

HANNA SULEWSKA¹, GRAŻYNA SZYMAŃSKA¹, ALICJA NIEWIADOMSKA²,
LESZEK MAJCHRZAK¹, ARTUR SITEK¹, ROMAN ROSZKIEWICZ¹

¹Katedra Agronomii

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

²Katedra Mikrobiologii Ogólnej i Środowiskowej

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

ZMIANY WYBRANYCH WŁAŚCIWOŚCI GLEBY W PIĘCIOLETNIM OKRESIE STOSOWANIA KOMPLEKSU BIOAKTYWNYCH ZWIĄZKÓW MINERALNYCH (MIP)

CHANGES OF SELECTED SOIL PROPERTIES DURING THE FIVE-YEAR
PERIOD OF MINERAL INDUCER PROCESS (MIP) COMPLEX APPLICATION

Streszczenie. Badania prowadzono w latach 2007–2011 na polach Zakładu Doświadczalno-Dydaktycznego Gorzyń, Stacja w Złotnikach, należące do UP w Poznaniu. Każdego roku zakładano pięć jednoczynnikowych doświadczeń, które obejmowały pełen płodozmian (ziemniaki, jęczmień jary, rzepak ozimy, pszenica ozima, kukurydza na ziarno). Badano przemiany zachodzące w glebie pod uprawą wymienionych gatunków przy stosowaniu bioaktywnych związków mineralnych (MIP) i odnoszono je do obiektów kontrolnych nawożonych tradycyjnie fosforem i potasem. Wprowadzenie technologii nawożenia PRP SOL w płodozmianie skutkowało istotnym wzrostem zawartości magnezu w glebie i przyrost ten w porównaniu z kontrolą wyniósł średnio 1,1 mg·kg⁻¹ gleby. W ujęciu syntezy z lat i średnio dla gatunków zawartość przyswajalnego fosforu i potasu w glebie istotnie spadała, a różnice względem kontroli nawożonej P i K wyniosły odpowiednio 2,0 i 2,2 mg·kg⁻¹ gleby. Coroczne stosowanie nawozu PRP SOL wywołało korzystne tendencje wzrostu wartości pH gleby oraz zawartości w niej azotu i próchnicy, jednak różnice względem obiektu kontrolnego były niewielkie i wyniosły: pH – 0,1, N – 44 mg·kg⁻¹ oraz próchnica – 0,05%. Pięcioletnie stosowanie PRP SOL nie zmieniło istotnie zwięzłości gleby mierzonej na głębokościach 10, 20 i 30 cm i w porównaniu z kontrolą obserwowano zwykle tendencję do jej zwiększania.

Słowa kluczowe: nawóz PRP SOL, zwięzłość gleby, próchnica, fosfor, potas, magnez, azot, pH gleby

Wstęp

W aktualnych dążeniach Unii Europejskiej dotyczących działalności w rolnictwie priorytetem stała się ochrona środowiska. Skutkuje to wprowadzaniem uregulowań prawnych zmuszających producentów do dbałości o stan gleby, wód gruntowych i powierzchniowych, powietrza, a także krajobrazu. Wprowadzane zmiany, służące wspólnemu dobru, wymagają stałego pogłębiania wiedzy rolników.

Obok wprowadzania środków i technologii bezpiecznych dla środowiska od lat poszukuje się alternatywnych metod pokrycia zapotrzebowania roślin na składniki pokarmowe, które pozwalają na zachowanie żyzności i urodzajności gleb również w warunkach ograniczonego stosowania nawozów mineralnych. Jedną z takich propozycji jest technologia nawożenia PRP SOL, która polega na stosowaniu kompleksu bioaktywnych związków mineralnych MIP (ang. *Mineral Inducer Process*). Nawóz ten został dopuszczony do stosowania w różnych systemach rolnictwa, w tym ekologicznego, i można go stosować pod wszystkie rośliny uprawne, w corocznych dawkach 150–300 kg·ha⁻¹. PRP SOL jest mieszaniną granulowanych minerałów, której podstawą są środki wapnujące, zawierająca 32% CaO, 8% MgO oraz 3,5% Na, a także 3–5% prefiksów (48 pierwiastków śladowych) (Krzywy, 2008).

Stosowanie kompleksu bioaktywnych związków mineralnych ma na celu poprawę właściwości gleby poprzez przemianę istniejących składników i udostępnienie ich roślinom. Gleby z reguły są zasobne w wiele składników pokarmowych, w tym fosfor i potas. W zależności od rodzaju gleby ilość fosforu mieści się w granicach od 300 do 6000 kg·ha⁻¹. Większość fosforu glebowego występuje w niedostępnych dla roślin formach: FePO₄ i AlPO₄. Z kolei zawartość potasu wynosi od 300 do 60 000 kg·ha⁻¹, jednak ponad 90% tego pierwiastka w glebie znajduje się w formie niedostępnej dla roślin uprawnych, blokowanej w minerałach ilastych (Chodań i in., 1996). Producent, firma Procedes Roland Pigeon z Francji, podaje, że PRP SOL polepsza urodzajność gleb, a nawożenie nim pozwala na odblokowanie i udostępnienie roślinom fosforu oraz potasu (Hüttl i Fischer, 2004; Lipski, 2008).

W przedstawionej technologii rezygnuje się z nawożenia fosforem i potasem, stąd rodzi się pytanie: jakie zmiany zajądą w glebie w trakcie wieloletniego jej stosowania? Celem badań było ustalenie zmian zasobności gleby w formy ogólne fosforu, potasu, magnezu i azotu, które zachodziły w trakcie pięcioletniej rotacji roślin na polach nawożonych PRP SOL.

