

MACIEJ BOSIACKI, MARTA SZYMANOWSKA

Katedra Żywnienia Roślin
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

OCENA PRZYDATNOŚCI SŁONECZNIKA ZWYCZAJNEGO (*HELIANTHUS ANNUUS* L.) I RĄCZNIKA POSPOLITEGO (*RICINUS COMMUNIS* L.) DO FITOEKSTRAKCJI NIKLU Z GLEBY ZANIECZYSZCZONEJ

EVALUATION OF SUITABILITY OF COMMON SUNFLOWER
(*HELIANTHUS ANNUUS* L.) AND CASTOR BEAN (*RICINUS COMMUNIS* L.)
IN PHYTOEXTRACTION OF NICKEL FROM CONTAMINATED SOIL

Streszczenie. Głównym celem badań było określenie przydatności słonecznika zwyczajnego (*Helianthus annuus* L. ‘Choco Sun’) oraz rącznika pospolitego (*Ricinus communis* L. ‘Sanguineus Apache’) do fitoekstrakcji niklu z gleb, jak również ocena tolerancji tych gatunków na wzrastające stężenia metalu w glebie. Potencjał roślin ozdobnych w zakresie fitoekstrakcji badano w dwuletnim doświadczeniu wazonowym, w nieogrzewanym tunelu foliowym. Wazony wypełniono glebą mineralną (piasek słabo gliniasty) i wprowadzono do nich $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Zastosowano cztery poziomy zawartości niklu w glebie: kontrolę (zawartość wyjściowa), $50 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ – zawartość podwyższona, $75 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ – słabe zanieczyszczenie oraz $150 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ – średnie zanieczyszczenie. Badane gatunki roślin ozdobnych okazały się tolerancyjne na zastosowane stężenia niklu, z wyjątkiem słonecznika zwyczajnego rosnącego w glebie średnio zanieczyszczonej tym metalem. Oceniając potencjał słonecznika i rącznika w zakresie fitoekstrakcji niklu z gleby, stwierdzono, że nie jest on znaczący. Rącznik pospolity wytwarzał większą masę nadziemną i w efekcie wynosił z gleby więcej niklu niż słonecznik zwyczajny.

Słowa kluczowe: fitoremediacja, indeks stężenia niklu, indeks tolerancji, skażenie niklem, rośliny ozdobne

Wstęp

W wyniku trwającej urbanizacji, nadmiernej eksploatacji środowiska oraz stale wzrastającej liczby ludności wzrasta zanieczyszczenie środowiska, doprowadzając często do całkowitej jego degradacji (SIWEK 2008). Główną przyczynę stanowi m.in. gwałtowny rozwój motoryzacji oraz przemysłu, w dużej mierze energetycznego i wydobywczego. Zanieczyszczenia stałe, ciekłe, pyłowe i gazowe wpływają negatywnie na stan wód i gleb, ale też pośrednio i bezpośrednio na rozwój organizmów żywych, oddziałując negatywnie na szereg procesów metabolicznych i fizjologicznych. Szczególnie ważny problem stanowi skażenie środowiska metalami ciężkimi (TERELAK i IN. 2000, McGRATH i ZHAO 2003, MOCEK i MOCEK-PLÓCINIAK 2010).

Jednym z metali ciężkich jest nikiel, który cechuje się dużą mobilnością w ekosystemach i jest łatwo pobierany przez rośliny, zwykle proporcjonalnie do zawartości w glebie, jednak przemieszczanie się niklu do części nadziemnych jest ograniczone (ANTONIEWICZ i JASIEWICZ 2002). Jako mikrośladnik nikiel jest niezbędny dla roślin w śladowych ilościach. Poszczególne gatunki roślin wykazują różnice w przyswajaniu tego metalu, co wpływa na ich możliwości fitoakumulacji, jak również na fitotoksyczność (SPIAK 1996, GAMBUŚ 1997).

GRZYWNOWICZ (1997) stwierdził, że nikiel pochodzenia naturalnego, w glebach niezanieczyszczonych antropogenicznie, jest słabiej rozpuszczalny i mniej ruchliwy od pozostałych pierwiastków. Ponadto autor ten w swoich badaniach wykazał, że całkowita zawartość niklu jest związana z odczynem gleby, ilością części spławialnych, pojemnością kompleksu sorpcyjnego, jak i zawartością węgla organicznego. Podobne rezultaty uzyskali BIELICKA i IN. (2007) oraz GAŚIOREK (2010). BADORA (2002) oraz WALL (2003) zwracają uwagę na interakcje między niklem a takimi pierwiastkami śladowymi, jak cynk, kadm czy miedź. Jest to jednak problem mniej rozpoznany. MIGASZEWSKI i GALUSZKA (2007) podają, że średnia zawartość niklu w glebach Polski to około 2-50 mg·kg⁻¹ s.m. Ponadto BARAN (2000) podaje, że pierwiastek ten jest sorbowany przez uwodnione tlenki glinu i żelaza, substancje organiczne oraz minerały ilaste, co przyczynia się do gromadzenia go w glebie.

