

Anna Koszelnik-Leszek*, Dorota Kasowska*

**CHARAKTERYSTYKA FLORY ORAZ AKUMULACJA METALI CIĘŻKICH
W ODPADACH SERPENTYNITOWYCH I WYBRANYCH GATUNKACH
ROŚLIN Z TERENU WYROBISKA KAMIENIOŁOMU W NASŁAWICACH
(DOLNY ŚLĄSK)**

**CHARACTERIZATION OF VASCULAR FLORA AND ACCUMULATION
OF HEAVY METALS IN SERPENTINE WASTES AND SELECTED PLANT
SPECIES FROM THE EXCAVATION OF THE NASŁAWICE QUARRY
(LOWER SILESIA)**

Słowa kluczowe: serpentynit, kamieniołom, zwałowisko, nikiel, chrom, kobalt, kadm, goździk kartuzek, dzwonek okrągłolistny, macierzanka zwyczajna, żmijowiec zwyczajny.

Key words: serpentine, quarry, dump, nickel, chromium, cobalt, cadmium, *Dianthus carthusianorum* L., *Campanula rotundifolia* L., *Thymus pulegioides* L., *Echium vulgare* L.

The aim of the presented investigations was ecological characterization of vascular flora and determination of contents of heavy metals in serpentine wastes and selected plant species from the excavation of the Nasławice quarry. The vascular flora of the serpentine dumps consisted of 44 species at the study sites. Species of xerothermic grasslands predominated. Among them there were three endangered taxa of Lower Silesia region. In consideration of ecological features of species, herbaceous perennials with adaptation to specific conditions of serpentine substrate dominated in the grassland vegetation. Chemical analyses of serpentine wastes proved high concentration of nickel and chromium in relation to the natural one. High concentration of nickel and chromium there was also found in the examined plants, exceeding critical values assumed for appropriate plant growth and development in many cases.

* *Dr inż. Anna Koszelnik-Leszek, dr inż. Dorota Kasowska – Katedra Botaniki i Ekologii Roślin, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Pl. Grunwaldzki 24a, 50-363 Wrocław; tel.: 71 320 16 16, 71 320 16 13; e-mail: anna.koszelnik-leszek@up.wroc.pl; dorota.kasowska@up.wroc.pl*

1. WPROWADZENIE

Dolny Śląsk jest rejonem wyróżniającym się znacznym zróżnicowaniem geologicznym. Występują tu cenne minerały, surowce energetyczne oraz różnorodne kopaliny skalne, w tym jedyne w Polsce złoża serpentynitów [Weber 1980, Kozłowski 1986]. Z wydobywaniem surowców skalnych, takich jak serpentynity, jest związane powstawanie specyficznych obiektów – wyrobisk i zwałowisk, które negatywnie oddziałują na otaczające je środowisko [Bruździak, Kotecki 1998, Ernst Joosse-van Damme 1989]. Biologiczna rekultywacja odpadów serpentynitowych, stwarza szereg problemów wynikających ze specyficznych właściwości zwietrzliny [Weber 1980]. Gleby utworzone na skale serpentynitowej odznaczają się szeregiem niekorzystnych cech, takich jak: wysoka koncentracja niektórych metali ciężkich, stosunkowo niska zawartość makroskładników, wysokie pH oraz kseryzm [Malpas 1992; Roberts Proctor (eds) 1992; Kabała, Szlachta 2000; Karczewska, Bogda, Kurnikowska 2001; Kasowska 2005]. Charakterystyczne właściwości podłoża serpentynitowego, w tym wzajemne stosunki między pierwiastkami, nie pozostają bez wpływu na powstawanie specyficznych fitocenoz, które wielu badaczy uważa za wyjątkowe pod względem przyrodniczym [Żołnierz 1993; Koszelnik-Leszek 2007; Żołnierz 2007; Brej, Fabiszewski 2003].

2. MATERIAŁ, CEL I METODYKA BADAŃ

Wieś Nasławice położona jest na południu Polski, w województwie dolnośląskim, w powiecie wrocławskim, w gminie Sobótka. Złoże serpentynitu w Nasławicach znajduje się w obrębie północnej części Wzgórz Nasławickich, w masywie serpentynitowym Gogołów – Jordanów. Eksploatowane złoże otoczone jest skałami amfibolowymi, piroksenowymi, gabraami oraz łupkami talkowymi [Kabała, Szlachta 2000] i zalega pod serią utworów czwartorzędowych, wykształconych w postaci glin, częściowo wymieszanych z rumoszem skalnym i zwietrzeliną [Kabała, Szlachta 2000].

