

**Beata Kuziemska\***

## **AKTYWNOŚĆ DEHYDROGENAZ W GLEBIE ZANIECZYSZCZONEJ NIKLEM**

### **THE ACTIVITY OF DEHYDROGENASES IN THE SOIL CONTAMINATED WITH NICKEL**

**Słowa kluczowe:** gleba, nikiel, wapnowanie, dehydrogenazy.

**Key words:** soil, nickel, liming, dehydrogenases.

#### **Streszczenie**

*Badaniami objęto glebę po czteroletnim doświadczeniu wazonowym, w którym uwzględniono dwa czynniki:*

*I) nikiel, stosowany we wzrastających ilościach 0; 50; 100 i 150 mg Ni·kg<sup>-1</sup> gleby w formie wodnego roztworu Ni SO<sub>4</sub> · 7 H<sub>2</sub>O;*

*II) wapnowanie, stosowane w ilościach 0; 0,5; 1,0 i 1,5 Hh gleby, w postaci CaCO<sub>3</sub>.*

*Doświadczenie przeprowadzono na glebie płowej typowej, a rośliną testową była fasola zwykła karłowa, którą corocznie zbierano w fazie pełnej dojrzałości. Analizie poddano glebę po zbiorze fasoli, w każdym roku prowadzenia eksperymentu. Aktywność dehydrogenaz oznaczono metodą Casida z wykorzystaniem TTC, pH metodą potencjometryczną, a zawartość niklu ogólnego metodą ICP-AES.*

*Zastosowanie 50 mg Ni·kg<sup>-1</sup> gleby powodowało istotne zwiększenie aktywności analizowanych enzymów, dawki większe natomiast – 100 i 150 mg Ni·kg<sup>-1</sup> gleby – istotne zmniejszenie ich aktywności. Wapnowanie niezależnie od dawki powodowało zmniejszenie negatywnego wpływu niklu na aktywność dehydrogenaz.*

#### **Summary**

*A study was carried out on soil after a 4-year pot experiment which included two factors:*

*I) nickel with increasing doses of 0, 50, 100 and 150 mg Ni·kg<sup>-1</sup> of soil in a water solution of Ni SO<sub>4</sub> · 7 H<sub>2</sub>O;*

---

\* *Dr hab. Beata Kuziemska, prof. UPH – Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej, Wydział Przyrodniczy, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny, ul.Prusa 14, 08-110 Siedlce; tel.: 25 643 13 56; e-mail: bak.kuz@interia.pl*

*II) liming with CaCO<sub>3</sub> according to 0; 0,5; 1,0 and 1,5 Hh of soil.*

*The experiment was conducted on typical soil lessive and the tested plant was dwarf French bean which was harvested annually in the maturity stage. The soil was analysed each year following the bean harvest. The soil dehydrogenase activity was determined according to the procedure described by Casida with the use of TTC. The pH level was measured with the potentiometric method and the content of total nickel was assessed with ICP-AES. The addition of 50 mg Ni·kg<sup>-1</sup> of soil induced a significant increase in the activity of analysed enzymes, whereas higher doses of 100 and 150 mg Ni·kg<sup>-1</sup> of soil resulted in a significant reduction in enzymatic activity. Liming reduced the negative impact of nickel on dehydrogenase activity regardless of the doses.*

## 1. WPROWADZENIE

Żyzność gleb i produktywność ekosystemów zależą od aktywności procesów biochemicznych zachodzących w glebie, które są katalizowane przez enzymy w niej występujące. Z tego powodu wielu badaczy [Gostkowska i in. 1997, Koper i in. 2008] uważa, że enzymy mogą być czułym wskaźnikiem przemian zachodzących w glebie.

W literaturze naukowej [Brzezińska, Włodarczyk 2005] enzymy są coraz częściej określane jako wskaźnik biochemicznej i mikrobiologicznej aktywności gleb. Odgrywają one między innymi ważną rolę w katalizowaniu reakcji prowadzących do rozkładu materii organicznej [Tabatabai 1994], detoksykacji ksenobiotyków, nityfikacji i denityfikacji [Dick 1994, Kucharski 1997]. Szybkość reakcji enzymatycznych jest uwarunkowana głównie przez stężenie enzymu uczestniczącego w reakcji, stężenie substratu, temperaturę, wartość pH oraz obecność aktywatorów i inhibitorów [Russel 2005].