Zanieczyszczenie środowiska metalami ciężkimi, w tym niklem, jest spowodowane przez transport, przemysł, stale rosnące zużycie płynnych i stałych paliw, a także odpady komunalne i przemysłowe (KARCZEWSKA 2002, SZKODA 2009). KAMIŃSKA i IN. (2007) stwierdzili korelację bliskości Zakładów Chemicznych „Wizów” (Łąka k. Bolesławca) i zawartości niklu, zarówno w roślinach, jak i w glebie. W bezpośrednim sąsiedztwie gęstej sieci dróg komunikacyjnych w okolicach zlewni Kanału Gocławskiego zanieczyszczenie osadów dennych, wód powierzchniowych metalami ciężkimi, w tym niklem, stwierdzili DMOCHOWSKI i IN. (2008).

Progresywna tendencja degradacji środowiska, wraz ze wzrostem świadomości ekologicznej społeczeństwa, wpływają na zwiększającą się rolę rekultywacji terenów zanieczyszczonych. Zadaniem człowieka jest przywrócenie ekosystemów w możliwie najwyższym stopniu zbliżonych do naturalnych.

Jedną z prężnie rozwijających się technologii jest fitoremediacja (BAKER i IN. 2000). Metoda ta pozwala na wykorzystanie roślin w celu oczyszczania gleb, wód oraz osadów (SALT i IN. 1995, 1998, SCHONOR 2002, WONG 2003). W Polsce nie jest ona jeszcze wykorzystywana na szeroką skalę. Obecnie w różnych ośrodkach naukowych są

prowadzone badania dotyczące fitoremediacji oraz poszukiwania kolejnych roślin zdolnych do oczyszczania środowiska (ANTONIEWICZ i JASIEWICZ 2002, MALARKODI i IN. 2008, BOSIACKI i ZIELEZIŃSKI 2011, BOSIACKI i WOJCIECHOWSKA 2012). Wiele ośrodków naukowych prowadzi również badania dotyczące uzyskania roślin transgenicznych efektywnych w procesie fitoremediacji, pobierających i przetwarzających duże ilości zanieczyszczeń ze środowiska (MORIKAWA i IN. 2003, EAPEN i D'SOUZA 2005).

Jedną z technik fitoremediacji jest fitoekstrakcja ciągła, w której wykorzystuje się rośliny zdolne do pobierania zanieczyszczeń i gromadzenia ich w organach nadziemnych (SALT i IN. 1998). Rośliny wykorzystywane do fitoekstrakcji zanieczyszczeń wykształciły mechanizmy adaptacyjne poprzez wytworzenie specyficznych cech fizjologicznych (HALL 2002, MCGRATH i ZHAO 2003).

Głównym celem badań było określenie przydatności słonecznika zwyczajnego (*Helianthus annuus* L.) oraz rącznika pospolitego (*Ricinus communis* L.) do fitoekstrakcji niklu z gleb, jak również ocena tolerancji tych gatunków na wzrastające stężenia metalu.

Material i metody

Doświadczenie wegetacyjne przeprowadzono w sezonie wiosenno-letnim w 2010 i 2011 roku, w nieogrzewanym tunelu foliowym z podnoszonymi bokami o wymiarach 6×30 m, na terenie Stacji Doświadczalnej Marcelin Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.

Fitoekstrakcję niklu z gleby przez słonecznik zwyczajny (*Helianthus annuus* L. 'Choco Sun') oraz rącznik pospolity (*Ricinus communis* L. 'Sanguineus Apache') badano w doświadczeniu wazonowym przy czterech poziomach zawartości niklu: kontrola (wyjściowa zawartość niklu), $50 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ – zawartość podwyższona, $75 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ – słabe zanieczyszczenie oraz $150 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ – średnie zanieczyszczenie.

Przed założeniem doświadczenia oznaczono metodą Tiurina (GOLCZ i BOSIACKI 2011) zawartość w glebie węgla organicznego (C_{org}), która wynosiła 0,55%. W glebie mineralnej oznaczono według MOCKA i DRZYMAŁY (2010) gęstość fazy stałej (właściwą), która wynosiła $2,65 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, oraz gęstość objętościową – $1,62 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. Porowatość całkowita gleby mineralnej wynosiła 38,9%. Oznaczono również skład granulometryczny gleby mineralnej metodą areometryczną według Prószyńskiego (MOCEK i DRZYMAŁA 2010). Procentowy udział frakcji klasyfikował glebę do grupy piasku słabo gliniastego.

Składniki pokarmowe w glebie przed założeniem doświadczenia ekstrahowano roztworem CH_3COOH o stężeniu $0,03 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ według metody uniwersalnej (KOZIK i GOLCZ 2011). W ekstrakcie oznaczono: N-NH_4 i N-NO_3 – metodą destylacyjną, P – kolorymetrycznie metodą wanadomolibdenową, K i Ca – metodą fotometrii płomieniowej, Mg – metodą absorpcji atomowej (AAS), Cl i S- SO_4 – metodą nefelometryczną. Pozostałe składniki (Fe, Mn, Cu, Zn) oraz nikiel (przed doświadczeniem i po nim) oznaczono w wyciągu Lindseya, płomieniowo, techniką AAS. Oznaczono potencjometrycznie pH gleby w H_2O (stosunek podłoża do wody 1:2) oraz EC – konduktometrycznie ($\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$) (GOLCZ 2011).