Celem pracy była analiza ekologiczna flory oraz określenie zawartości metali ciężkich w materiale zwałowym i wybranych gatunkach roślin z terenu wyrobiska kamieniołomu serpentynitu w Nasławicach.

Materiał badawczy stanowiła flora naczyniowa oraz próbki wybranych gatunków roślin i zwietrzliny, pobrane w czerwcu 2007 r. z terenu wyrobiska kamieniołomu w Nasławicach, gdzie częściowo składowane są odpady serpentynitowe w formie zwałowisk. Stanowiska badawcze zlokalizowano na zboczach zwałowisk o wystawie południowo-zachodniej i zachodniej, w miejscach pokrytych roślinnością, która reprezentowała wczesne stadia sukcesji.

W ramach badań florystycznych wykonano rozmieszczone losowo zdjęcia fitosocjologiczne, o powierzchni 1 m². Na ich podstawie opracowano wykaz gatunków roślin naczyniowych, przyjmując nazewnictwo zgodne z listą Mirka i in. [2002]. Florę przeanalizowano pod kątem: przynależności gatunków do grup geograficzno-historycznych [Zajac i Zajac 1975,

1992], ekologiczno-siedliskowych oraz klas zbiorowisk roślinnych [Matuszkiewicz 2001], a także udziału form życiowych według Raunkiaera oraz wartości wskaźników ekologicznych: świetlnego, trofizmu i wilgotności gleby [Zarzycki 2002]. Wyróżniono gatunki zagrożone w skali Dolnego Śląska [Kącki i in. 2003].

Materiał zwałowy pobrano z warstwy powierzchniowej stanowisk badawczych, z głębokości 0–15 cm. W laboratorium próbki zwietrzeliwy wysuszone w temperaturze pokojowej i przesiano przez sito o średnicy oczek 2 mm. W tak przygotowanym materiale oznaczono całkowite i rozpuszczalne koncentracje Cd, Co, Ni i Cr. Całkowitą zawartość analizowanych metali ciężkich określono stosując technikę absorpcyjnej spektrometrii atomowej, po wcześniejszej mineralizacji materiału badawczego w 70-procentowym kwasie nadchlorowym. Formy rozpuszczalne metali, po ekstrakcji w 1 mol HCl · dm⁻³ oznaczono techniką ASA, z użyciem aparatu Spectra 220 Fast Sequential. Odczyn materiału zwałowego zmierzono potencjometrycznie w 1 mol KCl·dm⁻³.

Materiał roślinny w postaci nadziemnych i podziemnych części *Dianthus carthusianorum* L., *Campanula rotundifolia* L., *Thymus pulegioides* L. i *Echium vulgare* L. po wysuszeniu zmielono i zmineralizowano na sucho w temperaturze 450°C. W uzyskanych przesączach oznaczono Cd, Co, Ni, Cr techniką ASA z użyciem aparatu Spectra AA 220 Fast Sequential.

3. WYNIKI BADAŃ I Dyskusja

3.1. Charakterystyka flory naczyniowej

Flora zwałowisk w miejscach badawczych liczyła 44 gatunki roślin naczyniowych (lista 1), z których najliczniej reprezentowane były rodziny: *Poaceae*, *Asteraceae*, *Fabaceae* i *Caryophyllaceae*. W składzie flory dominowały gatunki rodzime – apofity (ok. 93% składu), nieliczną florę synantropijną reprezentowały wyłącznie archeofity. Pod względem ekologiczno-siedliskowym przeważały gatunki muraw kserotermicznych z klasy *Festuco-Brometea* (ponad 34% składu flory). Kolejną pod względem liczebności grupę gatunków tworzyły rośliny łąkowe z klasy *Molinio-Arrhenatheretea*, a także rośliny ruderalne z klasy *Artemisietea vulgaris* (których udział w florze stanowił po ok. 18%). Dość licznie notowano gatunki muraw piaszczyskowych z klasy *Koelerio-Corynephoretea* (ponad 13%); zaś udział gatunków segetalnych z klasy *Stellarietea mediae* wynosił ok. 9%. Wśród przedstawicieli klasy *Festuco-Brometea* stwierdzono obecność trzech gatunków zagrożonych w skali regionu, umieszczonych na Czerwonej liście roślin naczyniowych Dolnego Śląska: *Avenula pratensis*, *Festuca valesiaca* i *Salvia pratensis*. Wśród form życiowych wyróżnianych przez Raunkiera w badanej florze zdecydowanie dominowały hemikryptofity, które wraz z innymi formami wieloletnimi roślin zielnych stanowiły łącznie ok. 84%; pozostałą grupę gatunków tworzyły rośliny jednoroczne (terofity). Wszystkie analizowane taksony to gatunki o dużych wymaganiach świetlnych – światłoządne lub światłolubne. W zależności od wilgotności i zasobności gleby w ba-

