

## WPŁYW WAPNOWANIA I MATERII ORGANICZNEJ NA AKTYWNOŚĆ FOSFATAZ W GLEBIE ZANIECZYSZCZONEJ NIKLEM

Beata Kuziemska<sup>1</sup>, Stanisław Kalembasa<sup>2</sup>, Dorota Kalembasa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, ul. B. Prusa 14, 08-110 Siedlce, e-mail: bak.kuz@interia.pl

<sup>2</sup> Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, ul. B. Prusa 14, 08-110 Siedlce, e-mail: kalembas@uph.edu.pl

### STRESZCZENIE

Zbadano glebę po dwuletnim (2009–2010) doświadczeniu wazonowym przeprowadzonym w Siedlcach, w trzech powtórzeniach. W eksperymencie uwzględniono: 1 – ilość Ni w glebie (0, 75, 150 i 225 mg·kg<sup>-1</sup> gleby, przez stosowanie wodnego roztworu NiSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O); 2 – wapnowanie (0 i Ca wg 1Hh, w formie CaCO<sub>3</sub>); 3 – materiały organiczne (słoma żytnia w dawce 4 t·ha<sup>-1</sup> i węgiel brunatny w dawce 40 t·ha<sup>-1</sup>). W doświadczeniu testowano kupkówkę pospolitą zebraną 4-krotnie w sezonie wegetacyjnym trawy. W glebie oznaczono po każdym zbiorze trawy aktywność fosfatazy kwaśnej i zasadowej oraz pH i zawartość C<sub>org</sub>. Stwierdzono, że dawka niklu 75 mg·kg<sup>-1</sup> aktywuje enzymy w glebie, natomiast dawki większe powodują ich, statystycznie udowodnioną, dezaktywację. Najmniejszą aktywność enzymów stwierdzono w glebie, do której wprowadzono 225 mg Ni·kg<sup>-1</sup> gleby. Wapnowanie zwiększyło aktywności fosfatazy zasadowej oraz zmniejszyło aktywność fosfatazy kwaśnej. Słoma i węgiel brunatny istotnie zwiększyły aktywności obu enzymów w glebie. Wapnowanie, słoma oraz węgiel brunatny niwelowały negatywny wpływ wyższych dawek niklu na aktywność badanych enzymów.

**Słowa kluczowe:** aktywność enzymatyczna, nikiel, wapnowanie, słoma, węgiel brunatny.

### INFLUENCE OF LIMING AND WASTE ORGANIC MATERIALS ON THE ACTIVITY OF PHOSPHATASE IN SOIL CONTAMINATED WITH NICKEL

#### ABSTRACT

A study was carried out on soil following a two-year pot experiment that was conducted in 2009–2010, in three repetitions in Siedlce. The experiment included the following factors: 1 – amount of Ni in soil (0, 75, 150 and 225 mg·kg<sup>-1</sup> soil by applying an aqueous NiSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O solution); 2 – liming (0 and Ca according to 1 Hh as CaCO<sub>3</sub>); 3 – organic waste products (rye straw at a dose of 4 t·ha<sup>-1</sup> and brown coal at a dose of 40 t·ha<sup>-1</sup>). In each experimental year, orchard grass was the test plant and four swaths were harvested. The activities of acidic and alkaline phosphatase, pH and the content of carbon in organic compounds were determined in the soil samples collected after each grass swath and in each experimental year. It was found that Ni at 75 mg·kg<sup>-1</sup> soil activated the enzymes under study, whereas higher doses caused

their statistically-confirmed inactivation. The lowest activity of the investigated enzymes was detected in soil supplemented with 225 Ni·kg<sup>-1</sup> soil. Liming caused an increase in the activity of alkaline phosphatase and a reduction in the activity of acidic phosphatase. Straw and brown coal induced a substantial increase in the activity of both enzymes in the tested soil samples. Both liming and straw and carbon eliminated the negative effect of higher nickel doses on the activity of the enzymes under study.

**Key words:** enzymatic activity, nickel, liming straw, brown coal.

## WSTĘP

Procesy biochemiczne w glebie decydują o jej żyzności [Januszek i in. 2006, Kalembasa i Symanowicz 2012, Tabatabai 1994]. Przebieg procesów jest katalizowany przez enzymy glebowe, między innymi fosfatazy [Lemanowicz i Koper 2009, Kalembasa i Kuziemska 2008]. Termin fosfatazy odnosi się do szerokiej grupy enzymów, które katalizują hydrolizę estrów i bezwodników kwasu fosforowego (V). Jednym ze źródeł tych enzymów w środowisku glebowym są mikroorganizmy, jak również korzenie roślin i fauna glebowa. Aktywność fosfataz w środowisku glebowym odzwierciedla aktywność enzymów związanych z koloidami glebowymi i substancjami humusowymi, wolnymi fosfatazami w roztworze glebowym oraz fosfatazami związanymi z żywymi i martwymi komórkami roślin i mikroorganizmów [Bielińska 2005].

