

## Zawartość wybranych metali ciężkich w glebie i pędach *Vaccinium myrtillus* L. w Słowińskim Parku Narodowym

The heavy metal content of soil and shoots of *Vaccinium myrtillus* L. in the Słowiński National Park

Agnieszka Parzych

Akademia Pomorska, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Instytut Biologii i Ochrony Środowiska, Zakład Chemii Środowiskowej, ul. Arciszewskiego 22b, 76-200 Słupsk

Tel. +48 59 8405347, fax +48 59 8405935, e-mail: parzycha1@op.pl

**Abstract.** The research was carried out in the Słowiński National Park, in an area with 15 research stations in pine coniferous forests situated at locations (1) inaccessible to tourists, (2) most frequently visited by tourists, as well as (3) in the vicinity of parking lots. The analysed samples comprised surface generic levels (Ol, Ofh, A), above-ground material (shoots; leaves and stalks) and below-ground material (roots) of bilberry (*Vaccinium myrtillus*). The performed analyses showed statistically significant Spearman's correlation coefficients for Zn content in the 'soil – stalk' ( $r = -0,44$ ,  $p < 0,05$ ,  $n = 45$ ) relationship and the 'soil – root' relationship ( $r = -0,52$ ,  $p < 0,05$ ,  $n = 45$ ). Accordingly, there were significant statistical differences (U Mann-Whitney test) in zinc content in the 'stalk – roots' relationship and the 'leaves – roots' relationship. Furthermore, the obtained results reveal an excessive accumulation of Mn in *V. myrtillus*. The content of the investigated heavy metals in *V. myrtillus* shoots decreased in the following order: Mn > Fe > Zn > Cu.

**Key words:** bilberry, leaves, stalks, roots, accumulation of Zn, Fe, Cu, Mn, protected area

### 1. Wstęp

Metale ciężkie są naturalnym składnikiem środowiska przyrodniczego. Naturalna ich zawartość w litosferze, stanowiąca tzw. tło geochemiczne, jest zróżnicowana przestrzennie. W ostatnich latach istotnym źródłem metali ciężkich jest ich emisja ze źródeł antropogenicznych. Metale ciężkie, jako składniki pyłów (PM10 i PM2.5) oraz aerozoli, mogą być przemieszczane w atmosferze na znaczne odległości, prowadząc do skażeń ekosystemów położonych w znacznych odległościach od źródeł emisji (Klink et al. 2006; Tainio et al. 2010; Brożek, Zaremski 2011).

Jako naturalne składniki ekosystemów, cynk, żelazo, mangan i miedź, są potrzebne w niewielkich ilościach do prawidłowego funkcjonowania roślin, jednakże nadmierna ich koncentracja w środowisku jest szkodliwa. Przy odpowiednio wysokim stężeniu zaburzają funkcjo-

nowanie ekosystemów, stwarzając zagrożenie dla roślin, zwierząt i człowieka (Gruca-Królikowska, Waclawek 2006; Malzahn 2009). Metale ciężkie podlegają bioakumulacji w tkankach roślinnych i zwierzęcych, w wyniku czego zagrożenie zatruciem tymi metalami wzrasta w kolejnych ogniach łańcucha troficznego. Pobieranie składników mineralnych z gleby przez organizmy roślinne jest uwarunkowane fizjologicznym zapotrzebowaniem na niektóre z nich (Fe, Mn, Zn, Cu), jak również może być wynikiem intoksykacji w związku z zanieczyszczeniem środowiska.

Zawartość metali w tkankach roślinnych zależy od zawartości i ich biodostępności w glebie, jak również od gatunku rośliny, okresu wegetacji oraz części morfologicznej. Badania dowodzą, że rośliny selektywnie pobierają pierwiastki z otaczającego środowiska. Pierwiastki te wykorzystywane są do budowy ich własnych tk-

nek oraz biorą udział w wielu przemianach metabolicznych.

W świecie roślinnym istnieje wyraźna tendencja do pobierania i kumulowania określonych pierwiastków (Łaszewska et al. 2007). Rośliny w różny sposób reagują na podwyższone stężenie metali ciężkich w środowisku. Specyficzna wrażliwość niektórych gatunków roślin lądowych na obecność metali ciężkich w glebie umożliwia określenie stopnia, zasięgu i struktury zmian degradacyjnych środowiska.

Spośród bioindykatorów roślinnych praktyczne zastosowanie do uzyskiwania informacji o stopniu zanieczyszczenia środowiska posiadają między innymi krzewinki borówki czarnej *Vaccinium myrtillus* L. (Reimann et al. 2001; Uhlig, Junttila 2001; Salemaa et al. 2004; Białońska et al. 2007; Kukla, Kuklová 2008; Mróz, Demczuk 2010; Kandziora-Ciupa et al. 2013; Remon et al. 2013). Borówka czarna występuje zarówno na terenach zanieczyszczonych, jak i wolnych od zanieczyszczeń. Jest gatunkiem dominującym w większości borów sosnowych i mieszanych klimatu umiarkowanego (Białońska et al. 2007). W *Vaccinio myrtilli-Pinetum* osiąga optimum ekologiczne, czyli największą frekwencję, zagęszczenie, biomasę i produkcję (Moszyńska 1983; Gugnacka-Fiedor 1994; Gerdol 2004; Zvereva, Kozlov 2005; Parzych, Sobisz 2010). Prawie we wszystkich zbiorowiskach leśnych *Vaccinium myrtillus* zwraca każdego roku do ściółki wraz z opadłymi liśćmi duże ilości potasu, wapnia, magnezu oraz manganu i żelaza, co wzbogaca siedlisko w pierwiastki ważne dla prawidłowego funkcjonowania ekosystemów leśnych.

Do badań bioindykacyjnych wykorzystywane są zarówno liście, łodygi, jak i korzenie *Vaccinium myrtillus* (Kozanecka et al. 2002; Mróz, Demczuk 2010), a także

owoce (Demczuk, Garbiec 2009; Pająk, Jasik 2012). Bylińska (1992), Reimann i in. (2001) oraz Boyd (2007) zaliczają borówkę czarną do roślin o wybitnych zdolnościach akumulacyjnych w stosunku do manganu.

