

Beata Smolińska*, Katarzyna Król*

**WYMYWALNOŚĆ NIKLU Z PRÓB GLEBOWYCH AGLOMERACJI
ŁÓDZKIEJ**

**LEACHING OF NICKEL FROM SOIL SAMPLES OF THE ŁÓDŹ
AGGLOMERATION**

Słowa kluczowe: nikiel, wymywalność, zanieczyszczona gleba, środowisko.

Key words: nickel, leaching, contaminated soil, environment.

Heavy metals are one of the major pollutants in soil which can cause a lot of biological effects. Nickel is one of them. At the present time nickel became popular in many manufacturing process so there is possibility to find higher concentration of this element in environment. Therefore research are needed.

The aim of this work was estimation of nickel contamination degree in soil in Łódź city. This article describes also the results of the research on the nickel leaching process depend on soil pH. The samples were taken from surface layer of the soil (0–30 cm) from centre and suburb of the city. The content of nickel was measured by the AAS method. The study showed that there is no high concentration of nickel in soil in Łódź. As expected the higher concentration of this metal was found in soil samples from city centre. Investigations showed that the leaching of nickel is the most effective in pH=5. In this condition nickel forms were the most soluble.

In conclusion the results presented in this paper show that the nickel concentration in analysed soils is quite low so from the agricultural and environmental point of view this chemical element is not any significant factor limiting the usefulness of soil for the production of plant materials with high quality characteristics in Łódź agglomeration.

* *Dr inż. Beata Smolińska, mgr inż. Katarzyna Król – Instytut Podstaw Chemii Żywności, Wydział Biotechnologii i Nauk o Żywności, Politechnika Łódzka; ul. Stefanowskiego 4/10, 90-924 Łódź; tel.: 42 631 34 10, e-mail: katarzyna.krol@op.pl*

1. WPROWADZENIE

Zwiększająca się współcześnie świadomość zagrożeń, jakie wynikają z zanieczyszczenia środowiska naturalnego powoduje, że koniecznością stała się regularna kontrola poziomu zawartości pierwiastków i substancji toksycznych zarówno w powietrzu, wodzie, jak również w glebie [Kocjan i in. 2002]. Wśród substancji wykazujących negatywny wpływ na środowisko coraz większe zainteresowanie budzą metale ciężkie [Sady 2001]. Skutki zdrowotne wywołane spożywaniem nawet śladowych ilości tych substancji mogą pojawić się po wielu miesiącach, a nawet latach. Szczególnie wrażliwi na toksyczne działanie metali ciężkich są ludzie chorzy i dzieci [Domagała, Sady 2001]. Metale ciężkie stanowią bardzo specyficzną grupę zanieczyszczeń obecnych w glebie. Ich specyfika wynika z chemicznego charakteru tych zanieczyszczeń – są to pierwiastki, a więc nie podlegają biodegradacji i rozkładowi do związków prostych. Ponadto metale te występują we wszystkich glebach, nawet tych uznanych za nieskażone. W większości gleb ilości te są śladowe – nie przekraczają kilkunastu ppm, a w niektórych wypadkach nawet ich dziesiątych bądź setnych części. Są jednak gleby, w których obserwuje się naturalnie wysokie stężenia niektórych metali ciężkich, ze względu na ich duże stężenie w skałach macierzystych i rudach metali. Obecnie, w wyniku rozwoju cywilizacyjnego, w wielu rejonach obserwuje się silne skażenie gleb metalami ciężkimi. Ich źródłem są między innymi pyły pochodzące ze spalania paliw stałych oraz wydobywania i przetwarzania rud metali [Buszewski, Kosobucki 2003, Grześ, Klimek 2008].

Występowanie niklu w glebach jest wyraźnie związane z zasadowymi skałami magmowymi oraz z ilastymi skałami osadowymi. Nikiel najczęściej towarzyszy skałotwórczym krzemianom magnezowo-żelazowym. Duże koncentracje tego pierwiastka występują również w glebach wykształconych na podłożu serpentynitowym. Zbadano, że średnia zawartość niklu w powierzchniowych poziomach różnych gleb wynosi 4–50 mg/kg s.m. Mniejsze stężenia – w lekkich glebach piaszczystych wynoszą około 15 mg/kg s.m., natomiast większe stężenia – około 30 mg/kg s.m. – przypadają na gleby gliniaste. W glebach Ni przeważa w formie związanej z substancją organiczną. Często jednak, zwłaszcza w glebach mineralnych, metal ten jest sorbowany przez wodorotlenki żelaza i manganu, ale także pozostaje w formach łatwo rozpuszczalnych. Rozpuszczalność niklu w glebach wzrasta wraz z kwasowością, a jego sorpcja przez wodorotlenki Fe i Mn zwiększa się w miarę spadku kwasowości [Karaś i in. 2000, Lis, Pasieczna 1995].

