

AGNIESZKA PARZYCH

Akumulacja i rozmieszczenie składników odżywczych w pędach *Vaccinium vitis-idaea* L. i *Vaccinium myrtillus* L.

Accumulation and distribution of nutrients in shoots of *Vaccinium vitis-idaea* L. and *Vaccinium myrtillus* L.

ABSTRACT

Parzych A. 2016. Akumulacja i rozmieszczenie składników odżywczych w pędach *Vaccinium vitis-idaea* L. i *Vaccinium myrtillus* L.. Sylwan 160 (1): 40-48.

The paper presents the analysis of the macro- and microelements content in the leaves, stems and roots of *Vaccinium myrtillus* and *Vaccinium vitis-idaea* as well as in the surface genetic horizons of the soils of the Słowiński National Park (SNP). The cumulative properties and translocation coefficients were characterized as well as translocation coefficients of nutritional components in bilberry sprouts. The nitrogen was determined by Kjeldahl's method. The contents of K, Mg, Ca, Zn, Cu, Mn, and Fe by atomic absorption spectrometry after digestion in the mixture of 65% HNO₃ and 30% H₂O₂. Organic and humus horizons of the tested soils represented the acidic reaction and diversified quantity of organic matter. The content of basic macro components in the soils of the SNP was very low. Concentration of Zn, Cu, Mn and Fe in the soils remained within the limits of geochemical background without showing any pollution with these elements. Chemical composition of bilberry sprouts was diversified depending on species, fragment of the sprout and the study plot. Nitrogen content in leaves and stems of *V. myrtillus* was much higher than in the case of *V. vitis-idaea*. The roots of both species of bilberries accumulated similar quantities of N, which is indicated by the values of the bioaccumulation coefficient and the lack of statistical diversity. All analyzed macro- and microcomponents were accumulated in the highest quantity in the leaves and stems of *V. myrtillus*, which represented, without any doubt, higher demand of this species for nutritional components. The roots of *V. vitis-idaea* accumulated higher quantities of Mg, Ca and Zn, while the stems of bilberry accumulated twice as much manganese (1198.3 mg/kg) than the stems of cowberry (561.2 mg/kg). The test results show excessive accumulation of Mn by sprouts of *V. myrtillus*. In the case of the examined species, the highest mobility was characteristic for N and K (in the relationship leaves/stems) and Ca, Mg, Mn, K and Zn (in the relationship stems/roots). Fe and Cu were characterized by the lowest mobility in bilberry tissues. Significant differences in the content of N ($p < 0.001$) and Mg ($p < 0.001$) in leaves and stems, K ($p < 0.001$), Cu ($p < 0.05$) and Fe ($p < 0.01$) in leaves, Zn ($p < 0.05$) and Mn ($p < 0.001$) in stems were found. Differences in accumulation of macro- and microcomponents in the roots seemed not to be significant.

KEY WORDS

cowberry, bilberry, leaves, stems, roots, translocation factor

ADDRESSES

Agnieszka Parzych – e-mail: parzycha1@op.pl

Zakład Chemii Środowiskowej, Akademia Pomorska; ul. Arciszewskiego 22b, 76-200 Słupsk

