

# ZAWARTOŚĆ WYBRANYCH FORM FOSFORU W GLEBIE I KONICZYNIĘ ŁĄKOWEJ ORAZ AKTYWNOŚĆ FOSFATAZ GLEBOWYCH NA TLE ZRÓŻNICOWANEGO NAWOŻENIA MINERALNEGO I ORGANICZNEGO

**Joanna LEMANOWICZ, Jan KOPER**

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Rolniczy, Katedra Biochemii

*Słowa kluczowe: fosfataza, fosfor, gleba, nawożenie, obornik*

## Streszczenie

Celem badań była ocena zawartości fosforu ogółem, fosforu związków organicznych i przyswajalnego oraz aktywności fosfatazy alkalicznej i kwaśnej w glebie pod wpływem nawożenia koniczyny łąkowej (*Trifolium pratense* L.) obornikiem i azotem. Glebę do analiz chemiczno-biochemicznych pobrano z wieloletniego, statycznego doświadczenia polowego założonego na terenie Rolniczego Zakładu Doświadczalnego w Grabowie nad Wisłą przez Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia IUNG w Puławach. Pierwszym czynnikiem doświadczalnym było nawożenie obornikiem w dawkach: 0, 20, 40, 60 i 80 t·ha<sup>-1</sup>, natomiast drugim – nawożenie azotem w dawkach: 0, 30, 60 i 90 kg N·ha<sup>-1</sup>. Stwierdzono, że nawożenie zarówno obornikiem, jak i azotem w istotny sposób wpływało na zawartość fosforu ogółem i jego form. Stwierdzono również istotną zmienność aktywności enzymatycznej badanej gleby zarówno pod wpływem zastosowanych czynników doświadczalnych, jak również w zależności od terminu pobierania próbek glebowych. Zawartość fosforu ogółem w suchej masie koniczyny łąkowej (*Trifolium pratense* L.) istotnie zależała od czynników doświadczenia.

## WSTĘP

Fosfor, obok węgla, azotu i siarki, należy do tych pierwiastków, które pełnią jedną z najważniejszych funkcji w metabolizmie roślin. Niedobór fosforu jest najgroźniejszy w początkowych fazach rozwojowych roślin, kiedy pierwiastek ten ma decydujący wpływ na szybkość wzrostu systemu korzeniowego, a tym samym na zdolność rośliny do pobierania wody i składników pokarmowych z gleby. Zawartość tego biopierwiastka w glebie wpływa na wzrost aktywności mikrobiologicznej i biochemicznej gleby, a w konsekwencji na przemiany i dostępność innych składników pokarmowych. Zagadnienie fosforu w agrocenozach jest nadal problemem otwartym, ponieważ udział gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości jego przyswajalnych form wynosi 40%, a gleb o bardzo wysokiej i wysokiej zawartości – 35% [LIPIŃSKI, 2000]. Cykl biogeochemiczny fosforu jest podatny na wszelkie zmiany powodowane przez rolniczą działalność człowieka, gdyż większość stosowanych nawozów mineralnych zawiera ten pierwiastek. Stosowane zabiegi agrotechniczne bardzo często zmieniają naturalny obieg fosforu w przyrodzie

Celem niniejszej pracy była ocena zawartości fosforu ogółem, fosforu związków organicznych oraz fosforu przyswajalnego w glebie płowej, nawożonej zróżnicowanymi dawkami obornika bydlęcego i azotu w postaci saletry. Zbadano również aktywność enzymów biorących udział w przemianach fosforu glebowego – fosfatazy alkalicznej i fosfatazy kwaśnej. Badano również zawartość fosforu ogółem w koniczynie łąkowej (*Trifolium pratense* L.), kształtującą się pod wpływem nawożenia.

## MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Do realizacji badań pobrano próbki gleby i roślin z wieloletniego statycznego doświadczenia polowego, założonego w 1980 r. przez Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia Instytutu Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach. Doświadczenie jest prowadzone na terenie Rolniczego Zakładu Doświadczalnego w Grabowie nad Wisłą, woj. mazowieckie, powiat zwoleński, gmina Przyłęk (szerokość geograficzna północna 51°21'8'', długość geograficzna wschodnia 21°40'8'', klimat nizinny umiarkowanych szerokości geograficznych). Gleby, na których jest usytuowany Rolniczy Zakład Doświadczalny w Grabowie, według systematyki gleb Polski [PN-R-04033 1989] reprezentują gleby płowe typowe, zaliczane do klasy IVa użytków rolnych i kompleksu żytniego bardzo dobrego. Analiza składu granulometrycznego wykazała, że na badanych obiektach występują piaski gliniaste mocne. Doświadczenie było prowadzone jako dwuczynnikowe, metodą split-plot – pierwszym czynnikiem było nawożenie obornikiem bydlęcym w dawkach: 0, 20, 40, 60 i 80 t·ha<sup>-1</sup>, drugim natomiast – nawożenie azotem w postaci saletry amonowej (34% N) w dawkach: N<sub>0</sub> – 0, N<sub>1</sub> – 30, N<sub>2</sub> – 60 i N<sub>3</sub> – 90 kg

$\text{N}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Nawożenie fosforem (superfosfat potrójny granulowany – 46%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) i potasem (60% sól potasowa) na wszystkich obiektach doświadczalnych było jednokowe i wynosiło  $23 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}$  oraz  $132 \text{ kg K}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Próbkę glebową do oznaczeń chemiczno-biochemicznych pobrano z poziomu próchnicznego, za pomocą łaski Egnera, w 24. roku trwania doświadczenia, dwukrotnie w trakcie okresu wegetacyjnego koniczyny łąkowej (*Trifolium pratense* L.): w lipcu oraz we wrześniu. Koniczyna (odmiana Jubilatka) była uprawiana w czteroletnim zmianowaniu: ziemniak, pszenica ozima + międzyplon, gorczyca + jęczmień jary + wsiewka traw, koniczyna łąkowa + wsiewka traw (kostrzewa łąkowa – odmiana Cykada).

Wszystkie zabiegi uprawowe i pielęgnacyjne przeprowadzono zgodnie z ogólnie przyjętymi zasadami prawidłowej agrotechniki dla koniczyny łąkowej. W trakcie pobierania próbek na terenie pola doświadczalnego panowały następujące warunki hydrotermiczne: średnia temperatura powietrza w lipcu –  $18^\circ\text{C}$ , we wrześniu –  $13^\circ\text{C}$ , suma opadów atmosferycznych w lipcu – 112,1 mm, we wrześniu – 17,5 mm.

W pobranych próbkach oznaczano fosfor ogółem ( $\text{P}_{\text{og}}$ ), izolowany z materiału glebowego oraz roślinnego metodą MEHTA i in. [1954], która polega na traktowaniu analizowanego materiału stężonym HCl oraz  $0,5 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$  NaOH w temperaturze pokojowej i  $90^\circ\text{C}$ . Po wymieszaniu uzyskanych ekstraktów mineralizowano je w mieszaninie stężonych kwasów – azotowego (V), chlorowego (VII) i siarkowego (VI) w stosunku objętościowym 10:1:4. Po mineralizacji fosfor oznaczono kolorymetrycznie za pomocą spektrofotometru Marcel Pro. Zawartość fosforu związków organicznych ( $\text{P}_{\text{org}}$ ) obliczono na podstawie różnicy między ogólną zawartością fosforu, oznaczonego w zmineralizowanych próbkach, a zawartością fosforu nieorganicznego, oznaczonego w próbkach nieminerlizowanych (wyniki zawartości fosforu nieorganicznego w glebie nie zostały przedstawione w pracy).

Zawartość fosforu przyswajalnego ( $\text{P}_{\text{E-R}}$ ) oznaczono metodą Egnera–Riehma – DL, w której jako roztworu ekstrakcyjnego używa się zbuforowanego mleczanu wapnia o pH 3,7 [LITYŃSKI, JURKOWSKA, GORLACH, 1976]. Aktywność fosfatazy alkalicznej (AIP) i kwaśnej (AcP) oznaczono metodą TABATABAI i BREMNERA [1969]. Zawartość węgla związków organicznych oznaczono metodą Tiurina, azotu ogółem metodą Kjeldahla, a pH w  $\text{H}_2\text{O}$  oraz pH w KCl o stężeniu  $1 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$  – metodą potencjometryczną [LITYŃSKI, JURKOWSKA, GORLACH 1976].

Uzyskane wyniki poddano analizie wariancji, a istotność różnic między średnimi weryfikowano testem Tukeya na poziomie ufności  $p = 0,05$ . Do obliczeń wykorzystano program FR-ANALWAR na bazie Microsoft Excel. Ponadto wyniki wykonanych analiz badanych cech poddano analizie korelacji prostej ( $p < 0,05$ ), która określa stopień zależności między poszczególnymi cechami. Analizę korelacji wykonano w programie „Statistica for Windows PI”.