Nikiel nie należy do pierwiastków, które są niezbędne do funkcjonowania wszystkich organizmów żywych [Wolak i in. 1995, Terelak i in. 2000]. Jednak wiele badań udowodniło, że jest on mikroelementem wymaganym do prawidłowego przebiegu procesów fizjologicznych u roślin, zwierząt, a nawet mikroorganizmów, ale nadmiar może być kancerogeny [Fu i in. 1996, Trupschuh i in. 1997 a,b, Anke i in. 1995]. Wysokie koncentracje niklu w organizmach żywych mogą przyczynić się do obniżenia pobierania magnezu, manganu oraz cynku [Kabata-Pendias, Pendias 1999].

Współcześnie nikiel jest bardzo ważnym elementem nowoczesnego przemysłu, w szczególności elektronicznego [Garrett 2000, Shin, Kim 2001]. Wykorzystywany jest w produkcji sprzętu elektrycznego, narzędzi, baterii, protez medycznych, stali nierdzewnej oraz biżuterii [Garrett 2000]. Bardzo często pierwiastek ten pełni również funkcję katalizatora w procesach, takich jak na przykład utwardzanie tłuszczu [Thomas 1970]. Ze względu na powszechność użycia niklu w wielu gałęziach przemysłu, może on być stosunkowo łatwo deponowany w glebie. Wielu autorów podkreśla, że na dostępność i mobilność niklu w glebie wpływ ma bardzo wiele czynników, takich jak: zawartość materii organicznej, koncentracja związków żelaza oraz pH samej gleby [Wallace i in. 1977; Sauerbeck 1991; Weng i in. 2004; McBride i in. 1999]. Wielu badaczy dowiodło w swoich doświadczeniach, że znacznie lepsze wiązanie jonów niklu następowało w glebie bogatej w materię organiczną [Weng i in. 2004; Toribio, Romanja 2006]. Niektórzy zauważyli jednak, że wiązanie to nie jest tak silne, jak u innych pierwiastków, m.in. miedzi i cynku [Kaschl i in. 2002; Ashworth, Alloway 2004]. Wielu autorów wykazało, że czynnikiem decydującym o mobilności niklu w glebie jest jej odczyn [Weng i in. 2004]. Być może związane jest to z faktem, iż pojemność sorpcyjna materii organicznej gleby w stosunku do metali jest silnie zależna od pH [Rooney i in. 2007]. Dodatek rozpuszczalnych soli metali do gleby powoduje wzrost siły jonowej w roztworze glebowym, a co za tym idzie – prowadzi do obniżenia pH tego roztworu, co w rezultacie zwiększa rozpuszczalność metali [Stevens i in. 2003]. W wielu doświadczeniach udowodniono, że największa rozpuszczalność niklu występuje w glebach kwaśnych [Rooney i in. 2007; Toribio, Romanja 2006]. Jest to o tyle niebezpieczne, że zakwaszenie gleb jest obecnie zjawiskiem niezwykle powszechnym wywołanym wieloma czynnikami, do których należą między innymi kwaśne deszcze. Wywołuje to potrzebę badania i kontroli gleby nie tylko pod względem zawartości konkretnych pierwiastków, ale również ich wymywalności i zachowania w różnych warunkach środowiskowych.