Aktywność nie tylko fosfataz ale i innych enzymów zależy od wielu czynników środowiskowych, między innymi zawartości metali ciężkich, czynników związanych z wietrzeniem skał, erupcjami wulkanów i parowaniem oceanów. Istotny wpływ ma również działalność przemysłowa (przemysł metalurgiczny, chemiczny, wydobywczy, energetyczny), a także stosowane w rolnictwie nawozy mineralne, środki ochrony roślin, odpadowe materiały organiczne [Lenart-Boroń i in. 2013, Wyszowska i Wyszowski 2004, Wyszowska i in. 2010]. Niekorzystny wpływ metali ciężkich na aktywność enzymatyczną gleby można ograniczyć wapnowaniem czy nawożeniem organicznym [Kalembasa i Kuziemska 2008, 2011].

Celem badań było określenie wpływu wapnowania i stosowania nawozu organicznego – słomy oraz odpadowego materiału organicznego – węgla brunatnego na aktywność fosfatazy kwaśnej i zasadowej w glebie zanieczyszczonej różnymi dawkami niklu.

## MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Glebę analizowano po dwuletnim doświadczeniu wazonowym przeprowadzonym w obiektach doświadczalnych Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach, w latach 2009–2011. Doświadczenie miało cztery powtórzenia z następującymi czynnikami:

- bez stosowania niklu oraz 75, 150 i 225 mg Ni·kg<sup>-1</sup> gleby;

- bez wapnowania oraz wapnowanie w dawce wyliczonej względem kwasowości hydrolitycznej gleby;
- bez stosowania materiałów organicznych oraz stosowanie słomy żytniej – w dawce  $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  ( $1,33 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  gleby); węgla brunatnego (z kopalni węgla w Turowie) – w dawce  $40 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  ( $13,3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  gleby).

Skład chemiczny słomy i węgla brunatnego podano w tabeli 1.

**Tabela 1.** Skład chemiczny materiałów organicznych stosowanych w doświadczeniu  
**Table 1.** Chemical composition of organic materials used in pot experiment

Składnik	Słoma	Węgiel brunatny
	g · kg <sup>-1</sup> suchej masy	
Sucha masa	850	850
C	432	541
N	4,22	4,0
P	0,64	0,11
K	2,00	0,84
Ca	2,16	5,18

Materiały organiczne zawierały po 850 g suchej masy · kg<sup>-1</sup>. W słomie żytniej stwierdzono więcej azotu, fosforu, potasu oraz cynku, kadmu i ołowiu, niż w węglu brunatnym. Węgiel brunatny zawierał więcej niklu i wapnia.

Wapnowanie (w formie CaCO<sub>3</sub>), dodatek materii organicznej (węgiel brunatny i słomę żytnią pociętą na sieżkę) oraz niklu (w formie wodnego roztworu NiSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O) wprowadzono do gleby w listopadzie 2008 roku. W wazonach o pojemności 15 dm<sup>3</sup>, zawierających 10 kg ziemi, wiosną 2009 roku wysiano kupkówkę pospolitą (*Dactylis glomerata* L.), której porost zbierano czterokrotnie w sezonie wegetacyjnym co 30 dni. Glebę o składzie piasku gliniastego, pobrano z poziomu próchnicznego (0–20 cm) gleby płowej typowej. Cechowała się ona następującymi właściwościami: pH w 1 mol KCl · dm<sup>-3</sup> – 5,5; zawartość azotu ogólnego 0,98 g · kg<sup>-1</sup>; węgla w związkach organicznych 7,9 g · kg<sup>-1</sup>; fosforu przyswajalnego 69 mg · kg<sup>-1</sup> gleby, potasu przyswajalnego 75 mg · kg<sup>-1</sup> gleby, niklu ogólnego 5,67 mg Ni · kg<sup>-1</sup> gleby. W okresie wegetacyjnym, w wazonach, utrzymano wilgotność gleby na poziomie 60% PPW. W glebie pobranej po każdym pokosie trawy, w obu latach badań oznaczono: aktywność fosfatazy kwaśnej i alkalicznej metodą Tabatabai i Bremnera [1969] opartą na kolorymetrycznym oznaczeniu p- nitrofenolu powstałego w wyniku hydrolizy hydroksydwusodowego fosforanu p-nitrofenolu, pH w roztworze KCl o Cm = 1 mol · dm<sup>-3</sup>, metodą potencjometryczną, zawartość węgla w związkach organicznych, metodą oksydacyjno-miareczkową.

Wyniki z badań opracowano statystycznie metodą analizy wariancji z wykorzystaniem rozkładu F-Fishera-Snedecora wg programu Statistica, a wartość NIR<sub>0,05</sub> wyliczono wg testu Tukeya. W celu określenia związków między badanymi cechami przeprowadzono również analizę korelacji liniowej.

## OMÓWIENIE WYNIKÓW I Dyskusja

Doświadczenie i analizy laboratoryjne wykazały, że aktywność fosfatazy kwaśnej i alkalicznej w analizowanej glebie zależała nie tylko od rozpatrywanych w eksperymencie dawek niklu, wapnowania i substancji organicznych ale była też zróżnicowana w latach badań i skorelowana z innymi cechami gleby, co jest zbliżone z rezultatami uzyskanymi we wcześniej podawanych badaniach [Kalembasa i Kuziemska 2008, 2011].

