



Renata Musielińska, Agnieszka Bąbelewska, Wojciech Ciesielski

Wydział Matematyczno-Przyrodniczy

Akademia im. Jana Długosza w Częstochowie

al. Armii Krajowej 13/15, 42-200 Częstochowa, e-mail: r.musielinska@ajd.czyst.pl

OCENA ZAGROŻENIA OŁOWIEM I KADMEM BORÓWKI CZERNICY (*VACCINIUM MYRTILLUS L.*) Z TERENU ZAŁĘCZAŃSKIEGO PARKU KRAJOBRAZOWEGO

Streszczenie. Celem pracy było określenie zawartości ołowiu i kadmu w borówce czernicy (*Vaccinium myrtillus L.*). Roślina ta, o szerokim geograficznym zasięgu występowania, rośnie w strefie klimatycznej Polski oraz jest szeroko wykorzystywana jako roślina jadalna i lecznicza. Terenem badań był Załęczański Park Krajobrazowy, na obszarze którego wytypowano 10 stanowisk poboru prób roślinnych (część nadziemna oraz część podziemna). Zawartość wybranych pierwiastków oznaczono metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej (ASA) z wykorzystaniem aparatu VARIAN AA 240. Biodostępne ilości ołowiu w borówce czernicy były zbliżone na wszystkich stanowiskach i mieściły się w zakresie: część nadziemna 1,041–1,220 µg/g s.m.; część podziemna 1,036–1,210 µg/g s.m. Zawartość kadmu w *Vaccinium myrtillus* była kilkukrotnie niższa od zawartości ołowiu i mieściła się w przedziale: część nadziemna 0,023–0,045 µg/g s.m.; część podziemna 0,025–0,050 µg/g s.m.

Uzyskane wyniki badań mogą mieć duże znaczenie dla ocen zawartości ołowiu i kadmu w borówce czernicy, tj. gatunku pozyskiwanego w celach konsumpcyjnych i leczniczych.

Słowa kluczowe: ołów, kadm, borówka czernica, rośliny lecznicze, Załęczański Park Krajobrazowy.

ASSESSMENT OF RISK OF LEAD AND CADMIUM CONTAMINATION TO BILBERRY (*VACCINIUM MYRTILLUS L.*) FROM THE AREA OF THE ZAŁĘCZE LANDSCAPE PARK

Abstract. The aim of the study was to determine the contents of lead and cadmium in bilberry (*Vaccinium myrtillus L.*). This plant has a wide occurrence geographical cover-

age, it occurs in Polish climatic zone and is widely used as an edible and medicinal plant. The area of the study was the Załęcze Landscape Park, where there were selected 10 positions from which the plant samples were taken (the overground part and the underground part). The content of selected elements was determined by atomic absorption spectrometry (AAS) using the camera VARIAN AA 240. Bioavailable amounts of lead in bilberry were similar in all the positions and they were in the range: the part above ground 1,041–1,220 $\mu\text{g/g}$ s.m.; the underground part of 1,036–1,210 $\mu\text{g/g}$ s.m. Cadmium content in *Vaccinium myrtillus* was several times lower than the lead content and was in the range: the overground part 0,023–0,045 $\mu\text{g/g}$ s.m.; the underground part of 0,025–0,050 $\mu\text{g/g}$ s.m.

The obtained results may be important for the assessment of lead and cadmium contents in bilberry which is the species harvested for food and medicines.

Keywords: lead, cadmium, bilberry, medicinal plants, Załęcze Landscape Park.

Wstęp

Wzrost uprzemysłowienia i chemizacja większości dziedzin życia człowieka, to główne przyczyny pogarszającego się stanu środowiska przyrodniczego, a tym samym jakości żywności. Wśród metali ciężkich, to ołów i kadm stanowią największe zagrożenie dla zdrowia ludzkiego. Ich właściwości, toksyczność oraz powszechność występowania sprawiają, że metale te stały się najbardziej uciążliwym i niebezpiecznym zanieczyszczeniem środowiska przyrodniczego, a ich wysokie stężenia mogą zaburzać funkcjonowanie ekosystemów, zagrażając roślinom, zwierzętom i ludziom. Wskutek ich biokumulacji w tkankach roślinnych i zwierzęcych, wzrasta niebezpieczeństwo zatrucia kolejnych ogniw łańcucha troficznego. Rośliny w różny sposób mogą reagować na wyższe zawartości metali ciężkich w środowisku przyrodniczym, a niektóre z nich wykazują szczególną tendencję do pobierania i kumulowania wybranych pierwiastków. Ta swoista wrażliwość wybranych gatunków roślin pozwala na ocenę stopnia intoksykacji metalami ciężkimi środowiska przyrodniczego [13, 24–25, 30].

W obrębie licznych metod stosowanych w ocenie stopnia obciążenia środowiska przyrodniczego metalami ciężkimi [22], szeroko stosowane są także metody bioindykacyjne, a wśród nich wskaźniki roślinne (igły, liście, organy podziemne) [11, 16, 26]. Szczególne miejsce w tej klasyfikacji zajmują, m.in. gatunki: *Betula pendula* (Pb, Zn, Ni, Mn, Cd, Co), *Vaccinium myrtillus* (Pb, Fe, Mn, Cd, Cr, Ag), *Tussillago farfara* (Pb, Cu, Fe, Ni, Al), *Salix caprea* (Zn, Mn, Cd, Co) [4]. Rośliny stają się często pośrednikami w obiegu biologicznym wielu szkodliwych substancji, w tym także metali śladowych [31]. Z tego punktu widzenia, niezwykle przydatne są normy maksymalnych zawartości tych pierwiastków, a zwłaszcza normy zawartości ołowiu i kadmu w roślinach użytkowych (wykorzystywanych w celach spożywczych czy paszowych), ponieważ

zbyt wysoka koncentracja ww. eliminuje takie gatunki z naszego jadłospisu [42].