2. METODYKA

2.1. Badany materiał

Materiał, który posłużył do wykonania badań i analiz, stanowiły dwie gleby pobrane w różnych miejscach na terenie miasta Łodzi. Próbkę gleby nr 1 pobrana została na obrzeżach miasta, natomiast próbka nr 2 pochodziła z centrum miasta (w dalszym opisie doświadczenia dla uproszczenia zastosowano numerację gleb: 1 i 2). Próby glebowe do badań zostały pobrane zgodnie z normą PN-R-04031:1997 (Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Pobieranie próbek). W określonych miejscach wykopano jednolity monolit glebowy do głębokości 30 cm. Tak pobraną glebę umieszczono w płóciennych workach i przywieziono do laboratorium. Otwarty worek umieszczono w suchym i dobrze wentylowanym miejscu. Po osiągnięciu przez glebę powietrznie suchej masy, zbite części warstwy mineralnej roztar-

to w moździerz, a następnie przesiano przez sito o średnicy oczek 2 mm. W ten sposób przygotowane próbki glebowe przechowywano w plastikowych, zamkniętych pojemnikach, a następnie wykorzystano do przeprowadzenia analiz.

2.2. Oznaczenia analityczne

Oznaczenie pH oraz pH_{KCl} roztworów glebowych. Oznaczenie przeprowadzono zgodnie z normą PN-ISO 10390:1997 (Jakość gleby. Oznaczenie pH). Odważono po 10 g powietrznie suchych prób gleby 1 i 2, następnie przeniesiono je do szklanych zlewek o pojemności 50 ml i dodano po 25 ml wody destylowanej (pH_{H_2O}) lub 25 ml 1M roztworu KCl (pH_{KCl}). Zawartość wymieszano bagietką i pozostawiono na 24 godziny. Po upływie tego czasu dokonano pomiaru pH.

Oznaczenie zawartości wody higroskopijnej i absolutnie suchej masy gleby. Oznaczenie wykonane zostało zgodnie z normą PN-ISO 11465:1999 (Jakość gleby. Oznaczenie zawartości suchej masy gleby i wody w glebie w przeliczeniu na suchą masę gleby. Metoda wagowa.). Próbki powietrznie suchej gleby suszono w temperaturze 105°C do stałej masy. Z różnicy mas obliczono % zawartości wody higroskopowej.

Oznaczenie wymywalności niklu z gleb. W celu oznaczenia wymywalności niklu z badanych gleb przygotowano wyciągi glebowe. 10-gramową naważkę gleby umieszczono w kolbie o pojemności 250 ml. Do próbki dodano 100 ml wody destylowanej z ustalonym wcześniej pH (odpowiednio pH=5, pH=7, pH=8). Następnie wytrząsano na wytrząsarce laboratoryjnej w ciągu godziny. Po wytrząsaniu ługowano próbkę przez dwadzieścia cztery godziny w warunkach statycznych. Zawartość kolby przesączono się przez filtr bibułowy, następnie przesącz poddano dalszej procedurze analitycznej, tj. oznaczeniu zawartości niklu przy użyciu spektrometru absorpcji atomowej. Badanie przeprowadzono w trzech powtórzeniach dziennie, w ciągu pięciu dni.

Oznaczenie zawartości niklu w badanych glebach/glebowych wyciągach wodnych. W celu oznaczenia koncentracji niklu odpowiednio przygotowane próby glebowe poddano mineralizacji mikrofalowej. Oznaczenie stężenia Ni wykonano metodą absorpcyjnej spektroskopii atomowej (AAS), przy długości fali 232,0 nm.

3. ZESTAWIENIE I OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Tabela 1. Zawartość suchej masy w próbkach glebowych

Table 1. Dry weight of soil samples

Gleba	% suchej masy
1	97
2	97

Z danych zaprezentowanych w tabeli 1 wynika, że zarówno glebę pochodzącą z centrum, jak i glebę pobraną na obrzeżach miasta charakteryzowała wysoka zawartość suchej masy (97%). Parametr ten wykorzystano przy obliczaniu stężeń niklu w kolejnych etapach pracy.

Tabela 2. Zestawienie wyników pomiarów $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ i $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ badanych roztworów glebowych.

Table 2. pH of analysed soil solution in H_2O and KCl

Gleba	$\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$	$\text{pH}_{(\text{KCl})}$
1	4,77	4,02
2	6,66	5,96

Z przeprowadzonych analiz wynika, że gleby poddane analizie charakteryzowała różna kwasowość. Gleba pochodząca z centrum miasta cechowała się wyższym pH niż gleba pobrana na obrzeżach miasta. Najprawdopodobniej jest to wynikiem stosowania w okresie zimowym w strefie przyulicznej soli, która powoduje alkalizację gleby oraz prowadzi do nadmiernego wysycenia kompleksu sorpcyjnego gleby przez sól wapienny oraz nadmierną ilość wapnia. Obie gleby charakteryzowała wyższa kwasowość czynna w porównaniu z kwasowością wymienną, co jest zgodne z danymi literaturowymi [Dobrzański, Zawadzki 1981].

