

## ZAWARTOŚĆ CYNKU, OŁOWIU I KADMU W PODGRZYBKU BRUNATNYM (*XEROCOMUS BADIUS* (FR.) E.) ZEBRANYM W SILNIE ZANIECZYSZCZONYM KOMPLEKSIE LEŚNYM

Marek Pająk<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Zakład Ekologii Lasu i Rekultywacji, Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie, Al. 29-ego Listopada 46, 31-425 Kraków, e-mail: rlpajak@cyf-kr.edu.pl

### STRESZCZENIE

Prace badawcze zostały przeprowadzone na terenie Nadleśnictwa Świerklaniec Obręb Brynica, który znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie zakładu metalurgicznego, jakim jest Huta Cynku „Miasteczko Śląskie” (HCMŚ). Jesienią 2008 roku na przedmiotowym terenie założono 31 stałych powierzchni badawczych w regularnej siatce kwadratów 1500×1500 m. Powierzchnie badawcze zostały usytuowane na północny wschód i wschód od emitora (HCMŚ), zgodnie z kierunkiem panujących wiatrów. We wrześniu 2013 r. oraz wrześniu i październiku 2014 r. na powierzchniach tych dokonano zbioru owocników podgrzybka brunatnego (*Xerocomus badius* (Fr.) E.). W pobranym materiale oznaczono zawartości metali ciężkich (Zn, Pb, Cd) techniką spektrometrii emisyjnej z wzbudzeniem plazmowym ICP-AES. Celem niniejszej pracy było określenie poziomu kumulacji wybranych metali ciężkich (Zn, Pb, Cd) w podgrzybku brunatnym lasów obrębu Brynica Nadleśnictwa Świerklaniec oraz ich korelacji pomiędzy zawartością w glebie i badanych grzybach. Przeprowadzona analiza zawartości wybranych metali ciężkich w badanym gatunku grzybów wykazała, że stopień zanieczyszczenia owocników Cd, Pb i Zn jest na powierzchniach badawczych obrębu Brynica bardzo wysoki. Stwierdzono bardzo wyraźne przekroczenie dopuszczalnych norm określających maksymalną zawartość szkodliwych pierwiastków w grzybach, zwłaszcza w odniesieniu do Cd.

**Słowa kluczowe:** grzyby jadalne, zanieczyszczenie środowiska, metale ciężkie

## THE CONTENT OF ZINC, LEAD AND CADMIUM IN BAY BOLETE (*XEROCOMUS BADIUS* (FR.) E.) COLLECTED FROM A STRONGLY POLLUTED FOREST COMPLEX

### ABSTRACT

The research was carried out in the Świerklaniec Forest District, the Brynica sub-district, which is located in the immediate vicinity of a metallurgical plant, a zinc mine named Huta Cynku “Miasteczko Śląskie” (HCMŚ). In autumn 2008, in the area in question, 31 permanent trial plots were established, aligned within a regular net of squares, with dimensions of 1500×1500 m. The trial plots were located to the north-east and to the east of the emitter (the HCMŚ zinc mine), accordingly with the direction of prevailing winds. In September 2013, and September and October 2014, sporocarps of bay bolete (*Xerocomus badius* (Fr.) E.) were collected from the trial plots. The analyses performed for the material gathered covered a determination of heavy metal content in mushrooms (Zn, Pb and Cd), using a method of inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy ICP-AES. This paper aimed to establish the accumulation levels of selected heavy metals (Zn, Pb and Cd) in bay bolete growing in forests of the Brynica sub-district, in the Świerklaniec Forest District, and the correlation between their content in soil and in the mushrooms under scrutiny. The analyses revealed that the contamination degree in the investigated species was extremely high. The content of toxic elements in bay bolete significantly exceeded the acceptable standards referring to the maximum content of heavy metals in mushrooms, which was particularly true for cadmium.