Borówka czernica *Vaccinium myrtillus* (L.) zwana potocznie także czarłą jagodą lub czernicą, to gatunek dwuliściennej rośliny wieloletniej z rodziny wrzosowatych. Pospolita w całym kraju (szczególnie w jego południowych rejonach), występuje w postaci krzewinek, osiągając przeciętnie wielkość od 15 do 30cm. Jest gatunkiem dominującym w większości borów sosnowych i mieszanych klimatu umiarkowanego – obecna zarówno na terenach zanieczyszczonych, jak i na terenach czystych. Tworzy bogate i rozległe skupiska zwane jagodziskami [1]. W bioindykacji stosuje się zarówno jej części nadziemne (np. liście, pędy nadziemne, owoce), jak i podziemne (kłącza) [28, 33]. Niezwykle smaczne owoce oraz wysoka wartość odżywcza powodują, że chętnie wykorzystywana jest w celach konsumpcyjnych w postaci świeżych owoców, marmolad, dżemów, konfitur, soków, syropów, mrożonek, suszu i innych. Natomiast jej walory lecznicze, które doceniali już Słowianie, znajdują uznanie nie tylko w medycynie naturalnej. Surowcem leczniczym są głównie owoce i liście, które wykazują szerokie działanie: przeciwbiegunkowe, antyseptyczne, przeciwgorączkowe, ściągające i bakteriobójcze [36]. Roślina stosowana chętnie na zaparcia, przy leczeniu biegunki u dzieci, w okulistyce (oftalmologii), chorobach pochodzenia naczyniowego, w cukrzycy oraz jako środek przeciwzapalny (szczególnie w stanach zapalnych przewodu pokarmowego oraz układu moczowego) [3, 8, 34, 43].

Celem pracy było określenie zawartości ołowiu i kadmu w borówce czernicy (*Vaccinium myrtillus* L.) pozyskanej z terenu Załęczańskiego Parku Krajobrazowego.

Teren badań

Badania prowadzono na terenie Załęczańskiego Parku Krajobrazowego (ZPK – rys. 1.), który położony jest w województwach: łódzkim, opolskim i śląskim (współrzędne geograficzne centralnej części parku to: szer. geogr. 51° 07' 03.52"N, dług. geogr. 18° 44' 12.38"E). Teren parku wchodzi w obszar makroregionu: Wyżyny Woźnicko-Wieluńskiej (341.2), a jego powierzchnia wynosi 14 810ha [19]. Załęczański Park Krajobrazowy został utworzony w 1978 roku. Głównym celem ochrony tego miejsca stał się malowniczy krajobraz z ostańcami jurajskimi oraz tzw. Wielki Łuk Warty – 40-kilometrowy odcinek rzeki, która, przepływając przez teren parku, rzeźbi urokliwe przełomy, podnosząc walory krajobrazowe tego miejsca. Liczne są tu zjawiska krasowe: wywierzyska, leje, studnie. Na szczególną uwagę zasługują także jaskinie. Lasy stanowią ostoję interesujących gatunków roślin i zwierząt. Wszystkie ww. walory

parku doprowadziły do ustanowienia na jego terenie Ostoi Natura 2000 „Załęczański Łuk Warty” (PLH100007).

Na zanieczyszczenie środowiska przyrodniczego mają wpływ ogniska dalekosięgającej emisji (w różnym oddaleniu) tj.: rejon Wielunia, Opola, Górnośląski Okręg Przemysłowy (GOP), przemysłowe okręgi Wrocławia, Częstochowy oraz Konina, a nawet ogniska zlokalizowane poza granicami kraju. Duże znaczenie odgrywają tutaj zachodnie, północne i południowe wiatry, które mogą przynieść zanieczyszczenia na znaczne odległości. Zakładami, które najczęściej emitują zanieczyszczenia w tym obszarze są, m.in.: Cementownia „Warta” SA z Działoszyna (emisja 1233,35 Mg/rok – 4 miejsce na liście) oraz Energetyka Ciepła sp. z o.o. w Wieluniu (emisja 241,03 Mg/rok – 14 miejsce na liście) [46].



Rys. 1. Rozmieszczenie stanowisk badawczych (1-10) na obszarze Załęczańskiego Parku Krajobrazowego (opracowanie autorskie)

Lokalizacja wybranych powierzchni badawczych:

- 1 – ok. 0,5 km na północ od miejscowości Krzeczowa;
- 2 – ok. 3,5 km na północny wschód od miejscowości Kamion;
- 3 – ok. 1,5 km na południowy wschód od miejscowości Nizankowice;
- 4 – ok. 1 km na południe od miejscowości Kamion;
- 5 – ok. 1 km na południe od miejscowości Wiesza;
- 6 – ok. 1 km na wschód od miejscowości Sęśów;
- 7 – ok. 0,5 km na północ od miejscowości Giętkowizna;
- 8 – ok. 1 km na wschód od miejscowości Kępowizna;
- 9 – ok. 1 km na zachód od miejscowości Załęcze Wielkie;
- 10 – ok. 3 km na południe od miejscowości Załęcze Wielkie.