Tabela 3. Zawartość niklu w badanych glebach – próby po mineralizacji.

Table 3. Concentration of nickel in analysed samples – after mineralization process

Gleba	Średnia \pm odchylenie standardowe, mg/kg s.m.
1	29,80 \pm 0,56
2	31,86 \pm 0,47

Na podstawie danych przedstawionych w tabeli 3 można stwierdzić, że nieznacznie wyższe stężenie niklu charakteryzowało glebę 2. Wyższe stężenie niklu w tej glebie jest prawdopodobnie związane ze wzmożonym ruchem samochodowym w niedalekiej odległości od miejsca poboru tej próby, a co za tym idzie – z wyższą emisją niklu do atmosfery. Wraz z opadami atmosferycznymi dostaje się on do gleby, gdzie ulega akumulacji. Zawartość Ni w glebie pochodzącej z obrzeży miasta wynosi 29,80 mg/kg s.m.

Obydwie badane gleby są glebami niezanieczyszczonymi, gdyż według Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska [Gworek, Misiak 2003, Karaś i in. 2000] dopuszczalna zawartość niklu w glebach Polski wynosi 35 mg/kg s.m.

Tabela 4. Zestawienie wyników wymywalności niklu gleby 1 w pH=5, 7 i 8

Table 4. The results of nickel leaching from soil 1 in pH=5, 7 and 8

Gleba	Dzień	Średnia ± odchylenie standardowe, mg/kg s.m. pH=5	Średnia ± odchylenie standardowe, mg/kg s.m. pH=7	Średnia ± odchylenie standardowe, mg/kg s.m. pH=8
1	1	21,58 ±0,16	20,96 ±0,16	21,10 ±0,16
	2	21,99 ±0,32	21,20 ±0,37	21,27 ±0,16
	3	21,79 ±0,26	21,17 ±0,39	21,34 ±0,37
	4	20,99 ±0,16	20,62 ±0,11	20,75 ±0,37
	5	22,16 ±0,27	21,58 ±0,42	21,82 ±0,33

Na podstawie danych zebranych w tabeli 4 można zauważyć, że średnia wymywalność niklu z gleby 1 w środowisku kwaśnym (pH=5) wynosi ok. 21,70 mg/kg s.m. Stanowi to 72,8 % ogólnej zawartości niklu w próbie kontrolnej. Najniższe wyniki w tym wypadku uzyskano w czwartym dniu doświadczenia, natomiast największą wymywalność uzyskano piątego dnia – wyniosła ona 22,16 mg/kg s.m.

Przy oznaczaniu wymywalności badanej gleby w środowisku neutralnym (pH=7), średnia wartość wymywalności w danych warunkach wynosiła około 21,11 mg/kg s.m., co stanowiło blisko 71% ogólnego stężenia niklu w glebie. Najniższe wyniki uzyskano w czwartym dniu wykonywania oznaczeń. Wymywalność niklu z gleby 1 badana w pH=8 wynosiła 71,3% w stosunku do próby kontrolnej. Przez pierwsze trzy dni doświadczenia prowadzonego w tym środowisku stężenie niklu oznaczanego w ekstraktach utrzymywało się na podobnym poziomie, natomiast w czwartym dniu następował jego nieznaczny spadek, a w ostatnim dniu analiz obserwuje się jego wzrost.

W każdym badanym przypadku najwyższą wymywalność niklu stwierdza się w ostatnim dniu prowadzonych analiz.