Material i metody

Badania prowadzono w latach 2007–2011 na polach Zakładu Doświadczalno-Dydaktycznego Gorzyń, Stacja w Złotnikach, należącego do UP w Poznaniu. Współrzędne GPS doświadczenia w Stacji Złotniki są następujące: 52°29' N, 16°57' E. Każdego roku metodą losowanych bloków zakładano pięć jednoczynnikowych doświadczeń, w czterech powtórzeniach, które obejmowały pełen płodozmian (ziemiaki, jęczmień jary, rzepak ozimy, pszenica ozima, kukurydza na ziarno). Badano przemiany zachodzące w glebie pod uprawą wymienionych gatunków przy stosowaniu nawożenia PRP

SOL i odnoszono je do obiektów kontrolnych nawożonych tradycyjnie. Dawki nawozów wnoszone co roku zamieszczono w tabeli 1. Wielkość poletek do zbioru wynosiła 64 m². Wszystkie pozostałe zabiegi agrotechniczne wykonano zgodnie z zasadami poprawnej agrotechniki badanych gatunków. Na wszystkich poletkach doświadczalnych, poza ziemniakami, w fazie kwitnienia uprawianych gatunków mierzono zwięzłość gleby ręcznym penetrometrem Eijkelkamp, a od 2010 roku – penetrometrem Eijkelkamp Penetrologger SN.

Tabela 1. Dawki nawozu/składników corocznie wnoszonych pod uprawiane gatunki (kg·ha⁻¹)
Table 1. Fertilizer/components doses annually applied in cultivated species (kg·ha⁻¹)

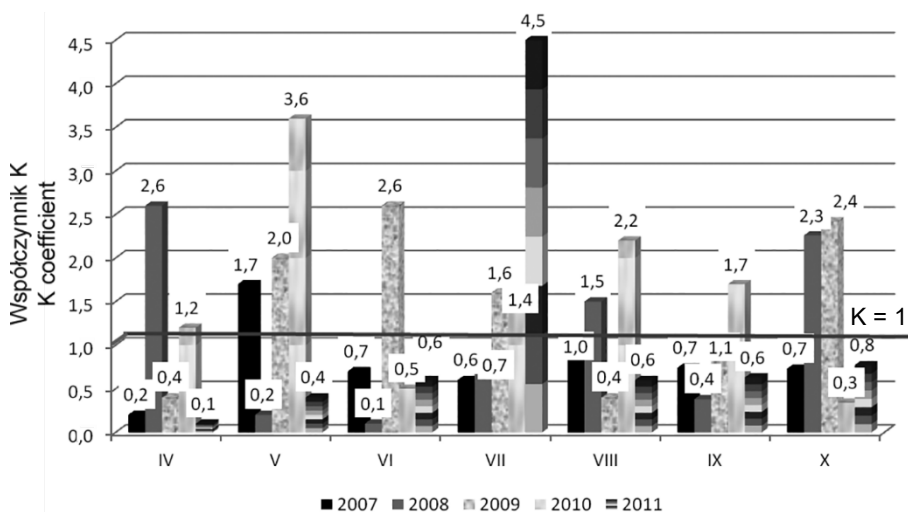
Gatunek Species	Obiekt Object	PRP SOL	P	K	N
Ziemniaki Potatoes	Kontrola – Control	0	80	120	130
	PRP SOL	260	0	0	130
Jęczmień jary Spring barley	Kontrola – Control	0	80	120	40
	PRP SOL	220	0	0	40
Rzepak ozimy Winter rape	Kontrola – Control	0	80	120	120
	PRP SOL	220	0	0	120
Pszenica ozima Winter wheat	Kontrola – Control	0	80	120	100
	PRP SOL	220	0	0	100
Kukurydza Maize	Kontrola – Control	0	80	120	160
	PRP SOL	220	0	0	160

P – superfosfat potrójny, K – sól potasowa 60-procentowa, N – saletra amonowa.
P – triple superphosphate, K – potassium salt 60%, N – ammonium nitrate.

Co roku na każdym poletku pobierano próbki gleby z warstwy 0-30 cm, które poddawano szczegółowym analizom. Zawartość fosforu ogólnego oznaczano w wyciągu sporządzonym według Egnera-Riehma metodą spektrofotometryczną (wg PN-R-04023:1996, 1996), zawartość przyswajalnego potasu oznaczano w wyciągu według Egnera-Riehma metodą fotometrii płomieniowej (wg PN-R-04022:1996, 1996), zawartość przyswajalnego magnezu oznaczano w wyciągu 0,0125 M CaCl₂ metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej (wg PN-R-04020:1994, 1994), pH gleby oznaczano w 1 M KCl (wg PN-ISO 10390:1997, 1997), zawartość azotu oznaczano metodą Kiejdahla po uprzedniej mineralizacji na mokro. Zawartość próchnicy w glebie wyliczono na podstawie oznaczeń ogólnej zawartości węgla wykonanych metodą spalania kwasem siarkowym w obecności dwuchromianu potasu, mnożąc jego procentową zawartość przez 1,724.

Wartości uzyskane dla pojedynczych gatunków (5) i powtórzeń (4) uśredniono w poszczególnych latach, zatem na średnioroczny wynik zamieszczony w prezentowanych tabelach składa się 20 analiz.

W latach prowadzenia badań, w okresie wegetacji roślin, wystąpiły zróżnicowane warunki pogodowe. Średnia temperatura od kwietnia do końca października była najniższa (14,9°C) w 2010, a najwyższa (16,3°C) w 2007 i 2009 roku. Z kolei suma opadów w okresie wegetacji wynosiła od 315,6 mm w 2007 do 508,7 mm w 2010 roku. Średnia temperatura z wielolecia dla stacji w tym okresie wynosiła 14,1°C, a suma opadów – 349,5 mm. W latach prowadzenia badań szczególnie suche okazały się miesiące: kwiecień 2007 roku, maj i czerwiec 2008 roku, kwiecień 2009 roku oraz czerwiec 2010 roku, a także kwiecień, maj i czerwiec 2011 roku. Zaopatrzenie roślin w wodę w poszczególnych miesiącach lat badań przedstawiono w formie współczynników K Selianinowa (rys. 1).