Odczyn gleby mineralnej przed założeniem doświadczenia wynosił w pierwszym roku 7,0, natomiast w drugim 7,1, dlatego zrezygnowano z zabiegu wapnowania. Zawartość składników (w miligramach na 1 dm³ gleby) po wapnowaniu wynosiła w pierwszym roku badań: N-NH₄ – 16, N-NO₃ – 4, P – 60, K – 75, Ca – 1484, Mg – 45, Na – 16, Cl – 31, S-SO₄ – 9, Fe – 45,8, Cu – 14,7, Zn – 20,4, Mn – 4,1, B – ślady, Mo – ślady (EC 0,28 mS·cm⁻¹) oraz w drugim roku badań: N-NH₄ – 18, N-NO₃ – 7, P – 70, K – 95, Ca – 1361, Mg – 40, Na – 13, Cl – 241, S-SO₄ – 6, Fe – 35,8, Cu – 11,3, Zn – 17,4, Mn – 3,6, B – ślady, Mo – ślady (EC 0,24 mS·cm⁻¹). Zawartość rozpuszczalnych form niklu w pierwszym roku badań wynosiła 1,23 mg·dm⁻³, a w drugim roku – 1,18 mg·dm⁻³.

Składniki pokarmowe wprowadzono do gleby w postaci nawozu wieloskładnikowego Hortiform Mg w ilości 4 g na 1 dm³ gleby (skład nawozu w procentach: N całkowity – 8, N-NH₄ – 2, N z ureaformu – 6, P₂O₅ rozp. w obojętnym roztworze cytrynianu amonu i wodzie – 8, rozp. w wodzie – 7, K₂O całkowity – 5, rozp. w wodzie – 4,5, MgO całkowity – 13, rozp. w wodzie – 3,5, SO₃ rozp. w wodzie – 8, B – 0,01, Co – 0,002, Cu – 0,01, Fe – 0,5, Mn – 0,1, Mo – 0,001, Zn – 0,01).

Dla każdego gatunku doświadczenie wegetacyjne zakładano 18 kwietnia danego roku. Każde doświadczenie składało się z czterech kombinacji, w dziesięciu powtórzeniach. Powtórzenia stanowiła jedna roślina rosnąca w wazonie doświadczalnym o pojemności 7 dm³ (bezodpływowym). Ciężar 1 dm³ gleby wynosił 1220 g. Glebę mieszało z nawozem Hortiform Mg w ilości 28 g na 7 dm³ gleby, następnie po tygodniu – z odpowiednią dawką niklu, który wprowadzono w postaci roztworu sporządzonego z siarczanu niklu (II) NiSO₄·6H₂O.

Po siedmiu dniach od wprowadzenia niklu w zanieczyszczoną glebę sadzono badane gatunki roślin.

Likwidację doświadczenia przeprowadzono w pełni kwitnienia w drugiej dekadzie sierpnia. Przed zbiorem wykonano pomiary wysokości roślin i następnie pomiary świeżej masy części nadziemnych roślin. W terminie tym pobrano również z każdego pojemnika próbki gleby w celu oznaczenia rozpuszczalnych form niklu. Pobrano też próbki materiału roślinnego (poszczególne organy nadziemne rośliny) w celu oznaczenia w nim zawartości ogólnej niklu.

Poszczególne organy części nadziemnych roślin suszono w temperaturze 105°C przez 48 h. Tak wysuszony materiał zmielono w mikserze. Materiał roślinny mineralizowano na mokro w mieszaninie stężonego HNO₃ (ultraczysty) i HClO₄ (cz.d.a.) w stosunku 3:1 (BOSIACKI i ROSZYK 2010). Zawartość niklu oznaczono metodą absorpcji atomowej na spektrofotometrze AAS-3 firmy Zeiss. Oznaczono również zawartość niklu w materiale referencyjnym (*Pseudevernia furfuracea*), certyfikowanym przez IRMM (Institute for Reference Materials and Measurements) w Belgii.

Obliczono indeks tolerancji (T_i), czyli stosunek ilości plonu uzyskanego z gleby zanieczyszczonej metalami do plonu uzyskanego z gleby niezanieczyszczonej.

Wyliczono wskaźnik stężenia metalu (C) w poszczególnych organach nadziemnych ze wzoru:

$$C = a : b$$

gdzie:

a – zawartość niklu w roślinie rosnącej w zanieczyszczonym podłożu,

b – zawartość niklu w roślinie rosnącej w niezanieczyszczonym podłożu.

Analizy statystyczne wyników badań wykonano w programie STAT BAT i dotyczyły one analizy wariancji:

- jednoczynnikowej dla pomiarów wysokości roślin, wagi świeżej masy części poszczególnych organów oraz całkowitej masy części nadziemnych roślin (tab. 1),
- dwuczynnikowej dla zawartości niklu w suchej masie poszczególnych organów osobno dla każdego gatunku (tab. 2).