## WYNIKI BADAŃ I Dyskusja

### OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA BADANEJ GLEBY

Wartość pH gleby mierzonego w H<sub>2</sub>O wynosiła 5,7–6,5, a w KCl – 5,5–6,0 (tab. 1). Na podstawie tych wartości badaną glebę można zakwalifikować do gleb lekko kwaśnych. Zastosowane w doświadczeniu nawożenie w stosunkowo niewielkim stopniu różnicowało odczyn gleby. Według MERCIKA, STĘPNIA i LENARTA [2000] wieloletnie nawożenie organiczno-mineralne w porównaniu z wyłącznym stosowaniem nawozów mineralnych nie wpływa znacząco na zakwaszenie gleby. Nawożenie obornikiem, szczególnie w dawce 80 t·ha<sup>-1</sup>, łagodziło nieco skutki zakwaszenia badanej gleby na obiektach doświadczenia, powodując niewielki wzrost pH.

**Tabela 1.** Wartości pH gleby

**Table 1.** pH of the soil

| Obornik, t·ha <sup>-1</sup><br>FYM, t·ha <sup>-1</sup> | pH <sub>H2O</sub> |                |                |                | pH <sub>KCl</sub> |                |                |                |
|--|-------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|
|  | N <sub>0</sub>    | N <sub>1</sub> | N <sub>2</sub> | N <sub>3</sub> | N <sub>0</sub>    | N <sub>1</sub> | N <sub>2</sub> | N <sub>3</sub> |
| 0  | 6,2               | 6,2            | 6,2            | 6,0            | 5,8               | 5,7            | 5,8            | 5,6            |
| 20   | 6,5               | 6,5            | 6,1            | 5,7            | 5,8               | 5,8            | 5,7            | 5,5            |
| 40   | 5,8               | 6,0            | 6,0            | 5,9            | 5,6               | 5,7            | 5,7            | 5,5            |
| 60   | 6,0               | 6,2            | 6,3            | 6,2            | 5,8               | 5,8            | 5,8            | 5,6            |
| 80   | 6,4               | 6,4            | 6,4            | 6,2            | 6,0               | 6,0            | 5,9            | 5,7            |

Objaśnienia: dawki azotu w postaci saletry amonowej: N<sub>0</sub> – 0, N<sub>1</sub> – 30, N<sub>2</sub> – 60 i N<sub>3</sub> – 90 kg N·ha<sup>-1</sup>.

Explanations: nitrogen doses as ammonium nitrate N<sub>0</sub> – 0, N<sub>1</sub> – 30, N<sub>2</sub> – 60, N<sub>3</sub> – 90 kg N·ha<sup>-1</sup>.

Węgiel związków organicznych w glebie jest jednym z najważniejszych wskaźników jej żyzności. Zawartość C<sub>org</sub> w badanej glebie płowej wynosiła średnio 10,0 g C·kg<sup>-1</sup>. We wcześniejszych badaniach ŁABUDA, MAZURKIEWICZ i MAĆKOWIAK [2003] stwierdzili, że w glebie nawożonej zróżnicowanymi dawkami obornika i azotu zawartość C<sub>org</sub> kształtowała się na poziomie niskim, określonym dla gleby płowej, i wynosiła średnio 7,13 g C·kg<sup>-1</sup>.

Stwierdzono istotny wpływ czynników doświadczalnych na zmiany zawartości C<sub>org</sub> w badanej glebie płowej (tab. 2). Zawartość węgla związków organicznych zwiększała się istotnie wraz ze wzrostem dawki obornika. Największą zawartość C<sub>org</sub> (11,2 g C·kg<sup>-1</sup> średnio dla dawek azotu) stwierdzono w glebie pobranej z obiektów nawożonych obornikiem w dawce 80 t·ha<sup>-1</sup>, natomiast najmniejszą (8,47 g C·kg<sup>-1</sup> średnio dla dawek azotu) – w próbkach glebowych pobranych z obiektów nienawożonych obornikiem. Różnica ta wyniosła 24%. Stwierdzono statystycznie istotny wpływ nawożenia zróżnicowanymi dawkami azotu na zawartość C<sub>org</sub> w glebie. Większe dawki azotu w postaci saletry amonowej powodowały

**Tabela 2.** Zawartość węgla związków organicznych i azotu ogółem w badanej glebie, g·kg<sup>-1</sup> gleby  
**Table 2.** The content of organic carbon and total nitrogen in soil, g·kg<sup>-1</sup> of soil

| Obornik<br>FYM<br>t·ha <sup>-1</sup>    | Węgiel związków organicznych<br>Organic carbon |                 |             |             |                |                 | Azot ogółem<br>Total nitrogen |              |  |
|---|--|-----------------|-------------|-------------|----------------|-----------------|-------------------------------|--------------|--|
|   | N <sub>0</sub>                                 | średnio<br>mean |             |             | N <sub>0</sub> | średnio<br>mean |                               |              |  |
|   |  | 1               | 2           | 3           |                | 1               | 2                             | 3            |  |
| 0                                       | 8,33   | 8,67            | 8,16        | 8,70        | 0,767          | 0,819           | 0,865                         | 0,858        |  |
| 20                                      | 10,80  | 11,10           | 8,23        | 9,35        | 0,92N          | 0,94N           | 0,98N                         | 0,977        |  |
| 40                                      | 10,90  | 11,20           | 9,01        | 9,86        | 1,010          | 1,020           | 1,040                         | 1,080        |  |
| 60                                      | 10,90  | 11,23           | 9,05        | 9,87        | 0,998          | 1,080           | 1,160                         | 1,070        |  |
| 80                                      | 11,70  | 10,90           | 10,70       | 11,40       | 0,963          | 1,030           | 1,130                         | 1,150        |  |
| Średnio Mean                            | <b>10,20</b>                                   | <b>10,60</b>    | <b>9,03</b> | <b>9,83</b> | <b>0,931</b>   | <b>0,980</b>    | <b>1,037</b>                  | <b>1,029</b> |  |
| NIR <sub>0,05</sub> LSD <sub>0,05</sub> |  |                 |             |             |                |                 |                               |              |  |
| I czynnik I factor                      |  | 0,097           |             |             |                |                 |                               | 0,030        |  |
| II czynnik II factor                    |  | 0,287           |             |             |                |                 |                               | 0,034        |  |
| Interakcja Interaction                  |  |                 |             |             |                |                 |                               |              |  |
| I/II                                    |  | 0,602           |             |             |                |                 |                               | 0,076        |  |
| II/I                                    |  | 0,641           |             |             |                |                 |                               | 0,075        |  |

Objaśnienia: I czynnik – nawożenie obornikiem, II czynnik – nawożenie azotem; pozostałe oznaczenie jak w tabeli 1.

Explanations: I factor – fertilisation with FYM, II factor – fertilisation with nitrogen; other as in Tab. 1.

istotne zmniejszenie zawartości  $C_{org}$  w badanej glebie. Największe zawartości węgla związków organicznych stwierdzono w próbkach glebowych pobranych z obiektów nienawożonych azotem oraz nawożonych w dawce  $N_1$  (tab. 2). Prawdopodobnie mała dawka azotu wpłynęła na kumulację i stabilizację  $C_{org}$  w glebie, natomiast duże dawki N przyspieszyły mineralizację i spowodowały ubytek glebowej materii organicznej.

Zawartość azotu ogółem w badanej glebie wynosiła 0,767–1,16 g  $N \cdot kg^{-1}$  (tab. 2). Stwierdzono istotny wpływ nawożenia obornikiem i azotem na zawartość azotu ogółem w glebie.

Uruchamianie azotu z połączeń organicznych jest w dużej mierze uwarunkowane właściwym stosunkiem zawartości  $C_{org}:N_{og}$  w glebie, który najczęściej wynosi 10:1. Wartość tego stosunku w zależności od stosowanego nawożenia wynosiła od 7,8 do 11,7 (tab. 3) i była korzystna do reprodukcji próchnicy. Różnice w wartościach stosunku  $C_{org}:N_{og}$  świadczą o zróżnicowanym tempie mineralizacji organicznych związków węgla i azotu.