Materiały i metody

Przedmiotem badań była borówka czernica (*Vaccinium myrtillus* L.), która posiada szeroki zasięg geograficzny, występuje w strefie klimatycznej Polski oraz jest szeroko wykorzystywana jako roślina jadalna i lecznicza. Próbkę roślin pobrano na badanym terenie z 10 wytypowanych powierzchni badawczych (każde o powierzchni 10m²). Próbkę do analizy stanowiła średnią mieszaną, którą pobrano z 15 miejsc na każdym stanowisku badawczym. W dalszej kolejności materiał do badań oczyszczono z mineralnych części gleby, płukano wodą redestylowaną oraz oddzielono części nadziemne od części podziemnych i suszono w temperaturze 65°C do stałej masy. Po wstępnym rozdrobnieniu, próbki zmielono z zachowaniem podziału na część nadziemną oraz część podziemną roślin. Następnie próbki poddano mineralizacji z zastosowaniem mineralizatora mikrofalowego MARSXpress firmy CEM oraz przy użyciu 5 cm³ HNO₃ (V) 65% cz.d.a. Zawartość wybranych pierwiastków oznaczono metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej (ASA) z wykorzystaniem aparatu VARIAN AA 240. Wszystkie oznaczenia wykonano w dwóch powtórzeniach.

Kwasowość czynną gleby w jednostkach pH, oznaczono potencjometrycznie w 25cm³ H₂O. W tym celu z warstwy próchniczo-mineralnej gleby pobrano próbki na każdej powierzchni badawczej, które następnie wysuszono w temperaturze pokojowej (próbka powietrznie sucha). W kolejnym etapie oddzielono części szkieletowe gleby od części ziemistych przesiewając próbki przez sito o $\phi=1$ mm.

Wyniki i ich omówienie

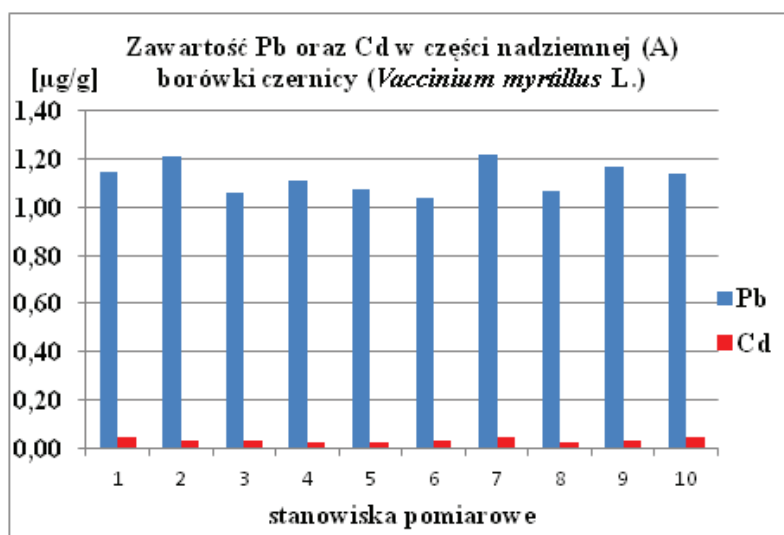
W celu scharakteryzowania i porównania zawartości wybranych metali ciężkich, tj. Pb i Cd w częściach nadziemnych (A) i podziemnych (B) *Vaccinium myrtillus* wyliczono wartości średnie arytmetyczne. Wyniki przeprowadzonych badań prezentuje tab.1.

Biodostępne ilości ołowiu na wszystkich stanowiskach były zbliżone i mieściły się w zakresie: część nadziemna (A): 1,041–1,220 $\mu\text{g/g}$ s.m; część podziemna (B): 1,036–1,210 $\mu\text{g/g}$ s.m. Zawartość kadmu była wielokrotnie niższa od zawartości ołowiu i mieściła się w przedziale: część nadziemna (A): 0,023–0,045 $\mu\text{g/g}$ s.m.; część podziemna (B): 0,025–0,050 $\mu\text{g/g}$ s.m.

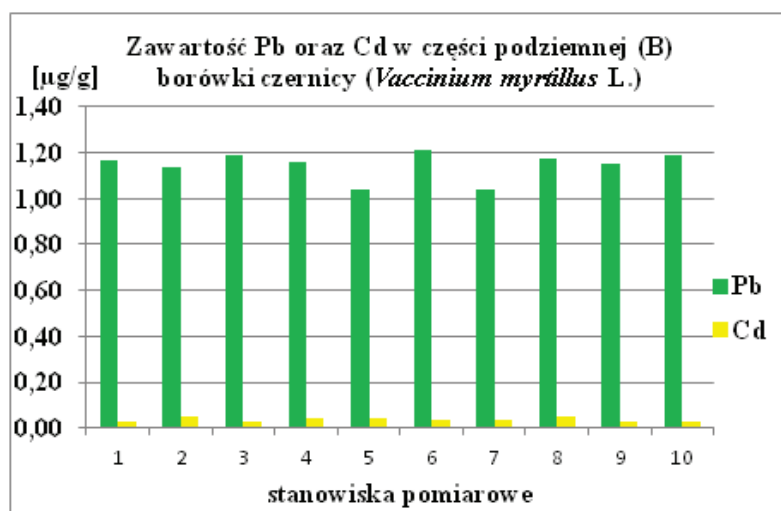
Właściwości kumulowania ołowiu i kadmu w poszczególnych częściach rośliny są zróżnicowane stanowiskowo. Wartości najwyższe dla części nadziemnych (A) - rys.2. stwierdzono: dla Pb - na stanowiskach 2 i 7; dla Cd – na stanowiskach 1, 7 oraz 10. Najniższą zawartość Pb w częściach nadziemnych (A) stwierdzono na stanowisku 6, a w przypadku Cd na stanowisku 4. Wartości najwyższe dla części podziemnych – (B) - rys.3. stwierdzono: dla Pb - na stanowisku 6; dla Cd – na stanowiskach 2 oraz 8. Najniższe wartości Pb w częściach podziemnych (B) występowały na stanowisku 5, a w przypadku Cd na stanowisku 1.