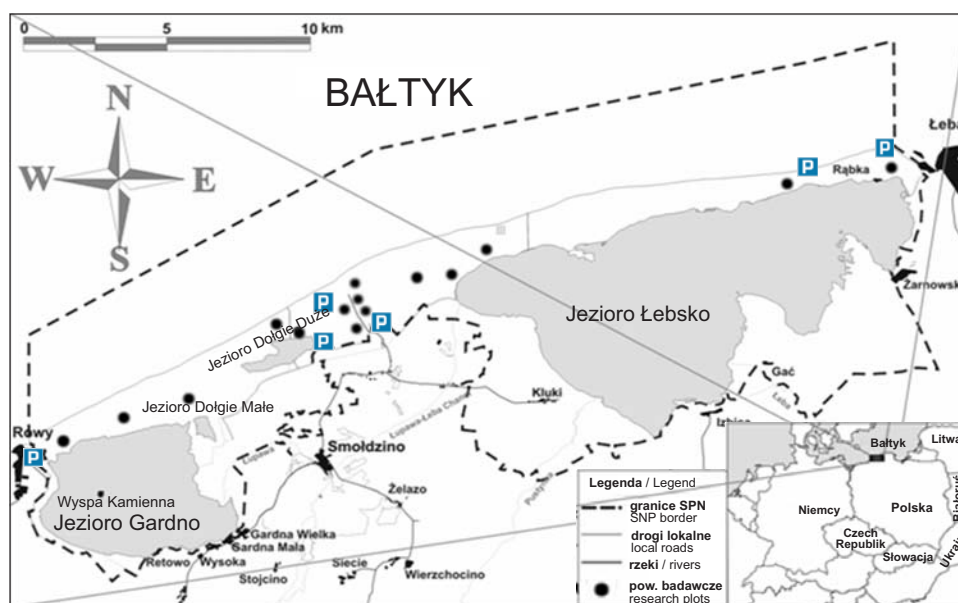
Celem pracy było przedstawienie zawartości Zn, Fe, Mn i Cu w liściach, łodygach oraz korzeniach borówki czarnej *Vaccinium myrtillus* L. występujących na terenie objętym ochroną, porównanie ich właściwości akumulacyjnych, dokonanie oceny wpływu metali ciężkich zawartych w glebie na koncentrację metali ciężkich w pędach borówki oraz oceny stopnia zanieczyszczenia Słowińskiego Parku Narodowego.

## 2. Materiał i metody badań

### 2.1. Obszar badań

Badaniami objęto powierzchnie leśne Słowińskiego Parku Narodowego (SPN) wchodzące w skład Mierzei Łebskiej (obwody ochronne: Rowy, Łeba, Smołdziński Las). Obszar badań leży między 17°03' a 17°33' długości geograficznej wschodniej i między 54°37' a 54°46' szerokości geograficznej północnej (ryc. 1). Na terenie parku przeważają siedliska borowe (71,5%), bory mieszane (21,4%), lasy mieszane (1,6%) i lasy (5,5%). W runie występują głównie krzewinki borówek, mchy i porosty. Próbkę pędów nadziemnych (liście, łodygi) i podziemnych (korzenie) borówki czarnej oraz poziomów organicznych i próchnicznych pobrano do badań we wrześniu 2011 r. z 15 stanowisk zlokalizowanych na terenie parku. Stanowiska badawcze znajdowały się zarówno w miejscach niedostępnych dla turystów, naj-

**Rycina 1. Plan Słowińskiego Parku Narodowego – rozmieszczenie stanowisk badawczych i parkingów**  
Figure 1. Situation plan of the Słowiński National Park – locations of the study sites and parking



częściej uczęszczanych, jak również w sąsiedztwie parkingów samochodowych.

W próbkach poziomów organicznych i próchnicznych oznaczono kwasowość czynną (pH w H<sub>2</sub>O), kwasowość wymienną (1 M·dm<sup>-3</sup> roztwór KCl) oraz materię organiczną – metodą strat prażenia w piecu muflowym w temp. 550°C. Po przewiezieniu do laboratorium materiał roślinny oczyszczano z mineralnych części gleby, płukano w wodzie destylowanej, oddzielano pędy nadziemne od podziemnych, suszono do stałej masy w temperaturze 65°C, a następnie homogenizowano w młynku. Próbkę pędów *Vaccinium myrtillus* i próbki gleby mineralizowano na mokro w systemie zamkniętym w mieszaninie HNO<sub>3</sub> i 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. W otrzymanym roztworze oznaczono zawartość Zn, Fe, Mn i Cu metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej z wykorzystaniem aparatu Aanalyst 300 firmy Perkin Elmer (Ostrowska et al. 1991). W badaniach wykorzystano oryginalne roztwory wzorcowe (Merck KGaA, 1 g / 1000 ml).

## 2.2. Opracowanie wyników

W celu scharakteryzowania i porównania koncentracji wybranych metali ciężkich w pędach nadziemnych i podziemnych *Vaccinium myrtillus* wyliczono wartości średnie, minimalne, maksymalne, odchylenia standardowe, współczynniki zmienności (CV) oraz współczynniki wzbogacenia (EF). Normalność rozkładu koncentracji Zn, Fe, Mn i Cu w pędach *V. myrtillus* badano za pomocą testu Shapiro-Wilka. W celu porównania koncentracji metali w poszczególnych fragmentach krzewinek zastosowano nieparametryczny test U Manna-Whitneya. Do obliczeń wykorzystano program Statistica 7.1.

