

WPLYW STOSOWANIA PODŁOŻA POPIECZARKOWEGO NA
ZAWARTOŚĆ NIKLU W POZIOMIE PRÓCHNICZNYM GLEBY PŁOWEJ
OPADOWO-GLEJOWEJ UŻYTKOWANEJ ROLNICZO

Anna Majchrowska-Safaryan

Zakład Ochrony i Hodowli Roślin
Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach
ul. B. Prusa 14, 08-110 Siedlce
e-mail: anna.majchrowska-safaryan@uph.edu.pl

Streszczenie: W dwuletnim doświadczeniu polowym, zlokalizowanym w Środkowo-Wschodniej Polsce (Wysoczyzna Siedlecka), określono wpływ nawożenia podłożem po uprawie pieczarki białej (*Agaricus bisporus*) na zawartość całkowitą niklu oraz jego ilościowy udział w wydzielonych frakcjach, w ornym poziomie próchnicznym gleby płowej opadowo – glejowej użytkowanej rolniczo. Doświadczenie obejmowało obiekty: kontrolny (bez nawożenia); nawożony nawozami mineralnymi NPK; nawożony obornikiem trzody chlewnej; nawożony obornikiem trzody chlewnej + NPK; z zastosowanym podłożem po uprawie pieczarki; z zastosowanym podłożem po uprawie pieczarki + NPK. Frakcjonowanie sekwencyjne niklu, przeprowadzono według procedury BCR. Wydzielono frakcje: F1 – wymienną, F2 – redukowalną, F3 – utleniającą, F4 – rezydualną. W poziomie próchnicznym gleby poszczególnych obiektów doświadczenia, sekwencyjne frakcjonowanie niklu wykazało zróżnicowaną zawartość tego metalu w wydzielonych frakcjach oraz ich udział w zawartości całkowitej. Wprowadzenie do gleby podłoża po produkcji pieczarki samego oraz z dodatkiem NPK, po pierwszym roku uprawy, wpłynęło na zwiększenie udziału niklu we frakcji wymiennej (F1) i związanej z materią organiczną (F3) w stosunku do obiektu kontrolnego. Po drugim roku uprawy zastosowane podłoże potencjalnie wpłynęło potencjalnie na zwiększenie biodostępności i ruchliwości tego metalu w glebie, jednocześnie zmniejszył się jego udział we frakcji związanej z materią organiczną F3. Średni procentowy udział frakcji niklu po dwóch latach uprawy układał się w następującym szeregu malejących wartości: $F4 > F3 > F1 > F2$.

Słowa kluczowe: frakcje niklu, podłoże popieczarkowe, gleba płowa opadowo-glejowa

WSTĘP

Nikiel jest pierwiastkiem powszechnie występującym w środowisku. Zawartość w glebie mieści się w zakresie od 1 do 50 mg·kg⁻¹ s.m. W naturalnych wa-

runkach przyrodniczych nie powoduje zagrożenia dla organizmów żywych, a jego ilość w glebach zależy od zawartości w skale macierzystej. Jest pierwiastkiem, który uczestniczy w transporcie azotu z części podziemnych do nadziemnych rośliny oraz biologicznej redukcji azotu cząsteczkowego (Kabata-Pendias i Pendias 1999, Spiak 1997). Produkcja oraz wprowadzanie do gleb uprawnych odpadów organicznych przyczynia się do wzrostu zawartości tego pierwiastka w środowisku, który w nadmiarze może być toksyczny dla biotycznej części ekosystemu. Właściwości chemiczne niklu sprawiają, iż jest on sorbowany przede wszystkim przez mineralne i organiczne koloidy glebowe oraz wodorotlenki żelaza i manganu (Alloway 1995). Zjawisko to w znacznym stopniu utrudnia naturalne przemieszczanie się związków niklu poza zasięg systemu korzeniowego roślin.

Zużyte podłoże pieczarkowe jest potencjalnie dobrym materiałem nawozowym i szczególnie cennym źródłem substancji organicznej (Kalembasa i Majchrowska-Safaryan 2009b, Medina i in. 2009). Jego rolnicze wykorzystanie jest szczególnie polecane we wschodniej części województwa mazowieckiego ze względu na koncentrację produkcji pieczarki białej w tym rejonie Polski (Majchrowska-Safaryan i Tkaczuk 2013). Zawartość metali ciężkich w tym niklu w podłożach popieczarkowych jest bardzo zróżnicowana i zależy głównie od składu komponentów użytych do ich produkcji. Zawartości te zazwyczaj nie przekraczają ilości dopuszczalnych przy stosowaniu nawozowym tego odpadowego materiału w rolnictwie (Kalembasa i Majchrowska-Safaryan 2006, 2009b, Majchrowska-Safaryan i Tkaczuk 2013).