Rys. 1. Współczynnik hydrotermiczny K zaopatrzenia roślin w wodę według Selianinowa w latach 2007–2011; $K > 1,5$ – uwilgotnienie dla wszystkich roślin nadmierne, K od 1,1 do 1,5 – uwilgotnienie dostateczne, K od 0,5 do 1,0 – uwilgotnienie niedostateczne, $K < 0,5$ – uwilgotnienie mniejsze od wymagań większości roślin (susza)

Fig. 1. Hydrothermal coefficient K of plants water supply according to Selyaninov in 2007–2011; $K > 1.5$ – moisture for all plants excessively wet, K from 1.1 to 1.5 – sufficient of moisture, K from 0.5 to 1.0 – insufficient of moisture, $K < 0.5$ – moisture lower than the requirement of the most crops (drought)

Pole wykorzystane do doświadczeń jest położone na wysoczyźnie morenowej zbudowanej w strefie przypowierzchniowej z piasków i glin zwałowych. W wierzchniej warstwie gleby występują piaski, natomiast podłoże na głębokości 50–180 cm charakteryzuje duża mozaika glin i piasków o zróżnicowanym składzie mechanicznym. Są to gleby dobrze przepuszczalne, a ich uwilgotnienie zależy od ilości i rozkładu opadów, stąd bywają okresowo zbyt suche. Glebę pola doświadczalnego zaliczono do klasy brunatnoziemnych typu płowego o dobrej kulturze. Według przydatności rolniczej należy ona do kompleksu 4. (żytni bardzo dobry), a w kwalifikacji bonitacyjnej – do klasy IVa (Marcinek i in., 2011).

Wyniki badań poddano ocenie statystycznej za pomocą programu Statistica 10, wykorzystując analizę wariancji. W przypadku stwierdzenia istotnego wpływu stosowanych technologii nawożenia na któryś z ocenianych parametrów wykonywano szczegółowy test Tukeya na poziomie ufności $p = 0,05$.

Wyniki i dyskusja

Nieliczne doniesienia literaturowe wskazują, że zawartość składników wnoszonych z nawozem PRP SOL przyczynia się do poprawy właściwości fizycznych gleby, powodując konwersję trudno przyswajalnych form fosforu, potasu oraz magnezu na związki, które mogą być dostępne dla roślin. Stosowanie nawozu PRP SOL zwiększa również aktywność enzymatyczną gleby i wzbogaca ją w mikroelementy niezbędne dla rozwoju roślin uprawnych (Krzywy-Gawrońska, 2009).

Analizy zebranych wyników badań własnych wykazały, że przemiany zachodzące w glebie zależały bardziej od przebiegu warunków pogodowych, w tym głównie wilgotnościowych, niż od gatunku uprawianej rośliny.

Badania Lipińskiego (2005) wskazują, że w Wielkopolsce gleby o bardzo małej i małej zawartości magnezu stanowią powyżej 40% użytków rolnych. W badaniach własnych wykazano, że zawartość magnezu w glebie zmniejszyła się na obiektach kontrolnych w trakcie trwania doświadczenia z $68,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby (w 2007 r.) do $47,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby (w 2010 i 2011 r.), a na obiektach z PRP SOL – z $70,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby (w 2007 r.) do $47,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby (w 2009 r.), po czym nieznacznie zaczęła wzrastać i w 2011 roku wyniosła $51,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby (tab. 2). W czterech spośród pięciu lat badań koncentracja magnezu na poletkach nawożonych PRP SOL była większa niż na poletkach kontrolnych. W syntezie z lat udowodniono istotnie większą zawartość magnezu przyswajalnego w glebie nawożonej w technologii PRP SOL niż po stosowaniu nawożenia tradycyjnego i różnica ta wyniosła $1,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Krzywy-Gawrońska (2009)

Tabela 2. Zawartość przyswajalnego magnezu ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby)

Table 2. Available magnesium content ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ of soil)

Kombinacja Treatment	Lata – Years					
	2007	2008	2009	2010	2011	średnio average
Kontrola – Control	68,5a	65,5a	46,4a	47,3b	47,3b	55,0b
PRP SOL	70,4a	61,2b	47,4a	49,8a	51,6a	56,1a
p	0,075ns	0,010*	0,583ns	0,007*	0,005*	0,008*

* – różnice istotne statystycznie ($p < 0,05$), ns – różnice nieistotne statystycznie ($p > 0,05$), wartości średnie nieróżniące się istotnie statystycznie oznaczono tą samą literą (grupy jednorodnie według testu Tukeya).

* – statistically significant differences ($p < 0.05$), ns – statistically not significant differences ($p > 0.05$), mean values that do not differ statistically significantly have the same letter (homogeneous groups according to Tukey's test).

w trzyletnich badaniach wykazała, że wprowadzenie PRP SOL nie miało istotnego wpływu na zawartość magnezu w glebie, natomiast miało wpływ na wzrost zawartości formy przyswajalnej tego pierwiastka – o 4,23%.