Tabela 5. Zestawienie wyników wymywalności niklu z gleby 2 w pH=5, 7 i 8

Table 5. The results of nickel leaching from soil 2 in pH=5, 7 and 8

Gleba	Dzień	Średnia ± odchylenie standardowe, mg/kg s.m. pH=5	Średnia ± odchylenie standardowe, mg/kg s.m. pH=7	Średnia ± odchylenie standardowe, mg/kg s.m. pH=8
2	1	21,20 ±0,16	20,86 ±0,42	20,99 ±0,43
	2	21,58 ±0,62	20,79 ±0,31	21,00 ±0,70
	3	22,47 ±0,21	21,82 ±0,26	21,99 ±0,15
	4	21,03 ±0,21	20,72 ±0,21	20,83 ±0,37
	5	21,51 ±0,16	21,03 ±0,46	21,17 ±1,10

Na podstawie danych zebranych w tabeli 5 można stwierdzić, że w środowisku kwaśnym (pH=5) stężenie Ni w ekstraktach glebowych wynosiło powyżej 21 mg Ni/kg s.m., co stanowiło blisko 68% całkowitej zawartości tego metalu glebie. Najwyższą koncentrację Ni w wodnych eluatach w tym doświadczeniu zaobserwowano w trzecim dniu prowadzonych analiz – wynosiła ona 22,47 mg Ni/kg s.m.

Obserwując natomiast, jaki wpływ na wymywalność miało pH neutralne, można zauważyć podobną tendencję jak przy wymywalności niklu z tej gleby w pH kwaśnym. Najwyższą wymywalność metalu odnotowano w trzecim dniu prowadzonych analiz – stanowiła ona ponad 68% ogólnego stężenia niklu w tej glebie. Wymywalność niklu w pozostałych dniach oznaczeń wahała się nieznacznie i wyniosła średnio 21,04 mg/kg s.m. gleby, zatem około 66% ogólnej koncentracji Ni w analizowanej glebie.

Odczyn zasadowy nie wpłynął znacząco na proces wymywalności badanego pierwiastka z gleby. Średnie wartości stężeń tego pierwiastka w ekstraktach glebowych w kolejnych dniach prowadzonych analiz utrzymują się na podobnym poziomie. Można przyjąć, że wymywalność niklu w tym etapie doświadczenia stanowiła około 66,5% ogólnej koncentracji tego metalu w glebie. Na uwagę zasługuje fakt, że w trzecim dniu prowadzonych oznaczeń stężenie niklu w eluatach wzrosło i wynosiło blisko 22 mg Ni/kg s.m.

Przeprowadzone analizy wskazują, że najwyższa wymywalność niklu w glebie 1 i glebie 2 miała miejsce przy pH kwaśnym (pH=5). Badania przeprowadzone w niniejszej pracy w zakresie wymywalności niklu w pH kwaśnym potwierdzają dane literaturowe, które wskazują, że rozpuszczalność niklu w roztworze glebowym wzrasta wraz ze wzrostem kwasowości gleby [Gworek i in. 2004, Kabata-Pendias, Pendias 1999].

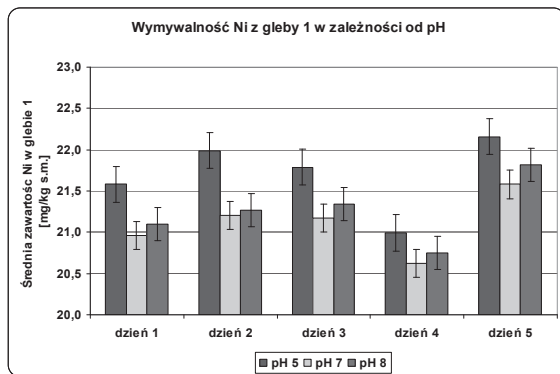
Na zakwaszenie gleby, a co za tym idzie, wzrost rozpuszczalności niklu oraz zwiększenie jego wymywalności mają wpływ opady atmosferyczne o pH<7, tzw. kwaśne deszcze. Opady te na terenach uprzemysłowionych, gdzie emisja tlenków siarki i azotu do atmosfery jest duża, powodują spadek kwasowości gleby, wspierając w ten sposób ługowanie metali z gleby [Barcan 2002, Buczkowski i in. 2002, Rasmusen1986].

Zwiększona kwasowość gleby sprzyja rozpuszczaniu kompleksowych połączeń niklu w roztworze glebowym oraz zwiększa biodostępność tego pierwiastka, co stwarza potencjalne ryzyko poboru i akumulacji tego metalu przez rośliny bytujące na glebie zanieczyszczonej tym pierwiastkiem [Szatnik-Kloc 2004].

