) wpływa na przemieszczanie się jonów fosforanowych (V) oraz siarczanowych (VI) do wód. Przeprowadzono dwa dwuletnie doświadczenia wazonowe, róż-

niące się gatunkami uprawianych roślin, w których testowano działanie 6 wariantów mieszanek fosforytowo – siarkowych. Bazą do ich sporządzenia był fosforyt Maroko II (tab. 1) o dwóch stopniach uziarnienia (F1 i F2) oraz mielona siarka elementarna w trzech różnych dawkach (S1, S2, S3) (tab. 2).

**Tabela 1.** Skład chemiczny fosforytu Maroko II

**Table 1.** Chemical composition of Marocco II phosphate

Składnik Component	Zawartość, % mas. Content, % mass.	Składnik Component	Zawartość, mg·kg <sup>-1</sup> Content, mg·kg <sup>-1</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ogólny (w kwasach mineralnych) P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total (in mineral acids)	30,79	Cu	27
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> w 2 % kwasie mrówkowym P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> in 2 % formic acid	22,82	Mn	10
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> w cytrynianie amonu (pH 7,0) P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> in ammonium citrate (pH 7,0)	13,24	Zn	320
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> w 2 % kwasie cytrynowym P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> in 2 % citric acid	6,62	Pb	3,2
CaO	49,2	Cd	24
MgO	0,35	As	9,2
F	3,9	Hg	0,047

**Tabela 2.** Skład chemiczny mieszanek fosforytowo – siarkowych, % mas.

**Table 2.** The chemical composition of phosphate – sulfur fertilizers, % mass.

Symbol mieszanki Symbol of fertilizer	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	CaO
F1S1, F2S1 – stosunek F:S = 14:1 F1S1, F2S1 – ratio F:S = 14:1	28,6	7,19	45,7
F1S2, F2S2 – stosunek F:S = 10:1 F1S2, F2S2 – ratio F:S = 10:1	27,7	9,99	44,3
F1S3, F2S3 – stosunek F:S = 7:1 F1S3, F2S3 – ratio F:S = 7:1	26,4	14,2	42,2

Przebadano 11 obiektów w 4 powtórzeniach: 1) K – kontrola (bez P i S); 2) Wzb – superfosfat wzbogacony; 3) S1 – siarka elementarna w dawce identycznej jak w obiektach F1S1 i F2S1 (bez P); 4) F1 – fosforyt drobno mielony (bez S); 5) F1S1; 6) F1S2; 7) F1S3; 8) F2 – fosforyt grubo mielony (bez S); 9) F2S1; 10) F2S2; 11) F2S3.

Doświadczenia prowadzono w plastikowych wazonach wypełnionych 9 kg gleby lekkiej o składzie granulometrycznym piasku gliniastego i niskiej zawartości węgla organicznego, na dwóch różnych poziomach pH. Wartość pH1 doprowadzona została dawką wapna obliczoną na podstawie 0,5 kwasowości hydrolitycznej do poziomu 5,7, natomiast pH2 ustalone zostało na poziomie 7,1, dawka odpowiadającą 1,5 kwasowości hydrolitycznej (tab. 3).

**Tabela 3.** Charakterystyka gleby użytej w doświadczeniu

**Table 3.** Characteristics of the soil used in the experiment

pH KCl		C <sub>org</sub> [g/kg]	Zawartość frakcji granulometr. [%] Content of granulometric fraction [%]			Zawartość [mg/kg] Content [mg/kg]			
pH 1	pH 2		2,0-0,05	0,05-0,002	<0,002	P	K	Mg	SO <sub>4</sub>
5,7	7,1	5,3	81	17	2	20,0	24,9	17,0	44,9

Roślinami uprawnymi w doświadczeniu były: owies, łubin żółty oraz gorczyca. Badane mieszanki fosforytowo – siarkowe stosowano przedsięwzięcie raz na 2 lata w dawce 100 mg P/kg gleby (z wyjątkiem kontroli). Jednocześnie wraz z nawozami wprowadzono następujące dawki siarki: 1) Wzb. – 0,01 g/kg gleby, 2) F1S1, F2S1 – 0,06 g/kg gleby, 3) F1S2, F2S2 – 0,08 g/kg gleby, 4) F1S3, F2S3 – 0,12 g/kg gleby. Na obiekcie S1, zastosowano zmieloną siarkę elementarną w dawce 0,06 g/kg gleby. w obu doświadczeniach, pobrano 3-krotnie w odstępach 2-miesięcznych próbki przesączy glebowych o wielkości 20 ml. Celem pobrania odcieków było określenie stopnia migracji jonów fosforanowych (V) i siarczanowych (VI) do wód w zależności od dodatku siarki i stopnia przemiału fosforytu. Próbkę przesączy glebowych były pobierane po uprzednim zalaniu każdego obiektu jednakową ilością wody destylowanej w ilości 900 –1500 ml. Ilość wody regulowana była w zależności od terminu pobie-

rania próbek, a ściślej od panujących warunków pogodowych, tzn. temperatury i wilgotności powietrza.