Celem pracy była ocena wpływu zastosowania podłoża popieczarkowego w celach nawozowych na zawartość całkowitą oraz frakcji niklu w poziomie próchnicznym gleby płowej opadowo-glejowej użytkowanej rolniczo.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie wegetacyjne przeprowadzono na terenie Wysoczyzny Siedleckiej, w środkowo-wschodniej części województwa mazowieckiego, w obrębie gminy Liw, na polu produkcyjnym indywidualnego gospodarstwa rolnego, w miejscowości Zajac (52°20'00"N i 22°03'00"E), w latach 2008 i 2009. Wiosną, przed założeniem doświadczenia wykonano odkrywkę glebową do głębokości 150 cm. Opisano ją morfologicznie i zakwalifikowano jako glebę płową opadowo-glejową. Czas trwania doświadczenia podyktowany był założeniem, iż podłoże po uprawie pieczarki zastosowane do nawożenia wpływa korzystnie na plon roślin, głównie w dwóch pierwszych latach po zastosowaniu do gleby. Eksperyment założono metodą losowanych bloków, w czterech powtórzeniach, o wielkości poletek do zbioru 7×7 m. Doświadczenie obejmowało obiekty: kontrolny (bez

nawożenia); nawożony nawozami mineralnymi NPK; nawożony obornikiem trzody chlewnej ($25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) (zastosowany ze względu na tuczarnię w gospodarstwie); nawożony obornikiem trzody chlewnej ($25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) + NPK; z zastosowanym podłożem po uprawie pieczarki ($20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$); z zastosowanym podłożem po uprawie pieczarki ($20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) + NPK.

Rośliną testową w pierwszym roku uprawy był ziemniak (*Solanum tuberosum* L.) – odmiana skrobiowa Pasat, a w drugim roku pszenica ozima (*Triticum aestivum* L.) – odmiana Finezja. Materiały organiczne zastosowano wiosną, a ich dawki ustalono na podstawie zawartości w nich azotu. Nawożenie mineralne NPK zastosowano wiosną, przed sadzeniem ziemniaka i jesienią pod pszenicę ozimą. Po zbiorze uprawianych roślin, z powierzchniowego (ornego) poziomu próchnicznego (0-25 cm) pobrano próbki gleby do analizy, które przesiano przez sito o średnicy oczek 2 mm.

W poziomie próchnicznym gleby po I i II roku uprawy oznaczono: pH w $1 \text{ mol KCl} \cdot \text{dm}^{-3}$ – potencjometrycznie; całkowitą kationową pojemność sorpcyjną gleb ($T = \text{CEC}$) obliczono na podstawie kwasowości hydrolytycznej (Hh) i sumy wymiennych kationów zasadowych (S) – oznaczonych metodą Kappena; węgiel w związkach organicznych (C_{org}) – metodą oksydacyjno-miareczkową (Kalembasa i Kalembasa 1992); zawartość całkowitą niklu (Ni_{cat}), po uprzedniej mineralizacji badanego materiału, w mieszaninie stężonych kwasów HCl + HNO₃ w stosunku 3:1; frakcje niklu wydzielono za pomocą metody BCR (tab. 1) (Rauret i in. 2000), oznaczono metodą ICP – AES. Analizę prowadzono w trzech powtórzeniach. Dla oceny poprawności oznaczeń stosowano materiały referencyjne: WEPAL Soil Reference Material BCR 142R (light sandy soil).

Podłoże po 6 tygodniach uprawy pieczarki pochodziło z pieczarkarni, gdzie stosowano podłoże do uprawy tego grzyba fazy III, a okrywa składała się głównie z torfu wysokiego i dodatków; obornik trzody chlewnej pochodził z chlewni głębokiej. W podłożu popieczarkowym i oborniku trzody chlewnej (jako standard, do porównania) oznaczono: suchą masę, metodą suszarkowo-wagową (w 105°C), azot całkowity (N_{cat}) metodą Kjeldahla – a pozostałe analizy metodami jak wyżej.