Wstęp

W kształtowaniu składu chemicznego roślinności leśnej ważną rolę odgrywa materia organiczna będąca źródłem różnorodnych związków i pierwiastków chemicznych. Skład chemiczny pędów roślin jest uzależniony od wielu czynników. Zależy on między innymi od właściwości roślin i warunków wzrostu [Porębska, Ostrowska 1999] oraz od zasobności gleb i sezonu wegetacyjnego. Ilość dostępnych składników w glebie wpływa na wzrost i rozwój szaty roślinnej. Dopływ składników odżywczych do gleb następuje wraz z opadem roślinnym, którego masa i skład chemiczny zależą od udziału poszczególnych gatunków roślin, jak również od zmiennych w czasie i przestrzeni warunków siedliskowych [Jonczak 2011]. Obok opadu organicznego istotnym źródłem składników odżywczych dla roślin są wody opadowe [Parzych i in. 2008]. Systematyczny, długotrwały dopływ opadów atmosferycznych o zróżnicowanym składzie chemicznym w istotny sposób wpływa na kształtowanie właściwości gleb [Jonczak i in. 2012] i roślin [Parzych i in. 2012]. Płytkie systemy korzeniowe zapewniają roślinom runa leśnego dobre zaopatrzenie w substancje pokarmowe zmagazynowane w poziomach organicznych i próchnicznych gleb leśnych, co jest istotne zwłaszcza w ekosystemach o ubogich glebach biellicowych. Rośliny w różny sposób reagują na zawartość składników chemicznych w środowisku. Wrażliwość niektórych z nich umożliwia określenie stopnia, zasięgu i struktury zmian degradacyjnych środowiska. Spośród bioindykatorów roślinnych praktyczne zastosowanie przy uzyskiwaniu informacji o jakości środowiska mają m.in. krzewinki borówki brusznicy (*Vaccinium vitis-idaea* L.) oraz borówki czarnej (*Vaccinium myrtillus* L.) [Reimann i in. 2001; Salemaa i in. 2004; Białońska i in. 2007; Kukla, Kuklová 2008; Kandziora-Ciupa i in. 2013, Taulavuori i in. 2013]. Do badań bioindykacyjnych wykorzystywane są liście, łodygi i korzenie *V. vitis-idaea* i *V. myrtillus* [Mróz, Demczuk 2010], a także ich owoce [Demczuk, Garbiec 2009; Pająk, Jasik 2012]. Borówka brusznica i borówka czarna należą do pospolitych gatunków roślin runa leśnego, występujących w Polsce na glebach ubogich w humus, suchych i piaszczystych, a także na piaszczysto-gliniastych. *V. vitis-idaea* rośnie najczęściej w borze świeżym, a największy współczynnik pokrycia uzyskuje w nadmorskim borze bażynowym [Gugnacka-Fiedor 1994]. W runie borów sosnowych i mieszanych gatunkiem dominującym jest najczęściej *V. myrtillus*, która osiąga optimum ekologiczne w borze świeżym, przejawiające się największą produkcją liści, biomasa i zagęszczeniem [Moszyńska 1983; Gerdol 2004; Zvereva, Kozlov 2005]. Borówka czarna w odróżnieniu od borówki brusznicy zwraca do gleby wraz z opadem liści znaczne ilości składników odżywczych oraz posiada wybitne zdolności do akumulowania niektórych pierwiastków [Bylińska 1992].

Celem pracy było porównanie zawartości wybranych makroelementów w liściach, łodygach oraz korzeniach borówki czarnej (*Vaccinium myrtillus* L.) i borówki brusznicy (*Vaccinium vitis-idaea* L.) oraz ich właściwości akumulacyjnych i współczynników translokacji.

Materiał i metody

Badania prowadzono na terenie Słowińskiego Parku Narodowego (SPN) położonego w Polsce północnej między 17°03' a 17°33' długości geograficznej wschodniej i między 54°37' a 54°46' szerokości geograficznej północnej. Ze względu na znaczną frekwencję i zagęszczenie *V. myrtillus* i *V. vitis-idaea* w borach sosnowych SPN [Parzych, Sobisz 2010] do badań bioindykacyjnych wykorzystano próbki pędów nadziemnych i podziemnych borówki czarnej i borówki brusznicy (liście, łodygi, korzenie) oraz próbki poziomu organicznego i próchnicznego z 15 stanowisk położonych na terenie Mierzei Łebskiej. W próbkach glebowych oznaczono zawartość materii organicznej metodą strat prażenia w piecu muflowym w temperaturze 550°C, odczyn – metodą

potencjometryczną (pH w H₂O oraz pH w roztworze KCl o stężeniu 1 mol/dm³). Zawartość azotu określono w próbkach roślinnych i glebowych metodą Kjeldahla (K 350, Büchi, Szwajcaria) po mineralizacji w mieszaninie 98-procentowego H₂SO₄ i 30-procentowego H₂O₂. Zawartość pierwiastków metalicznych (K, Mg, Ca, Zn, Cu, Mn i Fe) oznaczono w roztworach po mineralizacji roślin i gleby w mieszaninie 65-procentowego HNO₃ i 30-procentowego H₂O₂ metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej na aparacie Aanalyst 300 (Perkin Elmer, USA). W oznaczeniach wykorzystano oryginalne wzorce firmy Merck (1 g/1000 ml).

Rozkład danych dotyczących chemizmu próbek roślinnych badano testem Shapiro-Wilka. Skład chemiczny pędów (liście, łodygi, korzenie) badanych gatunków borówek przedstawiono w postaci wykresów „ramka-wąsy” zawierających wartości średnie, minimalne, maksymalne oraz odchylenia standardowe. Wyliczono współczynniki bioakumulacji (BF) według Harasimiuka [2006] oraz współczynniki translokacji (TF) według Bose i in. [2008] oznaczanych składników odżywczych. Istotność różnic w zawartości badanych pierwiastków w pędach *V. myrtillus* i *V. vitis-idaea* określono za pomocą nieparametrycznego testu U Manna-Whitneya. Do obliczeń wykorzystano program Statistica 7.1 (StatSoft, Inc.).