Aktywność fosfatazy kwaśnej w analizowanej glebie w obu latach badań była zbliżona i wynosiła w roku pierwszym od 0,47 do 0,86 mmol PNP $\cdot$ kg $^{-1}\cdot$ h $^{-1}$ , a w roku drugim od 0,51 do 0,86 mmol PNP $\cdot$ kg $^{-1}\cdot$ h $^{-1}$  (tab. 2, 3). W pierwszym roku największą aktywność omawianego enzymu oznaczono w glebie pobranej po II i III zbiorze kupkówki pospolitej, a 17,1% mniejszą w glebie pobranej po IV pokosie. W roku drugim aktywność fosfatazy kwaśnej w glebie pobranej we wszystkich terminach była zbliżona. W obu latach eksperymentu wprowadzenie do gleby niklu w dawce 75 mg Ni $\cdot$ kg $^{-1}$  gleby powodowało istotne zwiększenie aktywności omawianego enzymu, a w dawkach większych istotne jej obniżenie (średnio w I roku – dawka 150 mg Ni $\cdot$ kg $^{-1}$  gleby, o 3%, w II roku o 10%, a dawka 225 mg Ni $\cdot$ kg $^{-1}$  gleby – w I roku o 11%, a w II roku o 15% w stosunku do aktywności w glebie obiektu kontrolnego).

**Tabela 2.** Aktywność fosfatazy kwaśnej w glebie (mmol PNPkg $^{-1}\cdot$ h $^{-1}$ ) – I rok doświadczenia  
**Table 2.** Acid phosphatase activity in soil (mmol PNPkg $^{-1}\cdot$ h $^{-1}$ ) – I year of experiment

Nawożenie	Pokosy	0 Ca					Ca wg 1 Hh gleby					Średnia
		Dawki niklu [mg kg $^{-1}$ gleby]										
		0	75	150	225	średnia	0	75	150	225	średnia	
0	I	0,66	0,64	0,61	0,49	0,60	0,57	0,61	0,60	0,56	0,59	0,60
	II	0,71	0,71	0,62	0,57	0,65	0,61	0,63	0,59	0,57	0,60	0,62
	III	0,75	0,74	0,61	0,54	0,66	0,63	0,65	0,58	0,53	0,60	0,63
	IV	0,58	0,61	0,51	0,47	0,54	0,51	0,56	0,49	0,48	0,51	0,52
	Średnia	0,68	0,68	0,59	0,52	0,61	0,58	0,61	0,57	0,54	0,58	0,60
Słoma	I	0,78	0,80	0,75	0,70	0,76	0,74	0,74	0,70	0,69	0,72	0,74
	II	0,83	0,84	0,77	0,70	0,79	0,75	0,76	0,74	0,67	0,73	0,76
	III	0,83	0,86	0,77	0,68	0,79	0,77	0,80	0,60	0,65	0,71	0,75
	IV	0,72	0,73	0,65	0,58	0,67	0,68	0,65	0,61	0,56	0,63	0,65
	Średnia	0,79	0,81	0,74	0,67	0,76	0,74	0,74	0,66	0,64	0,70	0,73
Węgiel brunatny	I	0,71	0,72	0,69	0,63	0,69	0,67	0,67	0,65	0,63	0,66	0,67
	II	0,76	0,81	0,73	0,70	0,75	0,65	0,76	0,72	0,64	0,69	0,72
	III	0,77	0,78	0,73	0,70	0,75	0,71	0,69	0,69	0,65	0,69	0,72
	IV	0,62	0,62	0,58	0,54	0,59	0,59	0,62	0,53	0,50	0,56	0,57
	Średnia	0,72	0,73	0,68	0,64	0,70	0,66	0,69	0,65	0,61	0,65	0,68
Średnia z pokosów	I	0,72	0,72	0,68	0,61	0,68	0,66	0,67	0,65	0,63	0,67	0,67
	II	0,77	0,79	0,71	0,66	0,73	0,67	0,72	0,68	0,63	0,67	0,70
	III	0,78	0,79	0,70	0,64	0,73	0,70	0,71	0,62	0,61	0,67	0,70
	IV	0,64	0,65	0,58	0,53	0,60	0,59	0,61	0,54	0,61	0,57	0,58
	Średnia z obiektów	0,73	0,74	0,67	0,61	0,69	0,66	0,68	0,62	0,60	0,64	0,66

**Tabela 3.** Aktywność fosfatazy kwaśnej w glebie ( $\text{mmol PNPkg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ) – II rok doświadczenia  
**Table 3.** Acid phosphatase activity in soil ( $\text{mmol PNP kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ) – II year of experiment