Tab. 1. Zestawienie średniej arytmetycznej zawartości Pb i Cd [$\mu\text{g/g}$] w częściach nadziemnych (A) i podziemnych (B) borówki czernicy (*Vaccinium myrtillus* L.) z terenu ZPK

Stanowiska badawcze	Pb		Cd	
	A	B	A	B
1	1,147	1,166	0,041	0,025
2	1,213	1,133	0,031	0,048
3	1,064	1,192	0,033	0,026
4	1,113	1,161	0,023	0,042
5	1,078	1,036	0,025	0,046
6	1,041	1,210	0,027	0,036
7	1,220	1,040	0,041	0,033
8	1,066	1,172	0,024	0,050
9	1,172	1,151	0,029	0,029
10	1,143	1,191	0,045	0,028



Rys. 2. Porównanie przeciętnych zawartości Pb oraz Cd w częściach nadziemnych borówki czernicy



Rys. 3. Porównanie przeciętnych zawartości Pb oraz Cd w częściach nadziemnych borówki czernicy

Na podstawie otrzymanych wyników zawartości metali ciężkich na badanych stanowiskach można ustalić ich szeregi ilościowe. Stanowiska badawcze pod względem średniej zawartości ołowiu w borówce czernicy układają się w następujących szeregach rosnących: dla części nadziemnych (A): $6 < 3 < 8 < 5 < 4 < 10 < 1 < 9 < 2 < 7$; dla części podziemnych (B): $5 < 7 < 2 < 9 < 4 < 1 < 8 < 10 < 3 < 6$. Natomiast powierzchnie badawcze pod względem średniej za-

wartości kadmu w borówce czernicy można uszeregować w następujących sposób: dla części nadziemnych (A): $4 < 8 < 5 < 6 < 9 < 2 < 3 < 1 < 7 < 10$; dla części podziemnych (B): $1 < 3 < 10 < 9 < 7 < 6 < 4 < 5 < 2 < 8$.

Średnia wartość pH gleby poziomów mineralno-próchnicznych wszystkich lokalizacji mieściła się w granicach 3,8–4,2, co wskazuje na odczyn bardzo kwaśny gleb.

Dyskusja

W ocenie stanu środowiska przyrodniczego niezwykle ważnym elementem pozostaje analiza stopnia zanieczyszczenia szaty roślinnej przez metale. W tym kontekście, szczególnego znaczenia nabiera analiza zawartości związków toksycznych pierwiastków, tj. ołowiu i kadmu zwłaszcza w gatunkach posiadających właściwości lecznicze lub pozyskiwanych w celach konsumpcyjnych. Jak podają liczne źródła [4, 17, 20, 22, 28, 37] różne gatunki roślin, w tym borówka czernica, są dobrymi wskaźnikami zanieczyszczeń środowiska metalami ciężkimi oraz mogą służyć do prognozowania tego typu zagrożeń. Dodatkowo rośliny dwuliścienne absorbują metale znacznie łatwiej niż jednoliścienne [40].

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia [38] w sprawie maksymalnych poziomów zanieczyszczeń chemicznych i biologicznych, które mogą znajdować się w żywności, składnikach żywności, dozwolonych substancjach dodatkowych, substancjach pomagających w przetwarzaniu albo na powierzchni żywności, zawartość badanych metali ciężkich w obu częściach (A i B) borówki czernicy nie przekraczała norm. Badania pozostają jednak zasadne. Stała kontrola poziomu zanieczyszczeń roślin wykorzystywanych w celach konsumpcyjnych lub w lecznictwie może być gwarancją bezpiecznego ich wykorzystania. Prace wielu autorów dowodzą, że w surowcach roślinnych dopuszczonych do obrotu handlowego, poziom zawartości Pb i Cd pozostawał w normie [2] (co tłumaczyło dopuszczenie ich do obrotu), jednak ten sam surowiec pochodzący ze stanu naturalnego cechowało często przekroczenie tych norm [5, 21, 27]. Powyższe rozważania wskazują, że bezkrytyczne pozyskiwanie roślin ze stanowisk naturalnych (w celach spożywczych lub leczniczych), wcześniej niebadanych pod względem zawartości Pb i Cd, może w istotny sposób zagrażać naszemu zdrowiu, ponieważ w wielu przypadkach normy są przekroczone.

Badania borówki czernicy w aspekcie kontaminacji jonami różnych metali ciężkich w wielu przypadkach [10, 18, 33, 39] odnoszą się do zawartości ww. w owocach *Vaccinium myrtillus*. W tym wypadku podjęto próbę analizy zawartości wybranych metali ciężkich głównie w części nadziemnej i podziemnej badanej rośliny z pominięciem owoców. Zabieg ten podyktowany był poruszaną często w literaturze [29, 32, 41] pojawiającą się dysproporcją pomiędzy

koncentracją metali w owocach w porównaniu do odnotowanych stężeń w innych częściach roślin. Owoce w wielu opisywanych szeregach zawartości pierwiastków plasowały się jako te o mniejszej koncentracji w porównaniu z korzeniami czy liśćmi roślin. Ewentualne zanieczyszczenia owoców nie stanowią więc zagrożenia dla zdrowia.