Wyniki

Największe ilości materii organicznej wykazywały podpoziomy organiczne Ol (96,6%) i Ofh (76,9%), a nieco mniejsze poziomy próchniczne A (tab. 1). Próbki glebowe charakteryzowały się odczynem kwaśnym zarówno w środowisku wodnym, jak i w roztworze chlorku potasu. Badane gleby SPN były skrajnie ubogie w azot, którego zawartość w podpoziomach Ol wynosiła średnio 7211,1 mg/kg, w podpoziomach Ofh – 7417,5 mg/kg oraz 251,7 mg/kg w poziomach A. Zawartość składników odżywczych była najwyższa w podpoziomach organicznych i malała w poziomach próchnicznych (tab. 1).

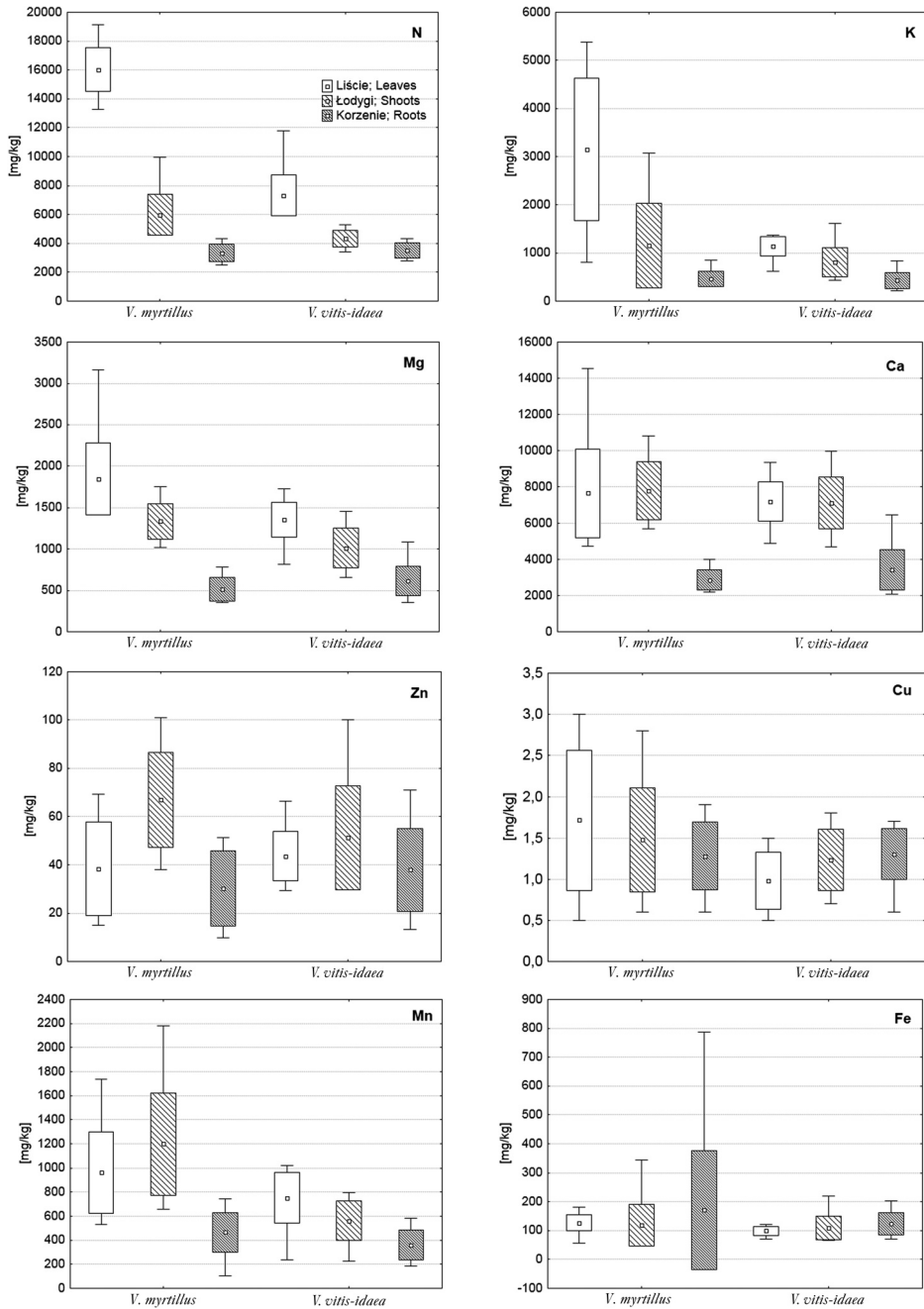
Skład chemiczny pędów badanych borówek był zróżnicowany w zależności od gatunku, fragmentu pędu oraz stanowiska. Zawartość azotu utrzymywała się średnio na poziomie od 3344,0 mg/kg w korzeniach do 16 025,8 mg/kg w liściach *V. myrtillus* oraz od 3510,6 mg/kg w korzeniach do 7331,2 mg/kg w liściach *V. vitis-idea*. Zawartość azotu w liściach i łodygach *V. myrtillus* była znacznie wyższa niż w przypadku *V. vitis-idaea* (ryc.), co wskazuje na zróżnicowane zapo-

Tabela 1.