Różnice między średnimi określono za pomocą testu Duncana przy poziomie istotności $p = 0,05$.

Wyniki i dyskusja

Toksyczność niklu wynika ze stopnia skażenia środowiska oraz jego biochemicznej roli w procesach metabolicznych. Zależy też od stopnia wchłaniania przez organizmy, jak i wydalania poza ich granice (KABATA-PENDIAS i PENDIAS 1999).

Naturalnie rośliny mogą zawierać od 0,05 do kilku miligramów na 1 kg. KABATA-PENDIAS i PENDIAS (1999) podają, że naturalna ilość niklu w roślinach wynosi $3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ i zależy od gatunku oraz organu rośliny.

Nikiel w toksycznym stężeniu powoduje u roślin ograniczoną fotosyntezę i transpirację, chlorozę, jak również przyczynia się do tworzenia się zgrubień i brunatnienia korzeni, co skutecznie ogranicza ich funkcje transportu składników pokarmowych. Zbyt małe zaopatrzenie roślin w substancje pokarmowe (z wyjątkiem fosforu) sprzyja zwiększeniu toksyczności tego metalu (BARAN 2000).

Miarodajnym wskaźnikiem toksycznego wpływu na rośliny metali ciężkich w glebach i podłożach jest indeks tolerancji (T_i). Przyjęto dla niego następujące wartości krytyczne:

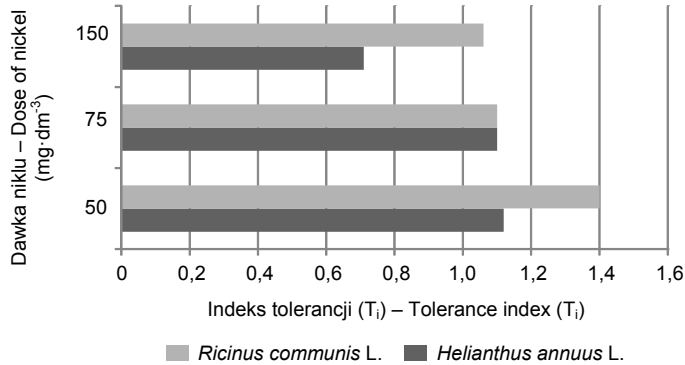
- $T_i < 1$ – zahamowanie wzrostu lub obumarcie roślin,
- $T_i = 1$ – brak wpływu zwiększonej zawartości metali na plonowanie,
- $T_i > 1$ – pozytywne oddziaływanie metali na plonowanie.

Badane gatunki roślin ozdobnych okazały się gatunkami tolerancyjnymi na zastosowane stężenia niklu, z wyjątkiem słonecznika zwyczajnego rosnącego w glebie zanieczyszczonej tym pierwiastkiem w ilości $150 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (rys. 1).

Istotnie mniejszą całkowitą świeżą masę części nadziemnej, a także masę pędów, liści i kwiatostanów słonecznika zwyczajnego stwierdzono w glebie, do której wprowadzono nikiel w ilości $150 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (tab. 1). Dawka 50 oraz 75 mg niklu w 1 dm^3 gleby wpłynęła stymulująco na masę pędów słonecznika.

Największą całkowitą świeżą masę rącznika pospolitego stwierdzono w glebie o podwyższonej zawartości niklu ($50 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$). Tę samą zależność stwierdzono dla masy pędów rącznika. W glebie średnio zanieczyszczonej niklem ($150 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) uzyskano najmniejszą świeżą masę liści oraz największą masę kwiatostanów.

ADHIKARI (2012), porównując wpływ dziewięciu dawek niklu wprowadzonych do gleby (od 10 do $250 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) na masę rącznika pospolitego, nie stwierdził istotnego wpływu zanieczyszczenia gleby tym pierwiastkiem na wzrost roślin do stężenia mniejszego niż $250 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, zahamowanie wzrostu roślin zaobserwował dopiero przy największym



Rys. 1. Indeks tolerancji badanych gatunków roślin ozdobnych
Fig. 1. Tolerance index of the test species of ornamental plants

Tabela 1. Wpływ wzrastających dawek niklu na wysokość i świeżą masę nadziemną badanych gatunków roślin ozdobnych

Table 1. Effect of increasing doses of nickel on height and aboveground fresh weight of the test species of ornamental plants

Gatunek Species	Dawka niklu Dose of nickel (mg·dm ⁻³)	Wysokość roślin Height of plants (cm)	Świeża masa nadziemna roślin Aboveground fresh weight of plants (g)			
			pęd shoot	liść leaf	kwiatostan inflorescence	całkowita masa total weight
<i>Helianthus annuus</i> L. 'Choco Sun'	Kontrola Control	33,50 a	15,88 b	26,00 b	34,26 bc	76,14 b
	50	35,50 a	23,38 c	26,13 b	35,90 c	85,41 b
	75	35,50 a	27,50 d	25,50 b	30,63 ab	83,63 b
	150	29,00 a	11,63 a	15,88 a	26,88 a	54,39 a
<i>Ricinus communis</i> L. 'Sanguineus Apache'	Kontrola Control	71,50 a	82,50 a	21,59 b	52,50 a	156,59 a
	50	79,00 a	132,92 b	19,78 b	66,00 a	218,70 b
	75	76,50 a	85,50 a	20,88 b	65,50 a	171,88 a
	150	76,00 a	69,00 a	11,12 a	86,00 b	166,12 a

Grupy jednorodnie wyznaczone z użyciem testu Duncana, $p < 0,05$ (wartości w kolumnach, osobno dla gatunku, oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie).