Rośliny pobierają fosfor z gleby głównie w formie anionów. W przeważającej większości gleb fosfor występuje w związkach trudno dostępnych dla roślin (Korzeniowska i Stanisławska-Głubiak, 2011), dlatego głównym wyzwaniem stawianym rolnictwu w wielu krajach jest poznawanie wzajemnych zależności między formami ogólnymi i przyswajalnymi fosforu w glebie a rośliną. Źródła literaturowe wskazują, że przemiany związków fosforu zależą od takich właściwości gleby, jak: skład mineralogiczny, odczyn, zawartość materii organicznej, poziom nawożenia mineralnego oraz rodzaj aplikowanych nawozów (Jiao i in., 2007). Zawartość przyswajalnego fosforu w glebie w trakcie prowadzenia doświadczeń własnych zmniejszyła się na obiektach kontrolnych z 70,3 mg·kg⁻¹ gleby do 66,6 mg·kg⁻¹ gleby, a na obiektach nawożonych PRP SOL – z 69,4 do 66,1 mg·kg⁻¹ gleby (tab. 3). W każdym roku zawartość przyswajalnego fosforu w glebie na kontroli była większa niż na poletkach z PRP SOL, a istotność tych różnic potwierdzono statystycznie w latach 2008, 2009 i 2010 oraz w syntezie z całego okresu badań. Odmiennie wyniki uzyskała Krzywy-Gawrońska (2009), która po trzech latach stosowania PRP SOL nie stwierdziła istotnych różnic w zawartości fosforu w porównaniu z obiektem kontrolnym, nawożonym standardowo. Autorka wykazała, że stosowanie tego nawozu wpłynęło na wzrost koncentracji w glebie form przyswajalnych fosforu, potasu i siarki. Największe efekty działania w glebie nawozu PRP SOL w cytowanych badaniach dotyczyły przyswajalnych form potasu i fosforu. Wynika to z tego, że nawozy wapniowe przyspieszają rozkład substancji organicznej oraz przejście połączeń fosforowych w związki łatwo przyswajalne przez rośliny. Następuje także zmniejszenie absorpcji jonów kwasu fosforowego przez glinokrzemiany oraz stymulacja rozwoju bakterii wydzielających enzymy potrzebne do mineralizacji substancji organicznych i połączeń fosforowych (Chodań i in., 1996). W doświadczeniach własnych dawki wapnia wnoszone w PRP SOL były małe, stąd tej prawidłowości nie udało się potwierdzić.

Tabela 3. Zawartość przyswajalnego fosforu (mg·kg⁻¹ gleby)
Table 3. Available phosphorus content (mg·kg⁻¹ of soil)

Kombinacja Treatment	Lata – Years					
	2007	2008	2009	2010	2011	średnio average
Kontrola – Control	70,3a	72,4a	65,0a	61,1a	66,6a	67,2a
PRP SOL	69,4a	70,7b	62,0b	57,6b	66,1a	65,2b
p	0,972ns	0,026*	0,037*	0,023*	0,068ns	0,016*

* – różnice istotne statystycznie ($p < 0,05$), ns – różnice nieistotne statystycznie ($p > 0,05$), wartości średnie nieróżniące się istotnie statystycznie oznaczono tą samą literą (grupy jednorodne według testu Tukeya).

* – statistically significant differences ($p < 0.05$), ns – statistically not significant differences ($p > 0.05$), mean values that do not differ statistically significantly have the same letter (homogeneous groups according to Tukey's test).

Ciekawe rezultaty dotyczące zrównoważonej gospodarki fosforem w glebie i roślinie uzyskała Gaj (2008). Brak nawożenia fosforem w okresie czterech lat nie spowodował spadku stężenia tego składnika. Jednak w badaniach własnych na obiektach, gdzie stosowano PRP SOL, rezygnacja z nawożenia fosforem wiązała się ze zmniejszeniem zawartości fosforu w glebie.

Zróżnicowanie ilości pobranego fosforu wynika nie tylko z różnych potrzeb pokarmowych roślin, lecz także z wykształconego przez nie systemu korzeniowego. Fosfor należy do mało mobilnych składników gleby, dlatego struktura systemu korzeniowego roślin odgrywa szczególną rolę w jego pobieraniu. Również wydzieliny korzeniowe stanowią istotny czynnik wpływający na pobranie i wykorzystanie fosforu, ponieważ wpływają one na ryzosferę poprzez wydzielanie wielu związków, które zwiększają rozpuszczalność fosforu, a co za tym idzie zwiększają jego dostępność dla roślin (Gaj, 2008, za: Bekele i in., 1993 oraz za: Kirkby i Romheld, 2006).

Zawartość przyswajalnych form potasu w okresie prowadzenia doświadczeń własnych zwiększyła się w glebie obiektów kontrolnych nawożonych PK z 69,7 mg·kg⁻¹ gleby w 2007 roku do 75,5 mg·kg⁻¹ gleby w 2011 roku, z kolei na obiektach nawożonych PRP SOL – z 71,4 do 74,8 mg·kg⁻¹ gleby (tab. 4). Średnia zawartość przyswajalnego potasu po zastosowaniu PRP SOL, poza pierwszym rokiem badań, była mniejsza niż na obiektach kontrolnych. Wykazane różnice potwierdzono statystycznie w 2010 roku oraz w syntezie z lat.

Tabela 4. Zawartość przyswajalnego potasu (mg·kg⁻¹ gleby)

Table 4. Available potassium content (mg·kg⁻¹ of soil)

Kombinacja Treatment	Lata – Years					
	2007	2008	2009	2010	2011	średnio average
Kontrola – Control	69,7a	76,4a	74,7a	83,8a	75,5a	76,4a
PRP SOL	71,4a	73,9a	73,9a	77,2b	74,8a	74,2b
p	0,072ns	0,067ns	0,098ns	0,027*	0,064ns	0,042*

* – różnice istotne statystycznie ($p < 0,05$), ns – różnice nieistotne statystycznie ($p > 0,05$), wartości średnie nieróżniące się istotnie statystycznie oznaczono tą samą literą (grupy jednorodne według testu Tukeya).

* – statistically significant differences ($p < 0.05$), ns – statistically not significant differences ($p > 0.05$), mean values that do not differ statistically significantly have the same letter (homogeneous groups according to Tukey's test).

W dostępnej literaturze brak innych wyników badań dotyczących zmian zawartości Mg, P i K na skutek stosowania PRP SOL.