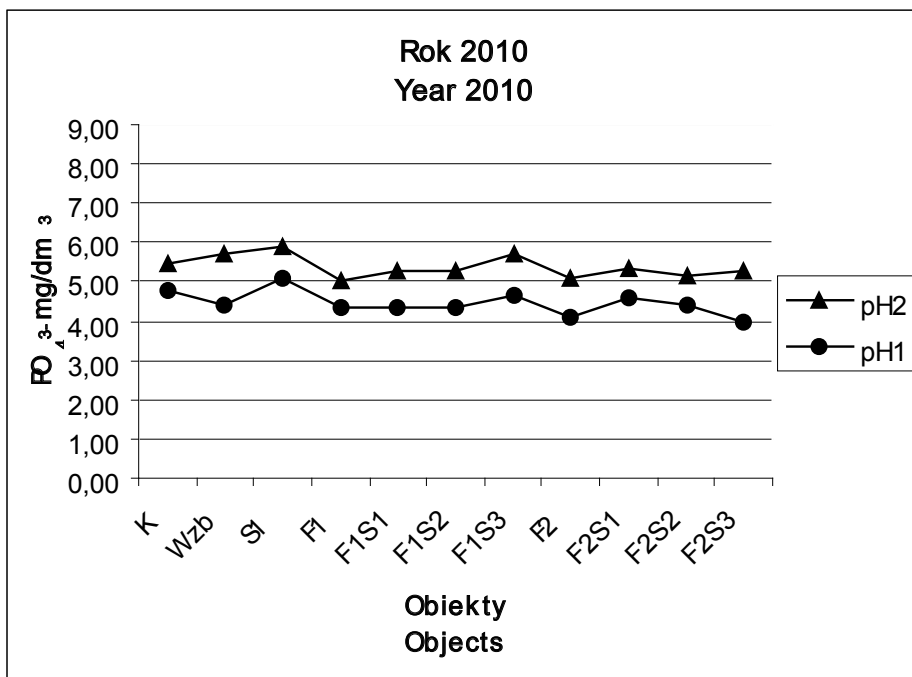
Metodyka oznaczania fosforanów (V) w przesączach polegała na traktowaniu próbek detergentem oraz kwaśnym roztworem zawierającym jony Mo i Sb. Otrzymany kompleks po redukcji kwasem askorbinowym oznaczono spektrofotometrycznie (PN-EN ISO 15681-2). Stężenie jonów siarczanowych (VI) w pobranych odciekach oznaczano metodą nefelometryczną z chlorkiem baru (PB 06 ed. 41.05.2010).

Oznaczono parametry fizykochemiczne gleby takie jak: skład granulometryczny metodą Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego, pH metodą potencjometryczną w wodnym roztworze KCl o stężeniu  $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ , zawartość węgla organicznego metodą Tiurina, P i K metodą Engera – Riehma, Mg metodą Schachtschabela oraz S-SO<sub>4</sub> w glebie metodą atomowej spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem plazmowym (ICP-AES) po ekstrakcji z octanem amonu (PB 110.3-Wyd.1-12.05.11).

Wyznaczono również podstawowe właściwości fizykochemiczne fosforytu Maroko II użytego do produkcji mieszanek FS. Zawartość poszczególnych form związków fosforu w zmielonych fosforytach oznaczono wg procedur Polskiej Normy PN-88/C-87015 Nawozy Sztuczne. Do analizy ilościowej wyekstrahowanych związków fosforu stosowano metody badań zawartości fosforanów (V) w zakresie spektrofotometrycznego oznaczania zawartości związków fosforu, wykorzystujących tworzenie barwnych kompleksów z jonem fosforanowym (V). Metale ciężkie (As, Pb, Cd) oznaczono metodą atomowej spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem plazmowym (ICP-AES). Zawartość rtęci oznaczono metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej (AAS). Oznaczenie zawartości wapnia wykonano metodą manganometrycznego oznaczania wapnia wytrąconego w postaci szczawianu, a zawartości magnezu metodą kompleksometryczną. Zawartość fluoru oznaczano przez pomiar potencjału elektrody jonoselektywnej fluorkowej w badanej próbce. Oznaczanie siarki elementarnej polegało na ekstrakcji disiarczkiem węgla. Wyekstrahowaną siarkę oznaczano grawimetrycznie.