danej flory dominowały gatunki sucholubne (64%) oraz związane z glebami umiarkowanie zasobnymi w składniki pokarmowe (57%). Pozostałe grupy gatunków tworzyły rośliny mezofilne (36%), a także zarówno typowe dla gleb ubogich (23%) jak i dla gleb zasobnych (20%).

Lista gatunków roślin naczyniowych z wyrobiska kamieniołomu serpentynitu w Nasławicach wraz z ich przynależnością do klasy zbiorowisk roślinnych

List Vascular flora of the study sites from the serpentine quarry in Nasławice with species affiliation to classes of associations

<p>Festuco-Brometea <i>Anthyllis vulneraria</i> L. <i>Arenaria serpyllifolia</i> L. <i>Avenula pratensis</i> (L.) Dumort. <i>Centaurea scabiosa</i> L. <i>Dianthus carthusianorum</i> L. <i>Euphorbia cyparissias</i> L. <i>Festuca valesiaca</i> Schleich. ex Gaudin <i>Filipendula vulgaris</i> Moench <i>Galium verum</i> L. <i>Hypericum perforatum</i> L. <i>Koeleria macrantha</i> (Ledeb.) Schult. <i>Poa compressa</i> L. <i>Salvia pratensis</i> L. <i>Scabiosa ochroleuca</i> L. <i>Viscaria vulgaris</i> Röhl. Molinio-Arrhenatheretea <i>Achillea millefolium</i> L. <i>Arrhenatherum elatius</i> (L.) P. Beauv. ex J. Presl. & C. Presl. <i>Daucus carota</i> L. <i>Hieracium caespitosum</i> Dumort. <i>Lotus corniculatus</i> L. <i>Pastinaca sativa</i> L. <i>Poa pratensis</i> L. <i>Rumex crispus</i> L.</p>	<p>Koelerio-Corynepherea <i>Cerastium arvense</i> L. <i>Filago arvensis</i> L. <i>Hieracium pilosella</i> L. <i>Potentilla argentea</i> L. <i>Scleranthus perennis</i> L. <i>Trifolium arvense</i> L. Artemisietea vulgaris <i>Artemisia vulgaris</i> L. <i>Barbarea vulgaris</i> R. Br. <i>Chenopodium album</i> L. <i>Convolvulus arvensis</i> L. <i>Echium vulgare</i> L. <i>Linaria vulgaris</i> Mill. <i>Tanacetum vulgare</i> L. Stellarietea mediae <i>Polygonum aviculare</i> L. <i>Thlaspi arvense</i> L. <i>Vicia sativa</i> L. <i>Vicia tetrasperma</i> (L.) Schreb. Epilobietea angustifolii <i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth Nieustalona przynależność syntaksonomiczna <i>Campanula rotundifolia</i> L. <i>Thymus pulegioides</i> L. <i>Verbascum thapsus</i> L.</p>
---	---

3.2. Materiał zwałowy

3.2.1. Formy całkowite analizowanych metali ciężkich

Kadm. W środowisku naturalnym pierwiastek ten występuje dość rzadko, a jego stężenie w glebach „naturalnych” nie przekracza $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ [Gorlach, Gambuś 2000; Kabata-Pendias, Pendias 1999]. W rozporządzeniu Ministra Środowiska z 2002 r. ściśle określono normy zanieczyszczenia gleb tym metalem. Zgodnie z tym rozporządzeniem dopuszczalna zawartość kadmu w glebach zagospodarowanych jako grunty rolne i leśne oraz w glebach obszarów zurbanizowanych i zabudowanych wynosi od 4 do $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby. W glebach przemysłowych natomiast stężenie kadmu, zależne od głębokości oraz wodoprzepuszczalności gruntu, nie powinno przekraczać $15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby [Rozporządzenie 2002].