Dehydrogenazy stanowią liczną grupę oksydoreduktaz zlokalizowanych w cytoplazmie lub specyficznych strukturach, wytworzonych z błon cytoplazmatycznych. Katalizują utlenienie związków organicznych przez odłączenie od nich elektronów i protonów [Górska, Stępień 2007]. W warunkach tlenowych są one przenoszone przez szereg pośredników na elementy łańcucha oddechowego i ostatecznie na O<sub>2</sub>. W warunkach beztlenowych funkcję końcowego akceptora pełnią dostępne, utlenione formy nieorganiczne: NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>2</sub>, Fe<sup>3+</sup>, Mn<sup>4+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (oddychanie beztlenowe) lub związki organiczne (fermentacja).

Dehydrogenazy są więc niezależnie od stanu natleniania gleby elementem metabolizmu oddechowego, ściśle związanego z wytworzeniem ATP. Za pośrednictwem koenzymów dehydrogenaz (NAD i NADP) protony odłączone od utlenionych substratów uczestniczą również w procesach biosyntezy.

Aktywność dehydrogenaz w glebie jest związana z czynnością wielu enzymów lub systemów enzymatycznych, powszechnie występujących w drobnoustrojach glebowych. Oznaczenie ich aktywności w glebie jest zatem wskaźnikiem intensywności metabolizmu oddechowego mikroorganizmów glebowych, głównie bakterii i promieniowców.

Szczególne znaczenie dehydrogenaz dla funkcjonowania mikroorganizmów glebowych sprawia, że wskaźnik ten jest powszechnie stosowany w określeniu aktywności biologicznej gleby. W licznych pracach [Brzezińska, Włodarczyk 2005, Górska, Stępień 2007] obserwowano ścisłą zależność pomiędzy aktywnością dehydrogenaz oraz zawartością materii organicznej, żyznością gleby i liczebnością drobnoustrojów glebowych, a także aktywnością proteolityczną, nityfikacją, respiracją, denityfikacją oraz czynnością innych enzymów obecnych w glebie, m.in. fosfatazy kwaśnej i alkalicznej, sulfatazy, amylazy, katalazy.

Na aktywność dehydrogenaz w glebie wpływają między innymi katalizatory i inhibitory. Rolę aktywatorów i inhibitorów pełnić mogą metale ciężkie, do których należy między innymi nikiel. Wyszowska i Wyszowski [2004] w swoich badaniach stwierdzili negatywny wpływ zwiększonej ilości niklu w glebie na jej aktywność biologiczną, określając aktywność dehydrogenaz, ureazy oraz fosfatazy kwaśnej i zasadowej.

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu zwiększonych ilości niklu w glebie na tle zróżnicowanego wapnowania na aktywność dehydrogenaz w glebie po uprawie fasoli.

## 2. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Badaniami objęto glebę po czteroletnim doświadczeniu wazonowym, które przeprowadzono w obiektach Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach, w układzie całkowicie losowym, w trzech powtórzeniach.

Doświadczenie przeprowadzono w wazonach o pojemności 15 dm<sup>3</sup>, które napełniono 10 kg gleby. Gleba do doświadczenia została pobrana wczesną wiosną, w roku rozpoczęcia badań z poziomu próchnicznego (Ap: 0–30 cm) gleby płowej typowej [Systematyka gleb Polski – Roczniki Gleboznawcze 1989], według WRB Hoplici Invisols [Word Reference Base for Soil Resources 1993], na terenie Wysoczyzny Siedleckiej. Charakterystyka gleby wskazała, że powstała z gliny zwałowej zlodowacenia Środkowopolskiego (stadiał Warty). W trakcie pobierania prób gleba ta była użytkowana rolniczo i zaliczana do czwartego kompleksu przydatności rolniczej (żytni bardzo dobry) i III b klasy bonitacyjnej (gleby orne średnio dobre).

Badaną glebę charakteryzowało uziarnienie gliny piaszczystej pylastej (wg propozycji PTG z 2008 r. gliny piaszczystej), co odpowiada średniej kategorii agronomicznej ciężkości gleb. Podstawowe właściwości badanej gleby według wcześniejszych badań [Kuziemska 2009] podano w tabeli 1.