## 3. Wyniki badań i dyskusja

Próbki poziomów organicznych i próchnicznych w obrębie Mierzei Łebskiej wykazywały odczyn silnie kwaśny (tab. 1). Największą kwasowością czynną i wy-

mienną charakteryzowały się podpoziomy (Ofh), przyjmując wartości odpowiednio od 3,1 do 4,1 oraz od 2,5 do 3,1. Współczynniki zmienności dla pH (H<sub>2</sub>O) i pH (KCl) w obrębie 15 stanowisk wynosiły od 5 do 8%. Nieco mniejsza kwasowość występowała w poziomie próchnicznym (A), przyjmując wartości od 3,9 do 5,0 pH (H<sub>2</sub>O). Największą zawartość materii organicznej stwierdzono w podpoziomie organicznym Ol (91,6–98,5%), nieco mniejszą w podpoziomach Ofh (39,0–97,2%), a najmniejszą w poziomie A (0,6–5,9%). Wraz z głębokością położenia poziomu genetycznego zawartość materii organicznej malała, a zwiększało się zróżnicowanie tego parametru od 2 do 59%.

Zawartość badanych metali w wierzchnich poziomach genetycznych gleb SPN była zróżnicowana. Największe ilości Zn, Fe i Mn stwierdzono w podpoziomie Ol, nieco mniejsze w podpoziomach Ofh, a najmniejsze w poziomie A. W przypadku miedzi najwyższe zawartości wykazywały podpoziomy Ofh. Średnia koncentracja cynku wynosiła odpowiednio 68,9 mg·kg<sup>-1</sup> (Ol), 47,0 mg·kg<sup>-1</sup> (Ofh) i 2,9 mg·kg<sup>-1</sup> (A), wykazując zróżnicowanie w obrębie 15 stanowisk badawczych na poziomie od 28 do 33% (tab. 2). Zawartość żelaza wynosiła średnio 469,0 mg·kg<sup>-1</sup> w podpoziomie Ol, 1609,0 mg·kg<sup>-1</sup> w podpoziomach Ofh oraz 346,0 mg·kg<sup>-1</sup> w poziomie A, wykazując zróżnicowanie od 35 do 134%. Średnia zawartość manganu to 206,2 mg·kg<sup>-1</sup> w podpoziomie Ol, 40,0 mg·kg<sup>-1</sup> w podpoziomach Ofh oraz 4,2 mg·kg<sup>-1</sup> w poziomie A, a współczynnik zmienności przyjmował wartości od 52 do 58%. Znacznie mniejsze zawartości w badanych glebach wykazywała miedź, utrzymując się na poziomie 0,8 mg·kg<sup>-1</sup> w Ol, 0,9 mg·kg<sup>-1</sup> w Ofh oraz 0,09 mg·kg<sup>-1</sup> w poziomie A. Koncentracja Cu w badanych poziomach charakteryzowała się najmniejszym zróżnicowaniem, co wynika z bardzo małej mobilności tego pierwiastka (Kabata-Pendias, Pendias 1999).

Koncentracja Zn w pędach nadziemnych i podziemnych *Vaccinium myrtillus* wykazywała znaczne zróżnicowanie w zależności od stanowiska, jak również od fragmentu pędu. Zawartość cynku utrzymywała się na poziomie od 14,9 do 69,4 mg·kg<sup>-1</sup> w liściach, od 38,0 do 108,0 mg·kg<sup>-1</sup> w łodygach oraz od 9,7 do 51,4 mg·kg<sup>-1</sup> w

**Tabela 1. pH i materia organiczna w poziomach organicznych i poziomie próchnicznym SPN**

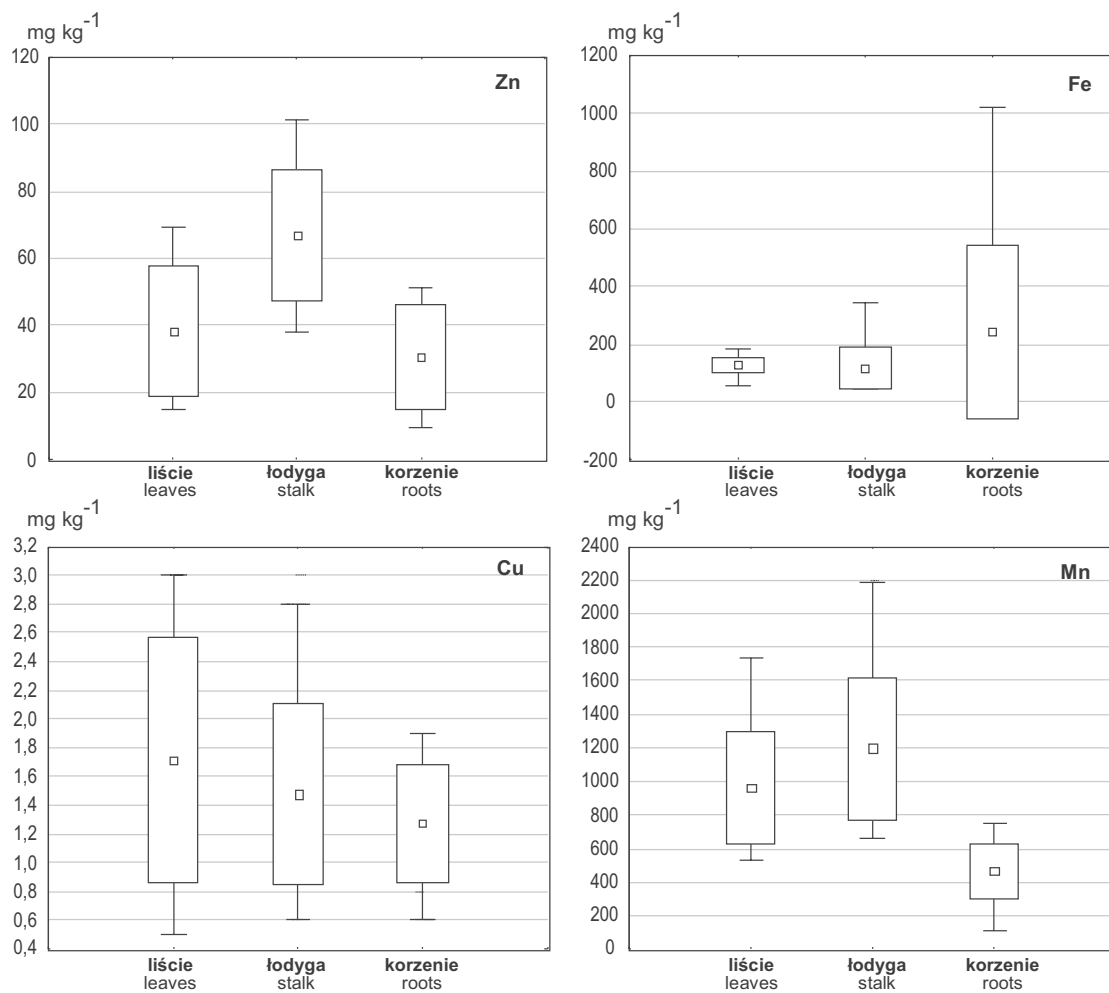
Table 1. pH and organic matter in organic and humus horizons in SNP