Analizy chemiczne wykazały, że stężenie kadmu ogólnego w materiale zwalowym z Nasławic wynosiło od 2,75 do 3,55 mg·kg⁻¹, czyli w porównaniu do podawanych wyżej, było stosunkowo niewielkie (tab. 2).

Kobalt. Pierwiastek ten w litosferze występuje dość powszechnie [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Zawartość tego pierwiastka i rozmieszczenie w profilach glebowych zależy w dużym stopniu od skały macierzystej oraz przebiegu procesów glebowych i glebotwórczych. Jak podają autorzy [Kabata-Pendias, Pendias 1999] w glebach Polski kobalt występuje (w zależności od zwięzłości gleby) w stężeniu od 0,1 do 34 mg·kg⁻¹. Dopuszczalną zawartość tego pierwiastka w glebach użytkowanych rolniczo określono na poziomie 20 mg·kg⁻¹ s.m. W glebach terenów przemysłowych natomiast maksymalne stężenie tego pierwiastka wynosi 200 mg Co kg⁻¹ [Kabata-Pendias, Pendias 1999].

Analiza materiału badawczego pochodzącego z Nasławic wykazała, że stężenie kobaltu wynosiło od 56 do 75 mg·kg⁻¹ (tab. 1) i było podwyższone w stosunku do ilości naturalnych. Zwiększona zawartość kobaltu w analizowanym materiale ma zapewne związek z zasobnością skały serpentynitowej w ten pierwiastek [Malpas 1992].

Tabela 1. Odczyn, całkowita zawartość oraz formy rozpuszczalne wybranych metali w odpadach serpentynitowych złoża w Nasławicach

Table 1. Reaction (pH) total content and mobile forms selected metals in the serpentine wastes of the Nasławice quarry

Nr Prób	pH (1 mol KCl · dm ⁻¹)	Formy całkowite (mg·kg ⁻¹ gleby)				Formy rozpuszczalne (mg·kg ⁻¹ gleby)			
		Cd	Co	Cr	Ni	Cd	Co	Cr	Ni
1	7,0	3,15	63,05	392,3	2340,0	0,06	5,68	11,55	197,2
2	7,0	3,25	70,15	614,0	2354,5	0,04	7,03	10,49	203,9
3	7,6	3,15	57,75	481,8	1990,0	0,06	4,88	10,91	128,2
4	6,9	2,75	62,75	732,3	1832,5	0,10	10,19	13,79	146,7
5	7,9	3,55	69,10	350,0	2421,0	0,02	7,45	17,13	344,1
6	7,0	3,15	66,65	586,8	2098,0	0,15	10,06	16,04	206,7
7	7,7	3,30	56,70	800,3	2083,5	0,03	3,18	10,12	95,8
8	7,6	3,50	75,10	433,8	2615,0	0,04	3,79	21,49	190,4

Chrom. W rozporządzeniu Ministra Środowiska z 2002 r. podano, że dopuszczalna całkowita zawartość chromu w glebach z terenów przemysłowych wynosi 500 mg · kg⁻¹ gleby. Przy czym w glebach użytkowanych rolniczo zawartość dopuszczalna tego pierwiastka jest znacznie mniejsza i wynosi 150 mg·kg⁻¹.

Całkowita zawartość chromu w glebach pochodzących ze zwalowiska przekroczyła dopuszczalne ilości w czterech miejscach pomiarowych (tab. 2). We wszystkich analizowanych próbkach glebowych stężenie chromu wynosiło od 350,0 do 800,3 mg·kg⁻¹ gleby (tab.1). Dla porównania gleby Polski, w zależności od składu mechanicznego, zawie-

rają średnio od 7 dla gleb lekkich do 24 mg·kg⁻¹ dla gleb ciężkich [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Bardzo wysoka zawartość całkowita chromu w próbkach z Nasławic związana jest prawdopodobnie z obecnością chromitu w skałach serpentynitowych [Kabała, Szlachta 2000].