Nawożenie	Pokosy	0 Ca					Ca wg 1 Hh gleby					Średnia
		Dawki nikiel [ $\text{mg kg}^{-1}$ gleby]										
		0	75	150	225	średnia	0	75	150	225	średnia	
0	I	0,74	0,75	0,60	0,51	0,65	0,60	0,62	0,58	0,56	0,59	0,62
	II	0,76	0,78	0,61	0,58	0,68	0,63	0,63	0,59	0,57	0,61	0,64
	III	0,75	0,74	0,62	0,56	0,67	0,63	0,65	0,58	0,56	0,61	0,64
	IV	0,70	0,72	0,60	0,52	0,64	0,60	0,61	0,56	0,53	0,58	0,62
	Średnia	0,74	0,75	0,61	0,54	0,66	0,62	0,63	0,58	0,56	0,60	0,63
Słoma	I	0,78	0,84	0,74	0,73	0,77	0,70	0,72	0,64	0,60	0,67	0,72
	II	0,84	0,85	0,76	0,70	0,79	0,76	0,78	0,66	0,62	0,71	0,75
	III	0,86	0,84	0,76	0,72	0,80	0,80	0,78	0,68	0,66	0,73	0,76
	IV	0,79	0,81	0,72	0,68	0,75	0,74	0,73	0,63	0,60	0,68	0,72
	Średnia	0,82	0,84	0,75	0,71	0,78	0,75	0,75	0,65	0,62	0,70	0,74
Węgiel brunatny	I	0,69	0,72	0,65	0,63	0,67	0,64	0,65	0,60	0,60	0,62	0,64
	II	0,74	0,76	0,68	0,65	0,71	0,70	0,70	0,64	0,63	0,67	0,69
	III	0,76	0,76	0,64	0,62	0,70	0,69	0,66	0,62	0,62	0,65	0,67
	IV	0,73	0,75	0,64	0,60	0,68	0,63	0,65	0,60	0,60	0,62	0,65
	Średnia	0,73	0,75	0,65	0,63	0,69	0,67	0,67	0,62	0,61	0,64	0,66
Średnia z pokosów	I	0,74	0,77	0,66	0,62	0,70	0,65	0,66	0,61	0,59	0,63	0,66
	II	0,78	0,80	0,68	0,64	0,73	0,70	0,70	0,63	0,61	0,66	0,70
	III	0,79	0,78	0,67	0,63	0,72	0,71	0,70	0,63	0,61	0,66	0,69
	IV	0,74	0,70	0,69	0,60	0,69	0,66	0,66	0,60	0,58	0,63	0,66
	Średnia z obiektów	0,76	0,78	0,68	0,62	0,71	0,68	0,68	0,62	0,60	0,65	0,68

Niezależnie od roku badań i terminu pobrania prób do analizy wapnowanie powodowało istotne zmniejszenie aktywności fosfatazy kwaśnej co jest zgodne z rezultatami uzyskanymi przez Wittmana i in. [2004], którzy wykazali, że optymalny zakres pH dla aktywności fosfatazy kwaśnej mieści się w przedziale wartości od 4,0 do 6,5. Zastosowane materiały organiczne – słoma i węgiel brunatny stymulowały aktywność omawianego enzymu, w obu latach badań, przy czym wpływ słomy był większy niż węgla brunatnego.

Średnia aktywność w glebie drugiego oznaczonego enzymu – fosfatazy alkalicznej w latach prowadzenia badań była zbliżona i wynosiła w roku pierwszym od 0,31 do 0,58  $\text{mmol PNP}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , a w roku drugim od 0,28 do 0,54  $\text{mmol PNPkg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  (tab. 4, 5)

W pierwszym roku eksperymentu gleba pobrana po I, II i III pokosie rośliny testowej miała zbliżoną aktywność omawianego enzymu, a pobrana po pokosie IV o 16% mniejszą, natomiast w roku drugim aktywność fosfatazy alkalicznej była niezależna od terminu pobrania do analizy. W obu latach eksperymentu nikiel w dawce 75  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  gleby stymulował aktywność omawianego enzymu natomiast dawki wyższe powodowały jej udowodnioną statystycznie inhibicję.

**Tabela 4.** Aktywność fosfatazy alkalicznej w glebie (mmol PNPkg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>) – I rok doświadczenia  
**Table 4.** Alkaline phosphatase activity in soil (mmol PNPkg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>) – I year of experiment

Nawożenie	Pokosy	0 Ca					Ca wg 1 Hh gleby					Średnia
		Dawki niklu [mg kg <sup>-1</sup> gleby]										
		0	75	150	225	średnia	0	75	150	225	średnia	
0	I	0,41	0,47	0,35	0,30	0,38	0,50	0,49	0,40	0,36	0,44	0,41
	II	0,42	0,41	0,37	0,32	0,38	0,53	0,46	0,40	0,39	0,45	0,41
	III	0,41	0,44	0,40	0,33	0,40	0,55	0,50	0,45	0,41	0,48	0,44
	IV	0,37	0,41	0,32	0,28	0,35	0,45	0,44	0,40	0,31	0,40	0,38
Średnia		0,40	0,43	0,36	0,31	0,38	0,51	0,47	0,41	0,37	0,44	0,42
Słoma	I	0,49	0,48	0,39	0,34	0,43	0,53	0,52	0,44	0,38	0,47	0,45
	II	0,46	0,47	0,41	0,36	0,43	0,57	0,51	0,47	0,40	0,49	0,46
	III	0,48	0,46	0,42	0,39	0,44	0,58	0,52	0,48	0,43	0,50	0,47
	IV	0,43	0,44	0,34	0,30	0,38	0,49	0,42	0,39	0,39	0,42	0,40
Średnia		0,47	0,46	0,39	0,35	0,42	0,54	0,49	0,45	0,40	0,47	0,44
Węgiel brunatny	I	0,42	0,46	0,41	0,34	0,41	0,46	0,49	0,49	0,40	0,46	0,43
	II	0,44	0,44	0,42	0,35	0,41	0,52	0,50	0,55	0,41	0,50	0,45
	III	0,40	0,42	0,37	0,35	0,39	0,47	0,47	0,41	0,41	0,44	0,42
	IV	0,36	0,37	0,30	0,29	0,33	0,47	0,40	0,33	0,32	0,38	0,35
Średnia		0,41	0,42	0,38	0,33	0,39	0,48	0,47	0,45	0,39	0,45	0,42
Średnia z pokosów	I	0,44	0,47	0,38	0,33	0,41	0,50	0,50	0,44	0,38	0,46	0,43
	II	0,44	0,44	0,40	0,34	0,41	0,54	0,49	0,47	0,40	0,48	0,44
	III	0,43	0,44	0,40	0,36	0,41	0,53	0,50	0,45	0,41	0,47	0,44
	IV	0,39	0,41	0,32	0,29	0,35	0,47	0,42	0,37	0,34	0,40	0,37
Średnia z obiektów		0,43	0,44	0,38	0,33	0,40	0,51	0,48	0,43	0,38	0,45	0,42