Przeprowadzone doświadczenia wskazują, że zarówno dla gleby 1, jak i gleby 2 wymywalność niklu w pH obojętnym jest najniższa. Nikiel występuje w glebach najczęściej w formach jonów złożonych, takich jak: NiOH^+ , HNiO_2^- oraz Ni(OH)_3^- [Kabata-Pendias, Pendias 1999, Kabata-Pendias, Szteke 1998], prawdopodobnie formy te dominują w analizowanych glebach. Są to formy trudno rozpuszczalne o niskiej biodostępności, stąd wymywalność jest również niższa niż w pozostałych warunkach prowadzonych analiz (przy pH=5 i pH=8).

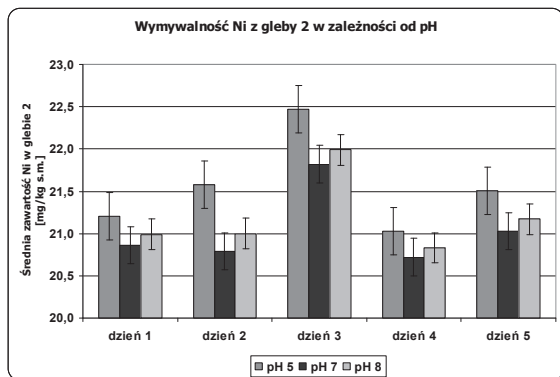
Otrzymane wyniki wskazują również, że wymywalność niklu rośnie wraz ze wzrostem pH. Jest ona jednak niższa niż w pH kwasowym (rys. 1 i rys. 2). Wzrost stężenia niklu w elu-

atach w pH=8 może mieć związek ze wzrostem rozpuszczalności substancji organicznej gleby i przechodzenia jej do fazy ciekłej, czyli roztworu glebowego. Wyniki oznaczeń wymywalności niku w różnych warunkach pH są zgodne z badaniami opublikowanymi przez van der Sloota [Sloot i in. 1996].



Rys. 1. Wymywalność niku z gleby 1

Fig. 1. Leaching of nickel from soil 1



Rys. 2. Wymywalność niku z gleby 2

Fig. 2. Leaching of nickel from soil 2

Na podstawie przeprowadzonych analiz można zauważyć, że dla gleby 1 wymywalność niku w określonym pH utrzymuje się na stałym poziomie (rys.1) Niewielki spadek wymywalności czwartego dnia prowadzonych oznaczeń może mieć związek z niedokładnością wykonania samego oznaczenia. Dla gleby 1 najwyższe stężenie niku w ekstrakcie glebowym zaobserwowano w pH kwaśnym, najniższe natomiast – w pH zasadowym.

Oznaczenia wymywalności niku w różnym pH wykonane dla gleby 2 wskazują, że najwyższe stężenie Ni w ekstraktach glebowych było w trzecim dniu prowadzonych analiz

(rys. 2). Wymywalność niklu w tym dniu była wyższa od średnich wartości niklu w eluatach w pozostałych dniach oznaczenia o około 6% dla pH=5, 5% wynosiła dla oznaczeń w pH=7 i ponad 4,6% dla pH=8. Wyniki otrzymane w pozostałych dniach prowadzonego doświadczenia utrzymują się na tym samym poziomie.

4. WNIOSKI

Przeprowadzone badania i analiza uzyskanych wyników pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Stężenie niklu w glebie pobranej na obrzeżach miasta oraz w centrum Łodzi różni się i wynosi odpowiednio: $29,80 \pm 0,56$ mg/kg s.m. i $31,86 \pm 0,47$ mg/kg s.m. gleby.
2. Gleby poddane analizie były glebami niezanieczyszczonymi – stężenia Ni były niższe niż 35 mg/kg s.m. gleby [Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska].
3. Dla obydwu analizowanych gleb została zachowana ta sama tendencja wymywalności zależnie od pH.
4. Najwyższa wymywalność niklu występuje w środowisku kwaśnym przy pH=5.
5. Wymywalność niklu spada w środowisku obojętnym, po czym nieznacznie wzrasta wraz ze wzrostem pH.