Nikiel. Średnia zawartość niklu w glebach świata została obliczona na 22 mg·kg⁻¹ suchej masy. W glebach Polski wartość ta wynosi 9 mg·kg⁻¹. [Kabata-Pendias 1993]

Zawartość niklu w badanych próbkach pochodzących ze zwałowiska była dużo wyższa od przeciętnej, bo stwierdzone wartości wahały się pomiędzy 1832 a 2615 mg·kg⁻¹ (tab. 1) i były wyższe od dopuszczalnej całkowitej koncentracji tego pierwiastka w glebach terenów pogórnicznych, która wynosi 500 mg·kg⁻¹ gleby [Dz.U. z 2002 r. Nr 165, poz. 1359].

Wysokie koncentracje niklu ogólnego stwierdzone w materiale zwałowym wynikają zapewne z zasobności skały serpentynitowej w ten metal [Kabała, Szlachta 2000].

3.2.2. Formy rozpuszczalne analizowanych metali ciężkich

Zakres toksycznego oddziaływania metali ciężkich. Oddziaływanie toksyczne metali ciężkich zależy przede wszystkim od formy chemicznej, w jakiej występują. Forma chemiczna metali jest modyfikowana przez czynniki fizykochemiczne środowiska, takie jak wartość pH, obecność ligandów kompleksujących (kwasy humusowe, fulwokwasy, chlorki, siarczany, węglany czy fosforany), a także jony innych metali. Forma, w jakiej pierwiastki występują w glebie, decyduje o ich mobilności oraz biodostępności [Kucharski, Sas-Nowosielska, Małkowski 2008]. Metale w formie całkowitej nie są dostępne dla roślin, przez co nie są dla nich toksyczne. Rośliny mają zdolność do pobierania metali występujących jedynie w formie rozpuszczonej [Fotyma 1992].

Badania glebowe próbek z nasławickich zwałowisk wykazały, że formy rozpuszczalne wybranych metali w stosunku do form całkowitych stanowiły 1,9% kadmu, 2,5% chromu, 8,5% niklu oraz 10% kobaltu.

Kilkuprocentowy udział mobilnych form niklu w analizowanych próbkach odróżnia badane grunty od gruntów zurbanizowanych, w których udział przyswajalnych form tego metalu wynosi niekiedy 40% [Kabała, Szlachta 2000]. Kadm oraz chrom są znacznie mniej dostępne dla roślin w porównaniu z niklem. Metale te są silniej związane w formach niedostępnych dla roślin [Kabała, Szlachta 2000].

Duży (w porównaniu z pozostałymi metalami) udział form rozpuszczanych kobaltu w badanym materiale wynika prawdopodobnie z właściwości skały macierzystej, którą charakteryzuje stosunkowo wysokie pH (tab. 1). W warunkach tych, bowiem zwiększa się mobilność i przyswajalność tego metalu [Kaniuczak i in. 2004].

Odczyn materiału zwałowego. Na podstawie przeprowadzonych analiz ustalono, że odczyn materiału zwałowego z Nasławic był obojętny i lekko alkaliczny (tab. 1) i tym samym był zbliżony do podawanego dla gleb serpentynitowych [Malpas 1992].

3.3. Zawartość wybranych metali ciężkich w roślinach

3.3.1. intensywność pobierania metali

Intensywność pobierania metali przez rośliny zależy od gatunku, części oraz od fazy rozwojowej rośliny [Fotyma 1992], a także od dostępności innych pierwiastków. Rośliny pobierają metale ciężkie z gleby przez system korzeniowy, a szybkość pobierania uzależniona jest od formy występowania metalu. Rozpuszczone w wodzie związki metalu są pobierane w pierwszej kolejności, związki metalu zaadsorbowane na cząstkach glebowych natomiast, będą pobierane dopiero w momencie przejścia do roztworu glebowego [Kucharski, Sas-Nowosielska, Małkowski 2008].

Kadm. Bez względu na odczyn gleb kadm jest bardzo łatwo pobierany przez rośliny, proporcjonalnie do stężenia w roztworze lub w glebie. Jest pierwiastkiem niezwykle toksycznym, aczkolwiek większość roślin wykazuje zwiększoną odporność na wysoką zawartość kadmu [Kabata-Pendias, Pendias 1999].