Średnia ± odchylenie standardowe wybranych właściwości fizykochemicznych poziomu organicznego (Ol, Ofh) i próchnicznego (A) gleb

Mean ± standard deviation of selected physico-chemical properties of organic (Ol, Ofh) and humus (A) horizons of soil

	Ol	Ofh	A
OM [%]	96,6 ±0,02	76,9 ±0,2	3,1 ±0,01
pH (KCl)	4,4 ±0,2	3,8 ±0,2	4,4 ±0,3
pH (H ₂ O)	3,5 ±0,2	2,8 ±0,2	3,3 ±0,2
N [mg/kg]	7211,1 ±14,0	7417,5 ±22,0	251,7 ±0,9
K [mg/kg]	237,5 ±111,0	65,1 ±50,3	78,7 ±37,6
Mg [mg/kg]	634,8 ±156,5	565,3 ±112,3	476,9 ±105,7
Ca [mg/kg]	4798,0 ±1594,9	2172,6 ±841,1	310,2 ±85,7
Zn [mg/kg]	68,9 ±19,0	47,0 ±15,4	2,9 ±1,1
Cu [mg/kg]	0,80 ±0,14	0,90 ±0,29	0,09 ±0,03
Mn [mg/kg]	206,2 ±113,0	40,0 ±23,0	4,2 ±2,1
Fe [mg/kg]	469 ±505,0	1609 ±2161,1	346 ±120,0



Ryc.

Zawartość azotu, potasu, magnezu, wapnia, cynku, miedzi, manganu i żelaza w pędach *Vaccinium myrtillus* i *Vaccinium vitis-idaea*

Content of nitrogen, potassium, magnesium, calcium, zinc, copper, manganese and iron in the shoots of *Vaccinium myrtillus* and *Vaccinium vitis-idaea*

Punkt – średnia, pudełko – odchylenie standardowe, wąsy – minimum i maksimum
Point – mean, box – standard deviation, whiskers – minimum and maximum

trzebowanie badanych gatunków na ten pierwiastek. Korzenie obydwu gatunków borówek gromadziły zbliżone ilości azotu (tab. 2). Zawartość potasu utrzymywała się średnio na poziomie od 464,4 mg/kg w korzeniach do 3149,8 mg/kg w liściach *V. myrtillus* oraz od 427,1 mg/kg w korzeniach do 1137,5 mg/kg w liściach *V. vitis-idaea*. Podobne relacje stwierdzono również w przypadku magnezu. Większe ilości Mg występowały w liściach (1846,1 mg/kg) i łodygach (1336,1 mg/kg) *V. myrtillus* w porównaniu do liści (1353,0 mg/kg) i łodyg (1014,1 mg/kg) *V. vitis-idaea*. Zawartość wapnia utrzymywała się średnio na poziomie od 2867,2 mg/kg w korzeniach do 7654,6 mg/kg w liściach *V. myrtillus* oraz od 3427,3 mg/kg w korzeniach do 7209,7 mg/kg w liściach *V. vitis-idaea*.

Koncentracja mikrośladników w pędach badanych borówek była także zróżnicowana. Zawartość cynku utrzymywała się średnio na poziomie od 30,4 mg/kg w korzeniach do 101,0 mg/kg w łodygach *V. myrtillus* oraz od 38,0 mg/kg w korzeniach do 51,3 mg/kg w łodygach *V. vitis-idaea* (ryc.). Najwyższą zawartość Zn wykazywały łodygi, a najniższą korzenie badanych borówek. Zawartość manganu wynosiła średnio od 360,8 mg/kg w korzeniach do 752,2 mg/kg w liściach *V. vitis-idaea* oraz od 465,1 mg/kg w korzeniach do 1198,3 mg/kg w łodygach *V. myrtillus* (ryc.). Na terenie SPN zawartość miedzi utrzymywała się na poziomie od 0,98 mg/kg w liściach do 1,31 mg/kg w korzeniach *V. myrtillus* oraz od 1,28 mg/kg w korzeniach do 1,71 mg/kg w liściach *V. vitis-idaea* (ryc.). Wyższą zawartość Cu stwierdzono w liściach i łodygach *V. myrtillus*. W korzeniach obu badanych borówek stężenie Cu utrzymywało się na zbliżonym poziomie, co potwierdzają współczynniki bioakumulacji (tab. 2). Koncentracja żelaza wynosiła od 99,2 mg/kg w liściach do 124,1 mg/kg w korzeniach *V. vitis-idaea* oraz od 118,3 mg/kg w łodygach do 177,3 mg/kg w korzeniach *V. myrtillus*. Największa ilość żelaza występowała w korzeniach obu gatunków borówek.