## WYNIKI I DYSKUSJA

Rozkład fosforytu w głównej mierze uzależniony jest od odczynu gleby i wzrasta w warunkach niskiego pH [Drozd i in. 2002, Gorlach, Mazur 2001, Taalab i in. 2008]. Grzebisz [2009] donosi, że najwyższa zawartość fosforu dostępnego dla roślin występuje w glebie przy wartości pH wynoszącej od 5,5 do 7,2. w pierwszym roku prowadzonego doświadczenia odcieki pochodzące z gleb o  $pH_2 = 7,1$  charakteryzowały się nieznacznie wyższą zawartością jonów fosforanowych (V) w porównaniu do tych pochodzących z gleb o  $pH_1 = 5,7$ . Nie stwierdzono istotnych różnic w stężeniu jonów fosforanowych (V) między obiektami, na których stosowano nawozy FS, a obiektami porównawczymi F1 i F2, a także superfosfatem wzbogaconym (rys. 1).



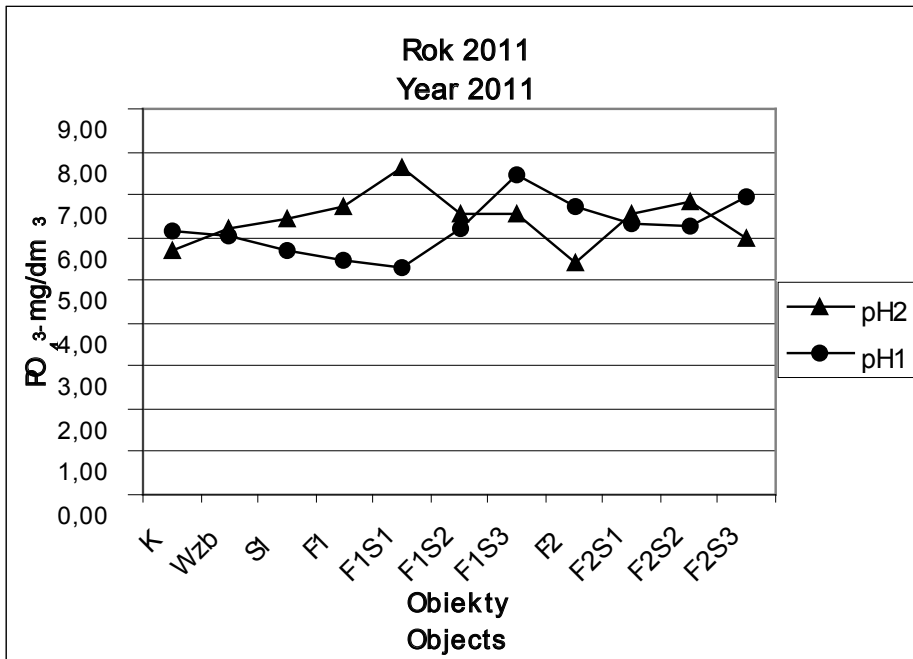
\* Niepewność pomiaru  $\pm 0,98$

**Rysunek 1.** Średnie stężenie jonów fosforanowych (V) w przesączach glebowych w 2010 roku.

**Figure 1.** Average concentration of phosphate (V) ions in soil filtrates in 2010.



W drugim roku po zastosowaniu mieszanek FS zaobserwowano ogólny wzrost zawartości jonów fosforanowych (V) w porównaniu do roku poprzedniego. Miało to związek ze spodziewanym efektem następczym działania nawozów FS oraz z naturalnym zakwaszeniem środowiska wskutek procesów zachodzących w trakcie okresu wegetacji. Analizy zawartości jonów fosforanowych (V) w uzyskanych przesączach glebowych pochodzących z obiektów o pH1 wykazała wpływ wzrastających dodatków siarki na wzrost zawartości jonów fosforanowych (V) w przesączach zwłaszcza w przypadku fosforytów o drobnym uziarnieniu (rys. 2).