**Tabela 1.** Niektóre właściwości gleby wykorzystanej do doświadczenia wazonowego**Table 1.** Some properties of soil used in the pot experiment

Zawartość (%) frakcji granulometrycznej o średnicy (mm)				Grupa granulometryczna (wg BN-78/918-11)	pH 1 M KCl	Hh Cmol(+)·kg <sup>-1</sup>	C <sub>org</sub>	N <sub>cał</sub>	C:N	Przyswajalne		Całkowita zawartość Ni, mg·kg <sup>-1</sup> gleby	Przyswajalny Ni, mg·kg <sup>-1</sup> gleby
1-0,1	0,1-0,02	<0,02	<0,002							P	K		
				g·kg <sup>-1</sup> gleby				mg·kg <sup>-1</sup> gleby					
48	28	24	11	glina piaszczysta pylasta	5,49	1,98	6,5	0,61	10,7:1	71	110	10,1	1,12

W doświadczeniu uwzględniono dwa czynniki:

- I) nikiel – stosowany we wzrastających ilościach 0,0; 50; 100 i 150 mg Ni·kg<sup>-1</sup> gleby; pierwiastek ten wprowadzono do gleby w pierwszej dekadzie czerwca w roku rozpoczęcia badań, w formie roztworu wodnego NiSO<sub>4</sub> · 7 H<sub>2</sub>O;
- II) wapnowanie, stosowane w ilościach 0; 0,5; 1,0 i 1,5 kwasowości hydrolitycznej gleby, w postaci CaCO<sub>3</sub>; nawóz wapniowy wymieszano z glebą wioną, w roku rozpoczęcia eksperymentu.

W celu uzyskania równowagi kationowo-anionowej przez jeden sezon wegetacyjny wazony pozostawiono bez uprawy, utrzymując wilgotność podłoża na poziomie 60% polowej pojemności wodnej (PPW), a właściwy tok doświadczenia rozpoczęto w roku następnym.

W ciągu czterech lat trwania doświadczenia rośliną testową była fasola zwykła karłowa (*Phaseolus vulgaris* L.), odmiany Aura, którą zbierano w fazie pełnej dojrzałości. Pod fasolę stosowano corocznie nawożenie azotem, fosforem i potasem w ilościach: N – 0,17 g·kg<sup>-1</sup> gleby w formie saletry amonowej, zawierającej 34% N, P – 0,053 g·kg<sup>-1</sup> gleby, w formie superfosfatu potrójnego, zawierającego 19% P oraz K – 0,17 g·kg<sup>-1</sup> gleby, w formie soli potasowej, zawierającej 40% K. Wilgotność gleby utrzymywano na poziomie 60% PPW.

Analizie poddano glebę w każdym roku prowadzenia eksperymentu po zbiorze fasoli. Aktywność dehydrogenaz w analizowanej glebie oznaczono metodą z wykorzystaniem TTC [Casida i in. 1964]. Metoda ta polega na inkubacji gleby z bezbarwnym, rozpuszczalnym w wodzie substratem, TTC (2-, 3-, 5-trifenyloitetrazoliowy chlorek), który jest redukowany enzymatycznie do barwnego, nierozpuszczalnego w wodzie trifenyloformazanu (TPF). Zastępując tlen oraz inne naturalnie występujące akceptory, TTC przejmuje elektrony i protony, odłączone przez dehydrogenazy do utlenianych związków or-

ganicznych. Po inkubacji farmazan jest ekstrahowany z gleby alkoholem i oznaczany kolorymetrycznie. Zgodnie z założeniem autorów metody, reakcja jest przeprowadzana w warunkach zbliżonych do naturalnych, dlatego odczyn gleby jest regulowany węglanem wapnia a nie buforem.

Miarą aktywności dehydrogenaz w glebie jest ilość wytworzonego farmazanu przez jednostkę masy gleby w jednostce czasu [Brzezińska i Włodarczyk 2005]. Odczyn gleby oznaczono w roztworze KCl o stężeniu  $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$  metodą potencjometryczną. Całkowitą zawartość niklu w glebie oznaczono metodą atomowej spektrometrii emisyjnej z plazmą indukcyjnie wzbudzoną (ICP-AES) aparatem firmy Perkin-Elmer – Optima 3200 RL, po wcześniejszej mineralizacji materiału na „mokro” w mieszaninie kwasów nadchlorowego i azotowego (1:2) [Kopeć, Gondek 2002].