Zawartość kadmu w roślinach na terenach niezanieczyszczonych wynosi od 0,01 do 0,5 mg·kg⁻¹ suchej masy, a stężenie kadmu w roślinach 5 mg·kg⁻¹ uważane jest natomiast za toksyczne [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Rozpuszczalność kadmu zwiększa się wraz z kwasowością, a ponieważ gleby serpentynitowe posiadają odczyn alkaliczny, zawierają niewielką ilość kadmu w formie przyswajalnej dla roślin [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Rośliny porastające zwałowisko w Nasławicach zawierają kadm w ilościach niezagrażających ich rozwojowi (tab. 2). Zawartość analizowanego pierwiastka w częściach podziemnych i nadziemnych roślin była zróżnicowana. W *Thymus pulegioides* i *Campanula rotundifolia* wyższe stężenie kadmu stwierdzono w częściach podziemnych, badając natomiast zawartość tego pierwiastka w organach *Echium vulgare*, stwierdzono większe stężenie kadmu w częściach nadziemnych tych roślin niż w częściach podziemnych (tab. 2).

Kobalt. Metal ten jest stosunkowo łatwo pobierany przez rośliny z roztworów wodnych, aczkolwiek stopień akumulacji pierwiastka jest znacznie mniejszy w porównaniu z innymi metalami ciężkimi [Kabata-Pendias, Pendias 1999].

Normalna, czyli fizjologiczna zawartość tego pierwiastka w roślinach wynosi od 0,08 do 0,1 mg·kg⁻¹ s.m. [Kabata-Pendias, Pendias 1999], toksyczna ilość pierwiastka w roślinie oscyluje natomiast pomiędzy 30–40 mg·kg⁻¹ s.m. Rośliny występujące na hałdzie nie zawierały nadmiernej ilości tego pierwiastka, pomimo że stwierdzone stężenie tego metalu w roślinach było wyższe od naturalnej jego zawartości w roślinach i wynosiło od 1,39 mg·kg⁻¹ w częściach nadziemnych *Dianthus carthusianorum*, oraz 6,44 mg·kg dla *Thymus pulegioides* w częściach podziemnych. Wyższe stężenie kobaltu w roślinnym materiale badawczym można tłumaczyć pobieraniem tego metalu w ilościach proporcjonalnych do ilości występujących w glebie jego form rozpuszczalnych [Kabata-Pendias, Pendias 1999].

Tabela 2. Zawartość wybranych metali w roślinach z hałdy odpadów serpentynitowych w Nasławicach**Table 2.** Content of selected metals in plants from serpentine waste dump in Nasławice

Nr prób	Gatunek	Części roślin	Zawartość w mg·kg ⁻¹ s.m.			
			Cd	Co	Cr	Ni
1	<i>Dianthus carthusianorum</i>	n / a	0,35	1,40	6,75	25,31
2		p / u	0,48	3,54	25,12	103,6
3		n / a	0,49	2,76	19,50	65,94
4		p / u	0,46	3,56	37,33	131,73
5	<i>Campanula rotundifolia</i>	n / a	0,30	1,52	8,00	28,61
6		p / u	0,42	2,80	22,81	112,86
7	<i>Echium vulgare</i>	n / a	0,58	2,88	13,75	49,59
8		p / u	0,40	1,39	23,33	36,17
9	<i>Thymus pulegioides</i>	n / a	0,32	2,51	21,46	81,61
10		p / u	0,55	6,44	63,95	240,50

Objaśnienia: n – części nadziemne; p – części podziemne.

Chrom. Uważa się, że rośliny pobierają chrom nieselektywnie, w wyniku czego wykazują większą jego koncentrację na glebach o podwyższonej zawartości tego pierwiastka [Kabata-Pendias, Pendias 1999].

Stężenie fizjologiczne chromu w roślinie wynosi od 0,1 do 0,5 mg·kg⁻¹ s.m., stężenie nadmierne natomiast – od 15 do 20 mg·kg⁻¹ s.m. [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Poziom akumulacji chromu w wybranych roślinach był wysoki, bo w częściach podziemnych *Thymus pulegioides* wynosił nawet 63,95 mg·kg⁻¹ s.m. Najniższe stężenie tego metalu stwierdzono w częściach nadziemnych *Dianthus carthusianorum*: 6,75 mg Cr·kg⁻¹ i *Campanula rotundifolia* – 8,00 mg Cr·kg⁻¹ s.m. (tab. 2).