**Tabela 3.** Wartość  $C_{org}:N_{og}$  oraz  $C_{org}:P_{org}$  w badanej glebie

**Table 3.** The ratio of  $C_{org}:N_{tot}$  and  $C_{org}:P_{org}$  in soil

| Obornik, $t \cdot ha^{-1}$<br>FYM, $t \cdot ha^{-1}$ | $C_{org}:N_{og}$ |       |       |       | $C_{org}:P_{org}$ |       |       |       |
|--|------------------|-------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------|
|  | $N_0$            | $N_1$ | $N_2$ | $N_3$ | $N_0$             | $N_1$ | $N_2$ | $N_3$ |
| 0  | 10,9             | 10,6  | 9,4   | 10,1  | 57,3              | 46,4  | 31,7  | 41,3  |
| 20   | 11,7             | 11,7  | 8,4   | 9,6   | 61,5              | 47,4  | 28,3  | 35,0  |
| 40   | 10,8             | 11,0  | 8,7   | 9,1   | 55,6              | 44,5  | 26,8  | 34,7  |
| 60   | 10,9             | 10,4  | 7,8   | 9,2   | 48,6              | 43,3  | 27,0  | 30,6  |
| 80   | 12,1             | 10,6  | 9,5   | 9,9   | 45,5              | 36,8  | 23,8  | 31,8  |

Objaśnienia, jak pod tabelą 1. Explanations as in Tab. 1

### ZAWARTOŚĆ FOSFORU OGÓLEM

Zawartość fosforu ogółem wyniosła średnio 0,478 g  $P_{og} \cdot kg^{-1}$  w glebie pobranej w lipcu oraz 0,512 g w glebie pobranej we wrześniu (tab. 4). Zróżnicowane nawożenie obornikiem i azotem mineralnym, stosowane przez wiele lat w doświadczeniu polowym w Grabowie nad Wisłą, istotnie modyfikowało zawartość fosforu ogółem w badanej glebie płowej. Nawożenie obornikiem w dawce 80  $t \cdot ha^{-1}$  przyczyniło się do największego istotnego wzrostu zawartości  $P_{og}$  (0,506 g  $P_{og} \cdot kg^{-1}$  w glebie pobranej w lipcu, 0,550 g w glebie pobranej we wrześniu) (tab. 4). Zawartość  $P_{og}$  w próbkach gleb nienawożonych organicznie, pobranych w lipcu i we wrześniu, była odpowiednio o 13 i 19% mniejsza niż zawartość  $P_{og}$  w glebie z obiektów, na których zastosowano dawkę obornika 80  $t \cdot ha^{-1}$ . W badaniach VERMA, SUBEHIA i SHARMA [2005] w glebach nawożonych wyłącznie azotem zawar-

**Tabela 4.** Zawartość fosforu ogółem w badanej glebie, g P<sub>og</sub>·kg<sup>-1</sup>  
**Table 4.** The content of total phosphorus in soil, g P<sub>tot</sub>·kg<sup>-1</sup>

| Obornik<br>FYM<br>t·ha <sup>-1</sup>    | Fosfor ogółem Total phosphorus |              |              |                    |              |                |              |              |              |              |
|---|--------------------------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|   | lipiec July                    |              |              | wrzesień September |              |                | średnio mean |              |              |              |
|   | N <sub>0</sub>                 | 1            | 2            | 3                  | średnio mean | N <sub>0</sub> | 1            | 2            | 3            | średnio mean |
| 0                                       | 0,362                          | 0,360        | 0,577        | 0,456              | <b>0,439</b> | 0,385          | 0,453        | 0,522        | 0,429        | <b>0,447</b> |
| 20                                      | 0,377                          | 0,414        | 0,624        | 0,470              | <b>0,471</b> | 0,387          | 0,481        | 0,584        | 0,550        | <b>0,501</b> |
| 40                                      | 0,383                          | 0,433        | 0,638        | 0,493              | <b>0,486</b> | 0,421          | 0,521        | 0,598        | 0,573        | <b>0,528</b> |
| 60                                      | 0,391                          | 0,432        | 0,643        | 0,495              | <b>0,490</b> | 0,445          | 0,530        | 0,612        | 0,546        | <b>0,533</b> |
| 80                                      | 0,417                          | 0,447        | 0,656        | 0,503              | <b>0,506</b> | 0,454          | 0,535        | 0,653        | 0,560        | <b>0,550</b> |
| Średnio Mean                            | <b>0,386</b>                   | <b>0,417</b> | <b>0,628</b> | <b>0,483</b>       | <b>0,478</b> | <b>0,418</b>   | <b>0,504</b> | <b>0,594</b> | <b>0,531</b> | <b>0,512</b> |
| NIR <sub>0,05</sub> LSD <sub>0,05</sub> |                                |              |              |                    |              |                |              |              |              |              |
| I czynnik I factor                      |                                |              |              |                    |              |                |              | 0,018        |              |              |
| II czynnik II factor                    |                                |              |              |                    |              |                |              | 0,015        |              |              |
| Interakcja Intraction                   |                                |              |              |                    |              |                |              |              |              |              |
| I/II                                    |                                |              |              |                    |              |                |              |              |              | 0,036        |
| II/I                                    |                                |              |              |                    |              |                |              |              |              | 0,033        |

Objaśnienia, jak pod tabelą 2. Explanations as in Tab. 2.

tość  $P_{og}$  utrzymywała się na poziomie  $0,507 \text{ g } P_{og} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Autorzy stwierdzili, że dodatek obornika do gleby powodował wzrost zawartości  $P_{og}$  nawet o 100%.

Najmniejszą istotną zawartość  $P_{og}$  stwierdzono w próbkach z obiektów nienawożonych azotem ( $0,386 \text{ g } P_{og} \cdot \text{kg}^{-1}$  w glebie pobranej w lipcu oraz  $0,418 \text{ g}$  w glebie pobranej we wrześniu) (tab. 4). Najkorzystniej na kumulację fosforu ogółem w warstwie ornej gleby wpłynął azot w dawce  $N_2$ . Średnia zawartość  $P_{og}$  w glebie z obiektów nawożonych dawką  $N_2$  wynosiła  $0,628 \text{ g } P_{og} \cdot \text{kg}^{-1}$  w próbkach pobranych w lipcu oraz  $0,594 \text{ g}$  w próbkach pobranych we wrześniu. Nawożenie większą dawką azotu ( $N_3$ ) spowodowało zmniejszenie zawartości  $P_{og}$  w badanej glebie średnio o 34%.

### FOSFOR ZWIĄZKÓW ORGANICZNYCH

Zastosowane w doświadczeniu czynniki wpłynęły istotnie na zawartość fosforu związków organicznych w glebie. Zawartość  $P_{org}$  w trakcie sezonu wegetacyjnego koniczyny łąkowej kształtowała się średnio na poziomie  $0,232 \text{ g } P_{org} \cdot \text{kg}^{-1}$  w glebie pobranej w lipcu i  $0,302 \text{ g}$  we wrześniu. BORIE i RUBIO [2003] stwierdzili, że gleby uprawne były zasobniejsze w fosfor związków organicznych (średnio  $0,161 \text{ g } P_{org} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) od gleb nieuprawianych rolniczo (średnio  $0,114 \text{ g } P_{org} \cdot \text{kg}^{-1}$ ). Największą zawartość  $P_{org}$  stwierdzono w glebie pobranej z obiektów nawożonych obornikiem w dawce  $80 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  ( $0,278 \text{ g } P_{org} \cdot \text{kg}^{-1}$  w glebie pobranej w lipcu oraz  $0,402 \text{ g}$  w glebie pobranej we wrześniu) (tab. 5). W glebie pobranej z obiektów nienawożonych obornikiem zawartość fosforu związków organicznych była mniejsza średnio o 41%. Również SZARA, MERCIK i SOSULSKI [2005] stwierdzili, że ilość fosforu w połączeniach organicznych w glebie na obiektach nawożonych obornikiem była większa niż na obiektach, na których nie zastosowano tego nawozu.

Nawożenie azotem w postaci saletry amonowej spowodowało istotne zmiany zawartości  $P_{org}$  w badanej glebie płowej. Największą zawartość  $P_{org}$  ( $0,300 \text{ g } P_{org} \cdot \text{kg}^{-1}$  w lipcu oraz  $0,367 \text{ g}$  we wrześniu) uzyskano w próbkach glebowych pobranych z obiektów nawożonych azotem w dawce  $N_2$  ( $60 \text{ kg } N \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Zawartość fosforu związków organicznych w glebie nawożonej maksymalną dawką azotu ( $N_3$ ) była mniejsza o 14% niż w glebie nawożonej dawką  $N_2$ . W próbkach gleby pobranych z obiektów, na których nie zastosowano nawożenia azotem, zawartość badanej frakcji fosforu była mniejsza i wynosiła  $0,168 \text{ g } P_{org} \cdot \text{kg}^{-1}$  w glebie pobranej w lipcu i  $0,231 \text{ g}$  w glebie pobranej we wrześniu.