Poziom zawartości ołowiu w części nadziemnej (A) borówki czernicy z terenu ZPK mieścił się w granicach 1,04–1,220 µg/g s.m, natomiast w części podziemnej (B): 1,036–1,210 µg/g s.m. Na sześciu powierzchniach badawczych poziom Pb w części (B) borówki czernicy był wyższy niż w części (A). Takie wyniki potwierdzają, że korzenie roślin mogą pobierać więcej ołowiu niż liście. Odbywa się to zazwyczaj dość łatwo, jednak ilość przetransportowanego metalu do części nadziemnych może być ograniczona [13]. Mimo zaobserwowanych różnic, w obu przypadkach poziom ten pozostawał jednak zbliżony na wszystkich stanowiskach pomiarowych. Wyniki te są wielokrotnie niższe od wielkości ustalonych dla Pb w borówce czernicy w Rezerwacie Biosfery „Puszcza Kampinoska” [15], w roślinach runa leśnego rezerwatów Beskidu Śląskiego [7] oraz w gatunkach występujących na glebach leśnych [14]. W ostatnim przypadku średnia zawartość Pb w borówce czernicy wynosiła odpowiednio: z powierzchni badawczych transektu I: 6,9 µg/g s.m.; dla transektu II: 8,2 µg/g s.m. Wyższe wartości dla Pb i Cd odnotowano również w Borzęcinie, analizując zawartość metali ciężkich w roślinach dwuliściennych [9]. W badaniach stopnia obciążenia metalami ciężkimi roślin w granicach strefy ochronnej „Huty Katowice” [35] zaobserwowano, że więcej Pb gromadzi borówka brusznica niż *Vaccinium myrtillus*. Kontaminacja borówki czarnej Pb na tym terenie w 1977 roku wynosiła [23]: 31,4 µg/g s.m., dekadę później 18,2 µg/g s.m., a w 2000 roku 23,3 µg/g s.m. Tak duże wahania zawartości Pb są rezultatem emisji tego metalu w poszczególnych latach działalności „Huty Katowice”. Uzyskane wyniki wielokrotnie przekraczają odnotowane poziomy zanieczyszczeń dla Pb na terenie ZPK. Wyniki badań własnych wskazują, że poziom „normalny”, tj. 0,1–10 µg/g s.m. zawartości Pb nie został przekroczony i mieści się w granicach norm fizjologicznych. Z kolei Gorlach i Gambuś [12] podają przedział zawartości Pb 1–1,5 µg/g s.m. za „normalny” w roślinach. Uzyskane wyniki badań wskazują, że wszystkie rozpatrywane przypadki mieszczą się w tych granicach. Jednak ci sami autorzy wskazują, że zawartość Pb w przedziale 0,1–1 µg/g s.m. pozostaje bezpieczna w roślinach wykorzystywanych w celach paszowych. Zawartość Pb w roślinach przeznaczonych do konsumpcji wg Kabaty-Pendias [16] nie powinna przekraczać progu 1 µg/g s.m. Otrzymane wyniki wskazują na nieznaczne przekroczenie tych limitów na wszystkich analizowanych stanowiskach. Szczególnie należy zwrócić uwagę na stanowiska 2 i 7 jako miejsca poboru surowca zielarskiego, ponieważ te lokalizacje charakteryzują się największą zawartością Pb w części nadziemnej (liście borówki czernicy stanowią surowiec leczniczy). Przyjmując, że poziom ołowiu w owocach jest mniejszy niż w innych częściach

roślin (a górna granica $1\mu\text{g/g}$ s.m. została przekroczona, ale tylko nieznacznie), jagody borówki czernicy z tego terenu mogą być wykorzystywane w celach spożywczych.

Zawartość kadmu w *Vaccinium myrtillus* była wielokrotnie niższa od wartości ołowiu i mieściła się w przedziale: część nadziemna (A): $0,023\text{--}0,045\mu\text{g/g}$ s.m.; część podziemna (B): $0,025\text{--}0,050\mu\text{g/g}$ s.m. Rośliny zazwyczaj zatrzymują pobrane metale ciężkie głównie w korzeniach. W badaniach własnych odnotowano większą zawartość Cd w częściach podziemnych borówki czernicy na stanowiskach badawczych: 2, 4 - 6, 8. Niemniej jednak kadm jako pierwiastek bardzo mobilny transportowany jest również do części nadziemnych roślin. Potwierdzeniem tego są lokalizacje: 1, 3, 7, 10, gdzie zaobserwowano większą zawartość Cd w częściach nadziemnych. Na stanowisku 9 zawartość Cd w części A i B borówki czernicy była identyczna i wynosiła $0,029\mu\text{g/g}$ s.m. Otrzymane wyniki zawartości Cd są znacznie niższe od przytaczanych w literaturze [9, 23, 35]. Kadm jest metalem stosunkowo łatwo i intensywnie pobieranym przez rośliny, proporcjonalnie do stężenia w środowisku [13]. Uzyskane zawartości tego metalu we wszystkich analizowanych próbkach mieszczą się w zakresie wartości zaproponowanych jako dopuszczalne [16], tj. $0,15\mu\text{g Cd/g}$ s.m. Kadm ze względu na swoje podobieństwo do cynku pobierany jest przez rośliny biernie i proporcjonalnie do poziomu, jaki osiąga w środowisku. Jego zawartość w roślinach może zmieniać się w zależności od gatunku czy organu rośliny. W miejscach uznawanych za niezanieczyszczone jego poziom nie przekracza wartości $1\mu\text{g/g}$ s.m. [16]. Otrzymane wyniki wskazują, że teren badań pozostaje wolny od tego metalu, ponieważ granica $1\mu\text{g/g}$ s.m. w żadnym przypadku nie została przekroczona. Stopień obciążenia badanego obszaru przez analizowane metale ciężkie jest wielokrotnie mniejszy niż w podobnych zbiorowiskach zlokalizowanych na terenie Jurajskiego Parku Krajobrazowego [6].