Miary statystyczne Statistical measures	pH (H <sub>2</sub> O)			pH (KCl)			Materia organiczna Organic matter [%]		
	Ol	Ofh	A	Ol	Ofh	A	Ol	Ofh	A
Średnia / Average	4,4±0,2	3,8±0,2	4,4±0,3	3,5±0,2	2,8±0,2	3,3±0,2	96,6±0,02	76,9±0,2	3,1±0,01
Minimum / Minimum	4,1	3,1	3,9	3,0	2,5	2,9	91,6	39,0	0,6
Maksimum / Maximum	4,7	4,1	5,0	3,8	3,1	3,6	98,5	97,2	5,9
Mediana / Median	4,4	3,9	4,4	3,6	2,8	3,4	97,5	73,8	2,6
CV [%]	5	7	7	8	6	8	2	23	59

CV – współczynnik zmienności / coefficient of variation

**Tabela 2. Zawartość metali ciężkich w poziomach organicznych i poziomie próchnicznym SPN**Table 2. Heavy metals content (mg kg<sup>-1</sup>) in organic and humus horizons in SPN

Miary statystyczne Statistical measures	Zn			Fe			Mn			Cu		
	OI	Ofh	A	OI	Ofh	A	OI	Ofh	A	OI	Ofh	A
Średnia / Average	68,9±19,0	47,0±15,4	2,9±1,1	469±505	1609±2161	346±120	206,2±113	40,0±23	4,2±2,1	0,80±0,14	0,90±0,29	0,09±0,03
Minimum	37,1	24,2	1,3	118	478	124	48,7	12,2	1,2	0,50	0,60	0,06
Maksimum	101,0	82,0	5,7	2071	8517	568	415,0	86,2	8,3	1,10	1,70	0,19
Mediana	65,5	42,7	2,7	279	907	381,1	198,9	37,4	3,7	0,8	0,9	0,08
CV [%]	28	33	38	108	134	35	55	58	52	18	31	35

**Rycina 2. Zawartość metali ciężkich w liściach, łodygach i korzeniach *Vaccinium myrtillus* w SPN, kropka (wartość średnia), prostokąt (odchylenie standardowe), wąsy (minimum – maksimum)**Figure 2. The heavy metal content in the leaves, stalks and roots of *Vaccinium myrtillus* in SPN, point (mean), rectangle (standard deviation), whiskers (minimum – maximum)

korzeniach (ryc. 2). Największą ilość Zn stwierdzono w pędach borówek rosnących na stanowiskach zlokalizowanych w centralnej części parku, sąsiadujących z parkingami samochodowymi. Największe wartości współczynników zmienności dotyczyły koncentracji cynku w korzeniach (51,3%), a najmniejsze w łodygach (29,3 %). Rośliny pobierają Zn w ilościach proporcjonalnych do jego stężenia w glebie. Liczne badania pokazują, iż zawartość cynku w liściach *V. myrtillus* na terenach niezanieczyszczonych wynosi najczęściej około 16,8 mg·kg<sup>-1</sup> (Mróz, Demczuk 2010), 20,0 mg·kg<sup>-1</sup> (Kozanecka et al. 2002). Na terenach zanieczyszczonych zawartość Zn w pędach borówki czarnej jest zwykle większa i może wynosić 24,4 mg·kg<sup>-1</sup> (Pająk, Jasik 2012), a nawet 107,8 mg·kg<sup>-1</sup> (Gworek, Degórski 2000). Do pokrycia potrzeb fizjologicznych większości roślin wystarcza stężenie w liściach w zakresie 15–30 mg·kg<sup>-1</sup>. Badania przeprowadzone na terenie SPN wskazują, iż cynk kumuluje się w większych ilościach w łodygach niż w liściach, co potwierdzają również wyniki uzyskane przez Kozanecką i in. (2002). Krzewinki borówki czarnej, ze względu na podobieństwo do drzew liściastych, zrzucających liście w okresie jesiennym, gromadzą więcej składników odżywczych w łodygach i korzeniach niż w liściach (Moszyńska 1983; Gugnacka-Fiedor 1994). Niewielka koncentracja Zn w pędach borówki jest odzwierciedleniem niewielkiej zawartości tego pierwiastka w glebach bielicowych SPN wytworzonych z ubogich piasków wzdromowych (Tobolski et al. 1997) oraz stosunkowo czystego powietrza (Brożek, Zaremski 2011).