Dostępność dla roślin fosforu związków organicznych zależy od stopnia ich mineralizacji, a nie od ogólnej zawartości w glebie. Wartość stosunku  $C_{org}:P_{org}$  jest uważana za dobry wskaźnik mineralizacji fosforu związków organicznych w glebie. W okresie badań wartości tego stosunku wynosiły 23,8–61,5, w zależności od zastosowanego nawożenia (tab. 3). Według POTARZYCKIEGO [2003], gdy wartość stosunku  $C_{org}:P_{org}$  jest większa niż 200:1 następuje uruchamianie fosforu ze związków



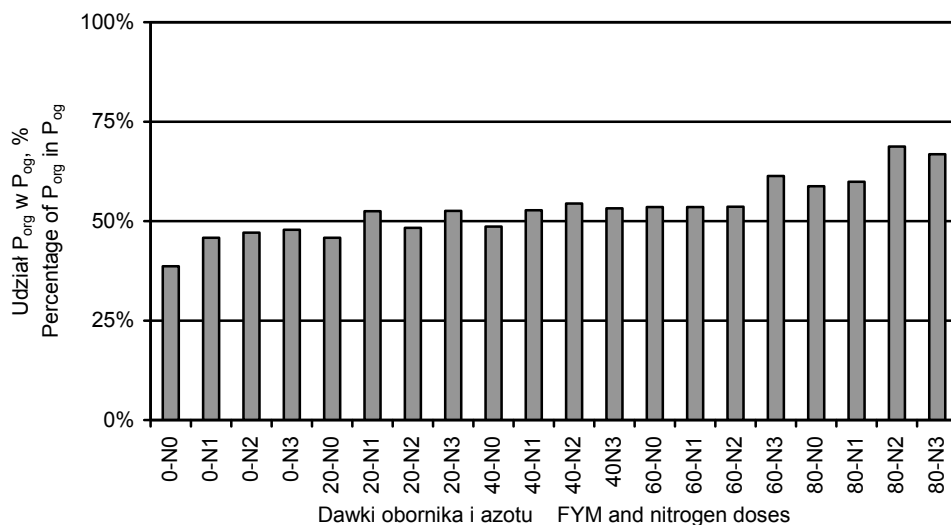
**Tabela 5.** Zawartość fosforu związków organicznych w badanej glebie, g P<sub>org</sub>·kg<sup>-1</sup>  
**Table 5.** The content of organic phosphorus in soil, g P<sub>org</sub>·kg<sup>-1</sup>

| Obornik<br>FYM<br>t·ha <sup>-1</sup>    | Fosfor związków organicznych Organic phosphorus |              |              |                    |                |              |                 |                 |                 |
|---|---|--------------|--------------|--------------------|----------------|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|   | lipiec July                                     |              |              | wziesięć September |                |              | średnio<br>mean | średnio<br>mean | średnio<br>mean |
|   | N <sub>0</sub>                                  | 1            | 2            | 3                  | N <sub>0</sub> | 1            |                 |                 |                 |
| 0                                       | 0,111   | 0,157        | 0,236        | 0,184              | 0,172          | 0,217        | 0,279           | 0,237           | <b>0,228</b>    |
| 20                                      | 0,136   | 0,230        | 0,284        | 0,257              | <b>0,226</b>   | 0,238        | 0,300           | 0,278           | <b>0,258</b>    |
| 40                                      | 0,166   | 0,229        | 0,342        | 0,260              | <b>0,249</b>   | 0,274        | 0,330           | 0,308           | <b>0,284</b>    |
| 60                                      | 0,197   | 0,215        | 0,295        | 0,231              | <b>0,234</b>   | 0,304        | 0,376           | 0,415           | <b>0,337</b>    |
| 80                                      | 0,230   | 0,251        | 0,346        | 0,285              | <b>0,278</b>   | 0,341        | 0,553           | 0,431           | <b>0,402</b>    |
| Średnio Mean                            | <b>0,168</b>                                    | <b>0,216</b> | <b>0,300</b> | <b>0,243</b>       | <b>0,232</b>   | <b>0,275</b> | <b>0,367</b>    | <b>0,334</b>    | <b>0,302</b>    |
| NIR <sub>0,05</sub> LSD <sub>0,05</sub> |   |              |              |                    |                |              |                 |                 |                 |
| I czynnik I factor                      |   | 0,013        |              |                    |                |              | 0,060           |                 |                 |
| II czynnik II factor                    |   | 0,003        |              |                    |                |              | 0,041           |                 |                 |
| Interakcja Interaction                  |   |              |              |                    |                |              |                 |                 |                 |
| I/II                                    |   | 0,014        |              |                    |                |              | 0,103           |                 |                 |
| II/I                                    |   | 0,007        |              |                    |                |              | 0,092           |                 |                 |

Objaśnienia, jak pod tabelą 2. Explanations as in Tab. 2.

ków organicznych. We wcześniejszych badaniach OEHL i in. [2004] wartość stosunku  $C_{org}:P_{org}$  w glebach uprawnych wynosiła 36–38. Według tych autorów, świadczy to o ścisłym związku zawartości  $P_{org}$  występującego w materii organicznej gleby z zawartością węgla związków organicznych. Natomiast AGBENIN i GOLADI [1997], stwierdzili, że małe wartości stosunku  $C_{org}:P_{org}$  (<50) mogą być skutkiem unieruchomienia fosforu zawartego w połączeniach organicznych przez nieorganiczne koloidy glebowe. W badaniach własnych najmniejsze wartości stosunku  $C_{org}:P_{org}$  uzyskano w glebie nawożonej obornikiem w dawkach 60 oraz 80 t·ha<sup>-1</sup>. Świadczy to o większym nagromadzeniu fosforu związków organicznych w glebie nawożonej większymi dawkami zastosowanego w doświadczeniu obornika.

Udział fosforu związków organicznych w całkowitej zawartości tego składnika wyniósł 53% (średnio dla całego roku). Największy udział fosforu związków organicznych w całkowitej zawartości fosforu (64% średnio dla dawek azotu) stwierdzono w glebie pobranej z obiektów nawożonych obornikiem w dawce 80 t·ha<sup>-1</sup> (rys. 1). W glebie pobranej z tych obiektów wykazano największą kumulację fosforu zawartego w połączeniach organicznych (tab. 5), tym samym wartość stosunku  $C_{org}:P_{org}$  była w nich najmniejsza (tab. 3). W większości gleb uprawnych fosfor zawarty w połączeniach organicznych stanowi 20–50% jego całkowitej zawartości [POTARZYCKI, 2003], chociaż wahania te mogą być według innych autorów znacznie większe [BRADY, WEIL, 2002].



Rys. 1. Udział fosforu związków organicznych w całkowitej zawartości fosforu w badanej glebie; oznaczenia, jak pod tabelą 1.

Fig. 1. Percentage share of organic phosphorus in the total phosphorus concentrations in the studied soil; explanations as in Tab. 1

### ZAWARTOŚĆ FOSFORU PRZYSWAJALNEGO WG EGNERA–RIEHMA (DL)

Zawartość fosforu przyswajalnego w glebie w trakcie prowadzenia badań wynosiła 89,3 mg P·kg<sup>-1</sup> gleby (średnio dla nawożenia i terminów). Według kryteriów zawartych w PN-R-04023 [1996] badana gleba należy do klasy I o wysokiej zawartości fosforu przyswajalnego dla roślin.

Na podstawie analizy wariancji wykazano istotny wpływ nawożenia zróżnicowanymi dawkami obornika na zawartość P<sub>E-R</sub> w badanej glebie. Najmniejszą zawartość fosforu przyswajalnego (66,1 mg P·kg<sup>-1</sup> średnio dla wszystkich dawek azotu) oznaczono w próbkach glebowych pobranych z obiektów nienawożonych obornikiem. W miarę zwiększania się dawek obornika stwierdzono istotny wzrost zawartości P<sub>E-R</sub> w glebie (tab. 6). Największą zawartość P<sub>E-R</sub> (średnio 96,4 mg P·kg<sup>-1</sup>) uzyskano w glebie nawożonej obornikiem w dawce 80 t·ha<sup>-1</sup>. Jest to zawartość o 31% większa niż w glebie nienawożonej obornikiem. Z badań SZYMAŃSKIEJ, ŁABĘTOWICZA i KORCA [2005] wynika, że wieloletnie stosowanie obornika wyraźnie wpływa na zwiększenie zawartości fosforu przyswajalnego w glebie.

Z przeprowadzonych badań wynika, że nawożenie saletrą amonową miało istotny wpływ na zawartość fosforu przyswajalnego w badanej glebie płowej. Największą zawartość przyswajalnej dla roślin frakcji fosforu (101 mg P·kg<sup>-1</sup> w glebie pobranej w lipcu oraz 106 mg w glebie pobranej we wrześniu) stwierdzono w glebie z obiektów nawożonych azotem w dawce N<sub>2</sub> (tab. 6). Zastosowanie największej dawki saletry amonowej spowodowało istotne (o 10%) zmniejszenie P<sub>E-R</sub> zarówno w glebie pobranej w lipcu, jak i we wrześniu.

Działanie azotu z jednej strony powoduje zwiększenie plonów, a więc większe pobieranie fosforu przez rośliny, z drugiej zaś jego wysokie dawki mogą powodować zwiększenie kwasowości gleby, co powoduje zmniejszenie zawartości przyswajalnej frakcji fosforu. Zawartość fosforu w glebie pobranej w lipcu (85,7 mg P·kg<sup>-1</sup>) była mniejsza niż w glebie pobranej we wrześniu (92,8 mg P·kg<sup>-1</sup>). Małą zawartość fosforu przyswajalnego w pierwszym terminie pobierania próbek glebowych można tłumaczyć dużym zapotrzebowaniem roślin na ten składnik pokarmowy.