Zasadniczym wskaźnikiem obiektywnej oceny jakości gleby jest jej odczyn (wartość pH). Gleby określone jako bardzo kwaśne posiadają pH poniżej 4,5, natomiast gleby kwaśne mają odczyn w przedziale 4,6–5,5 jako kwaśne. Z kolei odczyn w granicach 5,6–6,5 klasyfikuje glebę jako lekko kwaśną, a o pH powyżej 6,5 jako obojętną i zasadową [14]. Dowiedziono także [44], że w glebach kwaśnych i bardzo kwaśnych (niskie wartości pH) zwiększa się biodostępność metali ciężkich oraz że taki odczyn utrudnia pobieranie przez roślinę składników pokarmowych, jednocześnie uaktywniając transport metali ciężkich, w tym ołowiu i kadmu [14]. Na wszystkich analizowanych powierzchniach badawczych wartość pH gleb poziomów mineralno-próchnicznych mieściła się w granicach 3,8–4,2, co wskazuje na odczyn bardzo kwaśny gleb. Mimo tego, analizując otrzymane wyniki badań można zauważyć, że stopień intoksykacji Pb i Cd borówki czernicy jest niewielki, pozostający w normie. Otrzymane wyniki, przy jednoznacznych wartościach pH potwierdzają, że badany teren

wolny jest od tego typu zanieczyszczeń. Taki stan rzeczy potwierdzają wyniki uzyskane przez WIOŚ w Łodzi. W programie tym przebadano gleby z terenu obszaru NATURA 2000 Załęczański Łuk Warty (PLH 100007). Zakres prac obejmował, m.in. odczyn oraz metale ciężkie (w tym Pb i Cd). Oznaczone wskaźniki zanieczyszczeń wskazują, że badane próbki gleby spełniały wymogi określone dla gleb grupy A (obszary chronione). W przypadku metali nie stwierdzono przekroczenia norm; odczyn gleb miał charakter kwaśny lub bardzo kwaśny w większości przebadanych prób [45].

Podsumowując, odnotowany niewielki poziom zawartości ołowiu i kadmu może być podyktowany wieloma czynnikami. W pierwszej kolejności warto przypomnieć, że teren z którego pozyskiwano materiał do badań to park krajobrazowy. Taka forma wielkoobszarowej ochrony przyrody, choć posiadająca niższy status ochrony niż park narodowy, odciska pozytywne piętno na przyrodzie. Z troski o zachowanie dobrej jakości środowiska przyrodniczego, działalność gospodarcza jest w takim przypadku prowadzona z ograniczeniami co z pewnością ma przełożenie na zmniejszenie ładunku zanieczyszczeń odprowadzanych do środowiska przyrodniczego. Kolejnym ważnym argumentem jest umycie roślin przed analizowaniem poziomu zawartości metali ciężkich, co jak można przypuszczać również mogło mieć wpływ na wynik końcowy. Przedstawione wyniki pozwalają stwierdzić, że niskie stężenia metali ciężkich w badanym gatunku, klasyfikują badany obszar jako wolny od zanieczyszczeń z zachowanym środowiskiem naturalnym, natomiast borówka czernica z tego terenu może być pozyskiwana w celach konsumpcyjnych (wszystkie stanowiska) i leczniczych (za wyjątkiem stanowisk 2 i 7).

Wnioski

1. Zawartość Pb i Cd w borówce czernicy na wszystkich stanowiskach nie przekroczyła dopuszczalnych norm fizjologicznych i mieściła się w granicach: dla Pb od 1,036 do 1,220 $\mu\text{g/g}$ s.m.; dla Cd od 0,023 do 0,050 $\mu\text{g/g}$ s.m.
2. Zawartość ołowiu w borówce czernicy była nieznacznie wyższa od wartości umożliwiającej przeznaczenie lecznicze tej rośliny; dotyczy to zwłaszcza stanowisk 2 oraz 7. Owoce mogą być wykorzystywane w celach konsumpcyjnych.
3. Kontaminacja *Vaccinium myrtillus* przez Cd jest niewielka; nie ma wpływu na sposób wykorzystania tej rośliny.
4. Otrzymane wyniki pozwalają traktować borówkę czernicę jako bioindykator Pb i Cd oraz zaklasyfikować badany teren do kategorii niezanieczyszczonych.