Relacje pomiędzy pierwiastkami w pędach badanych borówek układały się w następujący sposób:

Vaccinium myrtillus:

Liście: N>Ca>K>Mg>Mn>Fe>Zn>Cu

Łodygi: Ca>N>Mg>Mn>K>Fe>Zn>Cu

Korzenie: N>Ca>Mg>Mn>K>Fe>Zn>Cu

Vaccinium vitis-idaea:

Liście: N>Ca>Mg>K>Mn>Fe>Zn>Cu

Łodygi: Ca>N>Mg>K>Mn>Fe>Zn>Cu

Korzenie: N>Ca>Mg>K>Mn>Fe>Zn>Cu

Tabela 2.

Współczynniki bioakumulacji (BF) i translokacji (TF) badanych składników w liściach (l), łodygach (s) i korzeniach (r) *Vaccinium myrtillus* (*V_m*) i *Vaccinium vitis-idaea* (*V_{v-i}*) oraz glebie (g)

Bioaccumulation (BF) and translocation (TF) factors for studied elements in the leaves (l), shoots (s) and roots (r) of *Vaccinium myrtillus* (*V_m*) and *Vaccinium vitis-idaea* (*V_{v-i}*) as well as soil (g)

	BF l/g		BF s/g		BF r/g		TF l/s		TF s/r	
	<i>V_m</i>	<i>V_{v-i}</i>	<i>V_m</i>	<i>V_{v-i}</i>	<i>V_m</i>	<i>V_{v-i}</i>	<i>V_m</i>	<i>V_{v-i}</i>	<i>V_m</i>	<i>V_{v-i}</i>
N	3,2	1,5	1,2	0,9	0,7	0,7	2,7	1,7	1,8	1,2
K	24,8	8,9	9,1	6,4	3,6	3,4	2,7	1,4	2,5	1,9
Mg	3,3	2,4	2,4	1,8	0,9	1,1	1,4	1,3	2,6	1,6
Ca	3,1	2,9	3,2	2,9	1,2	1,4	0,9	1,0	2,7	2,1
Zn	0,9	1,1	1,7	1,3	0,8	0,9	0,6	0,9	2,2	1,4
Cu	2,8	1,6	2,5	2,0	2,2	2,1	1,1	0,8	1,1	0,9
Mn	11,5	8,9	14,3	6,7	5,6	4,3	0,8	0,7	2,6	1,5
Fe	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	1,1	0,9	0,7	0,9

Stwierdzono istotne statystycznie różnice w zawartości N i Mg w liściach i łodygach, Zn i Mn w łodygach, a K, Cu i Fe w liściach badanych gatunków borówek (tab. 3). Różnice w akumulacji makro- i mikrośladników w korzeniach okazały się nieistotne statystycznie.

Dyskusja

Właściwości fizykochemiczne badanych gleb były ściśle uzależnione od poziomu genetycznego. Największą zasobność w składniki odżywcze wykazywały poziomy organiczne i próchniczne. Gleby Słowińskiego Parku Narodowego to ubogie gleby bielicowe wytworzone z głębokich piasków wydmowych [Tobolski i in. 1997]. Niewielką zawartość składników odżywczych w glebach SPN potwierdzają wcześniejsze wyniki Parzych i in. [2012] oraz Jonczaka i in. [2012]. Zawartość metali ciężkich w badanych glebach była ogólnie niska i utrzymywała się w granicach tła geochemicznego charakterystycznego dla każdego z badanych pierwiastków [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Na kształtowanie właściwości fizykochemicznych gleb w istotny sposób wpływa roślinność poprzez liczne systemy korzeniowe [Jonczak i in. 2012]. Rośliny pobierają składniki odżywcze w ilościach proporcjonalnych do ich stężenia w glebie [Pugnaire 2001; Parzych i in. 2012]. Zawartość makro- i mikrośladników w roślinach odzwierciedla stopień zaopatrzenia ich w składniki pokarmowe. Wyższa koncentracja azotu w liściach i łodygach niż w korzeniach roślin jest uwarunkowana zachodzącymi w nich procesami fotosyntezy [Starck 2006]. Korzenie obydwu gatunków borówek gromadziły podobne ilości azotu, na co wskazują wartości ich współczynników bioakumulacji $EF=0,7$ (tab. 2) oraz brak istotnej statystycznie różnicy (tab. 3). Spośród badanych składników odżywczych azot jest pobierany w największych ilościach, gdyż od niego zależy wzrost roślin w ekosystemach leśnych [Curtin, Wen 1999]. Większą zasobność pędów borówki czarnej w K i Mg w porównaniu do borówki bruszniczy wykazali również w swojej pracy Reimann i in. [2001]. Korzenie *V. vitis-idaea* akumulowały nieco większe ilości Mg i Ca niż korzenie *V. myrtillus*. Podobne zawartości wapnia w liściach *V. myrtillus* uzyskali na terenie Norwegii Uhlig i Junttila [2001].

