

MAREK PAJĄK, MICHAŁ JASIK

Zawartość cynku, kadmu i ołowiu w owocach borówki czarnej (*Vaccinium myrtillus* L.) rosnącej w lasach Nadleśnictwa Świerklaniec

Concentration of zinc, cadmium and lead in the fruits of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) growing in the Świerklaniec Forest District

ABSTRACT

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.

The purpose of this study was to determine the concentrations of heavy metals (Zn, Pb, Cd) in the fruits of bilberry growing in the forests of the Świerklaniec Forest District. The conducted analysis shows high concentration of heavy metals in the bilberry fruits. Content of lead exceeded the admissible limits by even 50 times and of cadmium by 20 times.

KEY WORDS

heavy metals, bilberry, forest environment, contamination

ADDRESSES

Marek Pająk – e-mail: rlpajak@cyf-kr.edu.pl
Michał Jasik

Katedra Ekologii Lasu; Uniwersytet Rolniczy; Al. 29 Listopada 46; 31-425 Kraków

Wstęp

Dziko rosnące owoce są wysoko cenione ze względu na obecność łatwo przyswajalnych cukrów prostych, kwasów organicznych, pektyn, błonnika i witamin. Ponadto ich smak i duże zróżnicowanie w kolorystyce są zaletą zarówno w bezpośrednim spożyciu, jak i w przetwórstwie [Barszcz 2000]. Owoce borówki czarnej rosną w ekosystemach leśnych, które pełnią rolę najlepszego filtru i pochłaniacza zanieczyszczeń powietrza. Las ma zdolność wyłączenia z obiegu czasem nawet na bardzo długi okres metali ciężkich, które ulegają akumulacji w jego komponentach. Nadmierna koncentracja pierwiastków śladowych powoduje destabilizację tego układu, co poza stratami gospodarczymi ma dużo poważniejsze znaczenie związku z pełnieniem przez las szeroko pojętych funkcji pozaprodukcyjnych [Ciepał 1992]. Jak podają Kram i in. [1998], opad ołowiu pod drzewostanem jest wyraźnie wyższy niż na powierzchni otwartej. Poznanie zawartości szkodliwych substancji, np. metali ciężkich, będących wynikiem między innymi oddziaływanie przemysłu, może mieć duże znaczenie praktyczne przez określenie przydatności, możliwości i zakresu wykorzystania zasobów runa ze środowisk o zróżnicowanych wpływach antropogenicznych. W przypadku podjęcia badań monitoringowych w obrębie całego kraju, można by wskazać obszary o niskim stopniu skażenia, skąd pozyskanie i spożywanie owoców runa leśnego byłoby dopuszczalne i bezpieczne [Barszcz 2000]. Badania dotyczące metali ciężkich w roślinach runa skupiają się głównie na ocenie ich stopnia akumulacji, ale przykładowo w Finlandii analizowano również aktywność promieniotwórczą ołowiu ²¹⁰Pb [Vaaramaa i in. 2009]. Szczególnie ważnym

wyduje się to, aby badaniami monitoringowymi objąć miejsca aktywnego wypoczynku społeczności wielkich aglomeracji miejskich. Takim obiektem są lasy Nadleśnictwa Świerklaniec zlokalizowane na północy Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego.

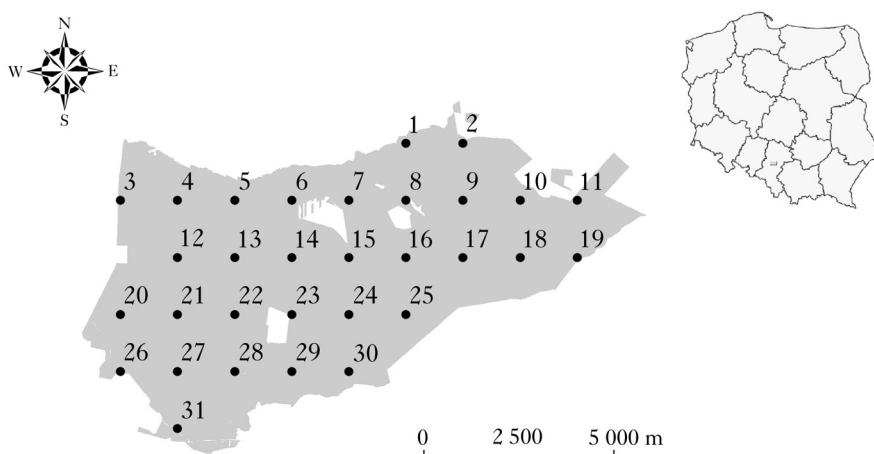
Celem niniejszej pracy było określenie stopnia kumulacji metali ciężkich (Zn, Pb, Cd) w owocach borówki czarnej rosnącej w lasach Nadleśnictwa Świerklaniec.