### AKTYWNOŚĆ FOSFATAZY ALKALICZNEJ I KWAŚNEJ W GLEBIE

Aktywność fosfatazy alkalicznej kształtowała się średnio na poziomie 0,880 mmol pNP·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> w glebie pobranej w lipcu i 0,803 mmol pNP·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> w glebie pobranej we wrześniu, natomiast aktywność fosfatazy kwaśnej była większa i wynosiła średnio 1,69 mmol pNP·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> w glebie pobranej w lipcu i 1,31 mmol pNP·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> we wrześniu (tab. 7). WITTMANN i in. [2004] większą aktywność fosfatazy kwaśnej tłumaczą tym, że fosfomonoesterazy są enzymami najbardziej wrażliwymi na zmiany odczynu gleby – optymalne pH gleby dla aktywności fosfatazy alkalicznej wynosi 9,0–11,0, a dla fosfatazy kwaśnej – 4,0–6,5. W przypad-

**Tabela 6.** Zawartość fosforu przyswajalnego w badanej glebie, mg  $P_{E-R} \cdot kg^{-1}$   
**Table 6.** The content of available phosphorus in soil, mg  $P_{E-R} \cdot kg^{-1}$

| Obornik<br>FYM<br>t·ha <sup>-1</sup>    | Fosfor przyswajalny Available phosphorus |                   |                   |       |                 |                   |                    |                   |       |                 |
|---|--|-------------------|-------------------|-------|-----------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------|-----------------|
|   | N <sub>0</sub>                           | lipiec July       |                   |       | średnio<br>mean | N <sub>0</sub>    | wrzesień September |                   |       | średnio<br>mean |
|   |  | 1                 | 2                 | 3     |                 |                   | 1                  | 2                 | 3     |                 |
| 0                                       | 51,7                                     | 61,3              | 81,9              | 69,5  | 66,1            | 67,2              | 72,2               | 87,4              | 77,6  | 76,1            |
| 20                                      | 71,4 <sub>N</sub>                        | 78,0 <sub>N</sub> | 97,3 <sub>N</sub> | 85,0  | 82,9            | 79,1 <sub>N</sub> | 83,0 <sub>N</sub>  | 96,3 <sub>N</sub> | 89,5  | 86,9            |
| 40                                      | 75,0                                     | 80,0              | 105,0             | 99,3  | 90,0            | 80,9              | 86,3               | 100,0             | 77,5  | 86,4            |
| 60                                      | 77,0                                     | 54,5              | 109,0             | 100,0 | 92,9            | 85,0              | 101,0              | 117,0             | 105,0 | 102,0           |
| 80                                      | 81,4                                     | 89,5              | 112,0             | 102,0 | 96,4            | 94,4              | 108,0              | 128,0             | 116,0 | 112,0           |
| Średnio Mean                            | 71,3                                     | 78,7              | 101,0             | 91,3  | 85,7            | 81,3              | 90,4               | 106,0             | 93,3  | 92,8            |
| NIR <sub>0,05</sub> LSD <sub>0,05</sub> |  |                   |                   |       |                 |                   |                    |                   |       |                 |
| I czynnik I factor                      |  |                   |                   |       |                 |                   |                    |                   |       | 4,526           |
| II czynnik II factor                    |  |                   |                   |       |                 |                   |                    |                   |       | 1,853           |
| Interakcja Intraction                   |  |                   |                   |       |                 |                   |                    |                   |       |                 |
| I/II                                    |  |                   |                   |       |                 |                   |                    |                   |       | 5,841           |
| II/I                                    |  |                   |                   |       |                 |                   |                    |                   |       | 4,143           |

Objaśnienia, jak pod tabelą 2. Explanations as in Tab. 2.

**Tabela 7.** Aktywność fosfatyzu alkalicznej (AIP) i kwaśnej (AcP) w badanej glebie płowej, mmol pNP·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>  
**Table 7.** The activity of alkaline (AIP) and acid phosphatases (AcP) in soil, mmol pNP·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>

| Obornik, t·ha <sup>-1</sup><br>FYM, t·ha <sup>-1</sup> | Lipiec July    |       |       | Wrzesień September |  |                |       |       |       |              |
|--|----------------|-------|-------|--------------------|--|----------------|-------|-------|-------|--------------|
|  | N <sub>0</sub> | 1     | 2     | 3                  | średnio mean                                 | N <sub>0</sub> | 1     | 2     | 3     | średnio mean |
|  |                |       |       |                    | Fosfataza alkaliczna<br>Alkaline phosphatase |                |       |       |       |              |
| 0  | 0,688          | 0,815 | 0,960 | 0,866              | 0,832  | 0,653          | 0,736 | 0,844 | 0,778 | 0,752        |
| 20   | 0,720          | 0,820 | 0,970 | 0,895              | 0,853  | 0,690          | 0,740 | 0,927 | 0,794 | 0,790        |
| 40   | 0,751          | 0,833 | 0,984 | 0,914              | 0,871  | 0,703          | 0,752 | 0,976 | 0,797 | 0,807        |
| 60   | 0,747          | 0,838 | 1,08  | 0,932              | 0,900  | 0,715          | 0,767 | 0,981 | 0,815 | 0,820        |
| 80   | 0,774          | 0,859 | 1,17  | 0,978              | 0,945  | 0,730          | 0,772 | 1,01  | 0,863 | 0,845        |
| Średnio Mean   | 0,736          | 0,834 | 1,04  | 0,917              | 0,880  | 0,698          | 0,755 | 0,948 | 0,809 | 0,803        |
| NIR <sub>0,05</sub> LSD <sub>0,05</sub>                |                |       |       |                    |  |                |       |       |       |              |
| I czynnik I factor                                     |                |       | 0,062 |                    |  |                |       |       | 0,024 |              |
| II czynnik II factor                                   |                |       | 0,041 |                    |  |                |       |       | 0,035 |              |
| Interakcja Interaction                                 |                |       |       |                    |  |                |       |       | n.i.  |              |
| I/II   |                |       |       |                    |  |                |       |       | n.i.  |              |
| II/I   |                |       |       |                    |  |                |       |       | n.i.  |              |
|  |                |       |       |                    | Fosfataza kwaśna<br>Acid phosphatase         |                |       |       |       |              |
| 0  | 1,30           | 1,56  | 1,72  | 1,84               | 1,62   | 1,02           | 1,18  | 1,27  | 1,36  | 1,21         |
| 20   | 1,41           | 1,58  | 1,73  | 1,77               | 1,63   | 1,10           | 1,23  | 1,31  | 1,47  | 1,28         |
| 40   | 1,19           | 1,61  | 1,76  | 1,88               | 1,68   | 1,18           | 1,26  | 1,34  | 1,49  | 1,32         |
| 60   | 1,49           | 1,63  | 1,82  | 1,93               | 1,72   | 1,22           | 1,29  | 1,37  | 1,51  | 1,35         |
| 80   | 1,54           | 1,69  | 1,85  | 2,11               | 1,80   | 1,25           | 1,31  | 1,41  | 1,57  | 1,38         |
| Średnio Mean   | 1,46           | 1,61  | 1,78  | 1,91               | 1,69   | 1,15           | 1,25  | 1,34  | 1,48  | 1,31         |
| NIR <sub>0,05</sub> LSD <sub>0,05</sub>                |                |       |       |                    |  |                |       |       |       |              |
| I czynnik I factor                                     |                |       | 0,072 |                    |  |                |       |       | 0,096 |              |
| II czynnik II factor                                   |                |       | 0,027 |                    |  |                |       |       | 0,037 |              |
| Interakcja Interaction                                 |                |       |       |                    |  |                |       |       | n.i.  |              |
| I/II   |                |       |       |                    |  |                |       |       | n.i.  |              |
| II/I   |                |       |       |                    |  |                |       |       | n.i.  |              |

Objaśnienia, jak pod tabelą 2. Explanations as in Tab. 2.

ku białek enzymatycznych kwasowość środowiska może wpłynąć na ich aktywność przez zmianę struktury lub ładunku reszty aminokwasowej, biorącej udział w przyłączaniu substratu lub katalizie. W badaniach własnych gleba płowa charakteryzowała się odczynem kwaśnym i lekko kwaśnym, co zadecydowało o większej aktywności fosfatazy kwaśnej niż alkalicznej. Zmiany fizykochemiczne gleby pod wpływem nawożenia oraz oddziaływanie roślin determinują procesy mikrobiologiczne w glebie, co w konsekwencji wpływa na jej aktywność enzymatyczną.