Zawartość Zn, wynikająca z zapotrzebowania fizjologicznego, w nadziemnych pędach roślin mieści się w granicach od 15 do 80 mg/kg. Zawartość $Zn > 100$ mg/kg wskazuje na zanieczyszczenie środowiska tym pierwiastkiem [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Zauważono, że łodygi borówki czarnej kumulują dwukrotnie więcej manganu niż łodygi borówki bruszniczy (tab. 2). Według Kabaty-Pendias i Pendias [1999] zapotrzebowanie roślin na Mn w większości przypadków wynosi

Tabela 3.

Istotność (p testu U Manna-Whitneya) różnic zawartości badanych składników w pędach *Vaccinium myrtillus* i *Vaccinium vitis-idaea*

Significance (p in Mann-Whitney U test) of differences in the content of analyzed elements in the shoots of *Vaccinium myrtillus* and *Vaccinium vitis-idaea*

	Liście Leaves	Łodygi Stems	Korzenie Roots
N	0,000000	0,000018	0,427387
K	0,000013	0,376588	0,376588
Mg	0,000023	0,000765	0,112070
Ca	0,620867	0,310143	0,145619
Zn	0,376588	0,020250	0,171780
Cu	0,025885	0,251712	0,846694
Mn	0,133700	0,000004	0,069659
Fe	0,004210	0,779995	0,400494

10-25 mg/kg. Stężenie około 500 mg/kg jest zazwyczaj toksyczne dla większości roślin. Uzyskane wyniki wskazują na nadmierną kumulację manganu przez pędy *V. myrtillus*. Reimann i in. [2001] oraz Bylińska [1992] zauważyli, że pędy borówki czarnej wyróżniają się wysoką zawartością Mn, niezależnie od jego zawartości w glebie. Boyd [2007] określił tę krzewinkę jako akumulator manganu, gdyż jego stężenie w tkankach może przekraczać nawet 2000 mg/kg. Gworek i Degórski [2000] oraz Uhlig i Junttila [2001] wykazali, że *V. myrtillus* może gromadzić w swoich pędach ten pierwiastek w ilości odpowiednio 2489,0 i 2494 mg/kg, co potwierdza silne właściwości akumulacyjne tego gatunku w stosunku do manganu. Wyniki uzyskane na terenie SPN wskazują, iż cynk i mangan kumulują się w większych ilościach w łodygach niż w liściach *V. myrtillus* (ryc. 2), co potwierdzają wyniki badań uzyskane przez Kozanecką i in. [2002]. Krzewinki *V. myrtillus*, ze względu na podobieństwo do drzew liściastych zrzucających liście w okresie jesiennym, gromadzą większe ilości niektórych składników odżywczych w łodygach, a nie w liściach [Moszyńska 1983].

Niewielkie różnice w zawartości Cu w pędach nadziemnych i podziemnych *V. vitis-idaea* i *V. myrtillus* wskazują na małą mobilność tego pierwiastka. Na pokrycie potrzeb fizjologicznych większości roślin wystarczą około 2 mg/kg. Przeciętna zawartość Cu w nadziemnych pędach roślin wynosi 5-20 mg/kg i ulega dużemu zróżnicowaniu w zależności od części rośliny, stadium rozwojowego, odmiany i gatunku [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Zawartość Cu w pędach borówek ze SPN jest niewielka i wystarcza jedynie na pokrycie ich potrzeb fizjologicznych. W zależności od poziomu zanieczyszczeń koncentracja miedzi w pędach *V. myrtillus* może wynosić od 0,5 do 8,1 mg/kg [Gworek, Degórski 2000], od 7,0 do 11,0 mg/kg [Uhlig, Junttila 2001], a w pędach *V. vitis-idaea* od 6,7 do 10,4 mg/kg [Waroszewski i in. 2009].

Zbliżone ilości Fe do uzyskanych na terenie SPN stwierdzili w pędach borówki czarnej Mróz i Demczuk [2010] (120-217 mg/kg), Gworek i Degórski [2000] (95,0-104,0 mg/kg) oraz Uhlig i Junttila [2001] (50,0-90,0 mg/kg). Wyniki badań Lorek [1993] wskazują, że liście *V. vitis-idaea* mogą akumulować 367,0 mg/kg, a łodygi 299,0 mg/kg Fe. Zawartość żelaza w pędach różnych roślin najczęściej mieści się w granicach 10-400 mg/kg [Kabata-Pendias, Pendias 1999], a wartości >400 mg/kg uznawane są za nadmiar. 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 wybitną zdolnością do akumulacji żelaza.