Materiał i metody

Prace badawcze zostały przeprowadzone na terenie Nadleśnictwa Świerklaniec w obrębie Brynica, który znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie zakładu metalurgicznego Huta Cynku „Miasteczko Śląskie” (HCMS). Jesienią 2008 roku założono 31 powierzchni badawczych o wymiarach 10×10 m w regularnej siatce kwadratów (ryc. 1). Powierzchnie te zostały usytuowane na północny wschód i wschód od emitora zgodnie z kierunkiem panujących wiatrów. Siatkę starano się tak nałożyć na teren badań, aby powierzchnie były zlokalizowane na dominujących typach siedliskowych lasu, tj. borze mieszanym wilgotnym i borze mieszanym świeżym. Powierzchnie badawcze założono w przeważającej większości na glebach bielcowych właściwych i glejo-bielcowych właściwych. Dominowały na nich drzewostany od II do IV klasy wieku [Plan... 2004]. W terenie powierzchnie odnaleziono za pomocą odbiornika GPS, a następnie je zastabilizowano. Na każdej z nich dokonano poboru próbek warstwy ściółki (Olfh) i gleby (0-20 cm). Zebrano również owoce borówki czernicy (*Vaccinium myrtillus*). Zebrane próbki przewieziono do laboratorium, gdzie oznaczono w nich zawartości metali ciężkich (Pb, Zn, Cd) przy użyciu spektrofotometru atomowego AA 20 Varian. Przed oznaczeniem metali ciężkich próbki spalano w 60% HClO₄. Przeprowadzono również analizę statystyczną (porządek rang Spearmana) w programie Statistica 8.0 oraz w programie ArcMap wykonano zobrazowanie graficzne.

Wyniki

Wierzchnie warstwy gleb leśnych na badanym terenie w przeważającej większości zbudowane były z utworów o składzie granulometrycznym piasku słabo gliniastego oraz piasku gliniastego (lekkiego i mocnego). Wartość pH w H₂O w analizowanej warstwie gleby kształtowała się od



Ryc. 1.

Lokalizacja powierzchni badawczych na terenie Obrębu Brynica Nadleśnictwa Świerklaniec
Location of the research plots in the Brynica forests, the Świerklaniec Forest District

3,35 do 4,71. W warstwie ścioly wynosiła od 3,60 do 4,80 [Pająk, Jasik 2010]. Zawartość metali ciężkich w ściolie oraz wierzchniej warstwie gleby kształtowała się na poziomie od 0,35 ppm do 11,45 ppm (kadmu) oraz od 32,05 ppm do 709,05 ppm (ołów) (tab. 1). Owocujące krzewinki borówki czarnej występowały na 23 powierzchniach badawczych.

Średnia zawartość cynku w analizowanych owocach borówki wynosiła 14,47 ppm (tab. 2). Najwyższą zawartość oznaczono w próbkach pobranych z powierzchni 20 i 21, gdzie wynosiła ona odpowiednio około 25 i 20 ppm. Najniższą wartość odnotowano na powierzchni 16 (11,1 ppm). Stężenie cynku w owocach borówki na poszczególnych powierzchniach cechował najniższy z otrzymanych współczynnik zmienności (20,70%). Nie wykazano ścisłej korelacji zawartości cynku w owocach borówki z zawartością poszczególnych metali w glebie, ale stwierdzono ją w przypadku związku z zawartością badanych pierwiastków w ściolie (tab. 3). Zaobserwowano zmniejszenie zawartości cynku w owocach borówki wraz ze zwiększeniem się odległości od emitora zanieczyszczeń (ryc. 2).