Zawartość żelaza w *V. myrtillus* również wykazywała zróżnicowanie w zależności od lokalizacji stanowiska badawczego oraz fragmentu pędu. W liściach koncentracja Fe utrzymywała się na poziomie od 57,0 do 182,0 mg·kg<sup>-1</sup>, w łodygach od 47,0 do 344,0 mg·kg<sup>-1</sup>, a w korzeniach od 50,0 do 1019,0 mg·kg<sup>-1</sup> (ryc. 2). Największą zawartość Fe wykazano na stanowiskach w sąsiedztwie parkingów samochodowych. Współczynniki zmienności koncentracji Fe wynosiły od 22,4% w liściach do 120,2% w korzeniach. Największe ilości Fe występowały w pędach podziemnych. Podobne ilości żelaza stwierdzili w pędach borówki czarnej: Mróz i Demczuk (2010) – 120–217 mg·kg<sup>-1</sup>, a także Gworek i Degórski (2000) – 95,0–104,0 mg·kg<sup>-1</sup>. W niektórych próbkach borówki czarnej ze SPN wykazano podwyższoną zawartość żelaza, co może wskazywać na zwiększone właściwości kumulacyjne tego gatunku w stosunku do Fe. Silnie kwaśne środowisko glebowe SPN (tab. 1) sprzyja biodostępności występujących tam metali ciężkich. Według Bylińskiej (1992) *V. myrtillus* charakteryzuje się wybitnymi zdolnościami do akumulacji żelaza. Na terenach wolnych od zanieczyszczeń Fe utrzymuje się zwykle na poziomie 74 mg·kg<sup>-1</sup> w liściach oraz 62 mg·kg<sup>-1</sup> w łodygach (Kozanecka et al. 2002).

Zawartość miedzi w pędach borówki czarnej wynosiła od 0,5 do 3,0 mg·kg<sup>-1</sup> w liściach, 0,6–2,8 mg·kg<sup>-1</sup> w łodygach oraz 0,6–1,9 mg·kg<sup>-1</sup> w korzeniach, wykazując znaczne zróżnicowanie pomiędzy stanowiskami. Współczynniki zmienności koncentracji Cu w *V. myrtillus* wynosiły średnio od 32,0% w korzeniach do 49,5% w liściach, (ryc. 2). Miedź w roślinach jest pierwiastkiem mało ruchliwym, na pokrycie potrzeb fizjologicznych w większości roślin wystarcza około 2 mg·kg<sup>-1</sup>. Zawartość miedzi w roślinach utrzymuje się zazwyczaj poniżej 4–5 mg·kg<sup>-1</sup> i ulega dużemu zróżnicowaniu w zależności od części rośliny, stadium rozwojowego, odmiany i gatunku. Przeciętna jej zawartość w nadziemnych częściach roślin wynosi 5–20 mg·kg<sup>-1</sup> (Kabata-Pendias, Pendias 1999). Analizy chemiczne pędów *V. myrtillus* prowadzone przez Gworka i Degórskiego (2000) w różnych miejscach Polski wskazują, iż w zależności od zanieczyszczeń koncentracja miedzi może wynosić od 0,5 do 8,1 mg·kg<sup>-1</sup>. Wcześniejsze badania chemiczne pędów nadziemnych *V. myrtillus* prowadzone w borach świeżych i wilgotnych SPN wskazują, że koncentracja Cu utrzymywała się na poziomie 3,1 mg·kg<sup>-1</sup> (Parzych et al. 2012). Zawartość Cu w borówce czarnej SPN jest mała i nie stanowi zagrożenia, a wręcz przeciwnie wystarcza jedynie na pokrycie jej potrzeb fizjologicznych.

Nieco inną sytuację stwierdzono w przypadku manganu. Zawartość Mn utrzymywała się na poziomie od 529,2 do 1736,0 mg·kg<sup>-1</sup> w liściach, od 658,0 do 2182,0 mg·kg<sup>-1</sup> w łodygach oraz od 105,9 do 746,3 mg·kg<sup>-1</sup> w korzeniach (ryc. 2). Koncentracja Mn wykazywała podobne zróżnicowanie od 34,9 do 35,3% niezależnie od fragmentu badanych krzewinek. Według Kabata-Pendias i Pendias (1999) zapotrzebowanie roślin na mangan jest znacznie zróżnicowane, w większości przypadków wystarcza 10–25 mg·kg<sup>-1</sup>. Stężenie około 500 mg·kg<sup>-1</sup> może być toksyczne dla większości roślin. Uzyskane wyniki wskazują na nadmierną kumulację manganu przez pędy *V. myrtillus*. Reimann i in. (2001), a także Bylińska (1992) zauważyli, iż borówka czarna wyróżnia się wysoką zawartością Mn, niezależnie od jego zawartości w glebie. Boyd (2007) określił tę krzewinkę jako akumulator manganu, gdyż stężenie w jej tkankach może przekraczać nawet 2000 mg·kg<sup>-1</sup>. Wyniki badań przedstawione przez Gworka i Degórskiego (2000) wskazują, że *V. myrtillus* może gromadzić w swoich pędach nawet 2489,0 mg·kg<sup>-1</sup>, co potwierdza silne właściwości kumulacyjne tego gatunku w stosunku do manganu.

Relacje pomiędzy oznaczanymi metalami ciężkimi zarówno w pędach nadziemnych, jak i podziemnych *Vaccinium myrtillus* układały się w następujący szereg malejący: Mn > Fe > Zn > Cu.



Przeprowadzone analizy wykazały istotne statystycznie współczynniki korelacji Spearmana zawartości cynku w relacji ‘gleba – łodyga’ ( $r=-0,44, p<0,05, n=45$ )

