



Renata Musielińska, Agnieszka Bąbalewska, Wojciech Ciesielski

Zakład Biologii i Ochrony Środowiska

Instytut Chemii, Ochrony Środowiska i Biotechnologii

Akademia im. Jana Długosza w Częstochowie

al. Armii Krajowej 13/15, 42–200 Częstochowa

e-mail: r.musielinska@ajd.czyst.pl

OCENA STOPNIA ZAGROŻENIA FE, MN, ZN I CU BORÓWKI CZERNICY (*VACCINIUM MYRTILLUS L.*) NA TERENIE ZAŁĘCZAŃSKIEGO PARKU KRAJOBRAZOWEGO

Streszczenie. Rośliny lecznicze coraz chętniej wykorzystywane są w zapobieganiu i/lub leczeniu wielu chorób, a zalety fitoterapii i naturalnych metod leczenia na stałe zagościły w nowoczesnym leczeniu. Jednak wysoka zawartość metali ciężkich w gatunkach leczniczych może eliminować je z zastosowań medycznych, ujemnie wpływać na proces terapeutyczny oraz stać się dodatkowym źródłem narażenia na te pierwiastki. W tej sytuacji, przestrzeganie norm maksymalnej zawartości metali w roślinach staje się koniecznością, szczególnie w przypadku gatunków leczniczych, konsumpcyjnych lub paszowych.

Celem badań było określenie zawartości metali: żelaza, manganu, cynku i miedzi w borówce czernicy (*Vaccinium myrtillus L.*). Próbkę roślinną (część nadziemną oraz część podziemną) pobrano na 10 stanowiskach badawczych w Załęczańskim Parku Krajobrazowym. Zawartości badanych pierwiastków oznaczono metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej (ASA) z wykorzystaniem aparatu VARIAN AA 240.

Zawartość żelaza w borówce czernicy była podobna na wszystkich stanowiskach badawczych i mieściła się w granicach: 20,316–25,994 $\mu\text{g/g}$ s.m. w części podziemnej; 22,865–25,324 $\mu\text{g/g}$ s.m. w części nadziemnej roślin. Biodostępne ilości manganu w *Vaccinium myrtillus* były niższe od zawartości żelaza, przy czym ilości odnotowane w części podziemnej były dwukrotnie wyższe niż w części nadziemnej borówki czernicy (Mn w części nadziemnej: 4,311–4,584 $\mu\text{g/g}$ s.m.; Mn w części podziemnej: 8,519–9,054 $\mu\text{g/g}$ s.m.). Podobnie niższe zawartości odnotowano dla cynku – część nadziemna: 1,204–1,386 $\mu\text{g/g}$ s.m.; część podziemna: 1,770–2,023 $\mu\text{g/g}$ s.m. W przypadku miedzi nie odnotowano wartości większej niż 0,05 $\mu\text{g/g}$ s.m. (dla obu części borówki na wszystkich stanowiskach pomiarowych).

Prezentowane wyniki zawartości żelaza, manganu, cynku i miedzi w *Vaccinium myrtillus* opisują przydatność tej rośliny w celach konsumpcyjnych i leczniczych.

Słowa kluczowe: żelazo, mangan, cynk, miedź, borówka czernica, rośliny lecznicze, Załęczański Park Krajobrazowy.

ASSESSMENT OF THE DEGREE OF THREAT OF FE, MN, ZN AND CU BILBERRY (*VACCINIUM MYRTILLUS* L.) IN THE AREA OF THE ZAŁĘCZE LANDSCAPE PARK

Abstract. Medicinal plants are more and more willingly used in the prevention and/or treatment of many diseases, and the advantages of phytotherapy and natural methods of treatment have become a permanent feature of modern medicine. However, the high content of heavy metals in medicinal species can eliminate them from medical applications, adversely affect the therapeutic process and become an additional source of exposure to these elements. In this situation, observance of the maximum metal content standards in plants becomes necessary, especially in the case of medicinal, consumer or feed species.

The aim of the study was to determine the content of iron, manganese, zinc and copper in the blueberry of saithe (*Vaccinium myrtillus* L.). Plant samples (aboveground part and underground part) were taken at 10 research sites in the Załęcze Landscape Park. The contents of the tested elements were determined by atomic absorption spectrometry (ASA) with the use of VARIAN AA 240 apparatus.

The iron content of blueberry was similar at all research sites and was within the following limits: 20.316–25.994 µg/g s.m. in the underground part; 22,865–25,324 µg/g s.m. in the aboveground part of the plants. The bioavailable quantities of manganese in *Vaccinium myrtillus* were lower than the iron content, while the quantities recorded in the underground part were twice as high as in the aboveground part of blueberry (Mn in the aboveground part: 4,311–4,584 µg/g s.m.). Month in the underground part: 8.519–9.054 µg/g s.m.). Similarly, lower levels were recorded for zinc – above ground part: 1.204–1.386 µg/g s.m. underground: 1,770–2,023 µg/g s.m. In the case of copper, no value greater than 0.05 µg/g s.m. was recorded. (for both parts of blueberry at all measuring points).

The presented results of iron, manganese, zinc and copper content in *Vaccinium myrtillus* describe the usefulness of this plant for consumption and treatment.

Keywords: iron, manganese, zinc, copper, bilberry, medicinal plants, Załęcze Landscape Park.

Wprowadzenie

Nowoczesne leczenie coraz częściej wykorzystuje zalety fitoterapii, a rośliny lecznicze chętnie wykorzystywane są w zapobieganiu i/lub leczeniu wielu chorób. Skuteczność stosowania leków ziołowych zaobserwowano w chorobach przewlekłych, w stanach ostrych i podostrych. W praktyce medycznej fitofarmaceutyki są stosowane jako leki główne lub środki uzupełniające. Ich wartość lecznicza jest ogromna, a światowe wykorzystanie na tle wszystkich leków – imponujące (30–40%). Składniki zawarte w gatunkach leczniczych mogą poprawić funkcjonowanie naszego organizmu. Dodatkową ich zaletą jest obecność łatwo przyswajalnych przez człowieka mikro- i makroelementów (także jonów metali, których jednak nadmiar jest szkodliwy). Wzrastające zanieczyszczenie środowiska sprawia, że gatunki lecznicze mogą być nazbyt obciążone toksynami (w tym, metalami ciężkimi), co ze względu na ich przeznaczenie – nie jest wskazane. W sytuacji coraz większego zainteresowania fitoterapią w leczeniu, zjawisko to jest bardzo niebezpieczne. Wysoka zawartość metali ciężkich w ziołach może ujemnie wpływać na proces terapeutyczny, osłabiać działanie lecznicze stosowanych fitofarmaceutyków oraz stać się dodatkowym źródłem narażenia na metale ciężkie [21]. W tej sytuacji, przestrzeganie norm maksymalnej zawartości metali w roślinach staje się koniecznością, szczególnie w przypadku gatunków leczniczych, konsumpcyjnych lub paszowych [27, 33].