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie, wykorzystując analizę wariancji dla doświadczenia dwuczynnikowego. O istotności wpływu czynników doświadczalnych na wartość badanych cech wnioskowano na podstawie testu F Fishera-Snedecora, a wartość $\text{NIR}_{0,05}$ wyliczono testem Tukey'a. Do obliczeń wykorzystano program Analwar-5FR. Obliczono współczynniki korelacji prostej metodą Pearsona, wykorzystując program statystyczny Statistica 9.1.

Tabela 1. Schemat ekstrakcji sekwencyjnej metali ciężkich według metody BCR
Table 1. Scheme of sequential extraction of heavy metals by the BCR method

Frakcja Fraction	Nazwa – Name	Odczynnik ekstrakcyjny Extraction reagent	Czas ekstrakcji Extraction time	pH
F1	wymienna, łatwo rozpuszczalna w środowisku kwaśnym – exchangeable / acid extractable	0,11 mol·dm ⁻³ CH ₃ COOH	16 h	3,00
F2	redukowalna – reducible	0,5 mol·dm ⁻³ NH ₂ OH HCl	16 h	2,00
F3	utleniaalna –oxidizable, bound with organic matter	30% H ₂ O ₂ (1 h., 85°C) + 1 mol·dm ⁻³ CH ₃ COONH ₄	16 h	2,00
F4	rezydualna – residual	Obliczono z różnicy pomiędzy ogólną zawartością danego metalu a sumą jego frakcji – calculated as the difference between the total content of the metal and the sum of the above determined fractions	–	–

stosunek gleba : roztwór – ratio soil : solution – 1g : 10 cm³

WYNIKI I DYSKUSJA

Analiza chemiczna obornika trzody chlewnej i podłoża po uprawie pieczarki, zastosowanych do nawożenia gleby wykazała, że różniły się one zawartością suchej masy, węgla związków organicznych, azotu oraz wartością pH. W badanym podłożu popieczarkowym stwierdzono o 39% wyższą zawartości niklu w stosunku do obornika trzody chlewnej (tab. 2).

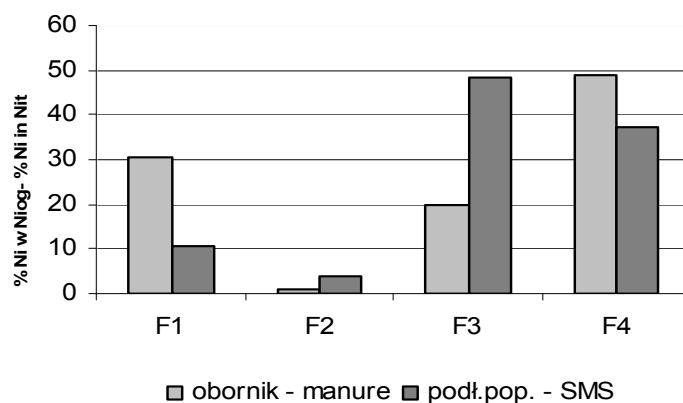
Tabela 2. Wybrane właściwości obornika trzody chlewnej i podłoża popieczarkowego użytych w nawożeniu gleb

Table 2. The Selected properties of swine manure and spent mushroom substrate used for soil fertilisation

Materiał organiczny Organic material	Sucha masa w 105°C DM at 105°C	C _{org}	N _{całk}	pH _{KCl}	Ni _{całk}
	(g·kg ⁻¹)	C _{org}	N _{tot}		Ni _{tot}
Obornik trzody chlewnej Swine manure	250	383	22,6	6,97	5,69
Podłoże popieczarkowe Spent mushroom substrate	309	278	23,3	7,15	9,27

W wydzielonych frakcjach wg procedury BCR stwierdzono zróżnicowany udział procentowy niklu w zawartości całkowitej (rys. 1). W oborniku trzody

chlewnej najwięcej niklu wydzielono we frakcji rezydualnej F4, która stanowiła 48,8%, natomiast w podłożu popieczarkowym metal ten najsilniej związany był z frakcją utleniającą F3 (48,3%). Analiza sekwencyjna wykazała, że nikiel w formie łatwo dostępnej dla roślin (F1) w oborniku stanowił aż 30,4%, natomiast w podłożu popieczarkowym 10,5%. Zbliżone wyniki frakcjonowania niklu w podłożach po produkcji pieczarki, pochodzących z trzech różnych wytwórni uzyskały Kalembasa i Majchrowska-Safaryan (2009a). Kuziemska i in. (2013) stwierdzili, iż w oborniku bydlęcym i kurzeńcu pochodzącym od niosek największy udział w zawartości całkowitej niklu stanowiła frakcja utleniająca.