**Keywords:** edible mushrooms, environmental pollution, heavy metals

## WSTĘP

Grzybobranie w Polsce jest bardzo popularną formą spędzania wolnego czasu. Polacy podobnie jak inni Słowianie bardzo chętnie zbierają i zjadają grzyby leśne. Grzyby są popularnym oraz cennym surowcem spożywczym, przetwarzanym w naszym kraju w dużych ilościach w skali domowej oraz przemysłowej [Sas-Golak i in. 2011, Ankudo-Janowska, Glura 2013]. Należą one do grupy żywności, która szczególnie łatwo przyswaja metale ze środowiska. Wielu autorów wskazuje na ich duże zdolności bioindykacyjne [Kalač i in. 1996, Falandysz i in. 2001, Falandysz i in. 2002]. W zależności od gatunku, grzyby pobierają z gleby znacznie więcej substancji odżywczych (w tym metali ciężkich) niż rośliny zielone [Kalač, Svoboda 2000]. W dużym stopniu procesy wchłaniania z podłoża, transportu wewnętrznego oraz gromadzenia są zależne od czynników genetycznych i środowiskowych. Te ostatnie to przede wszystkim: odczyn gleby, uziarnienie, zawartości materii organicznej, aktywności enzymów, stopnia rozwoju osobniczego oraz dostępności metali [Kabata-Pendias, Piotrowska 1984, Gambuś, Rak 2000, Karmańska, Wędzisz 2010]. Szczególnie dużym problemem i zagrożeniem dla zdrowia ludzi jest wysoka zawartość w składzie chemicznym grzybów cynku, kadmu, ołowiu, rtęci, arsenu i siarki [Adamiak i in. 2013]. Ponadto wielu badaczy zwraca uwagę na fakt, iż grzyby mają zdolność wchłaniania z podłoża i nagromadzenia w swoich owocnikach licznych pierwiastków śladowych w stężeniach znacznie przekraczających to, jakie charakteryzuje podłoże, na którym wyrosły [Gast i in. 1988, Kalač i in. 1996, Kalač, Svoboda 2000]. Ostrożni w zbiorze i konsumpcji grzybów, powinniśmy być w rejonach, gdzie przez dziesiątki, a nawet setki lat wydobywano i przetwarzano rudy metali, doprowadzając do silnego skażenia środowiska tymi pierwiastkami. Do terenów takich należy rejon Olkusko – Tarnogórski (południowa Polska) gdzie od wieków wydobywa się i przetwarza rudy cynkowo-ołowiowe. Wprowadzone do obiegu metale ciężkie kumulują się tam w glebach, tkankach roślinnych i zwierzęcych [Ullrich i in. 1999; Krzaklewski i in. 2004; Pająk, Jasik 2011; Pająk, Jasik 2012; Chrastny i in. 2012; Gruszecka, Wdowin 2013; Pająk i in. 2015a,b].

Celem badań było określenie poziomu kumulacji Zn, Pb, Cd w podgrzybku brunatnym zebranym w lasach obrębu Brynica Nadleśnictwa

Świerklaniec oraz korelacji pomiędzy zawartością badanych metali w glebie i badanych grzybach.