Wśród wielu metod oceniających stopień zanieczyszczenia środowiska metalami ciężkimi [20], znajdują się także powszechnie stosowane metody bioindykacyjne. Wykorzystują one zdolności organizmów (np. mchy, porosty) do wewnątrzustrojowego akumulowania składników chemicznych - głównie metali ciężkich [33]. Istnieją gatunki o wybitnych zdolnościach kumulacji jednego lub kilku pierwiastków, których charakterystyczna wrażliwość umożliwia ocenę obciążenia środowiska metalami [13, 15, 23, 26]. Jak podaje Bylińska [5] są to: *Vaccinium myrtillus*, *Tussillago farfara*, *Betula pendula*, *Salix caprea*, *Arrhenatherum elatius*, *Caltha palustris*, *Dactylis glomerata*.

Vaccinium myrtillus należy do rodziny wrzosowatych (*Ericaceae*); wielkość krzewinek do 30 cm. Okres kwitnienia przypada od kwietnia do połowy czerwca. Borówka czarna ma ciemnoniebieskie owoce jagodowe z woskowym nalotem. Miąższ tych owoców jest czerwony, a sok ciemnofioletowy. Drobne, jajowate liście mają charakterystyczny drobno piłkowany brzeg. Roślina ta pospolicie występuje na terenie Europy północnej i środkowej, w środkowej Azji i w Ameryce Północnej. Powszechnie rośnie na glebach wilgotnych i kwaśnych w lesno-borowych siedliskach przyrodniczych Polski; tworzy poszycie lasów sosnowych i świerkowych; nie jest chroniona [16]. Znana jest częściej jako czernica lub czarna jagoda. Jej rozłożyste skupiska nazywane jagodziskami możemy spotkać na obszarach czystych oraz zanieczyszczonych [9, 12]. Wyko-

rzystywana jest w bioindykacji (części podziemne i nadziemne) [24, 28]. Roślina ta jest ceniona, głównie za sprawą smacznych owoców i właściwości leczniczych, jakie posiada. To właśnie walory odżywcze i smakowe owoców czarnej jagody sprawiają, że chętnie spożywana jest przez konsumentów. Owoce borówki wykorzystywane są w przemyśle spożywczym jako barwnik soków, win, deserów oraz do wyrobu dżemów i konfitur. Z kolei jej właściwości lecznicze i szerokie spektrum działania (np. antyseptyczne, ściągające, przeciwgorączkowe i przeciwbiegunkowe) powodują, że znajdziemy ją w mieszankach ziołowych. Jest ceniona zarówno w medycynie naturalnej, jak i konwencjonalnej [3, 7, 30]. Surowcem leczniczym borówki czarnej są liście i owoce. Liście zawierają: garbniki (ok. 7%), flawonoidy, antocyjany, kwasy fenolowe i arbutynę. Stosowane są w medycynie w leczeniu cukrzycy typu II oraz w stanach zapalnych przewodu pokarmowego i dróg moczowych (działanie przeciwbakteryjne i przeciwzapalne). Napary z liści stosowano w artretyzmie, złym krążeniu, hemoroidach, stanach zapalnych skóry. Owoce tej rośliny są bogate w: garbniki (5–12%), antocyjany (0,10–0,25%), pektyny, witaminy oraz cukry i znajdują zastosowanie jako środek poprawiający mikrokrążenie w obrębie gałki ocznej (w oftalmologii). Stosowane także jako surowiec przeciwbiegunkowy [9, 11]. Świeże owoce czarnej jagody (100 g) są dobrym źródłem witaminy C (3 mg), katechiny (20 mg) oraz kwercetyny (3 mg). Zawartość antocyjanów jest wielokrotnie wyższa w porównaniu do innych owoców jagodowych i wynosi 300–700 mg / 100 g świeżych owoców. Czarna jagoda jest bogatym źródłem antocyjanów oraz związków o charakterze polifenoli, które to prawdopodobnie odpowiadają za jej prozdrowotne działanie [14]. Cenne składniki borówki czernicy są wykorzystywane w profilaktyce oraz wspomagająco w terapii różnych chorób (np. nowotworowych, sercowo-naczyniowych oraz neurodegeneracyjnych). Czarna jagoda zaliczana jest przez American Herbal Product Association do surowców, co do których stosowania brak jest jakichkolwiek przeciwwskazań (Grupa I – Cass 1) [8, 10].

Celem pracy było określenie zawartości żelaza, manganu, cynku i miedzi w borówce czernicy (*Vaccinium myrtillus* L.) pozyskanej z terenu Załęczańskiego Parku Krajobrazowego.

Teren badań

Załęczański Park Krajobrazowy (ZPK – Rys. 1.) położony jest na Wyżynie Woźnicko-Wieluńskiej (341.2) oraz w obrębie trzech województw: opolskim, śląskim i łódzkim (współrzędne geograficzne centrum parku: szer. geogr. 51° 07' 03.52"N, dług. geogr. 18° 44' 12.38"E). Został utworzony 5 stycznia 1978 roku (jako jeden z pierwszych w kraju) w celu ochrony jurajskich ostań-

ców wapiennych z licznymi formami krasowymi (w tym jaskiniami) oraz przyrodniczo najcenniejszego i najpiękniejszego odcinka (40 km) rzeki Warty – tzw. Wielki Łuk Warty. Powierzchnia parku wynosi 14 810 ha, natomiast jego strefa ochronna: 12 010 ha [17]. Miejsce to nie tylko zachwyca pięknem krajobrazu, ale stanowi także ostoję dla przedstawicieli wapieniolubnej flory i fauny. Wymienione walory Załęczańskiego Parku Krajobrazowego sprawiły, że teren ten został objęty programem Europejskiej Sieci Ekologicznej Natura 2000 „Załęczański Łuk Warty” (PLH100007).