Zawartość ołowiu w owocach borówki czarownicy kształtowała się od 0,65 ppm na powierzchni nr 29 do 9,80 ppm na powierzchni 20. Średnie stężenie tego pierwiastka dla całego obrębu oznaczono na poziomie 2,94 ppm (tab. 2). Zawartość ołowiu w borówce nie wykazała istotnej korelacji z odległością od emitora (ryc. 3, tab. 3). Stężenie ołowiu w owocach borówki wykazało się istotnym powiązaniem tylko względem zawartości Cd i Zn w borówce (tab. 3).

Najwyższe stężenie kadmu w owocach borówki, podobnie jak w przypadku cynku, odnotowano na powierzchniach 20 i 21 (odpowiednio 1,2 i 1,15 ppm). Najniższą wartość określono w owocach pobranych z powierzchni 3 i 17 (0,05 ppm). Średnia zawartość tego pierwiastka to 0,44 ppm (tab. 2). Poziom kadmu w owocach borówki był najslabiej skorelowany z zawartością badanych metali ciężkich w glebie. Najsilniejszym powiązaniem wykazał się wobec zawartości kadmu w ściółce (tab. 3). Zmianę stężenia kadmu w owocach borówki czarownicy na terenie badań przedstawia rycina 4.

Dyskusja

Metale ciężkie stanowią bardzo duże potencjalne zagrożenia dla środowiska przyrodniczego, ponieważ łatwo ulegają włączeniu do obiegu pierwiastków w łańcuchu troficznym oraz posiadają zdolność kumulowania się w różnych komponentach ekosystemu. Jak podają Zwoliński [1999] i Panek [2000], najwyższą koncentrację metali ciężkich w ekosystemach leśnych wykazują warstwy organiczne gleb leśnych. Stężenie metali ciężkich oznaczone w wierzchnich warstwach gleb Nadleśnictwa Świerkianiec [Pająk, Jasik 2010] przekracza znacznie wartości uzyskane w terenach uznawanych za nieskażone. W Puszczy Białowieskiej, gdzie badania przeprowadzili Gancarczyk-Gola i Palowski [2005], stężenie metali ciężkich oznaczone w wierzchnich warst-

Tabela 1.

Zawartość [ppm] cynku, kadmu i ołowiu w ściolie oraz wierzchniej warstwie gleby obrębu Brynica
Zinc, cadmium and lead concentration [ppm] in the litter and topsoil in the Brynica forests

	Badany komponent	Minimum	Maksimum	Średnia	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności [%]
Zn	ściola	137,75	2542,00	532,89	466,39	87,52
	gleba	11,06	524,46	117,43	126,16	107,43
Cd	ściola	3,30	83,00	15,16	16,85	111,18
	gleba	0,35	11,45	2,93	2,63	89,76
Pb	ściola	151,85	2108,35	527,29	415,40	78,78
	gleba	32,05	709,05	176,64	175,78	99,51

Tabela 2.

Odległość powierzchni badawczych od HCMŚ [km] oraz stężenie [ppm] metali ciężkich w owocach rosnącej tam borówki czarnej

Distance of the study plots from the zinc plant HCMŚ [km] and concentration [ppm] of heavy metal in bilberry *Vaccinium myrtillus* fruits growing there