**Tabela 2.** Aktywność dehydrogenaz w glebie ( $\mu\text{mol TPF} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )

**Table 2.** Dehydrogenase activity in soil ( $\mu\text{mol TPF} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )

Dawki niklu ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby)	Wapnowanie wg Hh	Lata				Średnia dla lat
		I	II	III	IV	
0	0	1,36	1,27	1,46	1,41	1,37
	0,5	1,41	1,43	1,40	1,34	1,39
	1,0	1,30	1,34	1,33	1,33	1,32
	1,5	1,30	1,32	1,30	1,37	1,32
50	0	1,35	1,44	1,46	1,36	1,40
	0,5	1,42	1,47	1,44	1,40	1,43
	1,0	1,40	1,43	1,38	1,50	1,43
	1,5	1,39	1,46	1,43	1,39	1,42
100	0	1,19	1,21	1,34	1,38	1,28
	0,5	1,24	1,27	1,39	1,39	1,32
	1,0	1,30	1,27	1,38	1,44	1,35
	1,5	1,29	1,24	1,30	1,37	1,30
150	0	1,04	1,08	1,27	1,25	1,16
	0,5	1,11	1,12	1,35	1,21	1,19
	1,0	1,19	1,20	1,31	1,25	1,24
	1,5	1,20	1,21	1,27	1,23	1,23
Średnia dla dawki niklu	0	1,34	1,34	1,37	1,36	1,35
	50	1,39	1,45	1,43	1,41	1,42
	100	1,25	1,25	1,35	1,40	1,31
	150	1,13	1,15	1,30	1,23	1,20
Średnia dla wapnowania	0	1,23	1,25	1,38	1,35	1,30
	0,5	1,30	1,32	1,40	1,33	1,34
	1,0	1,30	1,31	1,35	1,38	1,34
	1,5	1,30	1,31	1,32	1,34	1,32
Średnia w doświadczeniu		1,28	1,30	1,36	1,35	1,32

$\text{NIR}_{(0,05)}$	I	II	III	IV
1) dla dawek niklu	0,051	0,098	0,104	0,083
2) dla wapnowania	0,051	n.i.	n.i.	n.i.
3) interakcje I/II	0,102	n.i.	n.i.	n.i.

**Tabela 3.** pH gleby w 1 M KCl**Table 3.** pH of soil in 1 M KCl

Dawki niklu (mg·kg <sup>-1</sup> gleby)	Wapnowanie wg Hh	Lata			
		I	II	III	IV
0	0	5,49	5,56	5,50	5,59
	0,5	5,98	6,02	5,86	5,79
	1,0	6,14	6,18	5,98	5,90
	1,5	6,40	6,52	6,04	5,95
50	0	5,54	5,50	5,51	5,58
	0,5	5,96	5,98	5,76	5,65
	1,0	6,10	6,08	5,93	5,80
	1,5	6,30	6,12	6,08	5,90
100	0	5,50	5,46	5,48	5,36
	0,5	6,02	5,88	5,68	5,39
	1,0	6,12	5,99	5,92	5,81
	1,5	6,22	6,10	6,04	5,90
150	0	5,48	5,44	5,40	5,28
	0,5	5,88	5,62	5,53	5,39
	1,0	5,93	5,84	5,72	5,46
	1,5	6,08	5,98	5,64	5,88
Średnia dla dawki niklu	0	6,00	6,07	5,85	5,81
	0,5	5,97	5,94	5,82	5,74
	1,0	5,69	5,86	5,78	5,61
	1,5	5,84	5,72	5,65	5,92
Średnia dla wapnowania	0	5,50	5,51	5,47	5,45
	0,5	5,96	5,87	5,71	5,56
	1,0	6,07	6,02	5,89	5,74
	1,5	6,25	6,18	6,02	5,92
Średnia w doświadczeniu		5,95	5,90	5,77	5,67

NIR <sub>(0,05)</sub>	I	II	III	IV
1) dla dawek niklu	0,08	0,06	0,10	0,13
2) dla wapnowania	0,08	0,06	0,10	0,13
3) interakcje I/II	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.