Homogeneous groups were identified with Duncan's test, $p < 0.05$ (values in columns, separately for the species, denoted with identical letters do not differ significantly).

stężeniu. Mimo to ocenił, że rącznik nadaje się do fitoremediacji gleb z niklu. AHMAD i IN. (2011) już przy dawkach niklu 10, 20, 30 i 40 mg·dm⁻³ gleby stwierdzili wyraźny efekt fitotoksyczności niklu dla *Helianthus annuus*. Obserwowano maksymalne pogor-

szenie wszystkich parametrów wzrostu przy maksymalnym poziomie niklu ($40 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$). Nikiel wywołał również redukcję kiełkowania nasion słonecznika (ASHRAF i IN. 2011). Mogło to być spowodowane zaburzeniami w metabolizmie biochemicznym, tłumaczonymi przez autorów jako brak dostępności cukrów do syntezy energii metabolicznej, jak również brak dostępności niezbędnych aminokwasów do syntezy białek i enzymów potrzebnych dla rozwijającego się zarodka, które to substancje występowały w zmniejszonych ilościach z powodu tłumienia w działaniach α -amylazy i proteazy.

Każda z zastosowanych dawek niklu w glebie powodowała istotny wzrost zawartości niklu w pędach, liściach i kwiatostanach (tab. 2). Największą zawartość niklu w poszczególnych organach nadziemnych stwierdzono u słonecznika zwyczajnego i rącznika pospolitego rosnących w glebie średnio zanieczyszczonej tym metalem ($150 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$). U słonecznika rosnącego w glebie, do której wprowadzono 150 mg Ni na 1 dm^3 , największą zawartość tego metalu stwierdzono w liściach, następnie kwiatostanach, a najmniejszą w pędach, natomiast u rącznika – największą w pędach, a mniejszą w kwiatostanach i liściach.

Tabela 2. Wpływ wzrastających dawek niklu na zawartość tego pierwiastka w organach nadziemnych badanych gatunków roślin ozdobnych i w glebie po zakończeniu doświadczenia
Table 2. Effect of increasing doses of nickel on the content of this element in the aboveground organs of the test species of ornamental plants and in soil after the end of experiment

Gatunek Species	Dawka niklu Dose of nickel ($\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$)	Zawartość niklu w organach nadziemnych ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.) Nickel content in the aboveground organs ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.)			Zawartość niklu w glebie ($\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ św.m.) Nickel content in the soil ($\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ f.m.)
		pęd shoot	liść leaf	kwiatostan inflorescence	
<i>Helianthus annuus</i> L. 'Choco Sun'	Kontrola Control	1,67 a	3,45 a	2,74 a	0,44
	50	12,69 b	18,43 c	18,48 c	15,33
	75	13,96 b	19,21 c	17,98 c	32,12
	150	18,61 c	34,63 e	24,54 d	67,81
<i>Ricinus communis</i> L. 'Sanguineus Apache'	Kontrola Control	2,91 a	2,64 a	2,49 a	0,41
	50	17,33 d	9,81 b	10,18 b	11,12
	75	17,51 d	12,56 c	18,69 d	26,54
	150	38,64 f	28,51 e	29,74 e	52,12

Grupy jednorodnie wyznaczone z użyciem testu Duncana, $p < 0,05$ (wartości w kolumnach, osobno dla gatunku, oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie).

Homogeneous groups were identified with Duncan's test, $p < 0.05$ (values in columns, separately for the species, denoted with identical letters do not differ significantly).

Największy indeks stężenia niklu stwierdzono w pędach rącznika pospolitego rosnącego w glebie średnio zanieczyszczonej niklem ($150 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), natomiast najmniejszy – w liściach tego gatunku rosnącego w glebie o zwiększonej zawartości niklu ($50 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) (tab. 3).

Tabela 3. Indeks stężenia niklu w organach nadziemnych badanych gatunków roślin ozdobnych
Table 3. Nickel concentration index in the aboveground organs of the test species of ornamental plants

Organ Organ	Gatunek Species	Dawka niklu – Dose of nickel ($\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$)		
		50	75	150
Pęd Shoot	<i>Helianthus annuus</i> L.	7,60	8,36	11,14
	<i>Ricinus communis</i> L.	5,95	6,02	13,28
Liść Leaf	<i>Helianthus annuus</i> L.	5,34	5,57	10,03
	<i>Ricinus communis</i> L.	3,72	4,76	10,80
Kwiatostan Inflorescence	<i>Helianthus annuus</i> L.	6,74	6,56	8,96
	<i>Ricinus communis</i> L.	4,09	7,51	11,94

W glebie, do której wprowadzono 50 mg niklu na 1 dm^3 , największy indeks stężenia stwierdzono w pędach słonecznika zwyczajnego, a najmniejszy – w liściach rącznika pospolitego. Tę samą zależność stwierdzono u roślin rosnących w glebie słabo zanieczyszczonej niklem ($75 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$). W glebie średnio zanieczyszczonej niklem ($150 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) największy indeks stężenia metalu stwierdzono w pędach rącznika pospolitego, a najmniejszy – w kwiatostanach słonecznika zwyczajnego.