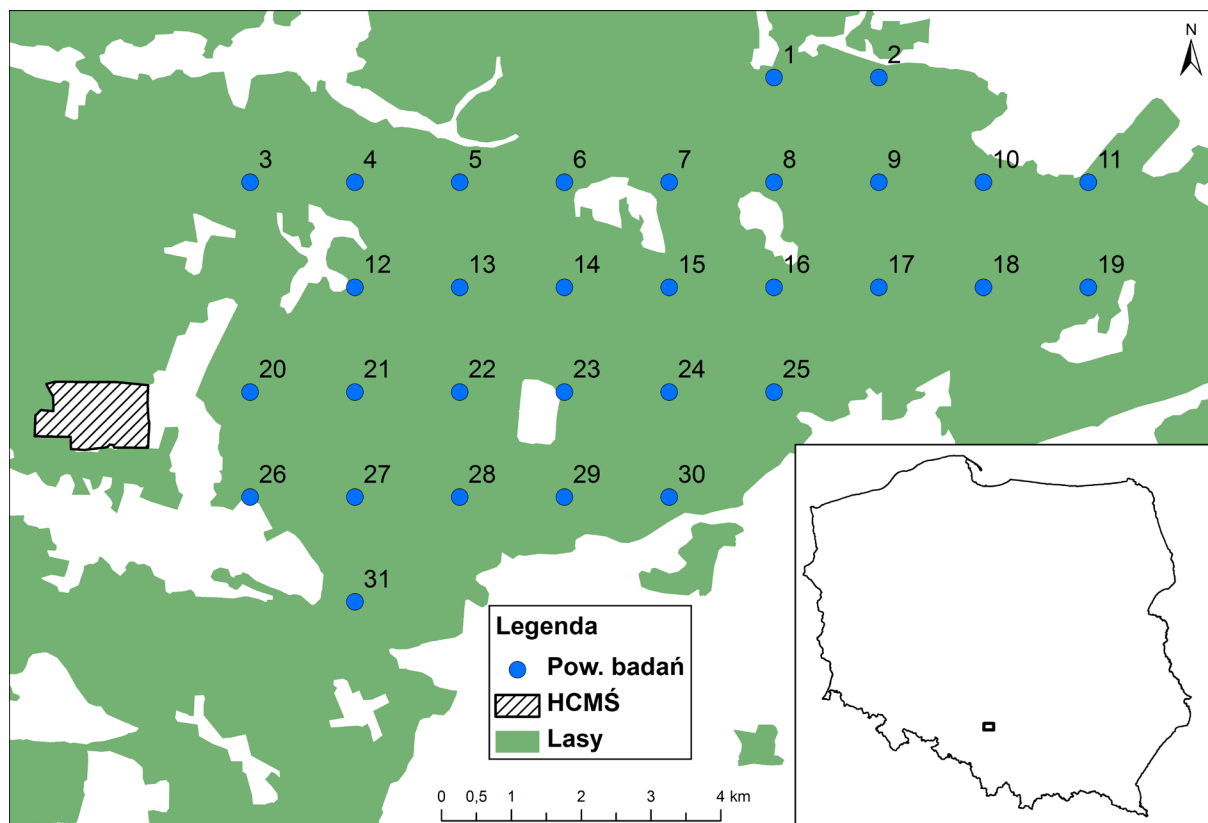
## MATERIAŁ I METODYKA

Materiał do badań stanowiły owocniki podgrzybka brunatnego (*Xerocomus badius* (Fr.) E.), które zebrano we wrześniu 2013 oraz wrześniu i październiku 2014 roku na terenie Nadleśnictwa Świerklaniec Obręb Brynica. Grzyby zbierano na jednoarowych stałych powierzchniach badawczych założonych w 2008 r. (rys. 1) w regularnej siatce kwadratów 1500×1500 m. Jesienią 2008 roku dokonano poboru próbek wierzchniej warstwy gleby (0–20 cm) oraz ściółki z wszystkich 31 powierzchni badawczych. W próbkach gleby oznaczono: pH, skład granulometryczny oraz zawartość Zn, Pb i Cd, w ściółce zawartość Zn, Pb i Cd [Pająk, Jasik 2010], a wyniki te posłużyły do określenia korelacji pomiędzy zawartością badanych metali w glebie i badanych grzybach.

Powierzchnie badawcze zostały usytuowane na północny wschód i wschód od Huty Cynku „Miasteczko Śląskie” (HCMŚ), zgodnie z kierunkiem panujących wiatrów. Przedmiotowe powierzchnie zlokalizowano na siedliskach boru mieszanego świeżego (BMśw) i boru mieszanego wilgotnego (BMw), na których przeważają gleby bielicowe właściwe i glejo-bielicowe właściwe. Na powierzchniach rosną drzewostany w II do IV klasy wieku [Plan Urządzenia Lasu 2003–2012]. Każdej powierzchni zostały przydzielone współrzędne (x, y). W terenie powierzchnie lokalizowano za pomocą odbiornika GPS.

Owocniki grzybów bezpośrednio po zebraniu dokładnie oczyszczano za pomocą plastikowego noża z piasku oraz ściółki. Następnie suszono przez okres kilku dni w temperaturze pokojowej w przewiewnym, suchym i czystym miejscu i transportowano do laboratorium. W laboratorium grzyby dosuszano do momentu uzyskania stałej masy w suszarce laboratoryjnej (w temperaturze 30–40°C) i rozdrabniano w młynku laboratoryjnym. Następnie grzyby zmineralizowano „na mokro” w mieszaninie stężonego kwasu azotowego (V) oraz nadchlorowego (III) w stosunku 3:1. W tak przygotowanej próbce oznaczono zawartości Zn, Pb, Cd techniką spektrometrii emisyjnej z wzbudzeniem plazmowym ICP-AES.

Do wskazania, który z badanych czynników najwyraźniej wpływał na zawartość badanych pierwiastków w owocnikach podgrzybka brunat-



**Rys. 1.** Lokalizacja powierzchni badawczych w Nadleśnictwie Świerklaniec, Obręb Brynica  
**Fig. 1** Location of trial plots within the Świerklaniec Forest District, the Brynica sub-district

nego zastosowano analizę składowych głównych (PCA). Analiza regresji wielowymiarowej posłużyła, jako model dopasowujący zależność pomiędzy akumulacją metali ciężkich w podgrzybku, a odległością od źródła zanieczyszczenia oraz akumulacji metali ciężkich w podgrzybku, od ich zawartości w ściółce i glebie. Analizy wykonano w programie statystycznym PAST ver. 3.04.