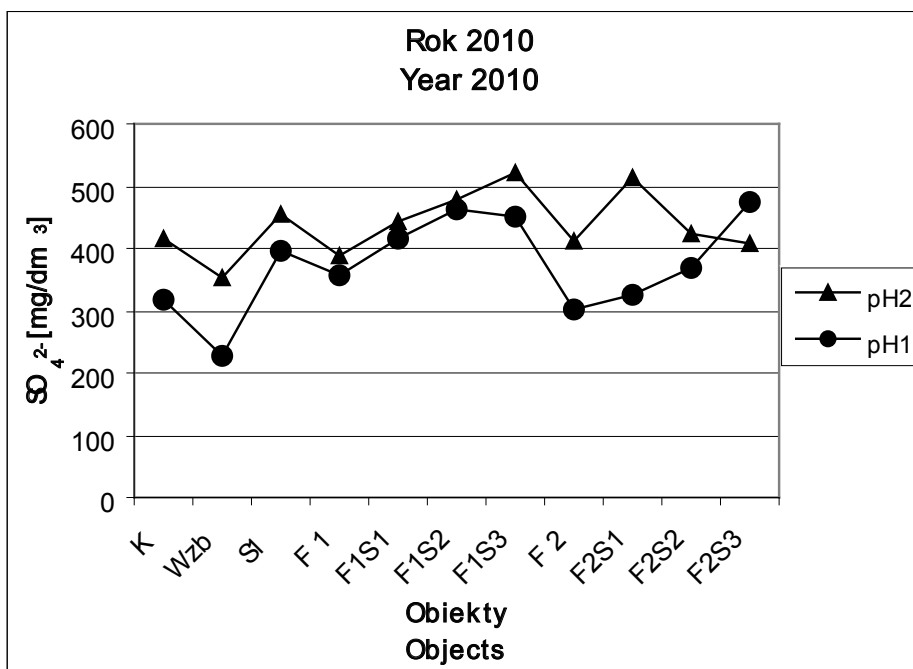


\* Niepewność pomiaru  $\pm 0,94$

**Rysunek 2.** Średnie stężenie jonów fosforanowych (V) w przesączach glebowych w 2011 roku.

**Figure 2.** Average concentration of phosphate (V) ions in soil filtrates in 2011.

Otrzymane wyniki wskazują na wystąpienie tendencji do większego uwalniania jonów fosforanowych (V) w przypadku fosforytów o drobniejszym uziarnieniu w porównaniu do gruboziarnistych. Wymywanie fosforanów (V) w obiektach z fosforytem o grubym stopniu przemiału wzrastało głównie na glebie o pH2. Miało to związek z większą średnicą ziaren tych utworów i ich mniejszą podatnością na rozkład. Intensyfikacja tego zjawiska następowała wraz ze wzrostem dodatku siarki. Było to wynikiem zwiększenia zakwaszenia otoczenia fosforytów w wyniku obecności jonów siarczanowych (VI) [Taalab 2008] i działalności mikroorganizmów glebowych wpływających na rozkład trudno przyswajalnych fosforanów (V) triwapnia występujących w fosforycie.