Na podstawie analizy wariancji udowodniono statystycznie wpływ zastosowanych w doświadczeniu czynników na aktywność fosfomonoesteraz glebowych. Nawożenie zróżnicowanymi dawkami obornika w istotny sposób modyfikowało aktywność fosfatazy alkalicznej i kwaśnej w badanej glebie. Najmniejszą aktywność fosfatazy alkalicznej ( $0,832 \text{ mmol pNP} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  w lipcu i  $0,752$  we wrześniu) oraz fosfatazy kwaśnej ( $1,62 \text{ mmol pNP} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  w lipcu i  $1,21$  we wrześniu) stwierdzono w glebie pobranej z obiektów, na których nie stosowano nawożenia obornikiem. Zwiększające się dawki nawozu organicznego powodowały zwiększanie się aktywności AIP i AcP w badanej glebie płowej. Istotnie największą aktywność AIP stwierdzono w próbkach gleby pobranej z obiektów nawożonych obornikiem w dawce  $80 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Według MYŚKOWA i in. [1996], systematyczne stosowanie nawozów organicznych powoduje zwiększenie zawartości węgla związków organicznych w glebie, a w następstwie tego – zwiększenie ich aktywności biologicznej. Jest to prawdopodobnie spowodowane stabilizacją zewnątrzkomórkowych enzymów przez związanie ich z substancją humusową [KANDELER, TASCHERKO, SPIEGEL, 1999]. Obecność substratów węglowych indukuje i stymuluje biosyntezę enzymów przez mikroorganizmy glebowe.

Nawożenie saletrą amonową w istotny sposób wpłynęło na zmiany aktywności badanych fosfomonoesteraz glebowych. Największą aktywność AIP ( $1,04 \text{ mmol pNP} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  w lipcu oraz  $0,948$  we wrześniu) oznaczono w glebie pobranej z obiektów nawożonych azotem w dawce  $\text{N}_2$  ( $60 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Zastosowanie maksymalnej dawki azotu ( $\text{N}_3$  –  $90 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) spowodowało istotne zmniejszenie aktywności alkalicznej fosfatazy o 13%. Aktywność fosfatazy kwaśnej zarówno w lipcu, jak i we wrześniu była istotnie najwyższa w glebie pobranej z obiektów, na których aplikowano azot w dawce  $\text{N}_3$ .

Inhibujące działanie azotu w dawce  $\text{N}_3$  w przypadku aktywności fosfatazy alkalicznej, a aktywujące w przypadku fosfatazy kwaśnej było związane z zakwaszającym oddziaływaniem wysokich dawek azotu mineralnego na środowisko glebowe. KUCHARSKI [1997] stwierdził, że wzrastające do  $240 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  dawki systematycznie ograniczały aktywność AIP, jednocześnie wzmagając aktywność AcP. Nawozy fizjologicznie kwaśne, a do takich należy zastosowana w doświadczeniu saletra amonowa, przez nawet nieznaczne zwiększenie stanu zakwaszenia, decydują zarówno o rozwoju roślin i drobnoustrojów, jak i o nasileniu i kierunku procesów biochemicznych. Zatem czynniki modyfikujące odczyn gleby mogą również wpływać na dynamikę jej aktywności fosfatazowej. Równocześnie można stwier-

dzień, że aktywność fosfatazowa gleb może być wskaźnikiem stopnia mineralizacji organicznych związków fosforu, które w glebach uprawnych stanowią nawet ok. 50% całkowitej zawartości fosforu (część jest niedostępna bezpośrednio dla roślin) [KOPER, 1996].

Aktywność badanych fosfomonoesteraz ulegała zmianom w glebie podczas okresu wegetacji koniczyny łąkowej (*Trifolium pratense* L.). Większą aktywność fosfatazy alkalicznej (0,880 mmol pNP·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>) i kwaśnej (1,69 mmol pNP·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>) uzyskano w próbkach glebowych pobranych w lipcu. Intensywność wydzielania fosfataz przez rośliny i mikroorganizmy pozostaje w ścisłej zależności od zapotrzebowania roślin na fosfor. Zwykle aktywność fosfataz glebowych jest odwrotnie proporcjonalna do zawartości w niej fosforu mineralnego, gdyż podwyższony poziom nieorganicznego fosforu w glebie zmniejsza aktywność fosfataz [KIELISZEWSKA-ROKICKA, 2001]. Aktywność fosfataz zostaje wówczas zahamowana przez mineralny fosforan, który działa jak inhibitor kompetycyjny [SIUDA, 2001]. Znajomość zawartości fosforu przyswajalnego i aktywności fosfataz glebowych powinna w dużym stopniu umożliwiać oszacowanie zawartości fosforu dostępnego dla roślin, za który można uważać fosfor oznaczony metodą Egnera–Riehma.

Na podstawie aktywności fosfatazy alkalicznej i fosfatazy kwaśnej obliczono wartości stosunku AIP:AcP, określane jako enzymatyczny wskaźnik poziomu pH [DICK, CHENG, WANG, 2000]. Wartości stosunku AIP:AcP w trakcie prowadzonych badań własnych wynosiły 0,50–0,67 (tab. 8).

**Tabela 8.** Wartości stosunku aktywności fosfatazy alkalicznej (AIP) do kwaśnej (AcP)

**Table 8.** The ratio of alkaline to acid phosphatase AIP:AcP

| Obornik, t·ha <sup>-1</sup><br>FYM, t·ha <sup>-1</sup> | AIP:AcP |      |      |      |
|--|---------|------|------|------|
|  | N0      | N1   | N2   | N3   |
| 0  | 0,56    | 0,56 | 0,62 | 0,51 |
| 20   | 0,56    | 0,62 | 0,51 | 0,51 |
| 40   | 0,60    | 0,52 | 0,54 | 0,54 |
| 60   | 0,51    | 0,54 | 0,55 | 0,67 |
| 80   | 0,56    | 0,55 | 0,65 | 0,50 |

Objaśnienia, jak pod tabelą 1. Explanations as in Tab. 1.

Za odpowiednią do wzrostu i rozwoju roślin można uważać taką wartość pH gleby, w warunkach której występuje właściwy stosunek aktywności AIP:AcP [DICK, CHENG, WANG, 2000]. Według tych autorów, wartość stosunku AIP:AcP mniejsza niż 0,50 świadczy o kwaśnym odczynie gleby i wskazane jest jej wapnowanie. Najmniejsze wartości stosunku AIP:AcP uzyskano w glebie pobranej z obiektów nawożonych największą dawką (N<sub>3</sub>) azotu mineralnego. Również pH, mierzone zarówno w H<sub>2</sub>O, jak i w KCl było najmniejsze w glebie nawożonej azotem mineralnym w dawce N<sub>3</sub>.

**ZAWARTOŚĆ FOSFORU OGÓLEM W KONICZYNIĘ ŁĄKOWEJ (*Trifolium pratense* L.)**

Koncentracja fosforu ogółem w suchej masie koniczyny łąkowej (*Trifolium pratense* L.) wynosiła średnio dla terminów 3,64 g P<sub>og</sub>·kg<sup>-1</sup>. Zawartość tego pierwiastka w badanej roślinie ulegała zmianom pod wpływem zastosowanych w doświadczeniu czynników. Wraz ze zwiększeniem dawki obornika zwiększała się również zawartość P<sub>og</sub> w koniczynie. Zarówno w pierwszym (lipiec), jak i drugim (wrzesień) pokosie największą zawartość P<sub>og</sub> stwierdzono w roślinie testowej pobranej z obiektów nawożonych obornikiem w dawce 80 t·ha<sup>-1</sup> (tab. 9). Zawartość P<sub>og</sub> w koniczynie uprawianej na obiektach, na których nie zastosowano nawożenia obornikiem, była istotnie najmniejsza. Nawozy naturalne (obornik i gnojowica) są źródłem fosforu łatwo dostępnego dla roślin, gdyż – w zależności od stopnia mineralizacji – 50–70% całego fosforu zawartego w tych nawozach występuje w związkach mineralnych, głównie jako fosforany wapnia [POTARZYCKI, 2003]. Nawożenie azotem również w istotny sposób wpływało na zawartość P<sub>og</sub> w suchej masie koniczyny. Nawożenie azotem w dawce N<sub>2</sub> (60 t·ha<sup>-1</sup>) spowodowało największą kumulację badanego makroskładnika w koniczynie zbieranej zarówno w lipcu (4,52 g P<sub>og</sub>·kg<sup>-1</sup>), jak i we wrześniu (3,91 g P<sub>og</sub>·kg<sup>-1</sup>). Azot zastosowany w maksymalnej dawce (N<sub>3</sub> – 90 kg N·ha<sup>-1</sup>) istotnie zmniejszył P<sub>og</sub> w biomacie badanej rośliny. Czasami zwiększone nawożenie azotem powoduje jedynie duży przyrost plonów, natomiast zawartość P, wskutek „efektu rozcieńczenia”, może być nawet mniejsza niż, gdy nie stosuje się nawożenia azotem [RABIKOWSKA, PISZCZ, 2002].