Rys 1. Procentowy udział frakcji niklu w jego zawartości całkowitej w materiałach organicznych użytych w nawożeniu

Fig 1. Percentage share of nickel in its total content in the separated fractions of organic materials used for fertilisation

podł. pop. – podłoże popieczarkowe; SMS – spent mushroom substrate; frakcje – fraction: F1 – wymienna – exchangeable; F2 – redukowalna – reducible; F3 – utleniająca – oxidizable; F4 – rezydualna – residual

Zastosowanie podłoża popieczarkowego samodzielnie oraz z dodatkiem NPK wpłynęło na wzrost wartości pH badanej gleby, w stosunku do obiektu kontrolnego, a także nawożonego obornikiem z dodatkiem NPK (tab. 3). Kalembasa i Wiśniewska (2006) w doświadczeniu wazonowym, stwierdziły zwiększenie wartości pH gleby pod wpływem nawożenia podłożem popieczarkowym. W przypadku zastosowanych w nawożeniu materiałów organicznych dodatek do nich NPK, po I roku uprawy wpłynął na wzrost zakwaszenia tych obiektów. Po II roku uprawy (po zbiorze pszenicy ozimej) w stosunku do I roku stwierdzono zmniejszenie wartości pH_{KCl} wszystkich obiektów nawozowych z wyjątkiem obiektu nawożonego obornikiem z dodatkiem NPK.

Tabela 3. Wybrane właściwości poziomu próchnicznego gleby poszczególnych obiektów nawozowych po pierwszym i drugim roku uprawy

Table 3. Selected properties of humus horizon of soil of the particular fertilisation treatments after the first and second years of cultivation

Obiekt doświadczalny Experimental treatment	pH KCl	Corg. – OrgC (g·kg ⁻¹)	T – CEC (mmol(+)-kg ⁻¹)	Nicał. – Nit (mg·kg ⁻¹)
I rok uprawy (po uprawie ziemniaka) – first year of cultivation (after the potato cultivation)				
Obiekt kontrolny – Control treatment	4,79	6,02	67,6	2,68
NPK	5,18	7,00	76,9	2,80
Obornik – Swine manure	5,07	7,40	71,4	3,03
Obornik + NPK	4,44	7,72	68,4	2,80
Swine manure + NPK	5,11	7,65	90,3	2,76
Podł.pop. – SMS	4,92	7,67	87,8	2,67
Podł.pop.+ NPK – SMS + NPK	–	7,24	77,1	2,79
II rok uprawy (po uprawie pszenicy) – second year of cultivation (after the wheat cultivation)				
Obiekt kontrolny – Control treatment	4,61	6,09	64,5	2,42
NPK	4,58	6,40	67,6	2,93
Obornik – Swine manure	4,69	8,30	77,1	3,22
Obornik + NPK	4,90	6,75	75,7	2,90
Swine manure + NPK	4,59	7,65	79,2	2,38
Podł.pop. – SMS	4,27	8,00	81,3	2,47
Podł.pop.+ NPK – SMS + NPK	–	7,20	74,2	2,72
NIR0,05 – LSD0,05				
A (lata – years)		n.i		n.i.
B (nawożenie – fertilisation))		0,353		0,415
B/A		0,499		n.i.
A/B		0,333		n.i.

T = CEC – całkowita kationowa pojemność sorpcyjna – cation exchange capacity; n.i. – różnica nieistotna – not significant difference; podł.pop. – podłoże popieczarkowe; SMS – spent mushroom substrate