Nikiel. Metal ten jest łatwo przyswajalny przez rośliny pod warunkiem, że występuje w glebie w postaci form mobilnych. Pobierany jest proporcjonalnie do jego stężenia w glebach, aż do momentu osiągnięcia progowej zawartości metalu w tkankach roślinnych [Kabata-Pendias, Pendias 1999].

Naturalna zawartość niklu w roślinach wynosi 0,1–5 mg·kg⁻¹ s.m. Zawartość nadmierna kadmu natomiast waha się pomiędzy 10 a 100 mg·kg⁻¹ [Kabata-Pendias 1993].

Analizy chemiczne wykazały, że cały zebrany materiał roślinny zawierał nadmierne ilości tego pierwiastka (tab. 2), bo w niektórych wypadkach stężenie metalu było dwukrotnie wyższe niż podawane w literaturze [Kabata-Pendias 1993].

Najwyższe koncentracje badanego metalu występowały w *Thymus pulegioides*. Rośliny tego gatunku akumulowały w częściach podziemnych aż 240 mg Ni·kg⁻¹ s.m. Najmniejszą ilość niklu – 25 mg·kg⁻¹ – stwierdzono natomiast w częściach nadziemnych *Dianthus carthusianorum* (tab. 2).

Ocena zawartości metali ciężkich w podziemnych i nadziemnych częściach wybranych gatunków porastających zwałowisko w Nasławicach pozwala stwierdzić, że większą zdolność do akumulacji metali posiadają części podziemne (tab. 2). W *Dianthus carthusianorum* jednak zawartość kadmu była porównywalna w całej roślinie, a w *Echium vulgare* stężenie kadmu, kobaltu i niklu było większe w częściach nadziemnych aniżeli w podziemnych (tab. 2).

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań wysunięto następujące wnioski:

- 1) flora zwałowisk w miejscach badawczych liczyła 44 gatunki roślin naczyniowych; przeważały gatunki muraw kserotermicznych, wśród których stwierdzono obecność trzech taksonów zagrożonych w skali Dolnego Śląska; pod względem ekologicznym, dominowały wieloletnie rośliny zielne, dostosowane do życia w specyficznych warunkach podłoża serpentynitowego;
- 2) w badanym materiale zwałowym pochodzącym z hałdy zawartość chromu i niklu ogólnego była bardzo wysoka i wynosiła odpowiednio: 350–800 mg·kg⁻¹ i 1832–2616 mg·kg⁻¹; koncentracja ogólnego kobaltu i kadmu natomiast kształtowała się na poziomie zbliżonym do naturalnego;
- 3) stężenia mobilnych form badanych metali były niewielkie w stosunku do form całkowitych i wynosiły: 1,9% – kadm, 10% – kobalt, 2,5% – chrom, 8,5% – nikiel;
- 4) odczyn badanego materiału glebowego pochodzącego ze zwałowiska serpentynitowego był zbliżony do obojętnego i lekko alkalicznego;
- 5) w analizowanym materiale roślinnym stwierdzono niską koncentrację kadmu, podwyższoną kobaltu i wysoką chromu oraz niklu;
- 6) stężenia badanych metali były (przeważnie) wyższe w częściach podziemnych roślin aniżeli w częściach nadziemnych; wyjątkiem był *Echium vulgare*, ponieważ w roślinach tego gatunku wyższe stężenie badanych metali stwierdzono w częściach nadziemnych.

PIŚMIENNICTWO

- BREJ T., FABISZEWSKI J. 2003. Rośliny akumulujące metale ciężkie we florze Sudetów. *Annales Silesiae* 32: 155–163.
- BRUŹDZIAK M., KOTECKI A. 1998. Produkcja roślinna na terenach skażonych przez emisję przemysłowe. W: Bieszczad S., Sobota J. (red.). Zagrożenia, ochrona i kształtowanie środowiska przyrodniczo-rolniczego. Wydaw. AR we Wrocławiu: 73–83.
- ERNST W.H.O., JOOSSE-VAN DAMME E.N.G. 1989. Zanieczyszczenie środowiska substancjami mineralnymi: skutki biologiczne. Państw. Wydaw. Rol. i Leśne, Warszawa.
- GORLACH E., GAMBUŚ F. 2000. Potencjalnie toksyczne pierwiastki śladowe w glebach. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 472: 275–296.