5. PODSUMOWANIE

W toku niniejszej pracy badawczej przeprowadzono oznaczenie zawartości niklu w dwóch próbkach gleby pochodzącej z centrum miasta oraz z obrzeży Łodzi. Ilość badanego pierwiastka została oznaczona metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej (AAS). Śladowa analiza gleb jest stosowana w badaniach podejmowanych głównie dla potrzeb rolnictwa i ochrony oraz oceny jakości środowiska przyrodniczego. Wyniki analizy są podstawą podejmowania istotnych decyzji administracyjnych, szczególnie w zakresie gospodarki gruntami i produkcji żywności, jak również wyznaczają kierunek właściwego zagospodarowania rolniczego [Kabata-Pendias, Szteke 1998]. Na podstawie otrzymanych wyników badań oraz ich porównaniu z dopuszczalnym stężeniem niklu w gruntach na badanych terenach można stwierdzić, że analizowane gleby nie są zanieczyszczone i nie przekraczają dopuszczalnych norm. Próbkę gleby pochodzącej z centrum miasta (gleba 2) charakteryzował nieco wyższy poziom zawartości niklu – $31,86 \pm 0,47$ mg/kg s.m., natomiast gleba pobrana z obrzeży Łodzi (gleba 1) zawierała średnio $29,80 \pm 0,56$ mg Ni/kg s.m. gleby.

Reasumując przedstawione w niniejszej pracy wyniki badań zawartości niklu w badanych glebach i zanieczyszczenia gleb tym pierwiastkiem, należy stwierdzić, że nikiel z rolniczego i ekologicznego punktu widzenia nie stanowi w Łodzi praktycznie żadnego problemu i nie jest czynnikiem w istotny sposób ograniczającym przydatność gleb do produkcji surowców roślinnych o wysokich cechach jakościowych.

PIŚMIENNICTWO

- ANKE M., MULLER M., ILLING-GUNTHER M., HARTMANN E., MOLLER E. 1995. Teratogenic effects of nickel offers exceeding the requirement in hens. 707–712.
- ASHWORTH D. J., ALLOWAY B. J. 2004. Soil mobility of sewage sludge –derived dissolved organic matter, copper, nickel and zink. *Environ. Pollut.* 127: 137–44.
- BARCAN V. 2002. Leaching of nickel an copper from soil contaminated by metallurgical dust. *Environment International* 28: 63–68.
- BUCZKOWSKI R., KONDZIELSKI I., SZYMAŃSKI T. 2002. Metody remediacji gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi. Uniwersytet M. Kopernika, Toruń: 10–23, 36–41.
- BUSZEWSKI B., KOSOBUECKI P. 2003. Fizykochemiczne metody analizy chemii środowiska. Cz.II, Ćw. laboratoryjne z ochrony wód i gleb. Wyd. Uniwersytetu M. Kopernika, Toruń: 125–131.
- DOBRZAŃSKI B., ZAWADZKI S. 1981. Gleboznawstwo. PWRiL, Warszawa: 258–280.
- DOMAGAŁA-ŚWIĄTKIEWICZ I., SADY W. 2001. Jak ograniczyć nadmierną akumulację metali ciężkich w warzywach? *Owoce-Warzywa-Kwiaty* (15): 27–28.
- FU H. H., WANG Y., TIAN Y. L. 1996. Functions of nickel in plants. *Plant Physiology Communications* 1: 45–49.
- GARRETT R. G. 2000. Natural sources of metals to the environment. *Metal ions in biology and medicine*, vol. 6. Paris: 508–510.
- GRZEŚ I., KLIMEK B. 2008. Jak metale ciężkie zaburzają biologiczne funkcjonowanie gleby? *AURA*, SIGMA-NOT: 13–14.
- GWOREK B., BARAŃSKI A. i in. 2004. Technologie rekultywacji gleb. Monografia. Dział wydawnictw IOŚ, Warszawa: 63–87.
- GWOREK B., MISIAK J. 2003. Obieg pierwiastków w przyrodzie. Monografia. T.II. IOŚ.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1993. Biogeochemia pierwiastków śladowych. Wyd. Nauk. PWN Warszawa.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa: 344–354, 374–375.
- KABATA-PENDIAS A., SZTEKE B. 1998. Problemy jakości analizy śladowej w badaniach środowiska przyrodniczego. Wyd. Edukacyjne Zofii Dobkowskiej, Warszawa: 13–14, 243–244, 249.
- KARAŚ Z. i in. 2000. Chrom, nikiel i kobalt w ekosystemie żywieniowym sojusznicy czy wrogonie? *PTTŻ – Oddział Wielkopolski*, Poznań: 35–124.
- KASCHL A., ROMHELD V., CHEN Y. 2002. The influence of soluble organic matter from municipal solid waste compost on trace metal leaching in calcareous soils. *Sci. Total Environ.* 291: 45–57.
- KOCJAN R., KOTA., PTASIŃSKI H. 2002. Zawartość chromu, cynku, miedzi, niklu, kadmu i ołowiu w warzywach i owocach z terenów Stalowej Woli. *Bromatol. Chem. Toksykol.* 1: 31–38.