Według Jaskulskiej (2003), nawożenie naturalne w pewnym stopniu przeciwdziała obniżaniu odczynu gleb, następującemu w wyniku stosowania nawozów mineralnych. Zastosowanie podłoża popieczarkowego samodzielnie oraz z dodatkiem NPK, zarówno po I jak i II roku uprawy wpłynęło na zwiększenie pojemności sorpcyjnej (T) gleb badanych obiektów nawozowych. Zawartość węgla związków organicznych w poziomach próchnicznych gleb poszczególnych obiektów doświadczenia była niska i wynosiła średnio 7,24 g·kg⁻¹ po I roku i 7,20 g·kg⁻¹ po II roku uprawy. Po zbiorze pszenicy zawartość C_{org} w glebie obiektu nawożonego samodzielnie podłożem popieczarkowym pozostała na poziomie I roku (7,65 g·kg⁻¹), a nawożonego podłożem z dodatkiem NPK zwiększyła się o 4,3%. W obydwu latach eksperymentu zastosowanie podłoża popieczarkowego spowodowało zwiększenie zawartości C_{org}, w stosunku do obiektów kon-

trolnych, odpowiednio o 27 i 25%. Szulc i in. (2009) podają, iż stosowanie podłoża popieczarkowego w nawożeniu gleb intensywnie wpływa na wzrost zawartości węgla związków organicznych.

Zawartość całkowita niklu w glebie poziomu próchnicznego poszczególnych obiektów doświadczalnych była niska i mieściła się w zakresie zawartości naturalnych (Kabata-Pendias, Pendias 1999). Analiza statystyczna wykazała, iż tylko zastosowane nawożenie istotnie różnicowało zawartość niklu w badanej glebie (tab. 4).

Tabela 4. Zawartość niklu w wydzielonych frakcjach oraz jego procentowy udział w poziomie próchnicznym gleby poszczególnych obiektów doświadczenia

Table 4. Nickel content in separated fractions and its percentage share in the humus horizon of soil of the particular experimental treatments

Obiekt doświadczalny Experimental treatment	F1		F2		F3		F4	
	mg·kg ⁻¹	%	mg·kg ⁻¹	%	mg·kg ⁻¹	%	mg·kg ⁻¹	%
I rok uprawy (po uprawie ziemniaka) – first year of cultivation (after the potato cultivation)								
Obiekt kontrolny – Control treatment	0,124	4,62	0,158	5,88	0,614	22,9	1,787	66,6
NPK	0,233	8,34	0,148	5,30	0,774	27,7	1,640	58,7
Obornik – Swine manure	0,299	9,86	0,116	3,83	0,941	31,0	1,675	55,3
Obornik + NPK – Swine manure + NPK	0,298	10,8	0,185	6,68	0,975	35,2	1,311	47,3
Podł.pop. – SMS	0,284	10,3	0,117	4,24	0,997	36,1	1,363	49,4
Podł.pop.+ NPK – SMS + NPK	0,262	9,80	0,192	7,19	0,917	34,3	1,300	48,7
średnia – mean	0,250	8,95	0,153	5,52	0,869	31,2	1,513	54,3
II rok uprawy (po uprawie pszenicy) – second year of cultivation (after the wheat cultivation)								
Obiekt kontrolny – Control treatment	0,174	7,19	0,146	6,03	0,574	23,7	1,527	63,1
NPK	0,289	9,85	0,128	4,36	0,666	22,7	1,850	63,1
Obornik – Swine manure	0,277	8,60	0,132	4,10	0,603	18,7	2,207	68,6
Obornik + NPK – Swine manure + NPK	0,277	9,56	0,139	4,80	0,567	19,6	1,913	66,0
Podł.pop. – SMS	0,299	12,5	0,089	3,73	0,536	22,5	1,459	61,2
Podł.pop.+ NPK – SMS + NPK	0,328	13,3	0,135	5,46	0,638	25,8	1,373	55,5
średnia – mean	0,274	10,2	0,128	4,75	0,597	22,2	1,721	62,9
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}								
A (lata – years)	0,004		0,007		0,008		0,016	
B (nawożenie – fertilisation)	0,011		0,018		0,021		0,042	
B/A	0,016		0,026		0,030		0,060	
A/B	0,011		0,017		0,020		0,040	

Fracje – fractions: F1 – wymienna – exchangeable; F2 – redukowalna – reducible; F3 – utleniaalna – oxidizable; F4 – rezydualna – residual

Sekwencyjne frakcjonowanie niklu w poziomie próchnicznym poszczególnych obiektów doświadczalnych wykazało, że udział tego pierwiastka w wydzielonych frakcjach był zróżnicowany, a ich zawartość zależała od czasu trwania doświadczenia oraz zastosowanego nawożenia (tab. 4). Gleba badanych obiektów charakteryzowała się znacznym udziałem Ni we frakcji wymiennej F1, której