**Tabela 4.** Zawartość niklu ogólnego w glebie [ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  gleby]

**Table 4.** The nickel content in soil [ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  of soil]

Dawki niklu ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby)	Wapnowanie wg Hh	Lata			
		I	II	III	IV
0	0	9,82	9,58	9,36	9,20
	0,5	9,86	9,73	9,50	9,43
	1,0	9,78	9,68	9,62	9,55
	1,5	9,80	9,60	9,50	9,42
50	0	62,8	62,0	61,9	61,6
	0,5	62,6	60,2	59,3	58,9
	1,0	62,4	61,6	60,4	58,9
	1,5	62,8	60,8	59,3	57,9
100	0	112,0	111,4	109,6	108,0
	0,5	111,8	110,6	108,4	107,0
	1,0	112,2	111,2	109,2	106,9
	1,5	111,6	110,6	109,4	107,2
150	0	161,9	161,2	160,0	158,5
	0,5	163,4	162,8	160,5	157,2
	1,0	162,8	161,4	159,6	156,8
	1,5	161,4	160,9	158,6	156,0
Średnia dla dawki niklu	0	9,84	9,65	9,50	9,40
	0,5	62,6	61,2	60,2	59,3
	1,0	111,9	111,0	109,2	107,1
	1,5	162,4	161,6	159,7	157,1
Średnia dla wapnowania	0	86,6	86,0	85,2	84,3
	0,5	86,9	85,8	84,4	83,1
	1,0	86,8	86,0	84,7	83,0
	1,5	86,4	85,5	84,2	82,6
Średnia w doświadczeniu		86,7	85,9	84,6	83,3

$\text{NIR}_{(0,05)}$	I	II	III	IV
1) dla dawek niklu	1,214	1,579	1,996	2,511
2) dla wapnowania	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
3) interakcje I/II	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.

Wyniki uzyskane z badań opracowano statystycznie, poddając je analizie wariancji z wykorzystaniem F-Fishera-Snedecora, wg programu F.R. Anal. Var. 4.1., a wartość  $\text{NIR}_{(0,05)}$  wyliczono wg testu Tukey'a. Ponadto wyliczono współczynnik korelacji liniowej.

### 3. OMÓWIENIE WYNIKÓW

W warunkach prowadzonych badań własnych średnia aktywność dehydrogenaz w glebie pobranej po kolejnych latach uprawy fasoli (tab. 2) wynosiła od 1,16 do 1,43  $\mu\text{mol TPF}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Największą aktywność omawianego enzymu w glebie stwierdzono w trzecim i czwartym roku eksperymentu – odpowiednio 1,36 i 1,35  $\mu\text{mol TPF}\cdot\text{kg}^{-1}$ , a najmniejszą w glebie pobranej w pierwszym roku – 1,28  $\mu\text{mol TPF}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

We wszystkich latach badań zróżnicowana ilość niklu w glebie istotnie modyfikowała omawianą cechę. W trzech pierwszych latach doświadczenia wprowadzenie do gleby niklu w dawce najmniejszej – 50 mg Ni·kg<sup>-1</sup> gleby, powodowało istotny wzrost aktywności dehydrogenaz, zwiększenie ilości niklu do 100 i 150 mg Ni·kg<sup>-1</sup> gleby powodowało natomiast istotne zmniejszenie ich aktywności. Na obiektach, na których zastosowano największą z rozpatrywanych w eksperymencie ilości niklu, zmniejszenie aktywności dehydrogenaz w stosunku do obiektów kontrolnych w kolejnych latach wynosiło: I rok – 15,7 %, II rok – 14,8 % i III rok – 5,1 %. W czwartym roku eksperymentów wprowadzenie do gleby zarówno 50, jak i 100 mg Ni·kg<sup>-1</sup> gleby powodowało istotne zwiększenie aktywności dehydrogenaz, a w dawce 150 mg Ni·kg<sup>-1</sup> gleby ich zmniejszenie o 10% w stosunku do objętości kontrolnych. Rezultaty te są zgodne z uzyskanymi we wcześniejszych badaniach [Kalembasa, Kuziemska 2009].