Nr powierzchni	Odległość	Zn	Cd	Pb
3	5,0	14,95	0,05	1,95
5	6,5	16,40	0,55	2,55
6	7,6	13,80	0,10	2,00
7	8,7	11,35	0,10	1,10
9	11,4	14,20	0,25	3,20
10	12,7	11,50	0,25	3,55
12	4,4	16,25	0,60	2,45
13	5,5	14,55	0,55	0,80
14	6,7	15,40	0,35	1,85
15	8,0	12,35	0,25	2,05
16	8,4	11,10	0,45	2,25
17	10,8	12,60	0,05	2,00
18	12,2	12,60	0,30	5,75
19	13,7	12,50	0,40	3,55
20	2,5	24,45	1,20	9,80
21	3,3	19,65	1,15	5,00
22	4,6	15,60	0,65	3,60
23	6,0	15,55	0,55	2,80
24	7,5	12,50	0,30	1,95
25	8,9	12,50	0,55	1,40
27	2,8	16,50	0,75	5,80
29	5,7	13,15	0,40	0,65
30	7,2	13,40	0,40	1,50
Minimum		11,10	0,05	0,65
Maksimum		24,45	1,20	9,80
Średnia		14,47	0,44	2,94
Odchylenie standardowe		3,00	0,30	2,05
Współczynnik zmienności [%]		20,70	67,84	69,96

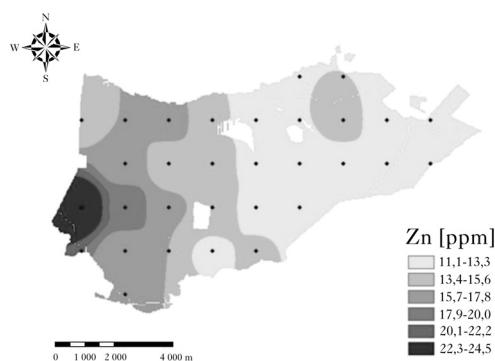
Tabela 3.

Wzajemne korelacje zawartości metali ciężkich w owocach borówki, w ściocie i glebie oraz odległości od emitora

Cross-correlations of heavy metal content in bilberry fruits, in litter and topsoil as well as distance from the zinc plant

	Owoce			Ściota			Gleba		
	Zn	Cd	Pb	Zn	Cd	Pb	Zn	Cd	Pb
Odległość od emitora	-0,802*	-0,661*	-0,167	-0,841*	-0,920*	-0,812*	-0,600*	-0,407*	-0,411*
Zawartość w owocach borówki									
Zn		0,671*	0,481*	0,794*	0,848*	0,653*	0,414*	0,263	0,358
Cd			0,481*	0,520*	0,659*	0,536*	0,380	0,199	0,460*
Pb				0,234	0,221	0,279	0,240	0,175	0,196

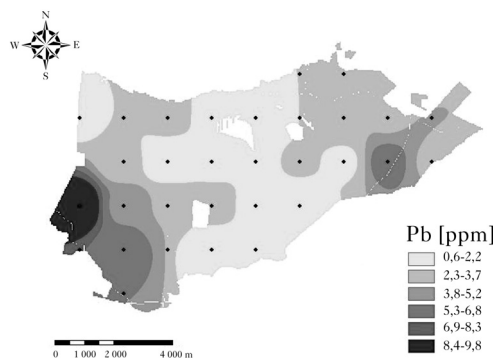
* istotne na poziomie p=0,05; significant at p=0,05



Ryc. 2.

Stężenie cynku w owocach borówki czarnej w obrębie Brynica w Nadleśnictwie Świerklaniec

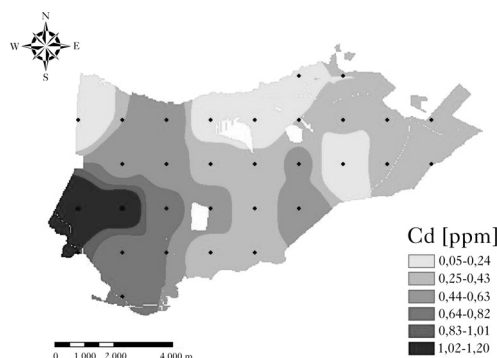
Zinc concentration in bilberry fruits in the Brynica forests, the Świerklaniec Forest District



Ryc. 3.

Stężenie ołowiu w owocach borówki czarnej w obrębie Brynica w Nadleśnictwie Świerklaniec

Lead concentration in bilberry fruits in the Brynica forests, the Świerklaniec Forest District



Ryc. 4.