(średnio) więcej stwierdzono po II roku (10,2%), niż po I roku uprawy (8,95%). Najmniejszy udział Ni tej frakcji, w obydwu latach badań stwierdzono na obiekcie kontrolnym (odpowiednio 4,62 i 7,19%), a największy na obiektach nawożonych obornikiem z dodatkiem NPK (10,8%) oraz podłożem popieczarkowym (10,3%) (w I roku) i podłożem popieczarkowym samodzielnie i z dodatkiem NPK (odpowiednio 12,5 i 13,3%) w II roku. Na zwiększenie udziału niklu we frakcji rozpuszczalnej, badanych obiektów doświadczalnych wpłynął wzrost zakwaszenia gleby. Wiater (2009) w glebie obiektu kontrolnego stwierdziła od 6,6 do 12,1% Ni w F1, a nawożonego obornikiem 13,2 do 21,8%. Zbliżony udział niklu we frakcjach bioprzyswajalnych, w różnych glebach, podaje Kalembasa i Majchrowska-Safaryan (2009c), natomiast mniejszy Kalembasa i Pakuła (2009). Kabata-Pendias i Pendias (1999) podają, że rozpuszczalność niklu wzrasta wraz ze zwiększaniem się kwasowości gleb. Królak (2004) stwierdziła w poziomach próchnicznych różnych gleb około 12% Ni w formie przyswajalnej. Najmniejszy procentowy udział niklu (w $Ni_{całk.}$) stwierdzono we frakcji redukowalnej F2 i wynosił on (średnio dla obiektów) po I roku uprawy (5,52%), a po II roku (4,75%). Jaremko i Kalembasa (2011) w poziomach próchnicznych gleb płowych opadowo glejowych Wysoczyzny Siedleckiej stwierdzili także niewielki udział frakcji redukowalnej niklu w jego zawartości całkowitej.

Udział niklu we frakcji organicznej F3 był znacznie większy (średnio dla obiektów) po I roku uprawy (po zbiorze ziemniaka), niż po II roku (po zbiorze pszenicy). Po I roku uprawy w glebie obiektów nawożonych podłożem popieczarkowym (36,1%) i obornikiem z dodatkiem NPK (35,2%) stwierdzono największy udział Ni we frakcji organicznej, w stosunku do obiektu kontrolnego (22,9%). Po II roku stwierdzono istotne zmniejszenie udziału Ni tej frakcji w glebie obiektów nawożonych materiałami organicznymi. Wiater (2009) w glebach nawożonych różnymi materiałami odpadowymi, zanotowała najmniejszy udział Ni tej frakcji, w trzecim roku eksperymentu. Kabata-Pendias i Pendias (2001) podają, że podatność tego pierwiastka do połączeń chelatowych z substancją organiczną utrzymuje jego dużą mobilność, nawet w warunkach odczynu zbliżonego do obojętnego. Kalembasa i Pakuła (2009) podają, iż w poziomach próchnicznych gleb użytkowanych rolniczo zawartość niklu wynosi od 19,3 do 37,9% Ni we frakcji organicznej, a Kalembasa i Majchrowska-Safaryan (2009c) stwierdziła ponad dwukrotnie mniejszy udział tej frakcji.

Największy procentowy udział niklu w zawartości całkowitej, stwierdzono w formach nierozpuszczalnych, reprezentowanych przez frakcję rezydualną F4. W I roku badań największy udział Ni tej frakcji stwierdzono w glebie obiektu kontrolnego (66,6%), a w II roku – obiektu nawożonego obornikiem (68,6%). Po II roku uprawy stwierdzono zwiększenie udziału Ni tej frakcji pod wpływem nawożenia podłożem popieczarkowym samodzielnie i z dodatkiem NPK (odpo-

wiednio o 11,8 i 6,8%) w stosunku do roku I. Andersen i in. (2002), Kalembasa i Majchrowska-Safaryan (2009c), Kalembasa i Pakuła (2009), Wiater (2009), Domańska (2009), Jaremko i Kalembasa (2011) badając różne gleby mineralne stwierdzili, że ponad 60% całkowitej zawartości niklu jest silnie związane we frakcji rezydualnej.