Na podstawie wyników zawartości fosforu ogółem w glebie i w biomacie koniczyny łąkowej obliczono wartość współczynnika bioakumulacji (BC) tego pierwiastka (rys. 2). Według JASIEWICZ i ANTONKIEWICZA [2000], wartość współczynnika bioakumulacji odzwierciedla zdolność roślin do pobierania składników pokarmowych w środowisku glebowym oraz informuje o przemieszczaniu się pierwiastków z roztworu glebowego do części nadziemnych roślin. Oceniając stopień bioakumulacji, stwierdzono, że koniczyna łąkowa łatwiej pobierała fosfor z obiektów nienawożonych obornikiem oraz nawożonych azotem w dawce N<sub>1</sub> (największe wartości BC).

Wysokie istotne współczynniki korelacji między zawartością fosforu ogółem związków organicznych i fosforu przyswajalnego w glebie i roślinie a aktywnością fosfatyzacji glebowych świadczą o tym, że fosfatazy mogłyby być stosowane jako wskaźnik zawartości fosforu w glebach (tab. 10).

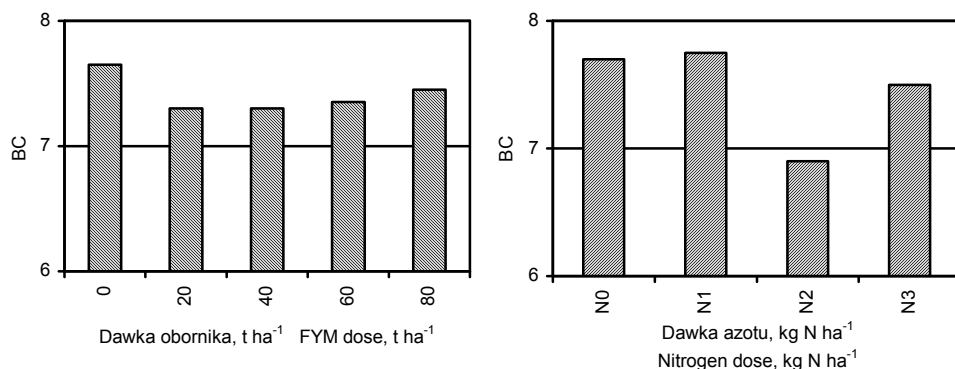
Nie stwierdzono korelacji między zawartością w glebie węgla związków organicznych a zawartością fosforu ogółem i jego frakcji. Podobne rezultaty uzyskały GIBZYŃSKA i LEWANDOWSKA [2004]. Autorki tłumaczą to relatywnie niskim udziałem P<sub>org</sub> w jego ogólnej zawartości w glebach (od 1,3 do 41,5%).



**Tabela 9.** Zawartość fosforu ogółem w koniczynie łąkowej (*Trifolium pratense* L.), g P<sub>og</sub>·kg<sup>-1</sup>  
**Table 9.** The content of total phosphorus in *Trifolium pratense* L., g P<sub>og</sub>·kg<sup>-1</sup>

| Obornik<br>FYM<br>t·ha <sup>-1</sup> | Lipiec July    |       |       |      |      |       | Wrzesień September |                |      | średnio<br>mean |       |   |  |
|--------------------------------------|----------------|-------|-------|------|------|-------|--------------------|----------------|------|-----------------|-------|---|--|
|                                      | N <sub>0</sub> | 1     |       |      | 2    |       |                    | N <sub>0</sub> | 1    |                 | 2     | 3 |  |
|                                      |                | 1     | 2     | 3    | 1    | 2     | 3                  |                |      |                 |       |   |  |
| 0                                    | 2,91           | 3,82  | 4,18  | 3,94 | 3,71 | 2,42  | 2,91               | 3,57           | 3,32 | 3,06            |       |   |  |
| 20                                   | 3,30N          | 3,88N | 4,30N | 4,00 | 3,87 | 2,65N | 2,99N              | 3,80N          | 3,41 | 3,21            |       |   |  |
| 40                                   | 3,64           | 3,93  | 4,33  | 4,14 | 4,01 | 2,69  | 3,10               | 3,97           | 3,45 | 3,30            |       |   |  |
| 60                                   | 3,67           | 3,98  | 4,37  | 4,20 | 4,06 | 2,77  | 3,20               | 4,04           | 3,54 | 3,39            |       |   |  |
| 80                                   | 3,77           | 4,00  | 5,41  | 4,29 | 4,37 | 2,91  | 3,22               | 4,21           | 3,58 | 3,48            |       |   |  |
| Średnio Mean                         | 3,46           | 3,92  | 4,52  | 4,12 | 4,00 | 2,69  | 3,09               | 3,91           | 3,46 | 3,29            |       |   |  |
| NIR <sub>0,05</sub>                  |                |       |       |      |      |       |                    |                |      |                 |       |   |  |
| I czynnik I factor                   |                |       |       |      |      |       |                    |                |      |                 | 0,050 |   |  |
| II czynnik II factor                 |                |       |       |      |      |       |                    |                |      |                 | 0,039 |   |  |
| Interakcja Intraction                |                |       |       |      |      |       |                    |                |      |                 |       |   |  |
| I/II                                 |                |       |       |      |      |       |                    |                |      |                 | 0,095 |   |  |
| II/I                                 |                |       |       |      |      |       |                    |                |      |                 | 0,088 |   |  |

Objaśnienia, jak pod tabelą 2. Explanations as in Tab. 2.



Rys. 2. Średni wskaźnik bioakumulacji fosforu w koniczynie łąkowej (*Trifolium pratense* L.)

Fig. 2. Mean coefficient of phosphorus bioaccumulation in *Trifolium pratense* L.

**Tabela 10.** Współczynniki korelacji między badanymi parametrami

**Table 10.** Correlation coefficients between the studied parameters

| Parametr<br>Parameter   | $P_{ogk}$<br>$P_{totc}$ | AcP   | AIP   | $P_{E-R}$ | $P_{org}$ | $P_{og}$ | $N_{og}$ | $C_{org}$ |
|-------------------------|-------------------------|-------|-------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|
| $C_{org}$               | -0,13                   | -0,02 | -0,24 | 0,20      | 0,14      | -0,24    | 0,46*    | 1         |
| $N_{og}$                | 0,65*                   | 0,65* | 0,61* | 0,88*     | 0,80*     | 0,64*    | 1        |           |
| $P_{og}$                | 0,95*                   | 0,69* | 0,97* | 0,86*     | 0,89*     | 1        |          |           |
| $P_{org}$               | 0,93*                   | 0,77* | 0,90* | 0,96*     | 1         |          |          |           |
| $P_{E-R}$               | 0,87*                   | 0,72* | 0,86* | 1         |           |          |          |           |
| AIP                     | 0,97*                   | 0,71* | 1     |           |           |          |          |           |
| AcP                     | 0,76*                   | 1     |       |           |           |          |          |           |
| $P_{ogk}$<br>$P_{totc}$ | 1                       |       |       |           |           |          |          |           |

Objaśnienia:  $P_{ogk}$  – zawartość fosforu ogółem w koniczynie, AcP – aktywność fosfatazy kwaśnej, AIP – aktywność fosfatazy alkalicznej; zawartość w glebie:  $P_{E-R}$  – fosforu przyswajalnego,  $P_{org}$  – fosforu związków organicznych,  $P_{og}$  – fosforu ogólnego,  $N_{og}$  – azotu ogólnego,  $C_{org}$  – węgla związków organicznych.

Explanations:  $P_{totc}$  – total phosphorus in clover, AcP – the activity of acid phosphates, AIP – the activity of alkaline phosphates;  $P_{E-R}$  – soil content of: available phosphorus,  $P_{org}$  – organic phosphorus,  $P_{og}$  – total phosphorus,  $N_{og}$  – total nitrogen,  $C_{org}$  – organic carbon.

## WNIOSKI

1. Zastosowane w doświadczeniu nawożenie obornikiem oraz azotem w postaci saletry amonowej spowodowało istotne zmiany zawartości fosforu ogółem, fosforu związków organicznych oraz fosforu przyswajalnego w badanej glebie płowej.

2. W glebie nawożonej obornikiem w dawce 80 t·ha<sup>-1</sup> stwierdzono istotnie największą zawartość fosforu ogółem, związków organicznych i przyswajalnego.

3. Azot w postaci saletry amonowej, zastosowany w dawce  $N_3$  ( $90 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ), spowodował istotne zmniejszenie zawartości badanych parametrów gleby.

4. Aplikacja obornika spowodowała istotną stymulację aktywności zarówno fosfatazy alkalicznej, jak i kwaśnej w glebie. Zwiększanie dawki obornika powodowało istotne zwiększenie aktywności badanych enzymów glebowych.

5. Wprowadzenie do gleby azotu w dawce  $90 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  powodowało zmniejszenie aktywności fosfatazy alkalicznej. Jednocześnie azot zastosowany w tej samej dawce stymulował istotnie aktywność fosfatazy kwaśnej w glebie. Jest to związane z tym, że optymalne pH dla badanych fosfataz jest różne.