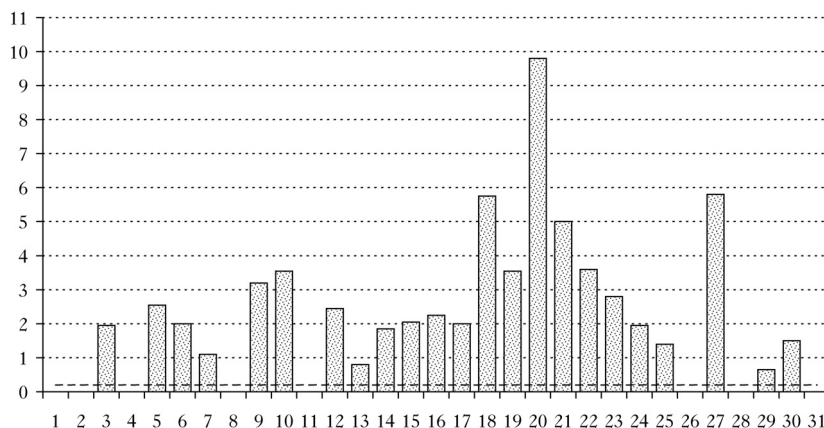
Stężenie kadmu w owocach borówki czarnej w obrębie Brynica w Nadleśnictwie Świerklaniec

Cadmium concentration in bilberry fruits in the Brynica forests, the Świerklaniec Forest District

wach gleby mieściło się w zakresach: 1,86-10,32 dla Pb i 0,81-1,61 dla Cd. Są to wartości kilka (kadm), a nawet kilkadziesiąt razy (ołów) niższe od oznaczonych w Nadleśnictwie Świerklaniec. Przeprowadzona analiza korelacji zawartości metali ciężkich w poziomach organicznych na badanym terenie wykazała wyraźną zmianę kumulacji wszystkich badanych pierwiastków wraz z odległością od emitora. Na powierzchniach oddalonych ponad 10 km od huty stwierdzono 10-krotnie mniej ołowiu, niemal 20-krotnie mniej cynku i 25-krotnie mniej kadmu niż na powierzchniach zlokalizowanych do 2,5 km od huty [Pająk, Jasik 2010]. Podobnie zależności w swoich badaniach uzyskał Zwoliński [1999]. W badaniach przeprowadzonych na liściach *Vaccinium myrtillus* w odległości 10-13 km od huty miedzi w Głogowie, stwierdzono około trzykrotnie wyższe stężenia Pb i Cd w porównaniu do terenów niezanieczyszczonych [Mróz, Demczuk 2010].

Badanie wartości pH pobranych próbek glebowych pokazało dość jednoznacznie, iż na wszystkich powierzchniach badanego obszaru mamy do czynienia z glebami kwaśnymi [Pająk, Jasik 2010]. Zwiększa to jeszcze zagrożenie ekologiczne, gdyż jak podają Alloway i Ayres [1999] metale ciężkie w środowiskach glebowych charakteryzujących się niskimi wartościami pH stają się bardziej dostępne biologicznie i stanowią istotny problem. Jak podkreślają Kabata-Pendias i Pendias [1999], wzrost zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi może stanowić poważny problem, gdyż pobierane przez rośliny pierwiastki śladowe zostają włączone do łańcucha pokarmowego człowieka.