Odczyn gleby na obiektach kontrolnych oraz nawożonych PRP SOL malał od 2007 do jesieni 2009 roku, po czym nastąpił systematyczny wzrost jego wartości (tab. 5). We wszystkich latach badań odczyn gleby przy stosowaniu nawożenia PRP SOL miał nieco większą wartość niż na kontroli i w 2011 roku oznaczono pH na poziomie 6,0. Różnice te miały charakter tendencji, gdyż nie potwierdzono ich statystycznie. Jest to

Tabela 5. Odczyn gleby (pH w 1 M KCl)
Table 5. pH of the soil (pH in 1 M KCl)

Kombinacja Treatment	Lata – Years					
	2007	2008	2009	2010	2011	średnio average
Kontrola – Control	5,4a	5,2a	5,3a	5,5a	5,9a	5,5a
PRP SOL	5,5a	5,2a	5,4a	5,6a	6,0a	5,5a
p	0,124ns	0,215ns	0,098ns	0,069ns	0,167ns	0,089ns

ns – różnice nieistotne statystycznie ($p > 0,05$), wartości średnie nie różniące się istotnie statystycznie oznaczono tą samą literą (grupy jednorodne według testu Tukeya).

ns – statistically not significant differences ($p > 0.05$), mean values that do not differ statistically significantly have the same letter (homogeneous groups according to Tukey's test).

zrozumiałe, ponieważ dawki CaO wnoszonego corocznie w nawozie PRP SOL były małe i wynosiły od $70,4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (zboża i rzepak) do $83,2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (ziemiaki). Podobnie badania wykonane przez Krzywy-Gawrońską (2009) wykazały, że wprowadzenie PRP SOL nie zmieniło odczynu gleby, a różnice mieściły się w granicach zaledwie 0,0–0,1 jednostki. Holford (1997) podaje, że w glebach o pH poniżej 7,0 fosfor pochodzący z nawozów w pierwszym roku wzbogaca głównie frakcje związane z żelazem i glinem, a w następnych latach tworzy połączenia z wapniem. Należy również zwrócić uwagę na to, że wapń wymienny może odgrywać istotną rolę w kontrolowaniu stanu odżywienia roślin fosforem w ciągu całego sezonu wegetacyjnego. W warunkach gleb kwaśnych następuje redukcja systemu korzeniowego, co jednocześnie prowadzi do zahamowania wzrostu całej rośliny. Ponadto kwaśny odczyn gleby stwarza warunki do uwsteczniania fosforu w glebie oraz zmienia dostępność innych składników pokarmowych. Zdaniem Chodania i in. (1996) stosowanie nawozów wapniowych powoduje uruchomienie występujących w nieorganicznej części sorpcyjnej kompleksu glebowego wymiennych jonów potasu.

Zawartość azotu ogólnego w glebie, oceniana jesienią, na obiektach kontrolnych malała wraz z upływem lat prowadzenia badań. Inną tendencję wykazano na obiektach nawożonych PRP SOL, na których zawartość tego pierwiastka zmieniała się w poszczególnych latach badań (tab. 6). Nawożenie PRP SOL zwiększało koncentrację azotu w glebie (poza 2008 r.), a różnice względem kontroli udowodniono w latach 2009 i 2011. Nieukierunkowane zmiany zawartości azotu pod uprawą różnych gatunków roślin i w kolejnych latach zbieżne są ze znaną labilnością koncentracji tego składnika w glebie.

Podobnie jak w odniesieniu do wcześniej omawianych składników, również w odniesieniu do azotu ogólnego literatura poświęcona wpływowi stosowania nawozu PRP SOL na jego zawartość w glebie jest bardzo uboga.

W skład fazy stałej gleby, obok części mineralnej, wchodzi niewielka ilość materii organicznej, której blisko 90% stanowi próchnica. Jak podają Mocek i Owczarzak (2010), gleby Polski są ubogie w próchnicę, a średnia jej zawartość wynosi zaledwie 2,2%. W naszym kraju dominują więc gleby o małej i średniej zawartości próchnicy,

Sulewska, H., Szymańska, G., Niewiadomska, A., Majchrzak, L., Sitek, A., Roszkiewicz, R. (2016). Zmiany wybranych właściwości gleby w pięcioletnim okresie stosowania kompleksu bioaktywnych związków mineralnych (MIP). *Nauka Przyr. Technol.*, 10, 3, #27. DOI: 10.17306/J.NPT.2016.3.27

Tabela 6. Zawartość azotu ogólnego ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby)
Table 6. Total nitrogen content ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ of soil)

Kombinacja Treatment	Lata – Years					
	2007	2008	2009	2010	2011	średnio average
Kontrola – Control	820a	820a	773b	742a	662b	763a
PRP SOL	847a	816a	830a	759a	783a	807a
p	0,875ns	0,137ns	0,010*	0,248ns	0,035*	0,364ns

* – różnice istotne statystycznie ($p < 0,05$), ns – różnice nieistotne statystycznie ($p > 0,05$), wartości średnie nieróżniące się istotnie statystycznie oznaczono tą samą literą (grupy jednorodne według testu Tukeya).

* – statistically significant differences ($p < 0.05$), ns – statistically not significant differences ($p > 0.05$), mean values that do not differ statistically significantly have the same letter (homogeneous groups according to Tukey's test).

a gleb o dużej jej zawartości jest zaledwie około 6%. Pod tym względem glebę pola doświadczalnego z badań własnych zaliczono do słabo próchnicznych. Wykonane oznaczenia wskazują na zmniejszenie się zawartości próchnicy w glebie w miarę kontynuowania doświadczeń na tych samych stanowiskach (tab. 7). Średnia początkowa zawartość próchnicy wynosiła około 1,66–1,71%, a po trzech latach wartość ta zmniejszyła się do 1,1%, po czym w 2011 roku nieznacznie wzrosła. Stosowanie PRP SOL wywierało znikomy wpływ na zawartość próchnicy w glebie i różnica w stosunku do kontroli wynosiła 0,05%. Podobne rezultaty uzyskała Krzywy-Gawrońska (2009), która stwierdziła, że stosowanie PRP SOL nie miało istotnego wpływu na zwiększenie ilości substancji organicznej w glebie. Odmienne wyniki badań uzyskali Siebielec i Stuczyński (2004), którzy podają, że w porównaniu z polami nawożonymi tradycyjnie zawartość substancji organicznej na polach nawożonych PRP SOL zwiększyła się średnio o 1%. Różnice w zawartości próchnicy w glebie, jakie stwierdzono pomiędzy wynikami