Na stan czystości badanego obszaru duży wpływ mają emisje dalekosięgające. Największy udział w tym względzie dotyczy okręgów przemysłowych (Wielunia, Górny Śląsk, Opola oraz Wrocławia i Częstochowy) oraz zakładów (Cementownia „Warta” SA z Działoszyna – emisja 1233,35 Mg/rok oraz Energetyka Ciepła sp. z o.o. w Wieluniu – emisja 241,03 Mg/rok). Dodatkowymi emitorami zanieczyszczeń powietrza są w tym rejonie liczne wapienniki, które przyczyniają się do znaczącego zapylenia powietrza (szczególnie w warunkach pogodowych, tj.: wschodnie wiatry, inwersja) [35].

Material i metody badań

Materiałem do badań były krzewinki czarnej jagody (*Vaccinium myrtillus* L.). Borówka czernica występuje pospolicie w Polsce i jest wykorzystywana jako roślina jadalna i/lub konsumpcyjna. Na terenie Załęczańskiego Parku Krajobrazowego wytypowano 10 stanowisk monitoringowych (każde o powierzchni 10 m²), z których pobrano materiał roślinny do badań (Rys. 1.).

Stanowiska badawcze znajdują się w pobliżu miejscowości: Krzeczowa, Kamion, Niżankowice, Wieszagi, Sęsów, Giętkowizna, Kępowizna, Załęcze Wielkie. Każdą próbę przeznaczoną do analizy (będącą średnią mieszaną) uzyskano poprzez zebranie krzewinek z 15 miejsc każdej powierzchni badawczej. W kolejnym kroku, po wstępnym oczyszczeniu roślin oraz opłukaniu wodą redestylowaną, próbki podzielono na części: nadziemną i podziemną. Następnie po wysuszeniu materiału do stałej masy w temperaturze 65°C, próbki zmielono i poddano mineralizacji w mineralizatorze mikrofalowym MARSXpress firmy CEM, stosując 5 cm³ HNO₃ (V) 65% cz.d.a. Zawartość badanych pierwiastków oznaczono w dwóch powtórzeniach, stosując metodę atomowej spektrometrii absorpcyjnej (ASA) (aparaturę VARIAN AA 240).

Na każdej powierzchni badawczej została pobrana także próbka gleby z warstwy próchniczo-mineralnej. Glebę wysuszono na powietrzu (próbka powietrznie sucha) oraz przesiano przez sito o $\phi=1\text{mm}$ (rozdzielenie części ziemistych od szkieletowych gleby). Kwasowość czynną próbek oznaczono potencjometrycznie w 25 cm³ H₂O.



Rys.1. Załęczański Park Krajobrazowy wraz z otuliną; stanowiska badawcze: 1–10 (opracowanie autorskie)

Wyniki

Biodostępne ilości badanych metali ciężkich: Fe, Mn, Zn i Cu w borówce czernicy (*Vaccinium myrtillus*) były zróżnicowane. Na wszystkich stanowiskach pomiarowych, wyznaczonych na obszarze Załęczańskiego Parku Krajobrazowego, największe stężenia odnotowano dla jonów żelaza, a najmniejsze dla jonów miedzi. Pojawiające się różnice w obrębie danego pierwiastka dotyczyły jego odmiennych zawartości w części nadziemnej (A) i podziemnej (B) badanego gatunku. Wyniki przeprowadzonych badań prezentuje Tab. 1.

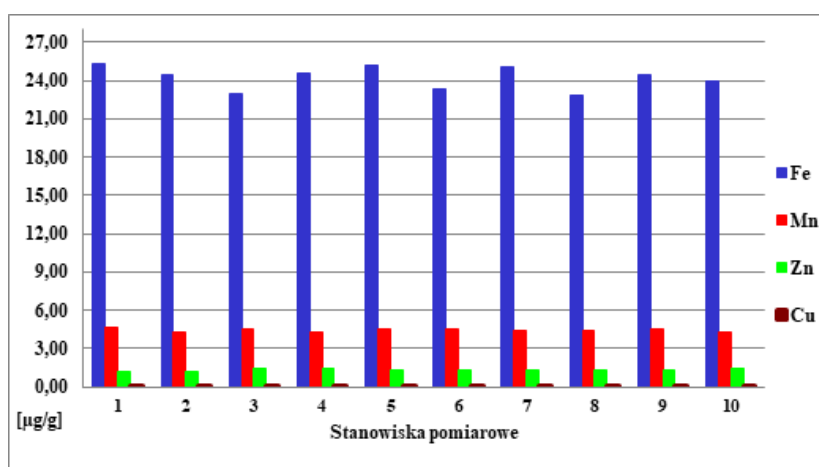
Zawartość żelaza w borówce czernicy była podobna na wszystkich stanowiskach badawczych i mieściła się w granicach: 20,316–25,994 $\mu\text{g/g}$ s.m. w części podziemnej (B); 22,865–25,324 $\mu\text{g/g}$ s.m. w części nadziemnej (A) roślin. Biodostępne ilości manganu w *Vaccinium myrtillus* były niższe od zawartości żelaza, przy czym ilości odnotowane w części B były dwukrotnie wyższe niż w części A borówki czernicy (Mn w części nadziemnej: 4,311–4,584 $\mu\text{g/g}$ s.m.; Mn w części podziemnej: 8,519–9,054 $\mu\text{g/g}$ s.m.). Podobnie niższe zawartości odnotowano dla cynku – część nadziemna (A): 1,204–1,386 $\mu\text{g/g}$ s.m.; część podziemna (B): 1,770–2,023 $\mu\text{g/g}$ s.m. W przypadku miedzi nie odnotowano wartości większej niż 0,05 $\mu\text{g/g}$ s.m. (dla obu części borówki na wszystkich stanowiskach pomiarowych).