Gleba zanieczyszczona wzrastającymi dawkami niklu, w której rósł rącznik, po zakończeniu doświadczenia charakteryzowała się mniejszą zawartością tego metalu niż gleba, w której rósł słonecznik (tab. 2).

GIORDANI i IN. (2005) stwierdzili dużą akumulację Ni w pędach oraz liściach rącznika. W przeprowadzonych przez siebie badaniach, w których oceniali siedem gatunków roślin (jęczmień, rącznik, kapusta, sorgo, szpinak, fasola, pomidor), stwierdzili, że najlepszym akumulatorem niklu jest szpinak, a zaraz za nim rącznik pospolity. Wyniki MALARKODIEGO i IN. (2008) wskazują, że *Ricinus communis* akumuluje więcej niklu niż *Tagetes erecta*. W korzeniach obu gatunków stwierdzono większe ilości niklu niż w części nadziemnej. Autorzy oszacowali, że oczyszczenie gleby zanieczyszczonej 165 mg niklu w 1 kg z wykorzystaniem rącznika pospolitego zajęłoby około 125 lat. Przewidywany czas zmniejszyłby się przy dodaniu obronika w celu użyźnienia gleby.

Wyniki dostatecznej akumulacji niklu w częściach nadziemnych uzyskane w przedstawionym doświadczeniu potwierdzają się w literaturze, jednak ilość ta nie jest wystarczająca, aby wprowadzić na szeroką skalę wykorzystanie rącznika pospolitego do fitoremediacji niklu.

Istnieją metody, które pozwalają na zwiększenie możliwości akumulacji metali ciężkich przez różne gatunki. AWOTOYE i IN. (2009) stwierdzili, że zaszczepienie słonecznika zwyczajnego mikoryzą arbuskularną znacząco polepsza pobieranie metali ciężkich i wzrost rośliny na glebach zanieczyszczonych metalami. Zwiększają się liczba liści, wysokość roślin oraz obwód łodygi. Ponadto autorzy ci wykazali, że zmniejszenie kolonizacji grzybów mikoryzowych wpłynęło na ponowne zwiększenie stężenia metali ciężkich w glebie.

JANUARY i IN. (2008) również badali słonecznik zwyczajny pod kątem akumulacji metali ciężkich w doświadczeniu wieloczynnikowym. Rośliny były uprawiane w roztworach zawierających trzy, cztery lub pięć metali ciężkich. Badano też wpływ EDTA na pobieranie przez ten gatunek metali z roztworów. Status hiperakumulatora niklu został osiągnięty jedynie w obecności trzech metali bez EDTA.

Wnioski

1. Badane gatunki roślin ozdobnych były tolerancyjne na zastosowane stężenia niklu, z wyjątkiem *Helianthus annuus* L. ‘Choco Sun’ rosnącego w glebie średnio zanieczyszczonej tym metalem ($150 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$).

2. *Helianthus annuus* L. ‘Choco Sun’ oraz *Ricinus communis* L. ‘Sanguineus Apache’ mogą być stosowane do fitoekstrakcji niklu z gleb zanieczyszczonych, jednak nie są hiperakumulatorami tego metalu.

3. W wyniku oceny potencjału dwóch badanych gatunków roślin do fitoekstrakcji niklu z gleby stwierdzono, że nie jest on znaczący. Rącznik wytwarza większą masę nadziemną i w efekcie wynosi się z nią więcej niklu w porównaniu ze słonecznikiem.

Literatura

- ADHIKARI T., 2012. Phytoaccumulation and tolerance of *Ricinus communis* L. to nickel. Int. J. Phytoremed. 14, 5: 81-92.
- AHMAD M.S., ASHRAF M., HUSSAIN M., 2011. Phytotoxic effect of nickel on yield and concentration of macro- and micro-nutrients in sunflower (*Helianthus annuus* L.) achenes. J. Hazard. Mater. 185, 2-3: 1295-1303.
- ANTONIEWICZ J., JASIEWICZ Cz., 2002. Ocena przydatności różnych gatunków roślin do fitoremediacji gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi. Acta Sci. Pol. Form. Circum. 1-2: 119-130.
- ASHRAF M.Y., SADIQ R., HUSSAIN M., ASHRAF M., AHMAD M.S., 2011. Toxic effect of nickel (Ni) on growth and metabolism in germinating seeds of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Biol. Trace Elem. Res. 143, 3: 695-703.
- AWOTOYE O.O., ADEWOLE M.B., SALAMI A.O., OHIEMBOR M.O., 2009. Arbuscular mycorrhiza contribution to the growth performance and heavy metal uptake of *Helianthus annuus* Linn. in pot culture. Afr. J. Environ. Sci. Technol. 3, 6: 157-163.
- BADORA A., 2002. Wpływ pH na mobilność pierwiastków w glebach. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 482: 21-36.
- BAKER A.J.M., McGRATH S.P., REEVES R.D., SMITH J.A.C., 2000. Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biochemical resource for phytoremediation of