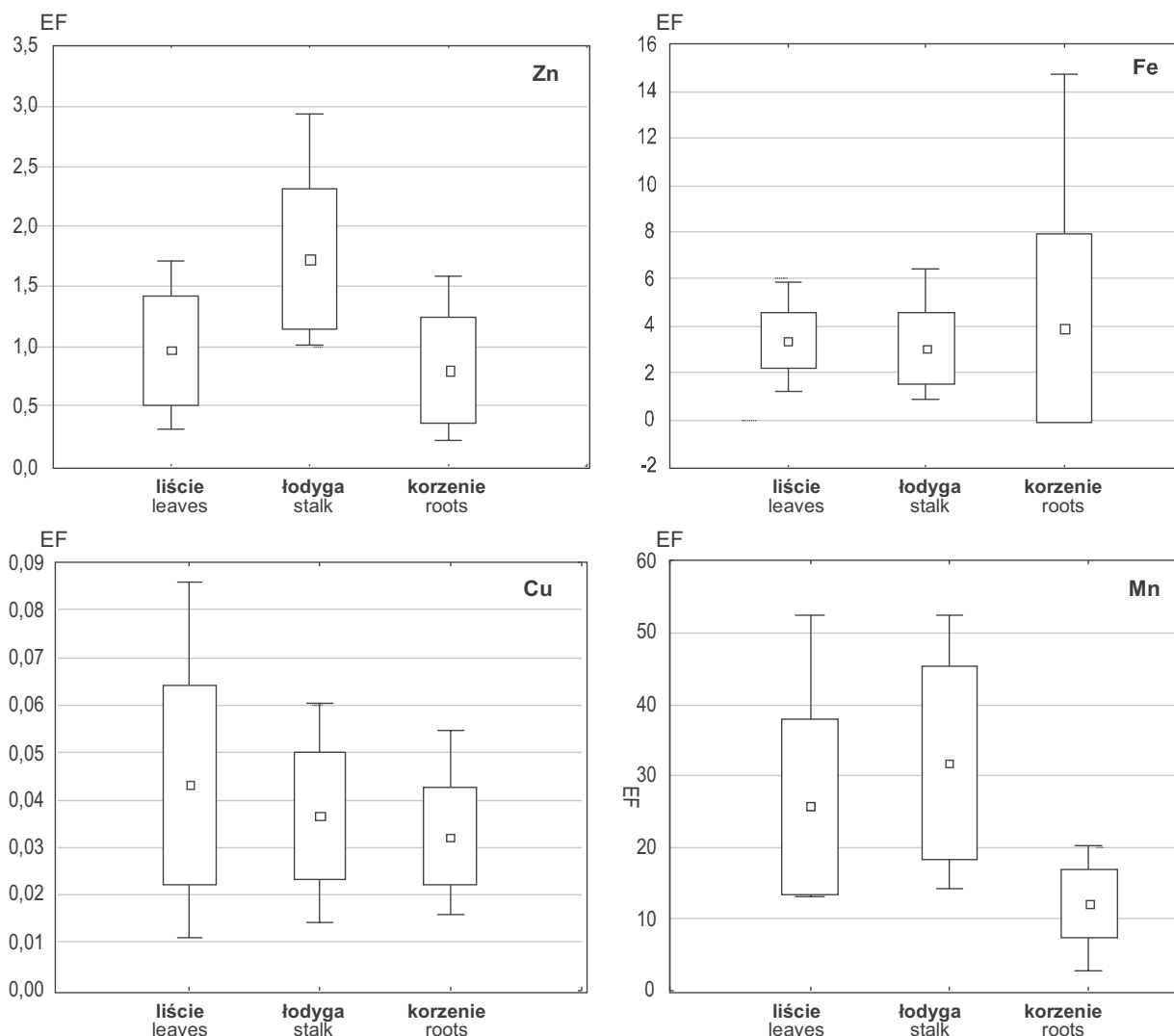
**Tabela 3. Współczynniki korelacji Spearmana ( $r$ ) zawartości metali ciężkich w pędach *V. myrtillus* w relacji ‘gleba – liście’, ‘gleba – łodyga’, ‘gleba – korzeń’ ( $n=45, p<0,05, r_{kryt.}=0,30$ )**

Table 3. Spearman correlation coefficients ( $r$ ) of heavy metals in the shoots *V. myrtillus* relative ‘soil – leaves’, ‘soil – stalk’, ‘soil – roots’ ( $n = 45, p<0.05, r_{crit.}=0.30$ )

$r$ w reakcji / $r$ in relation	Fe	Mn	Zn	Cu
gleba – liść / soil – leaves	0,17	0,25	-0,28	0,20
gleba – łodyga / soil – stalk	0,01	0,27	-0,44	-0,21
gleba – korzeń / soil – roots	0,25	-0,06	-0,52	-0,01

oraz ‘gleba – korzeń’ borówki czarnej ( $r=-0,52, p<0,05, n=45$ ). Obniżeniu zawartości cynku w glebie towarzyszył jednocześnie wzrost zawartości Zn w łodygach i korzeniach *V. myrtillus*, co potwierdza pobieranie tego pierwiastka w znacznych ilościach z roztworów glebowych (tab. 3). Pozostałe metale ciężkie (Fe, Cu, Mn) nie wykazywały istotnych statystycznie zależności pomiędzy koncentracją w glebie i pędach borówki czarnej, co może wskazywać na pobieranie tych pierwiastków przez liście z opadających pyłów oraz opadów atmosferycznych (Łaszewska et al. 2007).

Niewielka zawartość Zn, Fe i Cu w pędach nadziemnych i podziemnych *V. myrtillus* oraz w wierzchnich poziomach genetycznych gleby przekładają się na niewielkie wartości współczynników wzbogacenia



**Rycina 3. Współczynniki wzbogacenia ( $EF$ ) badanych metali w liściach, łodygach i korzeniach *V. myrtillus*, kropka (wartość średnia), prostokąt (odchylenie standardowe), wąsy (minimum – maksimum)**

Figure 3. Enrichment factors ( $EF$ ) of investigated metals in the leaves, stalks and roots of *V. myrtillus*, point (mean), rectangle (standard deviation), whiskers (minimum – maximum)

(EF). Największe wartości współczynników wzbogacenia uzyskano w przypadku Mn (EF20), co potwierdza jego silne właściwości akumulacyjne (ryc. 3), a najmniejsze w przypadku miedzi: Mn > Fe > Zn > Cu. Wyniki badań uzyskane w Słowińskim Parku Narodowym wskazują, iż cynk i mangan najsilniej akumulują się w łodygach *V. myrtillus*, miedź w liściach, a żelazo w korzeniach. Według Kłosa (2009) wartości współczynników EF10 mogą wskazywać na napływową formę zanieczyszczenia, np. wraz z suchym i mokrym opadem atmosferycznym. Jednak ilości docierających tą drogą metali ciężkich są małe. Wyniki badania pyłu zawieszonego PM10 prowadzone w roku 2010 na obszarze Słowińskiego Parku Narodowego wynosiły 17  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Brożek, Zaremski 2011) i nie przekraczały wartości dopuszczalnych. Teren Słowińskiego Parku Narodowego jest uznawany przez wielu badaczy za jeden z najczystszych w Polsce. Wskazują na to między innymi badania chemiczne leśnej roślinności wskaźnikowej (Grodzińska et al. 1990, 1999; Bykowszczenko et al. 2006; Parzych et al. 2012; Parzych, Sobisz 2012).