Wszystkie analizowane makro- i mikroskładniki w największych ilościach akumulowały się w liściach i łodygach *V. myrtillus*, czego dowodem są wyższe wartości współczynników bioakumulacji niż w przypadku *V. vitis-idaea* (tab. 2). Natomiast korzenie *V. vitis-idaea* w większych ilościach akumulowały Mg, Ca i Zn. Współczynniki translokacji (TF) ilustrują mobilność analizowanych pierwiastków w relacji liść/łodyga i łodyga/korzeń. W przypadku badanych borówek największą mobilnością charakteryzowały się N i K (w relacji liść/łodyga) oraz Ca, Mg, Mn, K i Zn (w relacji łodyga/korzeń) (tab. 2). *V. vitis-idaea* w porównaniu do *V. myrtillus* wykazywała wyższe wartości współczynników translokacji jedynie w przypadku Ca i Zn w relacji liść/łodyga oraz Fe w relacji łodyga/korzeń. Spośród badanych pierwiastków żelazo i miedź charakteryzowały się najmniejszą mobilnością w tkankach roślin, na co wskazują również w swojej pracy Kabata-Pendias i Pendias [1999].

Zarówno *V. myrtillus*, jak i *V. vitis-idaea* wykazują stosunkowo dużą odporność na zanieczyszczenia środowiskowe [Taulavuori i in. 2013]. Niewielka koncentracja metali ciężkich w pędach badanych borówek jest odzwierciedleniem zawartości tych pierwiastków w glebach SPN [Parzych

i in. 2012; Parzych, Jonczak 2013; Parzych 2014b]. Słowiński Park Narodowy jest wciąż jednym z najczystszych parków w Polsce. Wskazują na to między innymi badania chemiczne leśnej roślinności wskaźnikowej [Bykowszczenko i in. 2006; Parzych 2014a, b]. Analiza akumulacji i rozmieszczenia makro- i mikroskładników w liściach, łodygach i korzeniach *V. myrtillus* i *V. vitis-idaea* pochodzących z terenu SPN uzupełnia dotychczasowy stan wiedzy na temat zdolności bioindykacyjnych badanych gatunków w stosunku do wybranych pierwiastków chemicznych. Prezentowane wyniki badań mogą być dobrym odniesieniem dla badań bioindykacyjnych prowadzonych na terenach leśnych będących pod wpływem zróżnicowanej presji antropogenicznej.

Wnioski

- ✦ Poziomy genetyczne gleb Słowińskiego Parku Narodowego charakteryzowały się odczynem kwaśnym i zróżnicowaną zawartością materii organicznej.
- ✦ Największa ilość makroskładników występowała w poziomach O1 i Ofh i malała wraz z głębokością.
- ✦ Zawartość metali ciężkich w badanych glebach była ogólnie niska i utrzymywała się w granicach tła geochemicznego, nie wykazując zanieczyszczenia tymi pierwiastkami.
- ✦ Krzewinki *V. myrtillus* charakteryzowały się większą zawartością azotu, potasu, magnezu, wapnia, manganu, żelaza i miedzi w liściach i łodygach niż w przypadku *V. vitis-idaea*, co jednoznacznie wskazuje na większe zapotrzebowanie tego gatunku na składniki odżywcze.
- ✦ Uzyskane wyniki wskazują, że cynk i mangan najsilniej akumulują się w łodygach *V. myrtillus*, miedź w liściach, a żelazo w korzeniach. W przypadku *V. vitis-idaea* stwierdzono, że Mn najsilniej akumuluje się w liściach, Zn w łodygach, a Cu i Fe w korzeniach.