Tab. 1. Zestawienie średniej arytmetycznej zawartości Fe, Mn, Zn i Cu [$\mu\text{g/g}$] w częściach nadziemnych (A) i podziemnych (B) borówki czernicy (*Vaccinium myrtillus* L.) z 10 stanowisk badawczych Załęczańskiego Parku Krajobrazowego

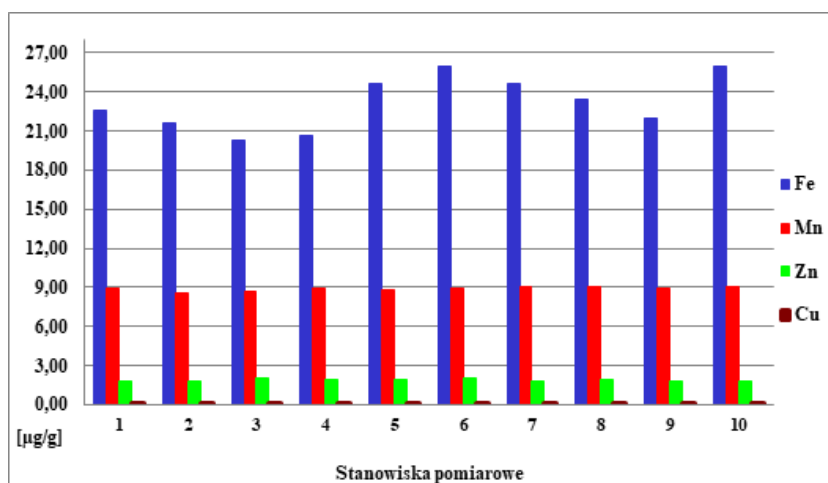
| Stanowiska badawcze | Fe | | Mn | | Zn | | Cu | |
|---------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| 1 | 25,324 | 22,628 | 4,584 | 8,981 | 1,204 | 1,814 | 0,015 | 0,021 |
| 2 | 24,431 | 21,577 | 4,311 | 8,519 | 1,208 | 1,770 | 0,016 | 0,043 |
| 3 | 22,952 | 20,316 | 4,496 | 8,646 | 1,380 | 2,023 | 0,002 | 0,042 |
| 4 | 24,612 | 20,691 | 4,317 | 8,864 | 1,386 | 1,894 | 0,001 | 0,016 |
| 5 | 25,202 | 24,677 | 4,551 | 8,827 | 1,336 | 1,895 | 0,011 | 0,033 |
| 6 | 23,374 | 25,938 | 4,475 | 8,917 | 1,364 | 2,019 | 0,009 | 0,049 |
| 7 | 24,997 | 24,623 | 4,420 | 9,054 | 1,291 | 1,788 | 0,012 | 0,026 |
| 8 | 22,865 | 23,403 | 4,398 | 9,013 | 1,314 | 1,927 | 0,004 | 0,028 |
| 9 | 24,393 | 21,957 | 4,565 | 8,966 | 1,262 | 1,781 | 0,001 | 0,033 |
| 10 | 23,913 | 25,994 | 4,316 | 8,997 | 1,378 | 1,787 | 0,020 | 0,028 |

Stężenia badanych metali w częściach nadziemnych (A) i podziemnych (B) borówki czernicy są zróżnicowane w obrębie poszczególnych stanowisk – Rys. 2 oraz Rys. 3. Największą zawartość jonów żelaza (przekraczającą 25 $\mu\text{g/g}$ s.m.) w części nadziemnej (A) badanego gatunku odnotowano na stanowiskach 1 (25,324 $\mu\text{g/g}$ s.m.) oraz 5 (25,202 $\mu\text{g/g}$ s.m.), a w części podziemnej (B) na stanowiskach 6 (25,938 $\mu\text{g/g}$ s.m.) oraz 10 (25,994 $\mu\text{g/g}$ s.m.). Wartości najniższe dla jonów żelaza w częściach nadziemnych (A) *Vaccinium myrtillus* stwierdzono na stanowisku 8 (22,685 $\mu\text{g/g}$ s.m.) oraz na stanowisku 3 (20,316 $\mu\text{g/g}$) w częściach podziemnych tej rośliny. W przypadku jonów manganu w borówce czernicy, ich największą ilość odnotowano: w częściach nadziemnych (A) na stanowiskach 1 (4,584 $\mu\text{g/g}$ s.m.), 5 (4,551 $\mu\text{g/g}$ s.m.) oraz 9 (4,565 $\mu\text{g/g}$ s.m.); w częściach podziemnych (B) na stanowiskach 7 (9,054 $\mu\text{g/g}$ s.m.), oraz 86 (9,013 $\mu\text{g/g}$ s.m.). Najniższą zawartość Mn w *Vaccinium myrtillus* w częściach nadziemnych (A) stwierdzono na stanowiskach 2 (4,311 $\mu\text{g/g}$ s.m.), 4 (4,317 $\mu\text{g/g}$ s.m.) i 10 (4,316 $\mu\text{g/g}$ s.m.), a w częściach podziemnych (B) na stanowisku 2 (8,519 $\mu\text{g/g}$ s.m.). Jony Zn w największych ilościach odnotowano w częściach nadziemnych (A) borówki czernicy na stanowisku 4 (1,386 $\mu\text{g/g}$ s.m.), a w częściach podziemnych (B) na stanowiskach 3 (2,023 $\mu\text{g/g}$ s.m.) oraz 6 (2,019 $\mu\text{g/g}$ s.m.). Najniższe wartości dla tego pierwiastka stwierdzono: w częściach nadziemnych (A) na sta-

nowisku 1 (1,204 $\mu\text{g/g}$ s.m.), a w częściach podziemnych (B) na stanowisku 2 (1,770 $\mu\text{g/g}$ s.m.). Zawartość jonów Cu w omawianej roślinie była wielokrotnie niższa od zawartości jonów żelaza. Wartości najwyższe w częściach A stwierdzono na stanowisku 10 (0,020 $\mu\text{g/g}$ s.m.), a w części B na stanowisku 6 (0,049 $\mu\text{g/g}$ s.m.). Najniższe wartości dla części nadziemnych (A) odnotowano na stanowisku 4 oraz 9 (po 0,001 $\mu\text{g/g}$ s.m.), a w częściach podziemnych (B) na stanowisku 4 (0,016 $\mu\text{g/g}$ s.m.).



Rys. 2. Porównanie przeciętnych zawartości [$\mu\text{g/g}$] Fe, Mn, Zn oraz Cu w częściach nadziemnych (A) borówki czernicy (*Vaccinium myrtillus* L.)



Rys. 3. Porównanie przeciętnych zawartości [$\mu\text{g/g}$] Fe, Mn, Zn oraz Cu w częściach podziemnych (B) borówki czernicy (*Vaccinium myrtillus* L.)