Jak wykazała analiza stężenia badanych metali ciężkich, a w szczególności ołowiu i kadmu, w owocach borówki *Vaccinum myrtillus*, człowiek korzystający z płodów runa leśnego badanego obszaru powinien czuć się zagrożony. Porównując poziom ołowiu i kadmu w owocach borówki z terenu badań z zaleceniami Ministra Zdrowia [Rozporządzenie... 2003], wartości dopuszczalne nie są przekroczone tylko na dwóch powierzchniach w przypadku kadmu (na obu powierzchniach są to wartości graniczne). Przekroczenie wartości dopuszczalnej dla kadmu w owocach borówki (0,05 ppm) były nawet 20-krotne. Zawartość ołowiu wykazała, że żadna z badanych próbek nie spełniała norm, a wartość dopuszczalna dla owoców jagodowych (0,20 ppm) była przekroczona od 3 do niemal 50 razy (ryc. 5). Jeszcze wyższą zawartość metali ciężkich w owocach borówki brusznicy z okolic Olkusza przedstawiła Kaźmierczakowa [1975]. Autorka oznaczyła tam przeciętnie 11,5 ppm ołowiu (maks. 15 ppm) oraz przeciętnie 45 ppm cynku (maks. 70 ppm), nie stwierdzając wpływu odległości od zakładu emitującego zanieczyszczenia na różnicowanie się poziomu akumulacji metalu w badanych próbkach. Stwierdzenie to jest zgodne z wynikami przeprowadzonych badań w Nadleśnictwie Świerklaniec, gdzie również dla kadmu i ołowiu nie wykazano zależności wraz z odległością od emitora zanieczyszczeń. Jedynie dla zawartości cynku w owocach borówki wykazano istotną zależność zawartości tego pierwiastka wraz z odległością od emitora zanieczyszczeń. Muszyński i Muszyński [1997] badając owoce borówki czernicy z terenów RDLP Wrocław, Katowice i Lublin podają przeciętną zawartość ołowiu na poziomie 1,72 ppm, cynku – 14,3 ppm i kadmu – 0,51 ppm. Dane zamieszczone w pracy nie odzwierciedlają jednak lokalnego zróżnicowania składu chemicznego owoców zależnie od odległości od



Ryc. 5.

Stężenie ołowiu w owocach borówki czernicy na poszczególnych powierzchniach badawczych (słupki) oraz dopuszczalna zawartość tego pierwiastka (linia [Rozporządzenie... 2003])

Lead concentration in bilberry fruits on individual research plots (bars) and its admissible limit (line [Rozporządzenie... 2003])

głównych emitatorów zanieczyszczeń. Wpływ na wyniki cytowanych badań miały głównie analizy z terenu RDLP Wrocław (Nadleśnictwa Szklarska Poręba i Świeradów), skąd pochodziło prawie 90% próbek i gdzie wpływ zanieczyszczeń przemysłowych jest również bardzo silny. Oznaczonego poziomu akumulacji badanych metali ciężkich w owocach borówki czernicy z obrębu Brynica Nadleśnictwa Świerklaniec wskazuje na poważne zagrożenie dla ludzi chcących zasmakować owoców lasu.

Wnioski

- ✦ Analiza zawartości pierwiastków śladowych (Zn, Pb, Cd) w wierzchnich warstwach badanych gleb (0-20 cm) wykazała wysoki stopień ich zanieczyszczenia. Ponadto warstwy te są zbudowane w zdecydowanej większości z utworów piaszczystych oraz charakteryzują się niską wartością pH. Właściwości te wskazują na potencjalnie duże zagrożenie tych gleb na skutek zanieczyszczenia metalami ciężkimi.
- ✦ Stwierdzono wyraźne przekroczenie dopuszczalnych zawartości ołowiu (nawet 50-krotnie) i kadmu (nawet 20-krotnie) w owocach borówki rosnących w lasach Nadleśnictwa Świerklaniec, co zgodnie z zaleceniami Ministra Zdrowia może stanowić zagrożenie dla osób je spożywających.
- ✦ W świetle przeprowadzonych badań wydaje się, że bardzo ważnym jest, aby badania monitoringowe, dotyczące poziomu zanieczyszczenia metalami ciężkimi środowiska leśnego, obejmowały również elementy runa (np. jagody, grzyby). Takie badania pozwoliłyby wskazać tereny silnie zanieczyszczone oraz regiony o niskim stopniu skażenia, skąd spożywanie owoców i grzybów jest w myśl przepisów dopuszczalne i bezpieczne.