W celu porównania koncentracji badanych metali ciężkich w pędach nadziemnych i podziemnych borówki czarnej zastosowano nieparametryczny test U Manna-Whitneya (tab. 4). Przeprowadzone analizy wykazały istotne statystycznie różnice w zawartości cynku w relacji ‘liście – łodyga’ i ‘łodyga – korzeń’ oraz manganu w relacji ‘łodyga – korzeń’ i ‘liść – korzeń’. W przypadku koncentracji Fe i Cu w pędach nadziemnych i podziemnych *V. myrtillus* nie wykazano istotnych statystycznie różnic.

**Tabela 4. Istotność zróżnicowania koncentracji metali ciężkich w badanych pędach *V. myrtillus* (test U Manna-Whitneya)**

Table 4. The significance of variation of heavy metals concentration in the tested shoots *V. myrtillus* (Mann-Whitney U test)

Metal	Relacje / Relations		
	liście – łodyga leaves – stalk	łodyga – korzenie stalk – roots	liście – korzenie leaves – roots
Zn	**	***	ns
Fe	ns	ns	ns
Cu	ns	ns	ns
Mn	ns	***	***

Poziom istotności: \*\*\*  $p < 0,001$ , \*  $p < 0,05$ , ns – nie stwierdzono różnic

The significance level: \*\*\*  $p < 0,001$ , \*  $p < 0,05$ , ns – no differences

#### 4. Podsumowanie

W pędach nadziemnych i podziemnych *Vaccinium myrtillus* z Mierzei Łebskiej SPN stwierdzono zróżnicowane zawartości Zn, Fe, Mn i Cu w zależności od

lokalizacji stanowiska, jak również od fragmentu pędu. Największe ilości badanych metali wykazano na stanowiskach sąsiadujących z parkingami samochodowymi, co wskazuje na udział ruchu kołowego w punktowym zanieczyszczeniu parku. Badane metale w różnym stopniu kumulowały się w pędach *V. myrtillus*. Największe ilości miedzi zaobserwowano w liściach, żelaza – w korzeniach, a cynku i manganu – w łodygach. Relacje pomiędzy oznaczanymi metalami ciężkimi zarówno w pędach nadziemnych, jak i podziemnych *Vaccinium myrtillus* układały się w następujący szereg malejący: Mn > Fe > Zn > Cu.

Niewielkie zawartości Zn, Fe i Cu w pędach borówki czarnej oraz w wierzchnich poziomach genetycznych gleby przekładają się na niewielkie wartości współczynników wzbogacenia (EF). Silnie kwaśne środowisko glebowe sprzyjało biodostępności badanych metali ciężkich dla pędów borówki czarnej. Największe wartości EF uzyskano w przypadku Mn i Fe, co wskazuje na zwiększone właściwości akumulacyjne *V. myrtillus* w stosunku do tych metali, mimo niewielkiej ich zawartości w glebie.

Przeprowadzone analizy wykazały istotne statystycznie różnice w zawartości cynku w relacji ‘liście – łodyga’ i ‘łodyga – korzeń’ oraz manganu w relacji ‘łodyga – korzeń’ i ‘liść – korzeń’. Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic w koncentracji Fe i Cu w pędach nadziemnych i podziemnych *V. myrtillus*.

#### Podziękowania

Badania wykonano w ramach badań statutowych Zakładu Chemii Środowiskowej, Instytutu Biologii i Ochrony Środowiska Akademii Pomorskiej w Słupsku w 2011 r.

#### Literatura

- 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. *Water, Air and Soil Pollution*, 181: 123–133.
- Boyd R.S. 2007. The defense hypothesis of elemental hyperaccumulation: status, challenges and new directions. *Plant and Soil*, 293: 153–176.
- Brożek A., Zaremski A. 2011. Roczna ocena jakości powietrza w województwie pomorskim, Raport za rok 2010. Gdańsk, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska.
- Bylińska E. 1992. Studia nad biogeochemią roślin z obszaru występowania złóż polimetalicznych w Rudawach Janowickich (Sudety). *Acta Universitatis Wratislaviensis, Prace Botaniczne*, T. 50. Wrocław, Uniwersytet Wrocławski, 71 s. ISBN 8322907923.