Literatura

- [1] Białońska D., Zobel A.M., Kuraś M., Tykarska T., Sawicka-Kapusta K., 2007. *Phenolic compounds and cell structure in bilberry leaves affected by emissions from a Zn–Pb smelter*, [in:] *Water, Air and Soil Pollution*, 181, 2007, p. 123–133.
- [2] Borkowski B., *Zanieczyszczenia surowców roślinnych metalami ciężkimi*, [w:] *Farmacja Pol.*, 50(15), 1994, p. 697–709.
- [3] Borowska E.J., Szajdek A., *Składniki dietetyczne i substancje biologiczne w owocach aronii, borówki czernicy i porzeczki czarnej*, [w:] *Bromatol Chem Toksykol*, 2005, p. 181–184.
- [4] Bylińska E., *Studia nad biogeochemią roślin z obszaru występowania złóż polimetalicznych w Rudawach Janowickich (Sudety)*, [w:] *Acta Univ. Wratisl.*, *Prace Bot.*, 1992, p. 50–71.
- [5] Capecka E., Gawęda M., *The content of some metals in dandelion (*Taraxacum officinale* Web.) plants from natural sites in Małopolska.*, [in:] *Herba Pol.*, 67(3), 2001, p. 207–219.
- [6] Ciepał R., *Kumulacja metali ciężkich i siarki w roślinach wybranych gatunków oraz glebie jako wskaźnik stanu skażenia środowiska terenów chronionych województw śląskiego i małopolskiego*. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, [w:] *Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach*, 1774, 1999, p. 1–161.
- [7] Ciepał R., Palowski B., Łukasik I., *Stopień obciążenia metalami ciężkimi i siarką wybranych rezerwatów Beskidu Śląskiego*, [w:] *Problemy Ekologii Krajobrazu*, 10, 2001, p. 736–741.
- [8] Czech A., Rusinek E., Merska M., *Zawartość wybranych biopierwiastków w owocach i sokach z owoców jagodowych*, [w:] *Prob Hig Epidemiol* 92(4), 2011, p. 836–839.
- [9] Czech T., Baran A., Wieczorek J., *Zawartość metali ciężkich w glebach i roślinach z terenu gminy Borzęcin (województwo małopolskie)*, [w:] *Inżynieria ekologiczna*, 37, 2014, p. 89–98.
- [10] Demczuk M., Garbiec K., *Heavy metals in edible fruits. A case study of bilberry *Vaccinium myrtillus* L.*, [w:] *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 40, 2009, p. 307–312.
- [11] Dmuchowski W., Bytnerowicz A., *Monitoring environmental pollution in Poland by chemical analyses of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles*, [in:] *Environm. Pollut.*, 87, 1995, p. 87–104, DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)80012-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491(99)80012-8)
- [12] Gorlach E., Gambuś F., *Potencjalnie toksyczne pierwiastki śladowe w glebach (nadmiar, szkodliwość i przeciwdziałanie)*, [w:] *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 472, 2000, p. 275–296.

- [13] Gruca-Królikowska S., Waclawek W., *Metale w środowisku. Cz. II. Wpływ metali ciężkich na rośliny*, [w:] Chemia, Dydaktyka, Ekologia, Metrologia, 11(1-2), 2006, p. 41-56.
- [14] Gworek B., Degórski M., *Borówka (*Vaccinium myrtillus*) oraz igły sosny (*Pinus silvestris*) wskaźnikami zanieczyszczeń środowiska metalami ciężkimi w wybranych siedliskach borowych na obszarze Polski*, [w:] Rocz. Gleb., 51(1/2), 2000, p. 79-86.
- [15] Janowska E., *Rośliny zielne jako wskaźniki przemian środowiska w Rezerwacie Biosfery Puszcza Kampinowska* [w:] ZMŚP w Polsce, Funkcjonowanie i monitoring geоекосystemów z uwzględnieniem zanieczyszczenia powietrza, SGGW, Warszawa, 2001, p.361-372.
- [16] Kabata-Pendias A., Pendias H., *Biogeochemia pierwiastków śladowych*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 1999, p. 363.
- [17] Kandziora-Ciupa M., Ciepał R., Nadgórska-Socha A., Barczyk G., *A comparative study of heavy metal accumulation and antioxidant response in *Vaccinium myrtillus*L. leaves in polluted and non-polluted areas*, [in:] *Environmental Science and Pollution Research*, 20, 2013, p. 4920-4932, DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-012-1461-4>
- [18] Kluszczyńska D., Sowińska W., *Wpływ procesów technologicznych na zawartość substancji bioaktywnych w owocach borówki czernicy*, [w:] *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość.*, 4(95), 2014, p. 30-42.
- [19] Kondracki J., *Geografia regionalna Polski*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 2001.
- [20] Kukła J, Kuklová M., *Growth of *Vaccinium myrtillus* L.(Ericaceae) in spruce forests damaged by air pollution*, [in:] *Polish Journal of Ecology*, 56(1), 2008, p. 149-155.
- [21] Kuźniewski K., Hojden B., Radwan-Pytłewska K., Szulkowska-Wojaczek K., *Wpływ zanieczyszczeń komunikacyjnych na rośliny lecznicze*, [w:] *Herba Pol.*, 39(3), 1993, p. 131-138.
- [22] Kwapuliński J., Kowol J., Musielińska R., Bebek M., Mitko K., Stempin M., Oleśkow U., Swoboda M., *Zastosowanie równania podziału do oceny wpływu udziału form specjacyjnych metali w glebie na ich zawartości w roślinach leczniczych*, [w:] *Gaz, Woda, Technika Sanitarna*, 8, 2015, p. 306-309.
- [23] Lorek E., *Kierunek i dynamika zmian procesów degradacji środowiska pod wpływem antropopresji w rejonie Górnego Śląska*, [w:] *Prace Naukowe, Akademia Ekonomiczna, Katowice*, 1993.
- [24] Łaszewska A., Kowol J., Wiechuła D., Kwapuliński J., *Kumulacja metali w wybranych gatunkach roślin leczniczych z terenu Beskidu Śląskiego i Beskidu Żywieckiego*, [w:] *Problemy Ekologii*, 11(6), 2007, p. 285-291.