Literatura

- Alloway B. J., Ayres D. C. 1999. Chemiczne podstawy zanieczyszczeń środowiska. PWN, Warszawa.
- Barszcz A. 2000. Wartość użytkowa runa elementem waloryzacji zasobów leśnych o zróżnicowanych wpływach antropogenicznych. Stan i perspektywy badań z zakresu użytkowania lasu. IBL, Warszawa. 382-392.
- Ciepał R. 1992. Przenikanie S, Pb, Cd, Zn, Cu i Fe do biomasy oraz gleby ekosystemu leśnego (na przykładzie wschodniej części województwa katowickiego) znaczenie bioindykacyjne. Katowice.
- Gancarczyk-Gola M., Pałowski B. 2005. Metale ciężkie i pH powierzchniowych warstw gleby wokół centrów przemysłowych oraz na terenach wolnych od zanieczyszczenia. Roczniki Gleboznawcze 56 (1/2): 59-66.
- Kabata-Pendias A., Pendias H. 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa.
- Kaźmierczakowa R. 1975. Correlation between amount of industrial dust fall and the lead and zinc accumulation in some plant species. Bull. Acad. Pol. Sc., Ser. Sc. Biol. 23 (9): 611-621.
- Kram K. J., Stachurski A., Zimka J. R. 1998. Evaluation of zinc, lead, cadmium and copper input in bulk precipitation and throughfall in some forest ecosystems of Karkonosze Mts and Kampinos forest. Trace elements – Effects on Organisms and Environment. Cieszyn.
- Mróz L., Demezuk M. 2010. Content of phenolic and chemical elements in bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) leaves from copper smelter area (SW Poland). Polish Journal of Ecology 58 (3): 475-486.
- Muszyński Z., Muszyński J. 1997. Wpływ zanieczyszczeń przemysłowych na leśne surowce niedrzewne. Post. Tech. Leśn. 63: 11-17.
- Pająk M., Jasik M. 2010. Poziom akumulacji cynku, kadmu i ołowiu w wierzchniej warstwie gleb leśnych w sąsiedztwie huty cynku „Miasteczko Śląskie”. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego 137, seria Inżynieria środowiska 17: 112-122.
- Panek E. 2000. Metale śladowe w glebach i wybranych gatunkach roślin obszaru polskiej części Karpat. IGSMiE PAN, Kraków.
- Plan Urządzenia Lasu Nadleśnictwa Świerklaniec na okres gospodarczy 1.01.2004 do 31.12.2013. 2004. RDLP w Katowicach.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 stycznia 2003 roku w sprawie maksymalnych poziomów zanieczyszczeń chemicznych i biologicznych, które mogą znajdować się w żywności, składnikach żywności, dozwolonych substancjach dodatkowych, substancjach pomagających w przetwarzaniu albo na powierzchni żywności. 2003. Dz. U. z 2003r. Nr 37 poz. 326.

- Vaaramaa K., Solatie D., Aro L. 2009. Distribution of ^{210}Pb and ^{210}Po concentrations in wild berries and mushrooms in boreal forest ecosystems. *Science of the Total Environment* 408 (1): 84-91.
- Zwoliński J. 1999. Zmiany zawartości metali ciężkich oraz aktywności mikrobiologicznej w glebach borów sosnowych na terenie Polski południowo-zachodniej w latach 1988-1997. *Prace IBL, ser. A* 872: 104-118.

SUMMARY

Concentration of zinc, cadmium and lead in the fruits of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) growing in the Świerklaniec Forest District

The research was conducted in the Brynica forests in the Świerklaniec Forest District, located in the immediate vicinity of the Miasteczko Śląskie Zinc Plant (HCMŚ). In autumn 2008, 31 research plots were established in the research area on a regular 1500×1500m grid (fig. 1). The research plots were located northeast and east of the emitter, towards the prevailing winds. Samples from the litter layer (O_{1h}), soil (0-20 cm) and bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) fruits were taken from each plot. Heavy metals (Pb, Zn, Cd) were detected in the collected material using an atomic absorption spectrophotometer Varian AA 20.

The performed analysis showed significant contamination of the forest environment by heavy metals (tab. 1-3, fig. 2-4). Content of lead in the fruits of bilberry growing in the forests of the Świerklaniec Forest District were found to exceed the admissible limit even 50 times (fig. 5) and of cadmium – 20 times, which according to the regulations of the Ministry of Health may pose a threat to consumers.