- Bykowszczenko N., Baranowska-Bosiacka I., Bosiacka B., Kaczmarek A., Chlubek D. 2006. Determination of heavy metal concentration in mosses of Słowiński National Park using atomic absorption spectrometry and neutron activation analysis methods. *Polish Journal of Environmental Study*, 15(1): 41–46.
- Demczuk M., Garbiec K. 2009. Heavy metals in edible fruits. A case study of bilberry *Vaccinium myrtillus* L. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 40: 307–312.
- Gerdol R. 2004. Growth performance of two deciduous *Vaccinium* species in relation to nutrient status in a subalpine heath. *Flora*, 200: 168–174.
- Grodzińska K., Szarek-Lukaszewska G., Godzik B. 1999. Survey of heavy metal deposition in Poland using mosses as indicators. *The Science of the Total Environment*, 229: 41–51.
- Grodzińska K., Szarek G., Godzik B. 1990. Heavy metal deposition in Polish National Parks – changes during ten years. *Water, Air and Soil Pollution*, 49: 409–419.
- Gruca-Królikowska S., Waclawek W. 2006. Metale w środowisku. Cz. II. Wpływ metali ciężkich na rośliny. *Chemia, Dydaktyka, Ekologia, Metrologia*, 11(1–2): 41–56.
- Gugnaczk-Fiedor W. 1994. Zmienność morfologiczna i chemiczna europejskich gatunków rodzaju *Vaccinium* L. Toruń, Rozprawy – Uniwersytet Mikołaja Kopernika, 146 s. ISBN: 83-231-0511-1.
- Gworek B., Degórski M. 2000. Borówka (*Vaccinium myrtillus*) oraz igły sosny (*Pinus sylvestris*) wskaźnikami zanieczyszczenia środowiska metalami ciężkimi w wybranych siedliskach borowych na terenie Polski. *Roczniki Gleboznawcze*, 51(1/2): 79–86.
- Kabata-Pendias A., Pendias H. 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych, Warszawa, PWN, 400 s. ISBN 83-01-12823-2.
- Kandziora-Ciupa M., Ciepiał R., Nadgórska-Socha A., Barczyk G. 2013. A comparative study of heavy metal accumulation and antioxidant response in *Vaccinium myrtillus* L. leaves in polluted and non-polluted areas. *Environmental Science and Pollution Research*, 20: 4920–4932.
- Klink A., Letachowicz B., Krawczyk J., Wisłocka M. 2006. The content of heavy metals in soil and silver birch leaves (*Betula pendula* Roth) from Wałbrzych and Głogów. *Polish Journal of Environmental Study*, 15: 347–350.
- Kłós A. 2009. Zastosowanie współczynnika wzbogacenia (EF) do interpretacji wyników badań biomonitoringowych. *Chemia, Dydaktyka, Ekologia, Metrologia*, 14(1–2): 49–55.
- Kozanecka T., Chojnicki J., Kwasowski W. 2002. Content of heavy metals in plant from pollution-free regions. *Polish Journal of Environmental Study*, 11(4): 395–399.
- Kukla J., Kuklová M. 2008. Growth of *Vaccinium myrtillus* L. (*Ericaceae*) in spruce forests damaged by air pollution. *Polish Journal of Ecology*, 56(1): 149–155.
- Łaszewska A., Kowol J., Wiechuła D., Kwapiński J. 2007. Kumulacja metali w wybranych gatunkach roślin leczniczych z terenu Beskidu Śląskiego i Beskidu Żywieckiego. *Problemy Ekologii*, 11, 6: 285–291.
- Malzahn E. 2002. Igły sosny zwyczajnej jako bioindykator zagrożeń środowiska leśnego Puszczy Białowieskiej. *Biuletyn Monitoringu Przyrody*, 1(3): 19–31.
- Moszyńska B. 1983. Some problems on ecology of *Vaccinium myrtillus* L. in pine forest communities. *Polish Ecological Studies*, 9: 565–643.
- Mról L., Demczuk M. 2010. Contents of phenolics and chemical elements in bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) leaves from copper smelter area (SW Poland). *Polish Journal of Ecology*, 58(3): 475–486.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubińska Z. 1991. Metody analizy i oceny gleb i roślin. Katalog. Warszawa, Instytut Ochrony Środowiska, 333 s.
- Pająk M., Jasik M. 2012. Zawartość cynku, kadmu i ołowiu w owocach borówki czarnej (*Vaccinium myrtillus* L.) rosnącej w lasach Nadleśnictwa Świerklaniec. *Sylwan*, 156(3): 233–240.
- Parzych A., Sobisz Z. 2010. Biomasa i produkcja pierwotna netto runa leśnego w wybranych ekosystemach Słowińskiego Parku Narodowego. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 42: 72–83.
- Parzych A., Sobisz Z., 2012: Zawartość makro- and mikro-pierwiastków w igliwiu *Pinus sylvestris* L. i *Pinus nigra* Arn. w Słowińskim Parku Narodowym. *Leśne Prace Badawcze*, 73(4): 295–303.
- Parzych A., Sobisz Z., Trojanowski J. 2012. Prognosis content of heavy metals in soil and herbaceous plants in selected pine forests in the Słowiński National Park. *Archives of Environmental Protection*, 38(4): 35–47.
- Reimann C., Koller F., Kashulina G., Niskavaara H., Englmaier P. 2001. Influence of extreme pollution on the inorganic chemical composition of some plants. *Environmental Pollution*, 115: 239–252.
- Remon E., Bouchardon L., Le Guedard M., Bessoule J., Conord C. 2013. Are plants useful as accumulation indicators of metal bioavailability? *Environmental Pollution*, 175: 1–7.
- Salemaa M., Derome J., Helmisaari H.S., Nieminen T., Vanha-Majamaa I. 2004. Element accumulation in boreal bryophytes, lichens and vascular plants exposed to heavy metal and sulfur deposition in Finland. *Science of the Total Environment*, 324: 131–160.
- Tainio M., Kekkonen J., Nahorski Z. 2010. Impact of airborne particulate matter on human health – an assessment framework to estimate exposure and adverse health effect in Poland. *Archives of Environmental Protection*, 36(1): 95–115.
- Tobolski K., Mocek A., Dzieciołowski W. 1997. Gleby Słowińskiego Parku Narodowego w świetle historii roślinności i podłoża. Bydgoszcz-Poznań, Wyd. Homini, 183 s.
- Uhlir C., Junttila O. 2001. Airborne heavy metal pollution and its effects on foliar elemental composition of *Empetrum hermaphroditum* and *Vaccinium myrtillus* in Sor-Varanger, northern Norway. *Environmental Pollution*, 114: 461–469.
- Zvereva E.L., Kozlov M.V. 2005. Growth and reproduction of dwarf shrubs, *Vaccinium myrtillus* and *V. vitis-idaea*, in a severely polluted area. *Basic and Applied Ecology*, 6: 261–274.