## WYNIKI I DYSKUSJA

Wierzchnie warstwy gleb leśnych na badanym terenie w przeważającej większości zbudowane były z utworów o składzie granulometrycznym piasku słabo gliniastego oraz piasku gliniastego. Wartość pH w  $H_2O$  w analizowanej warstwie gleby kształtowała się od 3,4 do 4,7. Natomiast zawartość Cd, Pb i Zn w wierzchniej warstwie gleby kształtowała się na poziomie od  $0,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  do  $11,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (dla Cd), od  $32,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  do  $709,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (dla Pb) oraz od  $11,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  do  $524,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (dla Zn). Ściółka zawierała jeszcze większe ilości omawianych metali [Pająk, Jasik 2010].

Owocniki podgrzybka brunatnego występowały na 14 z 31 stałych powierzchni badawczych. Zawartość oznaczonych pierwiastków w biomacie badanych grzybów podano w tabeli 1.

Średnia zawartości Cd w podgrzybku brunatnym lasów Nadleśnictwa Świerklaniec Obręb Brynica wynosiła  $24,7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Najwyższe stężenie Cd odnotowano w grzybach pochodzących z powierzchni nr 3 ( $51,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), a najniższe w grzybach z powierzchni nr 13 ( $8,2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). Również najwyższe stężenie Pb odnotowano w owocnikach grzybów pochodzących z powierzchni nr 3 gdzie wynosiło ono, aż  $102,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , a najniższe w grzybach z powierzchni nr 6 i 25 ( $1,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). Średnia zawartości Pb w podgrzybku brunatnym wynosiła  $18,8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Natomiast średnia zawartości Zn w podgrzybku brunatnym tych lasów wynosiła  $185,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Najwyższą zawartością charakteryzowały się owocniki zebrane na powierzchni nr 3 ( $305,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), a najniższą na powierzchni nr 8 ( $142,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ).

Przeprowadzone analizy statystyczne nie wykazały ścisłej korelacji pomiędzy kumulacją analizowanych metali w podgrzybku brunatnym, a odległością od największego emitora tych zanieczyszczeń w badanym regionie czyli huty cyn-

ku i ołowiu (Cd:  $R = 0,2392$ ;  $p > 0,05$ ; Pb:  $R = 0,1463$ ;  $p > 0,05$ ; Zn:  $R = 0,1447$ ;  $p > 0,05$ ). Kumulatywna wariancja wynosiła 76%. Najbardziej wyjaśniającą zmienność metali ciężkich w podgrzybku brunatnym była zawartość Zn w ściocie oraz Pb w glebie i Cd w glebie ( $p \leq 0.01$ ) (rys. 2).

Analiza wielowymiarowej regresji wykazały dość wysoką zależność pomiędzy zawartością Cd w ściocie, a Cd w podgrzybku brunatnym ( $R^2 = 0,5501$ ,  $p > 0,05$ ) oraz zawartością Pb w ściocie, a Cd w podgrzybku brunatnym ( $R^2 = 0,4996$ ,  $p > 0,05$ ) (rys. 3 i 4).

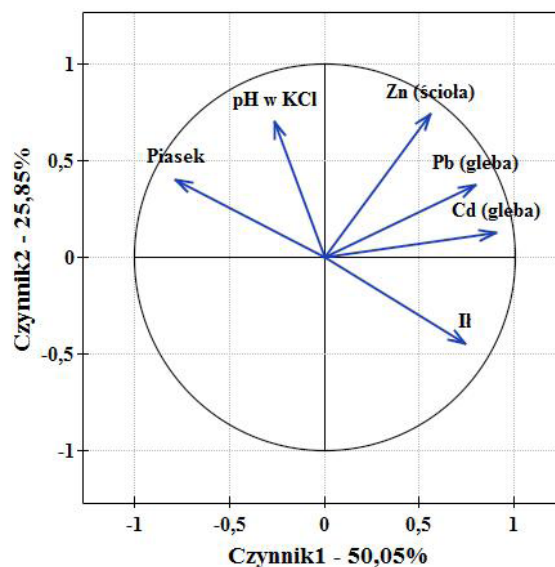
Kadm i ołów podobnie jak rtęć i arsen należą do pierwiastków szczególnie niebezpiecznych dla organizmów żywych. Ich maksymalna dopuszczalna ilość w surowcach czy produktach spożywczych jest regulowana prawem. Zgodnie z aktualnie obowiązującym rozporządzeniem Komisji (WE) nr 1881/2006, które ustala najwyższe dopuszczalne poziomy zanieczyszczeń w środkach spożywczych (Dz. Urz. UE L 364 z 20.12.2006, z późniejszymi zmianami), podaje jako wartości graniczne dla pierwiastków szkodliwych dla zdrowia takich jak Pb i Cd w grzybach uprawnych, odpowiednio na poziomie  $0,30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  oraz  $0,20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  świeżej masy i Cd w grzybach dziko rosnących  $1,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Takie wartości progowe wskazują, że zawartość Cd i Pb w owocnikach podgrzybka brunatnego na wszystkich powierzchniach badawczych lasów Obrębu Brynica Nadleśnictwa Świerkianiec gdzie występowały przekroczyły podane wartości, a zawartości Cd w podgrzybku brunatnym była wielokrotnie wyższa od dopuszczalnych limitów (rys. 5).