Obliczenia statystyczne wykazały, iż ogólna zawartość niklu istotnie dodatnio korelowała z jego zawartością we frakcji rezydualnej (F4), natomiast zawartość węgla w związkach organicznych istotnie była powiązana z zawartością niklu we frakcji wymiennej (F1) (tab. 5).

Tabela 5. Współczynnik korelacji pomiędzy zawartością niklu w wydzielonych frakcjach ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) a wybranymi cechami po zakończeniu dwuletniego doświadczenia

Table 5. Correlation coefficient between nickel content in the separated fractions ($\text{mg} \text{ kg}^{-1}$) and selected properties after two years of the field experiment

Parametr Parameter	F1	F2	F3	F4
Ni	0,20	0,03	0,25	0,68*
Corg – OrgC	0,75*	-0,12	0,33	-0,14
pH _{KCl}	-0,21	-0,05	0,41	0,09
CEC	0,43	-0,10	0,34	-0,37

* istotność na poziomie $\alpha = 0,05$ – significant at $\alpha = 0.05$

WNIOSKI

1. Zastosowanie podłoża popieczarkowego w dwuletnim doświadczeniu polowym, wpłynęło nieznacznie na zwiększenie całkowitej zawartości niklu, w glebie, w stosunku do obiektu kontrolnego. Zawartości te nie przekraczały dopuszczalnych stężeń zawartych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska Polski i mieściły się w przedziale zawartości naturalnych.

2. Wprowadzenie do gleby podłoża po produkcji pieczarki samodzielnie oraz z dodatkiem NPK, po pierwszym roku uprawy, spowodowało zwiększenie udziału niklu we frakcji wymiennej i utlenialnej w stosunku do obiektu kontrolnego. Po drugim roku uprawy zastosowane podłoże potencjalnie wpłynęło na zwiększenie biodostępności i ruchliwości tego metalu w glebie, jednocześnie zmniejszył się jego udział we frakcji związanej z materią organiczną. Średni procentowy udział frakcji niklu po dwóch latach badań układał się w następującym szeregu malejących wartości: F4 (rezydualna) > F3 (organiczna) > F1 (wymienna) > F2 (redukowalna).

3. Analiza wariancji wykazała, iż zawartość niklu w wydzielonych frakcjach, zależała istotnie od czasu trwania doświadczenia i zastosowanego nawożenia.