- metal-polluted soils. W: Phytoremediation of contaminated soil and water. Red. N. Terry, G. Banuelos. CRC Press, Boca Raton, FL, USA: 85-107.
- BARAN S., 2000. Ocena stanu degradacji i rekultywacji gleb. Przewodnik do ćwiczeń. Wyd. AR, Lublin.
- BIELICKA A., BOJANOWSKA I., ŚWIERK K., 2007. Ekstrakcja sekwencyjna w ocenie mobilności metali ciężkich w układzie gleba/przemysłowy osad ściekowy. Ochr. Środ. Zasob. Nat. 31: 74-78.
- BOSIACKI M., ROSZYK J., 2010. Porównanie metod mineralizacji materiału roślinnego na zawartość metali ciężkich. Apar. Bad. Dydak. 4: 37-41.
- BOSIACKI M., WOJCIECHOWSKA E., 2012. Phytoextraction of nickel by selected ornamental plants. Ecol. Chem. Eng. S 19, 3: 331-345.
- BOSIACKI M., ZIELEZIŃSKI Ł., 2011. Phytoextraction of nickel by selected species of lawn grasses from substrates contaminated with heavy metals. Acta Sci. Pol. Hortor. Cult. 10, 3: 155-173.
- DMOCHOWSKI D., PREDĘCKA A., DMOCHOWSKA A., 2008. Wpływ liniowej emisji ołowiu, cynku i niklu ze źródeł komunikacyjnych na zanieczyszczenie małych zbiorników wód powierzchniowych na terenie aglomeracji warszawskiej. Zesz. Nauk. SGSP 37: 49-61.
- EAPEN S., D'SOUZA S.F., 2005. Prospect of genetic engineering of plants for phytoremediation of toxic metals. Biotechnol. Adv. 23: 97-114.
- GAMBUŚ F., 1997. Pobieranie metali ciężkich przez różne gatunki roślin uprawnych. Część II. Akumulacja metali ciężkich przez rośliny. Acta Agr. Silv. Ser. Agr. 35: 21-29.
- GAŚIOREK M., 2010. Heavy metals in soils from district playgrounds in the northern part of Kraków. Ecol. Chem. Eng. A 17, 8: 717-725.
- GIORDANI C., CECCHI S., ZANCHI C., 2005. Phytoremediation of soil polluted by nickel agricultural crops. Environ. Manage. 36, 5: 675-681.
- GOLCZ A., 2011. Soil salinity and acidity. W: Research methods in plant sciences. Vol. 3. Soil sickness. Red. S.S. Narwal, B. Politycka, W. Fengzhi, D.A. Sampietro. Studium Press, Houston, USA: 43-53.
- GOLCZ A., BOSIACKI M., 2011. Soil organic matter. W: Research methods in plant sciences. Vol. 3. Soil sickness. Red. S.S. Narwal, B. Politycka, W. Fengzhi, D.A. Sampietro. Studium Press, Houston, USA: 68-78.
- GRZYWNOWICZ I., 1997. Zawartość i rozmieszczenie niklu w glebach różnych regionów Polski. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 448 a: 147-153.
- HALL J.L., 2002. Cellular mechanisms for heavy metal detoxication and tolerance. J. Exp. Bot. 336, 53: 1-11.
- JANUARY M.C., CUTRIGHT T.J., KEULEN H., WEI R., 2008. Hydroponic phytoremediation of Cd, Cr, Ni, As and Fe: can *Helianthus annuus* hyperaccumulate multiple heavy metals? Chemosphere 70, 3: 531-537.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H., 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa.
- KAMIŃSKA A.J., KULCZYCKI G., SPIAK Z., 2007. Ocena zawartości metali ciężkich w glebach i wybranych roślinach w rejonie oddziaływania zakładów chemicznych „Wizów” S.A. Zesz. Nauk. Inż. Środ. UZ 13: 192-198.
- KARCZEWSKA A., 2002. Metale ciężkie w glebach zanieczyszczonych emisjami hut miedzi – formy i rozpuszczalność. Zesz. Nauk. AR Wroc. 432, Rozpr. 184.
- KOZIK E., GOLCZ A., 2011. Plant nutrients. W: Research methods in plant sciences. Vol. 3. Soil sickness. Red. S.S. Narwal, B. Politycka, W. Fengzhi, D.A. Sampietro. Studium Press, Houston, USA: 21-41.
- MALARKODI M., KRISHNASAMY R., CHITDESHWARI T., 2008. Phytoextraction of nickel contaminated soil using castor phytoextractor. J. Plant Nutr. 31: 1-3.
- MCGRATH S.P., ZHAO F.J., 2003. Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. Curr. Opin. Biotechnol. 14: 277-282.