**Tabela 5.** Aktywność fosfatazy alkalicznej w glebie (mmol PNPkg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>) – II rok doświadczenia  
**Table 5.** Alkaline phosphatase activity in soil (mmol PNPkg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>) – II year of experiment

Nawożenie	Pokosy	0 Ca				Ca wg 1 Hh gleby			
		Dawki niklu [mg kg <sup>-1</sup> gleby]							
		0	75	150	225	0	75	150	225
0	I	5,48	5,46	5,40	5,30	6,70	6,68	6,48	6,52
	II	5,42	5,48	5,50	5,48	6,86	6,82	6,66	6,70
	III	5,49	5,56	5,58	5,60	6,84	6,82	6,70	6,68
	IV	5,56	5,52	5,50	5,50	6,90	6,80	6,79	6,80
Słoma	I	5,26	5,22	5,28	5,20	6,46	6,56	6,48	6,50
	II	5,40	5,52	5,40	5,40	6,52	6,40	6,46	6,48
	III	5,38	5,30	5,32	5,30	6,40	6,26	6,24	6,40
	IV	5,36	5,46	5,40	5,42	6,80	6,88	6,72	6,59
Węgiel brunatny	I	5,76	5,72	5,68	5,54	6,50	6,52	6,56	6,46
	II	5,92	5,84	5,80	5,82	6,52	6,60	6,48	6,50
	III	5,94	5,96	5,84	5,90	6,38	6,40	6,38	6,53
	IV	5,88	5,80	5,82	5,84	6,34	6,82	6,64	6,56
Wahania		5,26– 5,94	5,22– 5,96	5,28– 5,84	5,20– 5,90	6,34– 6,90	6,26– 6,88	6,24– 6,79	6,40– 6,80

Wapnowanie powodowało istotne zwiększenie aktywności fosfatazy zasadowej w glebie niezależnie od terminu pobrania prób do analizy. Tendencję tę wykazano w I i II roku badań i jest ona zgodna ze wcześniej uzyskanymi rezultatami [Kalembasa i Kuziemska 2008] oraz wynikami badań innych Autorów [Wittman i in. 2004]. Autorzy Ci podają, że optymalne pH dla fosfatazy alkalicznej mieści się w przedziale wartości od 9,0 do 11,0.

Podobnie jak w przypadku wcześniej omówionej fosfatazy kwaśnej oba materiały organiczne – słoma i węgiel brunatny stymulowały aktywność fosfatazy zasadowej, przy czym wpływ słomy był w obu latach eksperymentu bardziej widoczny. W tabelach 6 i 7 podano wartości pH analizowanej gleby, które w I roku eksperymentu wahały się w granicach 5,36–6,90, a w roku II było nieco niższe i wynosiły od 5,16–6,80.

W obu latach badań na wszystkich obiektach wapnowanych stwierdzono większą wartość pH niż na obiektach niewapnowanych.

**Tabela 6.** Wartość pH w 1 mol·KCl dm<sup>-3</sup> – I rok doświadczenia

**Table 6.** pH in 1 mol·KCl dm<sup>-3</sup> – I year of experiment

Nawożenie	Pokosy	0 Ca				Ca wg 1 Hh gleby			
		Dawki niklu [mg kg <sup>-1</sup> gleby]							
		0	75	150	225	0	75	150	225
0	I	5,48	5,46	5,40	5,30	6,70	6,68	6,48	6,52
	II	5,42	5,48	5,50	5,48	6,86	6,82	6,66	6,70
	III	5,49	5,56	5,58	5,60	6,84	6,82	6,70	6,68
	IV	5,56	5,52	5,50	5,50	6,90	6,80	6,79	6,80
Słoma	I	5,26	5,22	5,28	5,20	6,46	6,56	6,48	6,50
	II	5,40	5,52	5,40	5,40	6,52	6,40	6,46	6,48
	III	5,38	5,30	5,32	5,30	6,40	6,26	6,24	6,40
	IV	5,36	5,46	5,40	5,42	6,80	6,88	6,72	6,59
Węgiel brunatny	I	5,76	5,72	5,68	5,54	6,50	6,52	6,56	6,46
	II	5,92	5,84	5,80	5,82	6,52	6,60	6,48	6,50
	III	5,94	5,96	5,84	5,90	6,38	6,40	6,38	6,53
	IV	5,88	5,80	5,82	5,84	6,34	6,82	6,64	6,56
Wahania		5,26–	5,22–	5,28–	5,20–	6,34–	6,26–	6,24–	6,40–
		5,94	5,96	5,84	5,90	6,90	6,88	6,79	6,80