PIŚMIENNICTWO

- Alloway B.J., 1995. Heavy metals in soil. Blackie Academic & Professional. 152-174.
- Andersen M.K., Raulund-Rasmussen K., Hansen C.B., Strobel B.W., 2002. Distribution and fractionation of heavy metals in pairs of arable and afforested soil in Denmark. *Eur. J. Soil Sci.*, 53, 491-502.
- Domańska J., 2009. Specjacja niklu w glebach organicznych i mineralnej o zróżnicowanym odczynie. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.*, 542, 695-702.
- Jaremko D., Kalembasa D., 2011. Specjacja niklu w ornym glebach płowych opadowo-glejowych Wysoczyzny Siedleckiej. *Inż. Ekolog.*, 27, 19-25.
- Jaskulska I., 2003. Wpływ wieloletniego zróżnicowanego nawożenia na niektóre właściwości warstwy ornej i podornej gleby lekkiej. *Fragm. Agron.* 20(1), 29-39.
- Kabata-Pendias A., Pendias H., 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa.
- Kabata-Pendias A., Pendias H., 2001. Trace Elements in Soil and Plants. CRC Press, Boca Raton.
- Kalembasa S., Kalembasa D. 1992. The quick method for the determination of C:N ratio in mineral soils. *Polish J. Soil Sci.*, 25, 1: 41-46.
- Kalembasa D., Majchrowska-Safaryan A., 2006. Wpływ uprawy pieczarki na skład chemiczny podłoża. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.*, 512, 247-254.
- Kalembasa D., Majchrowska-Safaryan A., 2009a. Frakcje metali ciężkich w zużytych podłożach z pieczarkarni. *Ochr. Śr. Zasobów Nat.*, 41, 572-577.
- Kalembasa D., Majchrowska-Safaryan A., 2009b. Zasobność zużytego podłoża z pieczarkarni. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.*, 535, 195-200.
- Kalembasa D., Majchrowska-Safaryan A., 2009c. Rozmieszczenie niklu we frakcjach wydzielonych sekwencyjnie z gleb stoku morenowego. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.*, 540, 191-200.
- Kalembasa D., Pakuła K., 2009. Heavy metal fractions in soils fertilized with sewage sludge. *Environ. Protec. Engineer.*, 35 (2), 157-164.
- Kalembasa D., Wiśniewska B., 2006. Zmiany składu chemicznego gleby i życia wielokwiatowej pod wpływem stosowania podłoża popieczarkowego. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.*, 512, 265-276.
- Królak E. 2004. Zależność pomiędzy zawartością metali ciężkich w opadzie całkowitym, glebie i roślinie wskaźnikowej *Taraxacum* sp. na Nizinie Południowopodlaskiej. *Rozpr. Nauk.*, 75, Wyd. AP, Siedlce 123 s.
- Kuziemska B., Wierniej W., Jaremko D., Bik B., 2013. Frakcje żelaza i niklu w wybranych materiałach organicznych. *Ochr. Śr. Zasobów Nat.*, 24, 4 (58), 13-15.
- Majchrowska-Safaryan A., Tkaczuk C., 2013. Możliwość wykorzystania podłoża po produkcji pieczarki w nawożeniu gleb jako jeden ze sposobów jego utylizacji. *J. Res. Appl. Agric. Eng.* 58(4), 57-62.
- Medina E., Paredes C., Perez-Muria M.D., Bustamente M.A., Moral R., 2009. Spent mushroom substrate as component of growing media for germination and growth of horticultural plants. *Biores. Technol.*, 100, 4227-4232.
- Rauret G., López-Sánchez J.F., Sahuquillo A., Barahona E., Lachica M., Ure A.M., Davidson C.M., Gomez A., Lück D., Bacon J., Yli-Halla M., Muntau H., Quevauviller PH., 2000. Application of a modified BCR sequential extraction (three-step) procedure for the determination of extractable trace metal contents in a sewage sludge amended soil reference material (CRM 483), complemented by a three-year stability study of acetic acid and EDTA extractable metal content. *J. Environ. Monit.*, 2, 228-233.
- Spiak Z., 1997. Wpływ formy chemicznej niklu na pobieranie tego pierwiastka przez rośliny. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.*, 448a, 111-116.

- Szulc W., Rutkowska B., Łabętowicz J., 2009. Wartość nawozowa odpadów organicznych. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln., 535, 415-421.
- Wiater J., 2009. Wpływ odpadów organicznych i organiczno-mineralnych na mobilność metali ciężkich w glebie. Środkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska, 11, 183-192.

EFFECT OF SPENT MUSHROOM SUBSTRATE APPLICATION
ON NICKEL CONTENT IN HUMUS HORIZON OF LUVISOLS
UNDER AGRICULTURAL USE

Anaa Majchrowska-Safaryan

Department of Plant Protection and Breeding
Siedlce University of Natural Sciences and Humanities
ul. B. Prusa 14, 08-110 Siedlce
e-mail: anna.majchrowska-safaryan@uph.edu.pl

Abstract. A two-year field experiment was set up in Central-Eastern Poland (Siedlce Upland) to study the influence of fertilisation with spent substrate after the cultivation of white mushrooms (*Agaricus bisporus*) on the content of nickel and its overall quantitative participation in separated fractions in the humus horizon of Stagnic Luvisol under agricultural use. The experimental treatments were as follows: control (without fertilisation); with NPK mineral fertilisation; fertilised with swine manure; fertilised with swine manure + NPK; fertilised with spent mushroom substrate; fertilised with spent mushroom substrate + NPK. Sequential fractionation of nickel was conducted according to the BCR procedure. The following nickel fractions were separated: F1– exchangeable, F2 – reducible, F3 – oxidisable, F4 – residual. In the humus horizon of the particular experimental treatments the sequential fractionation of nickel revealed diversified content of this metal in the separated fractions and their varied share in the total content of nickel. After the first year of cultivation, the application of spent mushroom substrate to the soil, both alone and with NPK, caused an increase in the share of nickel in the exchangeable and oxidisable fractions relative to the control. After the second year of cultivation the substrate used caused a potential increase in the bioavailability and mobility of the metal in the soil, with simultaneous decrease of its share in the oxidisable fraction, bound with organic matter. The average percentage shares of nickel fractions after two years of cultivation were in the following order of decreasing values: F4 > F3 > F1 > F2.

Key words: nickel fractions, spent mushroom substrate, pseudogley loessive soil