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.
- Bose S., Chandrayan S., Rai V., Bhattacharyya A. K., Ramanathan A. L. 2008. Translocation of metals in pea plants grown on various amendment of electroplating industrial sludge. *Bioresource Technology* 99: 4467-4475.
- Boyd R. S. 2007. The defense hypothesis of elemental hyperaccumulation: status, challenges and new directions. *Plant and Soil* 293: 153-176.
- Bykowszczenko N., Baranowska-Bosiacka I., Bosiacka B., Kaczmarek A., Chlubek D. 2006. Determination of heavy metal concentration in mosses of Słowiński National park Rusing atomic absorption spectrometry and neutron activation analysis methods. *Polish Journal of Environmental Studies* 15 (1): 41-46.
- Bylińska E. 1992. Studia nad biogeochemią roślin w obszarze występowania złóż polimetalicznych w Rudawach Janowickich (Sudety). *Acta Universitatis Wratislaviensis, Prace Botaniczne* 50-71.
- Curtin D., Wen G. 1999. Organic matter fractions contributing to soil nitrogen, mineralization potential. *Soil Science Society of America Journal* 63: 410-415.
- Demeżuk 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.
- Gugńska-Fiedor W. 1994. Zmienność morfologiczna i chemiczna europejskich gatunków rodzaju *Vaccinium* L. *Rozprawy UMK, Toruń*.
- 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.
- Harasimiuk A. 2006. Bioakumulacji elementów w roślinach uprawnych i glebach. W: Richling A., Lechnio J. [red.]. *Z problematyki funkcjonowania krajobrazów nizinnych*. Wyd. UW, Warszawa. 239-254.
- Jonczak J. 2011. Struktura, dynamika i właściwości opadu roślinnego w 110-letnim drzewostanie bukowym z domieszką sosny i świerka. *Sylvan* 155 (11): 760-768.
- Jonczak J., Parzych A., Sobisz Z. 2012. Gleby i flora wykroczisk w zespole *Empetro nigri-Pinetum ericetosum* Słowińskiego Parku Narodowego. *Słupskie Prace Geograficzne* 12: 33-42.
- Kabata-Pendias A., Pendias H. 1999. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. PWN, Warszawa.

- Kandziora-Ciupa M., Ciepał 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.
- 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.
- Lorek E. 1993. Kierunki i dynamika zmian procesów degradacji środowiska pod wpływem antropopresji w rejonie Górnego Śląska. *Prace Naukowe AE w Katowicach, Katowice*.
- Moszyńska B. 1983. Some problems on ecology of *Vaccinium myrtillus* L. in pine forest communities. *Polish Ecological Studies* 9: 565-643.
- Mróz 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.
- Pająk M., Jasik M. 2012. Zawartość cynku, kadmu i ołowiu w owocach borówki czarnej (*Vaccinium myrtillus* L.) rosnącej w lasach Nadleśnictwa Świerklaniec. *Sylvan* 156 (3): 233-240.
- Parzych A. 2014a. Heavy metals accumulation in moss *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. and *Hylocomium splendens* (Hedw.) B.S.G. in the Słowiński National Park. *Journal of Elementology* 2: 471-482.
- Parzych A. 2014b. Zawartość wybranych metali ciężkich w glebie i w pędach *Vaccinium myrtillus* L. *Leśne Prace Badawcze* 75 (3): 217-224.
- Parzych A., Astel A., Trojanowski J. 2008. Fluxes of biogenic substances in precipitation and throughfall in woodland ecosystems of the Słowiński National Park. *Archives of Environmental Protection* 34 (2): 13-24.
- Parzych A., Jonczak J. 2013. Content of heavy metals in needles of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in selected of pine forest in the Słowiński National Park. *Archives of Environmental Protection* 1 (39): 41-51.
- 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., Trojanowski J. 2012. Prognosis content of heavy metals in soil and herbaceous plants in selected of pine forest in the Słowiński National Park. *Archives of Environmental Protection* 4 (38): 35-47.
- Porębska G., Ostrowska A. 1999. Chemizm roślin z terenów składowania odpadów. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 15: 81-98.
- Pugnaire F. I. 2001. Variability of inorganic nutrient concentrations in leaves. *New Phytologist* 150: 499-507.
- Reimann C., Niskavaara H., Kashulina G., Filzmoser P., Boyd R., Volden T., Tomilina O., Bogatyrev I. 2001. Critical remarks on the use of terrestrial moss (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) for monitoring of airborne pollution. *Environmental Pollution* 113: 41-57.
- Salemaa M., Derome J., Helmisaari H. S., Nieminen T., Vanha-Majamaa I. 2004. Element accumulation in boreal bryophytes, lichens and vascular plants expose to heavy metal and sulfur deposition in Finland. *Science of the Total Environment* 324: 131-160.
- Starck Z. 2006. Różnorodność funkcje węgla i azotu w roślinach. *Kosmos* 55 (2-3): 243-257.
- Taulavuori K., Laine K., Taulavuori E. 2013. Experimental studies on *Vaccinium myrtillus* and *Vaccinium vitis-idaea* in relation to air pollution and global change at northern high latitudes: A review. *Environmental and Experimental Botany* 87: 191-196.
- Tobolski K., Mocek A., Dzieciółowski W. 1997. Gleby Słowińskiego Parku Narodowego w świetle historii roślinności i podłoża. *Wyd. Homini, Bydgoszcz – Poznań*.
- Uhlig 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.
- Waroszewski J., Hareczuk M., Kabała C. 2009. Przestrzenne gradienty zawartości pierwiastków śladowych w borówce brusznicy i poziomach organicznych gleb Sudetów i Karpat. *Roczniki Gleboznawcze* 60 (2): 108-116.
- 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.