Zawartość Corg w glebie pobranej w I roku badań mieściła się w przedziale wartości od 7,25 do 9,42 g·kg<sup>-1</sup> gleby (średnio 8,41 g·kg<sup>-1</sup> gleby), a w roku II od 7,32 do 9,24 g·kg<sup>-1</sup> gleby (średnio 8,45 g·kg<sup>-1</sup> gleby) i w obu latach eksperymentu największą zawartość omawianego składnika stwierdzono w glebie pobranej po pokosie I, a najmniejsza w glebie pobranej po pokosie IV, co można wiązać z procesami mineralizacji i immobilizacji. W badaniach własnych nie wykazano wpływu wzrastającej ilości niklu w glebie na zawartość węgla w związkach organicznych (tab. 8, 9).

Niezależnie od terminu pobrania prób do analizy wapnowanie powodowało obniżenie ilości Corg w glebie, natomiast zastosowanie materiałów organicznych



**Tabela 7.** Wartość pH w 1 mol·KCl dm<sup>-3</sup> – II rok doświadczenia

**Table 7.** pH in 1 mol·KCl dm<sup>-3</sup> – II year of experiment

Nawożenie	Pokosy	0 Ca				Ca wg 1 Hh gleby			
		Dawki niklu [mg kg <sup>-1</sup> gleby]							
		0	75	150	225	0	75	150	225
0	I	5,30	5,28	5,32	5,21	6,58	6,46	6,50	6,42
	II	5,32	5,30	5,18	5,31	6,74	6,58	6,52	6,50
	III	5,23	5,28	5,20	5,26	6,80	6,78	6,60	6,54
	IV	5,40	5,30	5,31	5,24	6,70	6,71	6,62	6,58
Słoma	I	5,18	5,16	5,21	5,19	6,28	6,30	6,32	6,36
	II	5,21	5,24	5,20	5,16	6,25	6,30	6,28	6,32
	III	5,20	5,20	5,23	5,20	6,22	6,18	6,20	6,24
	IV	5,16	5,32	5,23	5,30	6,41	6,36	6,42	6,30
Węgiel brunatny	I	5,84	5,82	5,65	5,62	6,62	6,60	6,48	6,50
	II	5,78	5,79	5,81	5,76	6,46	6,42	6,50	6,48
	III	5,90	5,88	5,80	5,82	6,52	6,50	6,46	6,50
	IV	5,86	5,80	5,76	5,80	6,60	6,62	6,48	6,52
Wahania		5,16– 5,90	5,16– 5,88	5,18– 5,81	5,16– 5,82	6,22– 6,80	6,18– 6,78	6,20– 6,62	6,24– 6,58

**Tabela 8.** Zawartość węgla w związkach organicznych (g·kg<sup>-1</sup>) w glebie – I rok doświadczenia

**Table 8.** Organic carbon content in soil (g·kg<sup>-1</sup>) – I year of experiment

Nawożenie	Pokosy	0 Ca				Ca wg 1 Hh gleby					Średnia	
		Dawki niklu [mg kg <sup>-1</sup> gleby]										
		0	75	150	225	średnia	0	75	150	225		średnia
0	I	7,95	7,96	8,03	7,90	7,96	7,85	7,91	7,93	7,82	7,88	7,92
	II	7,85	7,93	7,97	7,85	7,90	7,64	7,87	7,77	7,81	7,77	7,84
	III	7,54	7,49	7,51	7,63	7,54	7,31	7,30	7,25	7,52	7,35	7,44
	IV	7,54	7,49	7,40	7,47	7,48	7,36	7,40	7,28	7,36	7,35	7,42
Średnia		7,72	7,72	7,73	7,71	7,72	7,54	7,62	7,56	7,63	7,59	7,65
Słoma	I	8,88	8,71	8,93	8,95	8,87	8,53	8,55	8,56	8,78	8,61	8,78
	II	8,70	8,63	8,68	8,84	8,71	8,50	8,50	8,47	8,65	8,53	8,62
	III	8,67	8,60	8,59	8,55	8,60	8,34	8,49	8,56	8,40	8,45	8,52
	IV	8,35	8,26	8,38	8,32	8,33	8,07	8,11	8,15	8,23	8,14	8,23
Średnia		8,65	8,55	8,65	8,67	8,63	8,36	8,41	8,42	8,52	8,43	8,53
Węgiel brunatny	I	9,32	9,29	9,19	9,22	9,26	9,02	8,76	8,80	8,76	8,84	9,05
	II	9,17	9,20	9,06	9,04	9,12	8,95	8,73	8,67	8,76	8,78	8,95
	III	9,44	9,20	9,26	9,36	9,32	9,20	9,04	9,06	8,41	8,93	9,12
	IV	9,30	9,11	9,20	9,21	9,21	9,05	8,92	8,90	8,90	8,94	9,08
Średnia		9,31	9,20	9,21	9,21	9,22	9,06	8,86	8,86	8,70	8,87	9,05
Średnia z pokosów	I	8,72	8,65	8,72	8,69	8,70	8,47	8,41	8,43	8,45	8,44	8,57
	II	8,57	8,59	8,57	8,58	8,58	8,36	8,37	8,30	8,41	8,36	8,47
	III	8,55	8,43	8,45	8,51	8,49	8,28	8,28	8,29	8,11	8,24	8,37
	IV	8,40	8,29	8,33	8,33	8,34	8,16	8,14	8,11	8,16	8,14	8,24
Średnia z obiektów		8,56	8,49	8,53	8,53	8,52	8,32	8,30	8,28	8,28	8,30	8,41