Tabela 7. Zawartość próchnicy (%)
Table 7. Humus content (%)

Kombinacja Treatment	Lata – Years					
	2007	2008	2009	2010	2011	średnio average
Kontrola – Control	1,66a	1,37a	1,13a	1,12a	1,14a	1,25a
PRP SOL	1,71a	1,42a	1,14a	1,11a	1,18a	1,30a
p	0,241ns	0,157ns	0,068ns	0,261ns	0,097ns	0,263ns

ns – różnice nieistotne statystycznie ($p > 0,05$), wartości średnie nieróżniące się istotnie statystycznie oznaczono tą samą literą (grupy jednorodne według testu Tukeya).

ns – statistically not significant differences ($p > 0.05$), mean values that do not differ statistically significantly have the same letter (homogeneous groups according to Tukey's test).

badan własnych a wynikami badań cytowanych wcześniej autorów, mogą być spowodowane odmiennością warunków klimatycznych panujących w Polsce i we Francji. Prawdopodobnie w cieplejszym klimacie Francji flora i fauna glebowa szybciej się rozwijały po zastosowaniu PRP SOL niż w naszych warunkach klimatycznych. Według opinii producenta oraz badań wykonanych przez Krzywego (2008) wprowadzenie do gleby PRP SOL stymuluje rozwój drobnoustrojów i fauny glebowej, a jak powszechnie wiadomo od aktywności drobnoustrojów glebowych zależy w dużym stopniu uwalnianie składników mineralnych przyswajalnych dla roślin (Niewiadomska i in., 2010). Korzystne efekty stosowania PRP SOL są związane z pozytywnym działaniem związków mineralnych MIP na rozkład substancji organicznej oraz przejściem składników pokarmowych z form trudno przyswajalnych przez rośliny w formy łatwe do pobrania. Bielińska i in. (2013) wykazali również stymulujące działanie związków zawartych w PRP SOL na aktywność dehydrogenazy, ureazy oraz proteazy, a niekorzystne w odniesieniu do aktywności fosfatazy. Ponadto Sinsabaugh i in. (2002) podają, że aktywność enzymów jest związana nie tylko z gatunkiem uprawianej rośliny i jej fazą rozwojową, lecz także z ilością resztek roślinnych, głębokością systemu korzeniowego i temperaturą. Z kolei Niewiadomska i in. (2010), badając aktywność mikrobiologiczną gleby pod uprawą wybranych roślin rolniczych, wykazali stymulujące działanie substancji czynnej nawozu PRP SOL na aktywność mikrobiologiczną gleby pod rzepakiem, a ograniczające pod jęczmieniem jarym.

Pomiary oporu gleby służą do oceny warunków, w jakich przebiega rozwój systemu korzeniowego roślin, mogą być też wskazaniem konieczności wykonania spulchniających zabiegów uprawowych. Według Veenstry i in. (2006) rozluźnienie gleby sprzyja pobieraniu wody i składników pokarmowych przez rośliny. Zgodne jest to z opinią Włodka i in. (2012), którzy stwierdzają, że zwiększanie gęstości gleby ogranicza przemieszczanie się wody oraz pogarsza dystrybucję wilgoci w warstwie ornej.

W badaniach własnych zwięzłość gleby po pięcioletnim okresie stosowania PRP SOL była zróżnicowana w porównaniu z obiektem kontrolnym (tab. 8–10), jednak w żadnej z badanych warstw nie potwierdzono statystycznie różnic w zwięzłości gleby

Tabela 8. Zwięzłość gleby na głębokości 10 cm (MPa)

Table 8. Soil compaction at a depth of 10 cm (MPa)

Kombinacja Treatment	Lata – Years					
	2007	2008	2009	2010	2011	średnio average
Kontrola – Control	0,126a	0,123a	0,258a	0,962a	2,052a	0,704a
PRP SOL	0,072b	0,093b	0,268a	1,005a	2,292a	0,746a
p	0,016*	0,037*	0,492ns	0,682ns	0,059ns	0,062ns

* – różnice istotne statystycznie ($p < 0,05$), ns – różnice nieistotne statystycznie ($p > 0,05$), wartości średnie nieróżniące się istotnie statystycznie oznaczono tą samą literą (grupy jednorodnie według testu Tukeya).

* – statistically significant differences ($p < 0.05$), ns – statistically not significant differences ($p > 0.05$), mean values that do not differ statistically significantly have the same letter (homogeneous groups according to Tukey's test).

Sulewska, H., Szymańska, G., Niewiadomska, A., Majchrzak, L., Sitek, A., Roszkiewicz, R. (2016). Zmiany wybranych właściwości gleby w pięcioletnim okresie stosowania kompleksu bioaktywnych związków mineralnych (MIP). *Nauka Przyr. Technol.*, 10, 3, #27. DOI: 10.17306/J.NPT.2016.3.27

Tabela 9. Zwięzłość gleby na głębokości 20 cm (MPa)
Table 9. Soil compaction at a depth of 20 cm (MPa)

Kombinacja Treatment	Lata – Years					
	2007	2008	2009	2010	2011	średnio average
Kontrola – Control	0,161a	0,133a	0,325a	1,180a	2,695a	0,899a
PRP SOL	0,376a	0,123a	0,335a	1,068a	2,860a	0,952a
p	0,197ns	0,082ns	0,096ns	0,135ns	0,268ns	0,032ns

ns – różnice nieistotne statystycznie ($p > 0,05$), wartości średnie nieróżniące się istotnie statystycznie oznaczono tą samą literą (grupy jednorodne według testu Tukeya).

ns – statistically not significant differences ($p > 0.05$), mean values that do not differ statistically significantly have the same letter (homogeneous groups according to Tukey's test).