Otrzymane wyniki prezentujące zawartość badanych metali w borówce czernicy pozyskanej z 10 stanowisk pomiarowych Załęczańskiego Parku Krajo-
brazowego pozwalają ustalić ich szeregi ilościowe. Pod względem zawartości jonów żelaza w badanym gatunku, stanowiska układają się w następujących szeregach malejących: dla części nadziemnych (A): $1 > 5 > 7 > 4 > 2 > 9 > 10 > 6 > 3 > 8$; dla części podziemnych (B): $10 > 6 > 5 > 7 > 8 > 1 > 9 > 2 > 4 > 3$. Natomiast średnia zawartość jonów manganu w borówce czernicy szereguje stanowiska w następujący sposób: dla części nadziemnych (A): $1 > 9 > 5 > 3 > 6 > 7 > 8 > 4 > 10 > 2$; dla części podziemnych (B): $7 > 8 > 10 > 1 > 9 > 6 > 4 > 5 > 3 > 2$. Szeregi ilościowe dla jonów cynku to: dla części nadziemnych (A): $4 > 3 > 10 > 6 > 5 > 8 > 7 > 9 > 2 > 1$, dla części podziemnych (B): $3 > 6 > 8 > 5 > 4 > 1 > 7 > 10 > 9 > 2$. Zawartość jonów miedzi w *Vaccinium myrtillus* szereguje stanowiska badawcze następująco: dla części nadziemnych (A): $10 > 2 > 1 > 7 > 5 > 6 > 8 > 3 > 4 > 9$, dla części podziemnych (B): $6 > 2 > 3 > 5 > 9 > 10 > 8 > 7 > 1 > 4$.

Gleba poziomów mineralno-próchnicznych na wszystkich stanowiskach badawczych miała odczyn silnie kwaśny (średnia wartość pH to przedział 3,8–4,2).

Dyskusja

Obecnie w leczeniu wielu chorób coraz częściej wykorzystuje się metody naturalne, w tym fitoterapię. Ziołolecznictwo odnosi sukcesy nie tylko w zapobieganiu chorobom, ale także przy właściwym stosowaniu – w ich leczeniu. Walorem gatunków leczniczych są niewątpliwie ich pochodzenie i dobroczynny skład. Rośliny lecznicze zawierają, m.in.: alkaloidy, garbniki, flawonoidy, glikozydy, olejki eteryczne, witaminy oraz szereg łatwo przyswajalnych mikroelementów, t.j. Fe, Mn, Zn, Cu oraz Cr. Właściwa zawartość biopierwiastków w roślinach jest konieczna do ich prawidłowego funkcjonowania oraz wzrostu (sprzyja także wartościom konsumpcyjnym), natomiast ich nadmiar może stanowić zagrożenie dla zdrowia [15, 34]. Obserwowane duże rozbieżności w zawartości mikro- i makroelementów w roślinach to efekt m.in. różnic gatunkowych i/lub odmian roślin, ich stadium rozwojowego oraz warunków glebowych (typ gleb i jej właściwości), klimatycznych, czy wynik skażenia środowiska [2]. Wytyczne jakościowe dla surowców leczniczych są zawarte w Polskich Normach, jednolicie z wytycznymi Farmakopei Polskiej. Wymagania te dotyczą parametrów jakościowych surowca, jego własności organoleptycznych oraz zawartości związków biologicznie aktywnych, domieszek i zanieczyszczeń [18].

Biorąc pod uwagę rozwój fitoterapii oraz duże zainteresowanie roślinami leczniczymi, ważna staje się ciągła kontrola zawartości w tych gatunkach nie

tylko szkodliwych pierwiastków, ale również niezbędnych mikro- i makroelementów.

Żelazo należy do kluczowych metali w rozwoju roślin. Jest składnikiem niezbędnym dla ich prawidłowego funkcjonowania, metabolizmu oraz syntezy chlorofilu. Pierwiastek ten należy do trudno przyswajalnych przez rośliny, a jego wchłanianie uzależnione jest np. od formy w jakiej występuje, odczynu i wilgotności podłoża oraz wydajności systemu korzeniowego. Rozpatrując zawartość jonów Fe w *Vaccinium myrtillus*, stwierdzono, że waha się ona w granicach: 20,316–25,994 $\mu\text{g/g}$ s.m. w części podziemnej (B); 22,865–25,324 $\mu\text{g/g}$ s.m. w części nadziemnej (A) roślin. Faktem pozostaje, iż stwierdzono zbliżone zawartości tego pierwiastka na wszystkich stanowiskach pomiarowych, jednak pozostają one dużo mniejsze od tych spotykanych w literaturze. Parzych [29] podaje koncentrację Fe w liściach borówki czarnej w granicach 57,0–182,0 $\mu\text{g/g}$ s.m., w łodygach 47,0–344,0 $\mu\text{g/g}$ s.m., natomiast w korzeniach od 50,0 do 1019,0 $\mu\text{g/g}$ s.m.; Gworek i Degórski [14] zanotowali wysoką zawartość jonów Fe w borówce 104,0–950 $\mu\text{gFe/g}$ s.m. (dla transektu I) oraz 104,0–2540,0 $\mu\text{gFe/g}$ s.m. (dla transektu II); Mróz i Demczuk [24] natomiast podają zawartość jonów Fe w pędach *Vaccinium myrtillus* w granicach 120,0–217,0 $\mu\text{g/g}$ s.m. Borówka czarna jest gatunkiem, który posiada zwiększone właściwości kumulacyjne w stosunku do Fe; Bylińska [5] wskazuje czarną jagodę jako gatunek o wybitnych zdolnościach do kumulacji tego pierwiastka. Silnie kwaśne środowisko glebowe na wytypowanych stanowiskach badawczych Załęczańskiego Parku Krajobrazowego również sprzyja biodostępności obecnych tam metali. Mimo to, uzyskane zawartości jonów żelaza są dużo niższe nawet od wartości wskazywanych dla terenów wolnych od zanieczyszczeń (w liściach – 74,0 $\mu\text{gFe/g}$ s.m., w łodygach – 62 $\mu\text{g/g}$ s.m.). Przyczyn niedoboru tego pierwiastka może być kilka, m.in.: obecność metali ciężkich w roztworze glebowym, które ujemnie wpływają na biodostępność składników mineralnych oraz zbyt mała ilość jonów żelaza w podłożu (lub jego trudno przyswajalna forma) oraz duża ilość jonów cynku i/lub manganu w otoczeniu korzeni badanych roślin. W analizowanym gatunku zawartość jonów Pb i Cd nie przekraczała norm (wcześniejsze badania autorów [25]), natomiast jony Zn i Mn występowały w niewielkich stężeniach. Dlatego przypuszczalnie niskie koncentracje jonów Fe w czarnej jagodzie mogły być efektem małej zawartości omawianego pierwiastka spowodowanej okresem pozyskania gatunku w fazie intensywnego wzrostu, słabej wilgotności gleby oraz niskiej wydajności systemu korzeniowego [19].