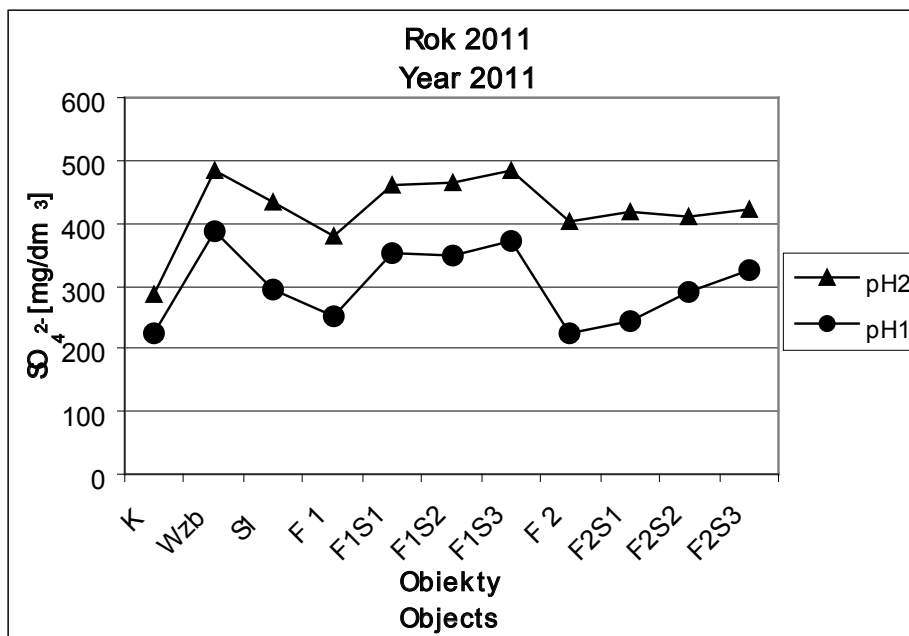
\* Niepewność pomiaru  $\pm 89,1$

**Rysunek 3.** Średnie stężenie jonów siarczanowych (VI) w przesączach glebowych w 2010 roku

**Figure 3.** Average concentration of sulfate (VI) ions in soil filtrates in 2010

Stężenie jonów siarczanowych (VI) w analizowanych próbkach przesączy glebowych z obiektów FS przy wyższym odczynie gleby ( $\text{pH}=7,1$ ) było na porównywalnym poziomie w obu latach doświadczenia. Natomiast przy  $\text{pH}$  równym 5,7 zawartość siarczanów (VI) była wyższa w 2010 roku, czyli w pierwszym roku po zastosowaniu nawozów.

W 2010 roku na obiektach z najwyższą zawartością siarki w mieszankach FS (obiekty F1S3 i F2S3) niezależnie od stopnia przemiału fosforu i odczynu gleby, stężenie jonów siarczanowych (VI) w analizowanych przesączach było nawet dwukrotnie większe niż w próbkach porównawczych z superfosfatem wzbogaconym. w 2011 roku stwierdzono z kolei istotną różnicę między obiektem F1S3, a obiektem z drobno mielonym fosforu (F1), w którym zawartość siarczanów (VI) była o połowę mniejsza niż na obiekcie F1S3 (rys. 3, rys. 4).



\* Niepewność pomiaru  $\pm 85,3$

**Rysunek 4.** Średnie stężenie jonów siarczanowych (VI) w przesączach glebowych w 2011 roku

**Figure 4.** Average concentration of sulfate (VI) ions in soil filtrates in 2011

Analiza przesączy glebowych z obu lat doświadczenia wskazuje na znacząco wyższą koncentrację jonów siarczanowych (VI) w odciekach z gleby o wyższym pH (pH<sub>2</sub>=7,1). Tendencja ta jest szczególnie zauważalna w drugim roku po zastosowaniu nawozów. Obojętny odczyn gleby wpływał zatem na większą mobilność siarczanów (VI) i łatwiejszą migrację w głąb profilu glebowego.

Ponadto w przypadku niektórych obiektów nawozowych (głównie FS3) wykryte zawartości jonów siarczanowych (VI) plasują się w okolicy największych dopuszczalnych zawartości siarczanów (VI) w ściekach wprowadzanych do wód, według polskich uregulowań prawnych (maksymalnie 500 mg SO<sub>4</sub>/dm<sup>3</sup>) [Dz.U. 2004, Nr 32, Poz. 284].

## WNIOSKI

1. Stopień przenikania jonów fosforanowych (V) i siarczanowych (VI) do przesączy glebowych z obiektów nawożonych mieszankami FS uzależniony był od odczynu gleby, stopnia przemiału fosforytu, ilości dodanej siarki (F:S) oraz czynnika czasowego.
2. Różnice stężeń jonów fosforanowych (V) między obiektami stwierdzono dopiero w drugim roku po zastosowaniu mieszanek FS, natomiast w przypadku jonów siarczanowych (VI) różnice te wystąpiły już w pierwszym roku.
3. Na glebie o odczynie lekko kwaśnym (pH1), w stosunku do obiektu z superfosfatem wzbogaconym, obserwowano zwiększenie wymycia jonów fosforanowych (V), wskutek dodatku siarki głównie do fosforytu drobno mielonego, przy czym najwyższe stężenie tych jonów w przesączu powodował największy dodatek siarki (S3).
4. Na glebie obojętnej (pH2) wzrastające dodatki siarki powodowały zwiększenie wymycia jonów fosforanowych (V) głównie z mieszanek FS na bazie fosforytu grubo mielonego.
5. Stężenie jonów siarczanowych (VI) w przesączach glebowych, zarówno w pierwszym, jak i w drugim roku po zastosowaniu mieszanek FS, wzrastało wskutek dodatku siarki do fosforytu, niezależnie od odczynu gleby

oraz stopnia przemiału fosforytu. Niemniej jednak najwyższe wartości stężeń wystąpiły na glebie obojętnej, wskutek największego dodatku siarki do fosforytu drobno mielonego.