Tabela 10. Zwięzłość gleby na głębokości 30 cm (MPa)
Table 10. Soil compaction at a depth of 30 cm (MPa)

Kombinacja Treatment	Lata – Years					
	2007	2008	2009	2010	2011	średnio average
Kontrola – Control	0,269a	0,207a	0,395a	1,868a	3,872a	1,322a
PRP SOL	0,275a	0,233a	0,418a	2,012a	3,835a	1,355a
p	0,064ns	0,136ns	0,051ns	0,102ns	0,110ns	0,151ns

ns – różnice nieistotne statystycznie ($p > 0,05$), wartości średnie nieróżniące się istotnie statystycznie oznaczono tą samą literą (grupy jednorodne według testu Tukeya).

ns – statistically not significant differences ($p > 0.05$), mean values that do not differ statistically significantly have the same letter (homogeneous groups according to Tukey's test).

między badanymi obiektami. W dwóch pierwszych latach badań tylko dla warstwy 0–10 cm stwierdzono tendencję do mniejszej zwięzłości gleby po stosowaniu PRP SOL (tab. 8). Uzyskane z tego okresu wyniki potwierdzają informacje podawane przez producenta oraz wieloletnie badania Siebielca i Stuczyńskiego (2004). Należy jednak zauważyć, że – jak podają Sulewska i in. (2013b) – w dawce 220 kg PRP SOL na 1 ha wnoszone do gleby tylko 70,4 kg CaO, co mogło wywołać zmiany zwięzłości gleby tylko w jej powierzchniowej warstwie. Również wcześniejsze badania Sulewskiej i in. (2011) wykazały brak pozytywnej reakcji – brak zmniejszenia zwięzłości gleby pod uprawą pszenicy i jęczmienia jarego po wprowadzeniu do gleby PRP SOL. Także w badaniach nad kukurydzą, pomimo oczekiwań, nie odnotowano zmniejszenia zwięzłości gleby (Sulewska i in., 2013a). Należy jednak zaznaczyć, że gleba, na której prowadzono te doświadczenia, była uboga w materię organiczną, co mogło ograniczać pozytywny wpływ stosowania tego nawozu.

Wnioski

1. Wprowadzenie technologii nawożenia PRP SOL w pięciopolowym płodozmianie (ziemniaki, jęczmień jary, rzepak ozimy, pszenica ozima, kukurydza) skutkowało istotnym wzrostem zawartości przyswajalnych form magnezu w glebie, a przyrost ten w porównaniu z kontrolą wyniósł średnio $1,1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby.

2. W ujęciu syntezy z lat i średnio dla gatunków zawartość przyswajalnych form fosforu i potasu w glebie istotnie spadała, a różnice względem obiektu kontrolnego nawożonego P i K wyniosły odpowiednio 2,0 i $2,2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby.

3. Coroczne stosowanie nawozu PRP SOL wywołało korzystne tendencje wzrostu wartości pH gleby oraz zawartości w niej azotu ogólnego i próchnicy, jednak różnice względem obiektu kontrolnego były niewielkie i wyniosły: pH – 0,1, N – $44 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby oraz próchnica – 0,05%.

4. Stosowanie PRP SOL nie zmieniło związku gleby mierzonej na głębokościach 10, 20 oraz 30 cm i w porównaniu z kontrolą zwykle obserwowano tendencję do jej zwiększania.

5. Technologia PRP SOL w kilkuletnich zmianowaniach roślin może być stosowana zamiennie z nawożeniem konwencjonalnym P i K, a o jej wyborze powinny decydować względy ekonomiczne.

Literatura

- Bielińska, E. J., Futa, B., Bik-Mołodzińska, M., Szewczuk, C., Sugier, D. (2013). Wpływ preparatów użyźniających na aktywność enzymatyczną gleb. *J. Res. Appl. Agric. Eng.*, 58, 3, 15–19.
- Chodań, J., Zawartka, L., Grzesiuk, W., Czapla, J., Koc, J. (1996). *Chemia rolna z elementami gleboznawstwa*. Skryp. ART Olszt. Zesz. Eduk., 26.
- Gaj, R. (2008). *Zrównoważona gospodarka fosforem w glebie i roślinie w warunkach intensywnej produkcji roślinnej*. Nawozy Nawoż., 33.
- Holford, I. C. R. (1997). Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants. *Aust. J. Soil Res.*, 35, 227–239.
- Hüttl, R. F., Fischer, T. H. (2004). Expert opinion concerning the action of the product PRP Boden (substratum PRP) on the field crop. Cottbus: Brandenburg Technical University.
- Jiao, Y., Whalen, J. K., Hendershot, W. H. (2007). Phosphate sorption and release in a sandy-loam soil as influenced by fertilizer sources. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 71, 1, 118–124.
- Korzeniowska, J., Stanisławska-Głubiak, E. (2011). Nowe trendy w wykorzystaniu fosforytów w rolnictwie. *Post. Nauk Roln.*, 347, 63, 3, 57–66.
- Krzywy, E. (2008). Ocena wpływu substancji czynnej PRP na kształtowanie żyzności i urodzajności gleb. W: *Dla rolnictwa czystego i produktywnego* (s. 31–32). Warszawa: PRP Polska.
- Krzywy-Gawrońska, E. (2009). Badania wpływu kompostu z komunalnego osadu ściekowego i substancji czynnej PRP SOL na żyzność i urodzajność gleby. Szczecin: Wyd. ZUT.
- Lipiński, W. (2005). Zasobność gleb Polski w magnez przyswajalny. *Nawozy Nawoż.*, 7, 23, 2, 61–66.
- Lipski, S. (2008). Żywnienie roślin czy nawożenie gleby? W: *Dla rolnictwa czystego i produktywnego* (s. 3–6). Warszawa: PRP Polska.
- Marcinek, J., Komisarek, J., Bednarek, R., Mocek, A., Skiba, S., Wiatrowska, K. (2011). Systematyka gleb Polski. *Rocz. Glebozn.*, 62, 3.