**Tabela 9.** Zawartość węgla w związkach organicznych ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) w glebie – II rok doświadczenia  
**Table 9.** Organic carbon content in soil ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) – II year of experiment

Nawożenie	Pokosy	0 Ca					Ca wg 1 Hh gleby					Średnia
		Dawki niklu [ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby]										
		0	75	150	225	średnia	0	75	150	225	średnia	
0	I	7,72	7,84	7,70	7,78	7,76	7,68	7,74	7,66	7,76	7,71	7,73
	II	7,64	7,80	7,65	7,74	7,71	7,66	7,71	7,62	7,60	7,65	7,69
	III	7,48	7,76	7,60	7,52	7,59	7,30	7,56	7,42	7,51	7,45	7,52
	IV	7,40	7,58	7,52	7,60	7,52	7,32	7,43	7,36	7,54	7,41	7,47
Średnia		7,56	7,75	7,62	7,66	7,65	7,49	7,61	7,52	7,60	7,55	7,60
Słoma	I	8,62	8,74	8,88	8,83	8,77	8,56	8,61	8,68	8,71	8,64	8,70
	II	8,52	8,34	8,82	8,82	8,58	8,42	8,39	8,68	8,56	8,51	8,55
	III	8,58	8,45	8,75	8,75	8,60	8,48	8,36	8,51	8,63	8,49	8,55
	IV	8,50	8,56	8,74	8,74	8,63	8,40	8,41	8,57	8,48	8,46	8,55
Średnia		8,58	8,52	8,789	8,79	8,64	8,47	8,44	8,61	8,60	8,53	8,58
Węgiel brunatny	I	9,18	9,22	9,33	9,33	9,27	9,09	9,11	9,23	9,20	9,16	9,21
	II	9,06	9,12	9,28	9,28	9,20	9,00	9,04	9,18	9,13	9,09	9,14
	III	9,21	9,15	9,29	9,29	9,25	9,05	9,09	9,15	9,20	9,12	9,19
	IV	9,14	9,20	9,31	9,31	9,24	9,04	9,08	9,24	9,20	9,14	9,19
Średnia		9,15	9,17	9,30	9,30	9,24	9,04	9,08	9,20	9,18	9,13	9,18
Średnia z pokosów	I	8,51	8,60	8,65	8,65	8,60	8,44	8,49	8,52	8,55	8,50	8,55
	II	8,41	8,42	8,54	8,61	8,50	8,36	8,38	8,49	8,43	8,42	8,46
	III	8,42	8,45	8,51	8,52	8,48	8,28	8,43	8,36	8,45	8,35	8,42
	IV	8,38	8,45	8,48	8,55	8,46	8,25	8,31	8,39	8,41	8,34	8,40
Średnia z obiektów		8,43	8,48	8,58	8,58	8,51	8,33	8,38	8,44	8,46	8,40	8,45

jego zwiększenie, przy czym największą ilość tego składnika oznaczono w glebie, do której wprowadzono węgiel brunatny (wraz z tym materiałem wniesiono do gleby największa ilość omawianego makroelementu).

Analiza korelacji wykazała szereg istotnych zależności pomiędzy badanymi cechami gleby (tab. 10). Na szczególną uwagę zasługują wysokie, dodatnie wartości współczynnika korelacji liniowej pomiędzy wartością pH, a aktywnością fosfatazy alkalicznej oraz ujemne wartości współczynnika pomiędzy wartością pH, a aktywnością fosfatazy kwasowej. Na uwagę zasługują też wysokie wartości współczynnika korelacji pomiędzy zawartością węgla w związkach organicznych, a aktywnością fosfatazy kwaśnej w glebie pobranej po I, II i III pokosie trawy w pierwszym roku eksperymentu.

W podsumowaniu wyników badań własnych należy stwierdzić, że wszystkie rozpatrywane w doświadczeniu czynniki – zróżnicowana ilość Ni w glebie, wapnowanie oraz słoma i węgiel brunatny istotnie wpływały na aktywność fosfatyz w glebie. Wprowadzenie do gleby najmniejszej z rozpatrywanych w badaniach dawki niklu stymulowało aktywność fosfatazy kwaśnej i zasadowej, natomiast dawki większe – 150 i 225  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  gleby istotna ich dezaktywację, co jest zbieżne z rezultatami uzyskanymi przez Wyszowska i in. [2010].