Mangan to kolejny ważny dla wszystkich roślin metal. Działa jak aktywator reakcji z udziałem enzymów w roślinie. Wchłaniany jest głównie przez system korzeniowy, ale jego transport w wyższe partie roślin nie jest łatwy. W przypadku tego metalu, koncentracja jego jonów w borówce czernicy była niższa od poziomu zawartości jonów żelaza i mieściła się w granicach: 8,519–

9,054 $\mu\text{g/g}$ s.m. w części podziemnej (B); 4,311–4,584 $\mu\text{g/g}$ s.m. w części nadziemnej (A). Biodostępne ilości manganu odnotowane w części B czarnej jagody były dwukrotnie wyższe niż w części A (co potwierdza udział korzeni w jego wchłanianiu). Zawartość jonów manganu w części podziemnej *Vaccinium myrtillus* znajdują się w dolnych granicach przedziału 10,0–25,0 $\mu\text{g/g}$ s.m. wskazywanych [15] jako te ilości Mn, które pokrywają zapotrzebowanie roślin na ten metal. Jednak, powyższe wyniki mogą wskazywać na niedobór jonów tego pierwiastka, ponieważ zawartość optymalna Mn w roślinach mieści się w szerokich granicach 40–900 $\mu\text{g/g}$ s.m. Stężenie jonów manganu, jaki odnotowali w liściach borówek i poziomki Pomierny i Ciepał, był wyższy od uzyskanych w tych badaniach i mieścił się w granicach 80,4–142,6 $\mu\text{g/g}$ s.m. [31]. Podobnie wyższe wyniki zawartości jonów tego pierwiastka odnotował Lorek (w liściach borówek 10,62–147,93 $\mu\text{gMn/g}$ s.m.) [22]. Wielokrotnie wyższe koncentracje jonów Mn uzyskano także w innych badaniach czarnej jagody [29], a były to wielkości rzędu: 529,2–1736,0 $\mu\text{g/g}$ s.m. w liściach, 658,0–2182,0 $\mu\text{g/g}$ s.m. w łodygach oraz 105,9–746,3 $\mu\text{g/g}$ s.m. w korzeniach omawianej rośliny. Gworek i Degórski [14] także wskazali dużo wyższą zawartość omawianego metalu w pędach borówki czarnej na poziomie nawet do 2489,0 $\mu\text{g/g}$ s.m. Tak wysokie koncentracje jonów manganu wskazują na wybitne zdolności gatunku do kumulacji tego metalu (przy czym stężenie na poziomie 500 $\mu\text{g/g}$ s.m. może być traktowane jako toksyczne przez większość roślin). Jak podają liczne źródła [4, 5, 32] *Vaccinium myrtillus* wyróżnia się wysoką koncentracją Mn w swoich pędach; krzewinka ta określana jest również jako akumulator manganu. Powyższe rozważania nie znajdują jednak potwierdzenia w uzyskanych wynikach z terenu Załęczańskiego Parku Krajobrazowego. Niemniej jednak, odnotowane koncentracje w części B czarnej jagody wskazują na takie ilości tego metalu, które pokrywają zapotrzebowania żywieniowe na ten pierwiastek.

Cynk należy do grupy metali działających stymulująco na rośliny. Jest niezbędny dla ich prawidłowego rozwoju. Niemniej jednak, zarówno jego nadmiar, jak i niedobór działa niekorzystnie na rośliny. Fitoprzyswajalność cynku jest relatywnie duża, a to za sprawą dużej rozpuszczalności związków, w których występuje. W prezentowanych wynikach badań zawartość jonów tego metalu w borówce czarnej była następująca: część nadziemna (A): 1,204–1,386 $\mu\text{g/g}$ s.m.; część podziemna (B): 1,770–2,023 $\mu\text{g/g}$ s.m. Nieco wyższe ilości jonów Zn w części podziemnej (w porównaniu z częścią nadziemną) mogą być rezultatem gromadzenia składników odżywczych głównie w korzeniach (liście w okresie jesiennym opadają z krzewinek) [29]. Porównując otrzymane wyniki z normami zawartości Zn w runie leśnym (15–80 $\mu\text{g/g}$ s.m.), można stwierdzić ogromne niedobory tego pierwiastka w analizowanym gatunku. Otrzymane wyniki są także dużo niższe od wskazywanych ilości jonów cynku potrzebnych na pokrycie potrzeb fizjologicznych roślin (15,0–30,0 $\mu\text{g/g}$ s.m.).

Na terenach wolnych od zanieczyszczeń poziom zawartości jonów Zn w liściach *V. myrtillus* wynosi około 16,8 µg/g s.m. [24] do około 20,0 µg/g s.m. [19], natomiast na obszarach zanieczyszczonych koncentracja jonów Zn w pędach borówki czarnej może wynosić od 24,4 µg/g s.m. [28] do 107,8 µg/g s.m. [14]. Znacznie większe ilości odnotował Lorek [22] w latach 1986-1987 (blisko 57 µg/g s.m.). Zbliżone wyniki otrzymała także Parzych [29] – 14,9–69,4 µgZn/g s.m. w liściach, 38,0–108,0 µgZn/g s.m. w łodygach oraz 9,7–51,4 µgZn/g s.m. w korzeniach omawianej rośliny. Rośliny pobierają cynk proporcjonalnie do jego zawartości w glebie. Fakt ten może sugerować, iż na badanym terenie ZPK gleba charakteryzuje się niską zawartością omawianego metalu. Niewielkie ilości tego pierwiastka w *V. myrtillus* odzwierciedlają także stan powietrza w tym rejonie, które cechuje niska zawartość omawianego metalu [1] (dla cynku odnotowany spadek jego zawartości w powietrzu w 2016 roku w stosunku do średniej z ubiegłych lat wyniósł 48,6% [35]).