Bosiacki M., Szymanowska M., 2013. Ocena przydatności słonecznika zwyczajnego (*Helianthus annuus* L.) i rącznika pospolitego (*Ricinus communis* L.) do fitoekstrakcji niklu z gleby zanieczyszczonej. Nauka Przyr. Technol. 7, 3, #40.

- MIGASZEWSKI Z.M., GALUSZKA A., 2007. Podstawy geochemii środowiska. WN-T, Warszawa.
- MOCEK A., DRZYMAŁA S., 2010: Geneza, analiza, klasyfikacja gleb. Wyd. UP, Poznań.
- MOCEK A., MOCEK-PLÓCINIAK A., 2010. Ksenobiotyki w środowisku glebowym Polski. Nauka Przyr. Technol. 4, 6, #84.
- MORIKAWA H., TAKAHASHI M., HAKATA M., SAKAMOTO A., 2003. Screening and genetic manipulation of plants for decontamination of pollutants from environments. Biotechnol. Adv. 22: 9-15.
- SALT D.E., BLAYLOCK M., KUMAR N.P.B.A., DUSHENKOV V., ENSLEY B.D., CHET I., RASKIN I., 1995. Phytoremediation a novel strategy for the removal of toxic metal from the environment using plants. Biotechnology 13: 468-474.
- SALT D.E., SMITH R.D., RASKIN I., 1998. Phytoremediation. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 49: 643-649.
- SCHONOR J.L., 2002. Phytoremediation of soil and groundwater. Technol. Eval. Rep. GWRTAC Ser. E TE-02-01. [http://www.gwrtac.org/pdf/phyto_e_2002.pdf].
- SIWEK M., 2008. Rośliny w skażonym metalami ciężkimi środowisku poprzemysłowym. Część II. Mechanizmy detoksykacji i strategie przystosowania roślin do wysokich stężeń metali ciężkich. Wiad. Bot. 52, 3/4: 7-23.
- SPIAK Z., 1996. Gatunkowa odporność roślin na wysokie stężenie niklu w glebie. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 448 a: 311-316.
- SZKODA J., 2009. Pierwiastki toksyczne w żywności pochodzenia zwierzęcego i paszach. Magaz. Wet. 2: 108.
- TERELAK H., MOTOWICKA-TERELAK T., STUCZYŃSKI T., PIETRUCH Cz., 2000. Pierwiastki śladowe (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) w glebach użytków rolnych Polski. Bibl. Monit. Środ. IOŚ, Warszawa.
- WALL L., 2003. Próba określenia granicy toksyczności niklu dla gryk. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 493: 261-268.
- WONG M.H., 2003. Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. Chemosphere 50: 775-780.

EVALUATION OF SUITABILITY OF COMMON SUNFLOWER (*HELIANTHUS ANNUUS* L.) AND CASTOR BEAN (*RICINUS COMMUNIS* L.) IN PHYTOEXTRACTION OF NICKEL FROM CONTAMINATED SOIL

Summary. The main objective of this study was to determine the suitability of sunflower (*Helianthus annuus* L. 'Choco Sun') and castor bean (*Ricinus communis* L. 'Sanguineus Apache') to phytoextraction of nickel from the soil, as well as evaluation of the tolerance of these species to the increasing concentration of the metal. Potential for phytoextraction of ornamental plants has been studied in two years, pot experiment in the plastic greenhouse when they were grown in mineral soil (which was slightly loamy sand) with four levels of nickel: control (native nickel content), 50 mg·dm⁻³ – increased content, 75 mg·dm⁻³ – low contamination, and 150 mg·dm⁻³ – medium contamination. Both species of ornamental plants were tolerant to applied concentrations of nickel, with the exception of sunflower grown in medium contaminated soil by this metal. Sunflower and castor bean are not nickel hyperaccumulators. Assessing their potential for nickel phytoextraction from the soil, it was found that it is not significant. Castor bean produces a greater aboveground mass and as a result uptake of nickel is greater compared to sunflower.

Key words: phytoremediation, nickel concentration index, tolerance index, nickel contamination, ornamental plants

Bosiacki M., Szymanowska M., 2013. Ocena przydatności słonecznika zwyczajnego (*Helianthus annuus* L.) i rącznika pospolitego (*Ricinus communis* L.) do fitoekstrakcji niklu z gleby zanieczyszczonej. *Nauka Przyr. Technol.* 7, 3, #40.

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Maciej Bosiacki, Katedra Żywnienia Roślin, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Zgorzelecka 4, 60-198 Poznań, Poland, e-mail: mbos@up.poznan.pl

Zaakceptowano do opublikowania – Accepted for publication:

12.06.2013

Do cytowania – For citation:

*Bosiacki M., Szymanowska M., 2013. Ocena przydatności słonecznika zwyczajnego (*Helianthus annuus* L.) i rącznika pospolitego (*Ricinus communis* L.) do fitoekstrakcji niklu z gleby zanieczyszczonej. *Nauka Przyr. Technol.* 7, 3, #40.*