**Tabela 10.** Współczynniki korelacji pomiędzy parametrami gleby**Table 10.** Correlation coefficients between soil parameters

Parametry	Pokosy	Rok					
		I			II		
		Fosfataza alkaliczna	pH	Corg	Fosfataza alkaliczna	pH	Corg
Fosfataza kwaśna	I	0,49**	n.i.	0,61**	n.i.	-0,35**	n.i.
	II	0,36**	-0,37**	0,66**	n.i.	-0,51**	n.i.
	III	n.i.	-0,47**	0,52**	0,37**	-0,45**	n.i.
	IV	0,53**	n.i.	n.i.	n.i.	-0,44**	n.i.
Fosfataza alkaliczna	I	–	0,43**	n.i.	–	0,47**	n.i.
	II	–	0,52**	n.i.	–	0,56**	n.i.
	III	–	0,45**	n.i.	–	0,52**	n.i.
	IV	–	0,36**	n.i.	–	0,58**	n.i.

Wapnowanie w dawce wyliczonej wg 1 Hh gleby powodowało istotne zwiększenie aktywności fosfatazy alkalicznej, oraz obniżenie aktywności fosfatazy kwasowej, co pokrywa się z wynikami prac Wittmana i in. [2004], którzy stwierdzili ponadto, że fosfatazy kwaśne są najbardziej wrażliwe na zmiany odczynu gleby.

Zarówno słoma, jak i węgiel brunatny zwiększały aktywność obu fosfataz, przy czym wpływ słomy był większy, co można wiązać z tempem ich rozkładu w glebie. Pozytywny wpływ materiałów organicznych na aktywność enzymatyczną gleby wykazali Kalembasa i Symanowicz [2012] oraz Lemanowicz i Koper [2009].

Wapnowanie i węgiel brunatny ograniczały negatywny wpływ większych ilości Ni w glebie na aktywność fosfatazy kwaśnej i alkalicznej, co stwierdzono w obu latach badań.

## WNIOSKI

1. Zastosowanie niklu w dawce 75 mg Ni·kg<sup>-1</sup> gleby spowodowało istotne zwiększenie aktywności fosfatazy kwaśnej i zasadowej, natomiast dawki większe powodowały istotną ich dezaktywację.
2. Wapnowanie stymulowało aktywność fosfatazy zasadowej, powodując jednocześnie obniżenie aktywności fosfatazy kwaśnej w glebie.
3. Słoma i węgiel brunatny istotnie zwiększyły aktywności obu fosfataz.
4. Negatywne działanie większych ilości niklu w glebie na aktywność fosfatazy kwaśnej i zasadowej ograniczało wapnowanie oraz zastosowane materiały organiczne.

## Podziękowanie

Praca została wykonana w ramach projektu badawczego NN 310 152 135.

## LITERATURA

1. Bielińska E. 2005. Oznaczanie aktywności fosfatyz. *Acta Agrophysica*, Rozprawy i monografie, 3: 63-74.
2. Januszek K., Lasota J., Wiślak A. 2006. Ocena żyzności gleb Karpackiego Grądu Lipowego i Buczyn na podstawie badanych właściwości chemicznych i biochemicznych. *Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria* 5(2): 71-87.
3. Kalembasa S., Kuziemska B. 2008. Wpływ zanieczyszczenia gleby nikiem na plon i zawartość fosforu w kupkówce pospolitej oraz aktywność enzymatyczną gleby. *Prace Nauk. UE we Wrocławiu, Chemia, Związki fosforu w chemii, rolnictwie, medycynie i ochronie środowiska*. 4(1204): 72 – 81.
4. Kalembasa S., Kuziemska B. 2011. Effect of nickel contamination on soil enzymatic activity. *Fresenius Environmental Bulletin*, 20, 7a: 1724-1731.
5. Kalembasa S., Symanowicz B. 2012. Enzymatic activity of soil after applying various waste organic materials, ash, and mineral fertilizers. *Pol. J. Environ. Stud.*, 21, 6: 1635-1641.
6. Lemanowicz J., Koper J. 2009. Zawartość wybranych form fosforu w glebie i koniczynie łąkowej oraz aktywność fosfatyz glebowych na tle zróżnicowanego nawożenia mineralnego i organicznego. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 9, 4(28): 119-139.
7. Lenart-Boroń A., Boroń P., Banach T. 2013. Wpływ wybranych metali ciężkich na wzrost i rozmnażanie promieniowców z rodzaju *Streptomyces* izolowanych z gleb. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 19,1: 81-91.
8. Tabatabai M.A., Bremner J.M. 1969. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biol. Bioch.*, 1: 301-307.
9. Tabatabai M.A. 1994. Soil enzymes. *Methodes of soil analis. Part 2. Microbiologica and biochemical properties*. 55, SA, Series 5: 775-833.
10. 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, sulphuer and phosphorus in podsolized boreal forest soils. *Soil. Biol. Bioch.*, 36: 425-433.
11. Wyszowska J., Wyszowski M. 2004. Wpływ zanieczyszczenia gleby nikiem na jej aktywność enzymatyczną. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.*, 505: 518-522.
12. Wyszowska J., Kucharski M., Kucharski J. 2010. Activity of b-glucosidase, arylosulfatase and phosphatases in soil contaminated with copper. *J. Elementol.*, 15(1): 213-226.