Sulewska, H., Szymańska, G., Niewiadomska, A., Majchrzak, L., Sitek, A., Roszkiewicz, R. (2016). Zmiany wybranych właściwości gleby w pięcioletnim okresie stosowania kompleksu bioaktywnych związków mineralnych (MIP). *Nauka Przyr. Technol.*, 10, 3, #27. DOI: 10.17306/J.NPT.2016.3.27

- Mocek, A., Owczarzak, W. (2010). Gleba jako naturalne środowisko przyrodnicze. *Nauka Przyr. Technol.*, 4, 6, #85.
- Niewiadomska, A., Sulewska, H., Głuchowska, K. (2010). Wpływ związków mineralnych MIP na aktywność mikrobiologiczną gleby pod uprawą wybranych roślin rolniczych. *Nauka Przyr. Technol.*, 4, 6, #91.
- PN-ISO 10390:1997. (1997). Jakość gleby – Oznaczanie pH. Warszawa: PKN.
- PN-R-04020:1994. (1994). Analiza chemiczno-rolnicza gleby – Oznaczanie zawartości przyswajalnego magnezu. Warszawa: PKN.
- PN-R-04022:1996. (1996). Analiza chemiczno-rolnicza gleby – Oznaczanie zawartości przyswajalnego potasu w glebach mineralnych. Warszawa: PKN.
- PN-R-04023:1996. (1996). Analiza chemiczno-rolnicza gleby – Oznaczanie zawartości przyswajalnego fosforu w glebach mineralnych. Warszawa: PKN.
- Siebielec, G., Stuczyński, T. (2004). Ocena nawozu Euragri Sol firmy PRP pod kątem jego wpływu na kształtowanie żyzności i produktywności gleb. Puławy: Wyd. IUNG.
- Sinsabaugh, R. L., Reynolds, H., Long, T. M. (2002). Allocation of extracellular enzymatic activity in relation to litter composition, N deposition and mass loss. *Biogeochemistry*, 60, 1–24.
- Sulewska, H., Koziara, W., Panasiewicz, K., Niewiadomska, A. (2011). Reakcja pszenicy ozimej i jęczmienia jarego na nawożenie PRP SOL. *J. Res. Appl. Agric. Eng.*, 56, 4, 129–133.
- Sulewska, H., Szymańska, G., Śmiatacz, K., Koziara, W., Niewiadomska, A. (2013a). Efekty stosowania PRP SOL w kukurydzy uprawianej na ziarno. *J. Res. Appl. Agric. Eng.*, 58, 4, 161–166.
- Sulewska, H., Śmiatacz, K., Sitek, A., Szymańska, G., Panasiewicz, K. (2013b). Ocena plonowania rzepaku ozimego przy zastosowaniu technologii PRP SOL. *J. Res. Appl. Agric. Eng.*, 58, 4, 167–173.
- Veenstra, J. J., Horwath, W. R., Mitchell, J. P., Munk, D. S. (2006). Conservation tillage and cover cropping influence soil properties in San Joaquin Valley cotton-tomato crop. *Calif. Agric.*, 60, 3, 146–153.
- Włodek, S., Biskupski, A., Sekutowski, T., Smagacz, J. (2012). Effects of the long-term application of tillage simplification on some soil properties and yield of chosen spring plants. *Acta Sci. Pol. Agric.*, 11, 2, 85–95.

CHANGES OF SELECTED SOIL PROPERTIES DURING THE FIVE-YEAR PERIOD OF MINERAL INDUCER PROCESS (MIP) COMPLEX APPLICATION

Summary. The study was conducted in 2007–2011 in the fields of the Experimental Station in Złotniki belonging to the Research and Education Center Gorzyń, Poznań University of Life Sciences. Every year five one-factor experiments were established, which included a full rotation (potatoes, spring barley, winter rape, winter wheat and maize cultivation for grain). In the experiments the changes occurring in the soil under cultivation of specified species after mineral inducer process (MIP) fertilization were investigated and it was related to control objects with traditional phosphorus-potassium fertilization. Replacement of traditional phosphorus-potassium fertilization by the use of PRP SOL in crops rotation led to a significant increase of magnesium content in soil, and this increase, compared to the control object, amounted 1.1 mg·kg⁻¹ of soil. The average content of phosphorus and potassium in the soil for the above mentioned species significantly decreased and the differences compared to control object fertilized by P and K amounted 2.0 and 2.2 mg·kg⁻¹ of soil. The annual application of PRP SOL fertilizer caused favourable tendency of pH increase and nitrogen and humus content in the soil, but the differences compared to control

Sulewska, H., Szymańska, G., Niewiadomska, A., Majchrzak, L., Sitek, A., Roszkiewicz, R. (2016). Zmiany wybranych właściwości gleby w pięcioletnim okresie stosowania kompleksu bioaktywnych związków mineralnych (MIP). *Nauka Przyr. Technol.*, 10, 3, #27. DOI: 10.17306/J.NPT.2016.3.27

object were small and amounted respectively: 0.1 pH, 44 mg·kg⁻¹ and 0.05%. Five-year application of PRP SOL did not significantly change soil compaction measured at a depth of 10, 20 and 30 cm and, compared to the control object, a tendency to its increase was usually observed.

Key words: PRP SOL fertilizer, soil compaction, humus, phosphorus, potassium, magnesium, nitrogen, soil pH

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Hanna Sulewska, Katedra Agronomii, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Dojazd 11, 60-632 Poznań, Poland, e-mail: sulewska@up.poznan.pl

Zaakceptowano do opublikowania – Accepted for publication:

19.10.2015

Do cytowania – For citation:

*Sulewska, H., Szymańska, G., Niewiadomska, A., Majchrzak, L., Sitek, A., Roszkiewicz, R. (2016). Zmiany wybranych właściwości gleby w pięcioletnim okresie stosowania kompleksu bioaktywnych związków mineralnych (MIP). *Nauka Przyr. Technol.*, 10, 3, #27. DOI: 10.17306/J.NPT.2016.3.27*