Miedź, podobnie jak opisane wyżej pierwiastki, jest także ważnym czynnikiem dla prawidłowego rozwoju roślin, częściej jednak mamy do czynienia z jej niedoborem niż nadmiarem. Dodatkowo należy pamiętać, że miedź jest pierwiastkiem mało ruchliwym, często tworząc trwałe połączenia siarczanowe, węglanowe oraz połączenia z minerałami lub materią organiczną. W badanej borówce czarnej nie odnotowano zawartości jonów Cu większej niż 0,05 µg/g s.m. (dla obu części czarnej jagody na wszystkich stanowiskach badawczych). Takie wartości poziomu Cu w borówce czarnej nie wskazują na zagrożenie tym metalem. Wielokrotnie wyższe wyniki odnotowano w badaniach borówki czarnej z terenu Słowińskiego Parku Narodowego [29], a były to ilości: 0,5–3,0 µg/g s.m. w liściach, 0,6–2,8 µg/g s.m. w łodygach oraz 0,6–1,9 µg/g s.m. w korzeniach czarnej jagody. Normalna zawartość tego pierwiastka w roślinach zawiera się w granicach 2–20 µg/g s.m., ale zwykle poziom zawartości jonów Cu w roślinach jest poniżej 4,0–5,0 µg/g s.m. Dodatkowo warto zwrócić uwagę, że zawartość jonów Cu bywa uzależniona od stadium rozwojowego rośliny oraz jej części. Różnice obserwuje się także w obrębie różnych gatunków oraz odmian. Zwykle na pokrycie potrzeb fizjologicznych, rośliny potrzebują około 2 µg/g s.m. [15]. Jak pokazują badania [14] w zależności od stopnia zanieczyszczenia koncentracja jonów Cu w czarnej jagodzie waha się w przedziale 0,5–8,1 µg/g s.m. Z kolei poziom miedzi w *V. myrtillus* uzyskany przez Pomierny i Ciepał [31] wynosił 8,8–10,5 µg/g s.m. Wyższą zawartość tego metalu odnotowano także w innych pracach [6, 22]. Uzyskane wyniki wskazują, że runo leśne na badanym terenie wolne jest od nadmiernych ilości tego metalu (dla miedzi odnotowany spadek jej zawartości w powietrzu w 2016 roku w stosunku do średniej z ubiegłych lat wyniósł 46,4% [35]). Zaobserwowane stężenia mogą sugerować nawet braki Cu potrzebnej na pokrycie potrzeb fizjologicznych roślin.

Relacje między oznaczonymi metalami (Fe, Mn, Zn oraz Cu), zarówno w częściach nadziemnych (A) oraz częściach podziemnych (B) borówki czerni-

cy na wyznaczonych stanowiskach w Załęczańskim Parku Krajobrazowym, układają się w następujący szereg malejący: Fe > Mn > Zn > Cu. Znajduje to potwierdzenie we wcześniejszych badaniach dotyczących zawartości omawianych metali w korze sosny zwyczajnej na tym terenie [1]. W przypadku jonów Zn i Cu podobną relację zanotowała Parzych [29]. Różnice pojawiły się w przypadku jony Mn i Fe. W prezentowanych badaniach największe ilości odnotowano w czarnej jagodzie dla jonów Fe, a mniejsze dla jonów Mn (dwukrotnie mniej w części nadziemnej A i pięciokrotnie mniejsze w części B) omawianego gatunku. Podobieństwo natomiast dotyczy jonów Fe, ponieważ zarówno w prezentowanych badaniach oraz wynikach ze Słowińskiego Parku Narodowego, metal ten występował w korzeniach *V. myrtillus*.

Obiektywnym kryterium w ocenie jakości gleby pozostaje jej odczyn. Przyjmuje się, iż gleby bardzo kwaśne charakteryzują się wartością pH < 4,5, kwaśne pH 4,6–5,5, lekko kwaśne pH 5,6–6,5, natomiast obojętne i zasadowe pH > 6,5. Tak niskie wartości pH powodują większą biologiczną dostępność metali ciężkich występujących w glebie [14, 28], a przez to mogą powodować zwiększenie zagrożenia ekologicznego tymi jonami. Wartości pH w pobranych próbkach poziomów mineralno-próchnicznych gleby wskazują jednoznacznie na ich silnie kwaśny odczyn (pH 3,8–4,2). Niemniej jednak, otrzymane wyniki zawartości jonów metali w czarnej jagodzie (zarówno w części nadziemnej, jak i podziemnej) nie wskazują na ich nadmierną kumulację (co może świadczyć o tym, iż badany teren nie jest obciążony jonami badanych metali). Potwierdzeniem powyższych rozważań są badania [35], które klasyfikują omawiany teren do obszarów chronionych z glebami kwaśnymi (lub bardzo kwaśnymi) o niskim stopniu obciążenia analizowanymi metalami.

Podsumowując prezentowane wyniki, warto podkreślić niski poziom zawartości jonów metali w borówce czernicy pozyskanej z wytypowanych stanowisk badawczych Załęczańskiego Parku Krajobrazowego. Taki stan może być z jednej strony efektem lokalizacji obszaru badawczego (park krajobrazowy), z drugiej strony na ostateczny wynik mogła mieć wpływ metodyka (rośliny zostały przemyte wodą przed przeprowadzeniem analiz na zawartość badanych metali). Prezentowane wyniki ponownie [25] pozwalają na zaklasyfikowanie badanego obszaru do grupy terenów wolnych od zanieczyszczeń. Niewielkie poziomy jonów metali w *Vaccinium myrtillus* wskazują na znikomy wpływ emisji dalekosięgających (z okręgów przemysłowych Wielunia, Górnego Śląska, Opola, Wrocławia czy Częstochowy) na czarną jagodę. Pozyskiwanie badanego gatunku (surowca zielarskiego w celach leczniczych oraz owoców w celach konsumpcyjnych) z terenu ZPK wolne jest od ryzyka obciążenia organizmu nadmiarem Fe, Zn, Mn oraz Cu. Pamiętać należy jednak, że gatunek ten (ze względu właśnie na niskie zawartości, np. Fe lub Zn) nie może stanowić źródła tych metali w celu ich uzupełnienia w diecie człowieka.