- KABAŁA C., SZLACHTA T. 2000. Całkowita zawartość oraz formy rozpuszczalne pierwiastków śladowych w odpadach serpentynitowych kopalni Nasławice. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 471: 959–966.
- KABATA-PENDIAS A. 1993. Biogeochemia chromu, nilu i glinu. Chrom, nikiel i glin w środowisku problemy ekologiczne i metodyczne. Zesz. Nauk. 5: 9–22.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. Wydaw. Nauk. PWN, Warszawa.
- KANIUCZAK J, HAJDUK E, ROŻEK D. 2004. Wpływ wapnowania i nawożenia mineralnego na zawartość kobaltu w roślinach uprawianych w zmianowaniu. Cz. 1. Zawartość kobaltu w ziemniakach i słoneczniku pastewnym Zesz. Probl Post. Nauk Roln. 502: 109–115.
- KARCZEWSKA A., BOGDAA., KURNIKOWSKA B. 2001. Nickel, chromium, lead and cadmium in soils and common plant species in the area of nickel mining and smelting (Szklary, SW Poland). Proc. 6th Inter. Conf. on the Biogeochemistry of Trace Elements, Guelph, Canada: 570.
- KASOWSKA D. 2005. Flora wyrobisk i zwałów serpentynitowych wybranych kamieniołomów i kopalń na Dolnym Śląsku. Annales Silesiae 34: 105–113.
- KĄCKI Z., DAJDOK Z., SZCZEŚNIAK E. 2003. Czerwona lista roślin naczyniowych Dolnego Śląska. W: Z. Kącki (red.). Zagrożone gatunki flory naczyniowej Dolnego Śląska, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław: 9–65.
- KOSZELNIK-LESZEK A. 2007. Budowa blaszki liściowej oraz zawartość chromu, niklu i cynku w *Silene vulgaris* (Moench) w Garcku i w glebie na hałdzie odpadów serpentynitowych w Wirkach (Dolny Śląsk). Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 520: 227–234.
- KOZŁOWSKI S. 1986. Surowce skalne Polski. Wydaw. Geolog., Warszawa.
- KUCHARSKI R., SAS-NOWOSIELSKA A., MAŁKOWSKI E. 2008. Wybrane metody remediacji gleb a zawartość metali ciężkich w glebach i roślinach. Wydaw. Ekonom i Środow., Białystok.
- MALPAS J. 1992. Serpentine and the geology of serpentinized rocks. W: Roberts B. A., Proctor J. (eds). The ecology of areas with serpentinized rocks. A world view. Geobotany 17. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands: 7–30.
- MATUSZKIEWICZ W. 2001. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- MIREK Z., PIĘKOŚ-MIRKOWA H., ZAJĄC A., ZAJĄC M. 2002. Flowering plants and pteridophytes of Poland a checklist. Instytut Botaniki im. W. Szafera, PAN, Kraków.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi.** Dz.U. z 2002 r., nr 165 poz. 1359.
- WEBER J. 1980. Geneza i właściwości gleb wytworzonych z serpentynitów Dolnego Śląska. Cz. I. Charakterystyka skały macierzystej. Roczn. Glebozn. 31, 1:143–161.
- ZAJĄC E. U., ZAJĄC A. 1975. Lista archeofitów występujących w Polsce. Zesz. Nauk. Uniw. Jagiell., Prace Bot. 3: 7–22.

- ZAJĄC M., ZAJĄC A. 1992. A tentative list of segetal and ruderal apophytes in Poland. Zesz. Nauk. Uniw. Jagiell., Prace Bot. 24: 7–23.
- ZARZYCKI K., TRZCIŃSKA-TACIK H., RÓŻAŃSKI W., SZELAĞ Z., WOŁEK J., KORZENIAK U. 2002. Ecological indicator values of vascular plants of Poland. Instytut Botaniki im. W. Szafera, PAN, Kraków.
- ŻOŁNIERZ L. 1993. Paprocie serpentynitowe w Masywie Ślęży. Annales Silesiae 23: 77–91.
- ŻOŁNIERZ L. 2007. Zbiorowiska trawiaste występujące na dolnośląskich serpentynitach – wybrane aspekty ekologii. Zesz. Nauk. UP we Wrocławiu, 555.