Również inni autorzy [Wyszkowska i Wyszkowski 2004] stwierdzili negatywny wpływ zwiększających się ilości niklu w glebie na jej aktywność enzymatyczną. Wyszkowska i in. [2009] badali też wpływ innych metali ciężkich na poziom aktywności enzymatycznej gleb i wykazali, że w glebach zanieczyszczonych miedzią aktywność ta się zmniejsza, przy czym najbardziej odporna na nadmiar miedzi była katalaza, a najmniej dehydrogenazy.

Wpływ zróżnicowanego wapnowania na omawianą cechę był niejednoznaczny i uzależniony od terminu poboru prób gleby do analizy.

W pierwszym roku eksperymentu wapnowanie powodowało istotny wzrost aktywności dehydrogenaz, przy czym wzrost ten – niezależnie od poziomu wapnowania – wyniósł 5,4% w stosunku do aktywności dehydrogenaz w obiekcie kontrolnym. W kolejnych latach badań nie stwierdzono istotnego wpływu omawianego czynnika na aktywność badanych enzymów, ale wykazano pewne tendencje. W drugim roku eksperymentu wszystkie z zastosowanych dawek wapna powodowały niewielkie zwiększenie aktywności dehydrogenaz, w roku trzecim tylko dawka obliczona dla 0,5 Hh powodowała niewielkie zwiększenie dehydrogenaz, natomiast dwie pozostałe dawki zmniejszenie aktywności omawianych enzymów. W czwartym roku prowadzenia doświadczenia nie stwierdzono wyraźnych tendencji dotyczących wpływu zróżnicowanego wapnowania na aktywność dehydrogenaz w glebie. We wszystkich latach badań zastosowane wapnowanie powodowało zmniejszenie negatywnego wpływu dużej ilości niklu na aktywność omawianych enzymów.

Wartości pH gleby w kolejnych latach badań oznaczone w roztworze 1 M KCl podano w tabeli 3. Wahały się one w szerokich granicach, od 5,28 do 6,52, i ulegały istotnemu zróżnicowaniu pod wpływem obu badanych czynników. Niezależnie od terminu poboru prób do analizy wprowadzenie niklu do gleby (we wszystkich dawkach) powodowało istotne zmniejszenie wartości pH, co może być związane z jego formą (NiSO<sub>4</sub>) i jej przemianami w glebie (hydroliza soli z odczynem kwasowym). Zastosowane wapnowanie powodowało zwiększenie wartości pH we wszystkich latach eksperymentu, co jest zgodne z rezultatami uzyskanymi przez Hołubowicz-Klizę [2006].



Największy efekt wapnowania stwierdzono w pierwszym i drugim roku prowadzenia badań, potem stopniowo zanikał, co jest związane z tempem przemian zastosowanego węgla wapnia w glebie.

Zawartość niklu ogólnego w badanej glebie wynosiła od 9,92 do 163,4 mg Ni·kg<sup>-1</sup> gleby i była uzależniona tylko od pierwszego czynnika. Największą średnią zawartość niklu w analizowanej glebie – 86,7 mg Ni·kg<sup>-1</sup> gleby – stwierdzono w pierwszym roku eksperymentu, a najmniejszą – 83,3 mg Ni·kg<sup>-1</sup> gleby – w roku ostatnim, co wiązać należy zarówno z pobraniem tego metalu przez roślinę testową, jak i z niewielkim wymyciem. Nie stwierdzono wpływu wapnowania na omawianą cechę.

Przeprowadzona analiza korelacji wykazała istotne zależności między aktywnością dehydrogenaz a zawartością niklu ogólnego w glebie. Wartości współczynników korelacji w kolejnych latach wynosiły: I rok:  $r = -0,780$ ; II rok:  $r = -0,722$ ; III rok:  $r = -0,524$ ; IV rok:  $r = -0,579$ .

#### 4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Podsumowując przeprowadzone badania własne należy podkreślić, że wykazały istotną zależność pomiędzy wzrastającą ilością niklu w glebie a aktywnością dehydrogenaz.

Nikiel wprowadzony do gleby w ilości 50 mg Ni·kg<sup>-1</sup> gleby okazał się czynnikiem zwiększającym aktywność omawianych enzymów, większe dawki niklu (100 i 150 mg Ni·kg<sup>-1</sup> gleby) natomiast znacznie obniżyły ich aktywność, co jest zgodne zarówno z wcześniejszymi rezultatami badań [Kalembasa, Kuziemska 2009], jak i wynikami uzyskanymi przez innych autorów [Wyszowska, Wyszowski 2004].