6. Zaobserwowano duże zróżnicowanie zawartości fosforu ogółem, jak również jego poszczególnych form w zależności od terminu pobierania próbek glebowych, co było związane zarówno z fazą rozwojową koniczyny łąkowej (*Trifolium pratense* L.), jak i poziomem aktywności badanych fosfomonoesteraz.

7. Zróżnicowana zasobność gleby w fosfor w zależności od zastosowanego nawożenia wpływała na zawartość fosforu w koniczynie łąkowej. Stwierdzono istotne zmniejszenie zawartości fosforu w biomasie rośliny testowej nawożonej azotem mineralnym w największej dawce.

8. Otrzymano statystycznie istotne, głównie dodatnie, korelacje między zawartością badanych form fosforu a aktywnością fosfataz glebowych.

### Podziękowania

Autorzy składają podziękowania Panu doc. dr hab. Januszowi Igrasowi, kierownikowi Zakładu Żywienia Roślin i Nawożenia z IUNG w Puławach za możliwość skorzystania z doświadczenia polowego w Grabowie nad Wisłą.

### LITERATURA

- AGBENIN J.O., GOLADI J.T., 1997. Carbon, nitrogen and phosphorus dynamics under continuous cultivation as influenced by farmyard manure and inorganic fertilizers in the savanna of northern Nigeria. *Agricult. Ecosyst. Env.* 63 s. 17–24.
- BORIE F., RUBIO R., 2003. Total and organic phosphorus in Chilean volcanic soils. *Gayana Bot.* 60 (1) s. 69–78.
- BRADY N.C., WEIL R.R., 2002. The nature and properties of soil. 13th ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall ss. 960.
- DICK W.A., CHENG L., WANG P., 2000. Soil acid alkaline phosphatase activity as pH adjustment indicators. *Soil Biol. Biochem.* 32 s. 1915–1919.
- GIBCZYŃSKA M., LEWANDOWSKA L., 2004. Zależność między aktywnością fosfatazy a zawartością różnych frakcji fosforu w glebach różniących się zawartością próchnicy. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* z. 501 s. 127–133.
- JASIEWICZ CZ., ANTONKIEWICZ J., 2000. Ekstrakcja metali ciężkich przez rośliny z gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi. Cz. 2. Konopie siewne. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* z. 472 s. 331–339.

- KANDELER E., TASCHERKO D., SPIEGEL H., 1999. Long-term monitoring of microbial biomass, N-mineralisation and enzyme activities of a chernozem under different tillage management. *Biol. Fertil. Soils* 28 s. 343–351.
- KIELISZEWSKA-ROKICKA B., 2001. Enzymy glebowe i ich znaczenie w badaniach aktywności mikrobiologicznej gleby. W: *Drobnoustroje środowiska glebowego*. Pr. zbior. Red. H. Dahm, A. Pokojska-Burdziej. Toruń: Wydaw. A. Marszałek s. 37–47.
- KOPER J., 1996. Zmiany zawartości fosforu związków organicznych i jego frakcji w glebie wywołane wieloletnim nawożeniem organicznym. *Rozpr. nr 75*. Bydgoszcz: ATR ss. 102.
- KUCHARSKI J., 1997. Relacje między aktywnością enzymów a żyznością gleby. W: *Drobnoustroje w środowisku, występowanie aktywność i znaczenie*. Pr. zbior. Red. W. Barabasz. Kraków: AR s. 327–347.
- LIPIŃSKI W., 2000. Odczyn i zasobność gleb w świetle badań Stacji Chemiczno-Rolniczych. *Fertilizers Fertilization* 3a s. 89–105.
- LITYŃSKI T., JURKOWSKA H., GORLACH E., 1976. *Analiza chemiczno-rolnicza*. Warszawa: PWN ss. 149.
- ŁABUDA S.Z., MAZURKIEWICZ I., MACKOWIAK CZ., 2003. Pierwiastki zmiennowartościowe w glebie pod wpływem nawożenia substancją organiczną i azotem w doświadczeniu polowym. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. z. 493* s. 409–420.
- MEHTA N.C., LEGG J.O., GORING C.A., BLACK C.A., 1954. Determination of organic phosphorus in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 44 s. 443–449.
- MERCIK S., STĘPIEŃ W., LENART S., 2000. Żyzność gleb w trzech systemach nawożenia: mineralnym, organicznym i organiczno-mineralnym w doświadczeniach wieloletnich. Cz. 1. Właściwości fizyczne i fizyko-chemiczne gleb. *Folia Univ. Agricult. Stetin. 211 Agricult.* 84 s. 311–316.
- MYŚKÓW W., STACHYRA A., ZIĘBA S., MASIĄK D., 1996. Aktywność biologiczna gleby jako wskaźnik jej żyzności i urodzajności. *Rocz. Gleb. t. 47 z. 1/2* s. 89–99.
- OEHL F., FROSSARD E., FLIESSBACH A., DUBOIS D., OBERSON A., 2004. Basal organic phosphorus mineralization in soils under different farming systems. *Soil Biol. Biochem.* 36 s. 667–675.
- PN-R-04023. 1996. *Analiza chemiczno-rolnicza gleby – Oznaczenie zawartości przyswajalnego fosforu w glebach mineralnych*. Warszawa: PKN.
- PN-R-04033. 1998. *Gleby i utwory mineralne. Podział na frakcje i grupy granulometryczne*. Warszawa: PKN.
- POTARZYCKI J., 2003. Fosfor w glebie. Pierwiastki w środowisku. *Fosfor. J. Elementol. Suppl.* s. 19–32.
- RABIKOWSKA U., PISZCZ U., 2002. Bilans fosforu w warunkach długoletniego zróżnicowanego nawożenia obornikiem i azotem mineralnym. *Fertilizers Fertilization* 4 (13) s. 149–159.
- SIUDA W., 2001. Enzymatyczna regeneracja ortofosforanu w wodach jezior. *Post. Mikrobiol.* 40 (2) s. 187–217.
- SZARA E., MERCIK S., SOSULSKI T., 2005. Formy fosforu w doświadczeniach wieloletnich. *Fragm. Agron.* 22 1 (85) s. 298–309.
- SZYMAŃSKA M., ŁABĘTOWICZ J., KORC M., 2005. Ocena czynników nawozowych w kształtowaniu form fosforu w glebie w warunkach trwałego doświadczenia nawozowego. Cz. 1. Fosfor przyswajalny. *Fragm. Agron.* 22 1 (85) s. 310–218.
- TABATABAI M.A., BREMNER J.M., 1969. Use of p-nitrophenol phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biol. Bioch.* 1 s. 301–307.
- WITTMANN CH., KÄHKÖNEN M.A., ILVESNIEMI H., KUROLA J., SALKINOJA-SALONEN M.S., 2004. Areal activities and stratification of hydrolytic enzymes involved in the biochemical cycles of carbon, nitrogen, sulphur and phosphorus in podsolized boreal forest soils. *Soil. Biol. Bioch.* 36 s. 425–433.
- VERMA S., SUBEHIA S.K. SHARMA S.P., 2005. Phosphorus fractions in an acid soil continuously fertilized with mineral and organic fertilizers. *Biol. Fertil. Soils* 41 s. 295–300.

*Joanna LEMANOWICZ, Jan KOPER*

**THE CONTENT OF SELECTED PHOSPHORUS FORMS IN SOIL AND RED CLOVER  
AND THE ACTIVITY OF SOIL PHOSPHATASES  
IN RELATION TO DIFFERENTIATED MINERAL AND ORGANIC FERTILISATION**

*Key words: fertilization, FYM, phosphatase, phosphorus, soil*

**S u m m a r y**

The aim of the present research was to evaluate the content of total phosphorus, organic phosphorus and available phosphorus and the activity of alkaline and acid phosphatases in relation to soil fertilisation with manure and mineral nitrogen. The soil for chemical and biochemical analyses was sampled from a long-term field experiment set up in the Agricultural Experimental Station at Grabow-by-the Vistula by the IUNG Plant Nutrition and Fertilization Institute in Puławy. The first experimental factor involved manure fertilisation at the following doses: 0, 20, 40, 60 and 80 t·ha<sup>-1</sup>, while the second one: fertilisation with mineral nitrogen at the following doses: 0, 30, 60 and 90 kg N·ha<sup>-1</sup>. It was demonstrated that fertilisation both with manure and with mineral nitrogen significantly affected the content of total phosphorus and its fractions. Enzymatic activity of the studied soil depended both on the experimental factors and sampling date. The content of total phosphorus in dry matter of red clover was modified by the experimental factors.

---

Recenzenci:

*doc. dr hab. Janusz Igras*

*prof. dr hab. Barbara Sapek*

Praca wpłynęła do Redakcji 27.04.2009 r.