- [25] Malzahn E., *Igły sosny zwyczajnej jako bioindykator zagrożeń środowiska leśnego Puszczy Białowieskiej*, [w:] Biuletyn Monitoringu Przyrody, 1(3), 2002, p. 19–31.
- [26] Mannien S., Huttunen S., *Scots pine needles as bioindicators of sulphur deposition*, [in:] Can. J. For. Res., 25, 1995, p. 1559–1569.
- [27] Mirosławski J., Wiechula D., Kwapuliński J., Rochel R., Loska K., Ciba J., *Występowanie Pb, Cd, Cu, Mn, Ni, Co i Cr w wybranych gatunkach roślin leczniczych na terenie Polski*, [w:] Bromat. Chem. Toksykol., 28(4), 1995, p. 363–368.
- [28] Mróz L., Demczuk M., *Contents of phenolics and chemical elements in bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) leaves from copper smelter area (SW Poland)*, [in:] Polish Journal of Ecology, 58(3), 2010, p. 475–486.
- [29] Musielińska R., Kowol J., Kwapuliński J., Rochel R., Oleś U., *Dyskryminacja ołowiu w roślinach przez wapń i magnez*, [w:] Ekologia i Technika, 22(3), 2014, p. 106–110.
- [30] Musielińska R., Kwapuliński J., Kowol J., *Intoksykacja Pb wybranych roślin z zasięgu oddziaływania Huty Częstochowa*, [w:] Ekologia i Technika, 22(4), 2014, p. 193–199.
- [31] Musielińska R., Śliwińska-Wyrzychowska A., *Zawartość ołowiu w wybranych gatunkach roślin o potencjalnym znaczeniu leczniczym*, [w:] Prace Naukowe Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie. Technika, Informatyka, Inżynieria Bezpieczeństwa, 1, 2013, p. 99–118.
- [32] Ociepa-Kubicka A., Ociepa E., *Toksyczne oddziaływanie metali ciężkich na rośliny, zwierzęta i ludzi*, [w:] Inżynieria i Ochrona Środowiska, 15(2), 2012, p. 169–180.
- [33] Pająk M., Jasik M., *Zawartość cynku, kadmu i ołowiu w owocach borówki czarnej (*Vaccinium myrtillus* L.) rosnącej w lasach Nadleśnictwa Świerklaniec*, [w:] Sylwan, 156(3), 2012, p. 233–240.
- [34] Piątkowska E., Kopeć A., Leszczyńska T., *Antocyjany – charakterystyka, występowanie i oddziaływanie na organizm człowieka*, [w:] Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 4(77), 2011, p. 24–35.
- [35] Pomierny S., Ciepał R., *Ocena wieloletniego oddziaływania emisji przemysłowych na gleby i rośliny w granicach strefy ochronnej "Huty Katowice"*, [w:] Acta Agrophysica, 4(2), 2004, p. 475–489.
- [36] Puupponen-Pimia R., Nohynek L., Alakomi H., Oksman-Caldentey K., *Bioactive berry compounds – novel tools against human pathogens*, [in:] Appl. Microbiol. Biotechnol., 67, 2005, p. 8–18, DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00253-004-1817-x>
- [37] Remon E., Bouchardon L., Le Guedard M., Bessoule J., Conord C., *Are plants useful as accumulation indicators of metal bioavailability?* [in:] Environmental Pollution, 175, 2013, p. 1–7,

- DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00253-004-1817-x>
- [38] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dn. 13.01.2003r w sprawie maksymalnych poziomów zanieczyszczeń chemicznych i biologicznych, które mogą znajdować się w żywności, składnikach żywności, dozwolonych substancjach dodatkowych, substancjach pomagających w przetwarzaniu albo na powierzchni żywności. Dz.U. nr 37 poz.326 z dn. 4.03.2003.
- [39] Rusinek E., Sembratowicz I., Ognik K., *Zawartość wybranych metali w owocach leśnych w zależności od miejsca pozyskania*, [w:] Roczn. PZH, 59(2), 2008, p. 155–161.
- [40] Sauerbeck D.R., *Plant, element and soil properties governing uptake and availability of heavy metals derived from sewage sludge*, [in:] Water, Air, Soil Pollution, 57–58, 1991, p. 227–237,
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF00282886>
- [41] Staniak S., *Źródła i poziom zawartości łożowiu w żywności*, [w:] Polish Journal of Agronomy 19, 2014, p. 36–45.
- [42] Świercz A., *Rola biowskaźników w monitoringu zanieczyszczeń środowiska i rekultywacji terenów przemysłowych*, [w:] M. Strzyż (red.) Problemy Ekologii Krajobrazu, t. XII, Kielce, 2005, p. 235–241.
- [43] Trąba C., Rogut K., Wolański P., *Rośliny dziko występujące i ich zastosowanie*, Wyd. Pro Carpathia, Rzeszów, 2012.
- [44] Venditti D., Durecu S., Berthelin J., *A multidisciplinary approach to assess history, environmental risks, and remediation feasibility of soils contaminated by metallurgical activities. Part A: Chemical and physical properties of metals and leaching ability*, [in:] Arch. Environ. Contam. Toxicol., 38, 2000, p. 411–420,
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s002449910055>
- [45] Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Łodzi, Raport o stanie środowiska w województwie łódzkim, VI Ochrona powierzchni ziemi, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Łódź 2009.
- [46] Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Łodzi, Raport o stanie środowiska w województwie łódzkim, Powietrze, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Łódź 2014.