- LIS J., PASIECZNA A. 1995. Atlas geochemiczny Polski. Wyd., Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa: 23–24, tablica 16.
- McBRIDE M. B., RICHARDS B. K., STEENHUIS T., SPIERS G. 1999. Long term leaching of trace elements in a heavily sludge-amended silty clay loam soil. *Soil Sci* (9): 613–623.
- RASMUSEN L. 1986. Effects of acid rain on ion leaching in a Danish forest soil. *Water, Air, Soil Pollution. Freiesleben NEV*; 31(3-4): 965–968.
- ROONEY P. C., ZHAO F-J, McGRATH P. S. 2007. Phytotoxicity of nickel in a range of European soils: Influence of soil properties on Ni solubility and speciation. *Environ. Pollut.* 145: 596–605.
- SADY W. 2001. Czynniki ograniczające zawartość azotanów i metali ciężkich w warzywach. *Przem. Ferment. Owoc-Warzyw.* 5: 21–23.
- SAUERBECK D. R. 1991. Plant element and soil properties governing uptake and availability of heavy metals derived from sewage sludge. *Water Air and Soil Pollution* 57: 227–237.
- SHIN H. J., KIM J. H. 2001. The present status and on overview of MLCC ceramist 4.
- SLOOT H.A. VAN DER., R. N. J. COMANS and O. HJELMAR. 1996. Similarities in the leaching behaviour of trace contaminants from waste, stabilized waste, construction materials and soil. *Sci. Total Environ.* 178: 111–126.
- STEVENS D. P., McLAUGHLIN M. J., HEINRICH T. 2003. Determining toxicity of lead and zinc runoff in soils: salinity effects on metal partitioning and on phytotoxicity. *Environmental Toxicity and Chemistry* 22: 3017–3024.
- SZATNIK-KLOC A. 2004. Wpływ pH i stężenia wybranych metali ciężkich na ich zawartość w roślinach. *Acta Agrophysica*: 177–183.
- TERELAK H., MOTOWICKA-TERELAK T., STUCZYŃSKI T., PIETRUCH C. 2000. Pierwiastki śladowe (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) w glebach użytków rolnych Polski. IUNG, Warszawa.
- THOMAS, C. L. 1970. *Catalytic Processes and Proven Catalysts*. Academic Press, New York and London.
- TORIBIO M., ROMANJA J. 2006. Leaching of heavy metals (Cu, Ni and Zn) and organic matter after sewage sludge application to Mediterranean forest soils. *Science of the Total Environment* 363: 11–21.
- TRUPSCHUH A., ANKE M., MULLER M., ILLING-GUNTHER M., HARTMANN E. 1997. Reproduction toxicology of nickel, 1st communication: effect of excessive nickel amounts on magnesium content of organs and tissues: 699–705.
- TRUPSCHUH A., ANKE M., MULLER M., ILLING-GUNTHER M., HARTMANN E. 1997. Reproduction toxicology of nickel, 2nd communication: effect of excessive nickel amounts on manganese content of organs and tissues: 706–12.
- WALLACE A., ROMNEY E. M., CHA J. W. 1977. Nickel phytotoxicity in relationship to soil pH manipulation and chelating agents. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 8: 757–764.

- WENG L. P., WOLTHOORN A., LEXMOND, TEMINGHOFF E. J. M., VAN RIEMSOLIJK W. H. 2004. Understanding the effects of soil characteristics on phytotoxicity and bioavailability of nickel using speciation models. *Environmental Science and Technology* 38: 156–162.
- WOLAK W., LEBODA R., HUBICKI Z. 1995. *Metale ciężkie w środowisku i ich analiza*. PIOŚ, Chełm.