6. Mieszanki fosforytowo – siarkowe mogłyby stanowić zagrożenie dla czystości wód podziemnych w przypadku stosowania nawozów o stosunku fosforytu do siarki mniejszym niż 7:1, zwłaszcza wytworzonych na bazie fosforytu drobno mielonego.

## BIBLIOGRAFIA

- Drozd J., Licznar M., Licznar S.E., Weber J.** *Gleboznawstwo z elementami mineralogii i petrografii*. PWN, 2002.
- Gaj R., Klikocka H.** *Wielofunkcyjne działanie siarki w roślinie – od żywienia do ochrony*. Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin 51 (1), 2011, s. 33-44.
- Gorlach E., Mazur T.** *Chemia rolna*. PWN, 2001.
- Grzebisz W.** *Nawożenie roślin uprawnych*. PWRiL, 2009, s. 88-93.
- Haygarth P.M., Jarvis S.C.** *Transfer of phosphorus from agricultural soils*. Advances in Agronomy 66, 1999, s. 196-236.
- Iranipour R., Malakouti M.J., Abedi M.J., Sadjadi A., Ghafourian H.** *Evaluation of Sulfur and Thiobacillus Bacteria Effects on Phosphorus Availability of Phosphate Rock by Isotopic Dilution Techniqu*. Proceedings of The Fourth International Iran & Russia Conference, 2004, s. 520-525.
- Igrass J., Pastuszak M.** *Udział Polskiego Rolnictwa w emisji związków azotu i fosforu do Bałtyku*. Puławy 2009.
- Kalembasa D., Becher M.** *Zasobność w fosfor gleb użytków zielonych Doliny Liwca na Wysoczyźnie Siedleckiej*. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, t. 10, z. 3 (31), 2010, s. 107-117.
- Korzeniowska J., Stanisławska – Glubiak E.** *Nowe trendy w wykorzystaniu fosforytów w rolnictwie*. Postępy Nauk Rolniczych 3, 2011, s. 57-66.
- Kulczycki G., Patorczyk – Pytlik B.** *Zawartość siarki w glebach i runi użytków zielonych okolic Wrocławia*. PZITS 884, 2008, s. 203-212.
- Kulczycki G., Spiak Z.** *Zawartość siarki ogólnej i siarczanowej w glebach Polski południowo – zachodniej*. Nawozy i Nawożenie, Fertilizers and Fertilization 5,4 (17), 2003, s. 75-81.
- Raub M.** *Zawartość związków azotu i fosforu w wodach gruntowych zlewni użytkowanej rolniczo na przykładzie zlewni rzeki Śliny*. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, 40, 2009, s. 5050-511.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska** z dnia 11 lutego 2004 r. w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu

prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód.

**Sapek A.** *Rolnictwo polskie i ochrona jakości wody, zwłaszcza wody Bałtyku*. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, t. 10 z.1 (29), 2010, s. 175-200.

**Szulc W., Rutkowska B., Łabętowicz J.** *Zawartość siarki ogólnej, organicznej i siarczanowej w profilu glebowym w warunkach różnych systemów uprawy gleby*. Ann. UMCS, E, 59 (1), 2004, s. 55-62.

**Taalab A.S., Hellal F.A., Abou-Seeda M.A.** *Influence of phosphate fertilizers enriched with sulfur on phosphorus availability and corn yield in calcareous soil in arid region*. Ozean Journal of Applied Sciences 1 (1), 2008, 105-115.

mgr inż. Marek Jakubowski

tel.: 0-71-363-7497 (wew.108), e-mail: m.jakubowski@iung.wroclaw.pl

mgr inż. Katarzyna Kantek

tel.: 0-71-363-7497 (wew.108), e-mail: k.kantek@iung.wroclaw.pl

dr hab. inż. Ewa Stanisławska – Glubiak, prof. nadzw.

tel.: 0-71-363-7497 (wew.114), e-mail: e.glubiak@iung.wroclaw.pl

dr hab. inż. Jolanta Korzeniowska, prof. nadzw.

tel.: 0-71-363-7497 (wew.112), e-mail: j.korzeniowska@iung.wroclaw.pl

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa

Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

Zakład Herbolgii i Technik Uprawy Roli

ul. Orzechowa 61

50-540 Wrocław