Wnioski

Poziom mikroelementów w *Vaccinium myrtillus* na terenie Załęczańskiego Parku Krajobrazowego był niski i nie przekroczył wartości wskazywanych dla terenów wolnych od zanieczyszczeń.

Silnie kwaśny odczyn gleby nie wpłynął na ilość pobieranych jonów przez czarną jagodę.

Relacje między oznaczonymi metalami w obu częściach borówki czernicy układają się w szereg malejący: Fe > Mn > Zn > Cu.

Prezentowane wyniki zawartości jonów żelaza, manganu, cynku i miedzi w *Vaccinium myrtillus* opisują przydatność tej rośliny w celach konsumpcyjnych i leczniczych.

Literatura

- [1] Bąbelewska A., Musielińska R., Ciesielski W., *Zanieczyszczenia metalami ciężkimi kory sosny zwyczajnej Załęczańskiego Parku Krajobrazowego – ocena zagrożenia*, [w:] Prace Naukowe Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie. Technika, Informatyka, Inżynieria Bezpieczeństwa, 4, 2016, p. 33–48, DOI: <http://dx.doi.org/10.16926/tiib.2016.04.03>
- [2] Blicharska E., Kocjan R., Błażewicz A., *Oznaczanie zawartości żelaza, manganu, cynku, miedzi, kadmu i ołowiu w herbatkach ziołowych*, [w:] Bromat. Chem. Toksykol., 60, 2007, p. 145–151.
- [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] Boyd R.S., *The defense hypothesis of elemental hyperaccumulation: status, challenges and new directions*, [in:] Plant and Soil, 293, 2007, p. 153–176, DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-007-9240-6>
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Drozd J., Anuszevska E., *Czarna jagoda – perspektywy nowych zastosowań w profilaktyce i wspomaganiu leczenia chorób cywilizacyjnych*, [w:] Przegl. Med. Uniw. Rzeszow. NIL Warsz., 2, 2013, p. 226–235.

- [9] Duke J.A., Bogenschutz-Godwin M.J., du Cellier J., Duke P-A. K., Handbook of Medicinal Herb. 2nd Ed. CRC Press, Boca Raton (USA), 2002, p. 74–76, DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/s0014479709990585>
- [10] Duthie S.J., *Berry phytochemicals, genomic stability and cancer: Evidence for chemoprotection at several stages in the carcinogenic process*, [in:] Mol. Nutr. Food Res., 51, 2007, p. 665–674, DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/mnfr.200600257>
- [11] Farmakopea Polska VI, Polskie Towarzystwo Farmaceutyczne, Warszawa, 2002.
- [12] Ferreira F.M., Peixoto F.P., Nunes E., Sena C., Seica R., Santos M.S., *Vaccinium myrtillus improves liver mitochondrial oxidative phosphorylation of diabetic Gato-Kakizaki rats*, [in:] J. Med. Plant. Res., 4(8), 2010, p. 692–696, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bbabi.2010.04.240>
- [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:] Roczn. Gleb., 51(1/2), 2000, p. 79–86.
- [15] Kabata-Pendias A., Pendias H., Biogeochemia pierwiastków śladowych, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 1999, p. 363.
- [16] Kohlmümzer S., Farmakognozja, PZWL, Warszawa, 2000.
- [17] Kondracki J., Geografia regionalna Polski, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 2001.
- [18] Kordana T., *Wymagania jakościowe stawiane surowcom zielarskim przez przemysł*, [w:] Wiad. Ziel., 12, 2002, p. 1–3.
- [19] Kozanecka T., Chojnicki J., Kwasowski W., *Content of heavy metals in plant from pollution-free regions*, [in:] Polish Journal of Environmental Study, 11(4), 2002, p. 395–399.
- [20] 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, DOI: <http://dx.doi.org/10.15199/17.2015.8.4>
- [21] Kwapuliński J., Mirosławski J., Rachel R., Wiechuła D., Kraśnicka A., Iwanek K., *Zawartość metali ciężkich w wybranych mieszkach ziołowych*, [w:] Pol. Tyg. Lek., 49, 1994, p. 448–451.
- [22] Lorek E., *Kierunek i dynamika zmian procesów degradacji środowiska pod wpływem antropopresji w rejonie Górnego Śląska*, [w:] Prace Naukowe, Akademia Ekonomiczna, Katowice, 1993.

- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] Musielińska R., Bąbełewska A., Ciesielski W., *Ocena zagrożenia ołowiem i kadmem borówki czernicy (*Vaccinium myrtillus* L.) z terenu Załęczańskiego Parku Krajobrazowego*, [w:] *Prace Naukowe Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie. Technika, Informatyka, Inżynieria Bezpieczeństwa*, 4, 2016, p. 279–293,
DOI: <http://dx.doi.org/10.16926/tiib.2016.04.23>
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] Pajak M., Jasik M., *Zawartość cynku, kadmu i ołowiu w owocach borówki czarnej (*Vaccinium myrtillus* L.) rosnącej w lasach Nadleśnictwa Świerklaniec*, [w:] *Sylvan*, 156(3), 2012, p. 233–240.
- [29] Parzych A., *Zawartość wybranych metali ciężkich w glebie i pędach *Vaccinium myrtillus* L. w Słowińskim Parku Narodowym*, [w:] *Leśne Prace Badawcze*, 75(30), 2014, p. 217–224,
DOI: <http://dx.doi.org/10.2478/frp-2014-0020>
- [30] 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,
DOI: <http://dx.doi.org/10.15193/zntj/2011/77/024-035>
- [31] 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.
- [32] Reimann C., Koller F., Kashulina G., Niskavaara H., Englmaier P., *Influence of extreme pollution on the inorganic chemical composition of some plants*, [in:] *Environmental Pollution*, 115, 2001, p. 239–252,
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/s0269-7491\(01\)00106-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0269-7491(01)00106-3)
- [33] 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.

-
- [34] Ulewicz-Magulska B., Baranowska M., Wesołowski M., *Oszacowanie zawartości miedzi, manganu, cynku i żelaza w ziołach i liściach roślin leczniczych*, [w:] *Bromat. Chem. Toksykol.*, 42(3), 2009, p. 815–82.
- [35] Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Łodzi, *Raport o stanie środowiska w województwie łódzkim*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Łódź 2017.