Wapnowanie nie różnicowało omawianej cechy w sposób istotny, ale we wszystkich latach badań, niezależnie od ilości wapnia wprowadzonego do gleby, powodowało zmniejszenie negatywnego wpływu niklu.

Przeprowadzone badania i uzyskane wyniki pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Wprowadzenie do gleby 50 mg Ni·kg<sup>-1</sup> spowodowało istotne zwiększenie aktywności dehydrogenaz, a dawki 100 i 150 mg Ni·kg<sup>-1</sup> gleby istotne ich zmniejszenie.
2. Wapnowanie w sposób znaczący ograniczało negatywny wpływ wzrastających ilości niklu na aktywność dehydrogenaz w badanej glebie.

#### PIŚMIENNICTWO

- BRZEZIŃSKA M., WŁODARCZYK T. 2005. Enzymy wewnątrzkomórkowych przemian redoks (oksydoreduktory). PAN, Acta Agrophisica, Rozprawy i Monografie 3: 11–26.
- CASIDA L.E. JR., KLEIN D.A., SANTORO T. 1964. Soil dehydrogenase activity Soil Sci. 98: 371–379.

- DICK R.P. 1994. Soil enzyme activities as indicators of soil quality. In: Doran J.W. i in. (eds.). Defining soil quality for anistainable Enviromnent: 107–124.
- GOSTKOWSKA K., FURCZAK J., DOMŻAŁ H., BIELIŃSKA E.J. 1998. Suitability of some biochemical and microbiological tests for the degradation degree of podzolic soil on the back ground of it differentiated usage. *Pol. J. Soil Sci.* 30(2): 69–78.
- GÓRSKA E. B., STĘPIEŃ W. 2007. Aktywność dehydrogenazy w glebie płowej z dodatkiem kurzeńca, osadu ściekowego i kompostu DANO. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 32: 219–223.
- HOŁUBOWICZ-KLIZA G. 2006. Wapnowanie gleb w Polsce. Instrukcje upowszechnieniowe Nr 128, Wyd. IUNG-PIB, Puławy: 61.
- KALEMBASA S., KUZIEMSKA B. 2009. Wpływ zanieczyszczenia gleby niklem na tle nawożenia organicznego na aktywność dehydrogenaz. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 41: 470–478.
- KOPEĆ M., GONDEK K. 2002. Wpływ wapnowania gleby bardzo kwaśnej na dynamikę Zawartości pierwiastków śladowych w okresie wegetacji w runi łąkowej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 548: 293–299.
- KOPER J., PIOTROWSKA A., SIWIK-ZIOMEK A. 2008. Dehydrogenaze and inventase activities in a rusty soil in the neighbour of the Włocławek Nitrogen Plant „Anvil”. *Proceedings of ECOpole 2(1)*: 197–2012.
- KUCHARSKI J. 1997. Relacje pomiędzy aktywnością enzymów a żyznością gleby. W: *Drobnoustroje w środowisku. Występowanie, aktywność i znaczenie.* (W. Barabasz red.), AR Kraków: 327–347.
- KUZIEMSKA B. 2009. Wpływ wzrastających ilości niklu w glebie na plonowanie i skład chemiczny wybranych gatunków roślin bobowatych. *Rozprawy naukowe. Wyd. AP Siedlce* 102: 100.
- RUSSEL S. 2005. Znaczenie badań enzymów w środowisku glebowym. *Acta Agrophisica, Rozprawy i monografie PAN* (3): 5–9.
- Systematyka gleb Polski.** 1989. *Rocz. Glebozn.* 40, 3/4.
- TABATABAI M.A. 1994. Soil enzymes. *Methodes of soil analis.* Part 2. *Microbiologica and biochemical properties.* 55, SA, Series 5: 775–833.
- WORD REFERENCE BASE FOR SOIL SESOURCES: 1993.
- WYSZKOWSKA J., KUCHARSKI M., KUCHARSKI J., BOROWIK A. 2009. Activity of dehydrogenases, catalase and urease in copper polluted soil. *J. Elementol.* 2009, 14(3): 605–617.
- WYSZKOWSKI J., WYSZKOWSKI M. 2004. Wpływ zanieczyszczenia gleby niklem na jej aktywność enzymatyczną. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 505: 518–522.