Wyniki te potwierdzają badania innych autorów, którzy odnotowali wydatnie podwyższony poziom Cd w grzyby rosnących w bezpośredniej bliskość hut metali [Kalač i in. 1996, Svoboda i in. 2000] i w mieście [Svoboda, Kalač 2003]. Kalač i in. [2004] wskazują na wyjątkowo wysoki poziom Pb (ponad  $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) w grzybach rosnących na terenach gdzie wydobywano i przetwarzano rudy ołowiu. Na wysoką lecz niższą zawartość Zn w grzybach w zakresie od 30 do  $150 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  wskazują Kalač i Svoboda [2000], od 21 do  $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  Çayir i in. [2010] i od 35 do  $136 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  Radulescu i in. [2010].

Owocniki określonych gatunków grzybów zebrane na terenach silnie zanieczyszczonych ołowiem, miedzią czy rtęcią (rejon wydobywania i przetwarzania rud metali) cechują się znacznie większą zawartością tych pierwiastków w porównaniu z owocnikami grzybów pozyskanymi z te-

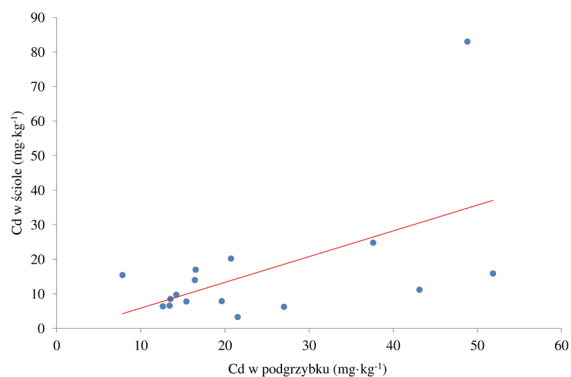
**Tabela 1.** Średnia (zakres) zawartość Cd, Pb i Zn w podgrzybku jadalnym (*Xerocomus badius* (Fr.) E.) na poszczególnych powierzchniach badawczych  
**Table 1.** Mean (range) content of Cd, Pb and Zn in bay bolete (*Xerocomus badius*) within the particular trial plots

Nr powierzchni	Odległość powierzchni od HCMS [km]	Cd	Pb	Zn
		[mg·kg <sup>-1</sup> ]		
3	5	51,5 (49,9–52,9)	102,1 (96,1–108,1)	305,4 (287,2–321,1)
4	5,6	32,2 (20,7–43,9)	39,2 (3,7–71,6)	245,8 (120,0–328,0)
5	6,5	31,0 (16,4–48,4)	68,0 (11,3–162,1)	220,2 (100,4–404,0)
6	7,6	42,9 (33,5–52,1)	1,6 (1,1–2,2)	194,9 (185–201,9)
8	10	16,3 (12,6–19,1)	4,7 (3,8–5,8)	142,1 (119,6–166,1)
9	11,4	24,7 (23,3–27,0)	3,9 (3,0–5,1)	169,3 (149,0–196,8)
11	14,1	23,0 (21,5–14,8)	4,6 (3,2–6,0)	183,6 (147,2–222,3)
13	5,5	8,2 (5,6–11,2)	5,7 (4,1–7,7)	183,3 (147,8–212,5)
14	6,7	20,4 (19,6–21,1)	5,8 (4,0–7,7)	154,0 (150,2–161,5)
15	8	15,7 (13,4–18,2)	2,2 (1,5–3,2)	148,9 (123,6–177,5)
21	3,3	36,4 (29,4–42,3)	15,4 (11,6–19,3)	148,5 (127,1–169,3)
25	8,9	13,6 (13,4–14,0)	1,6 (1,5–1,7)	163,7 (127,0–195,1)
28	4,3	16,4 (12,5–20,1)	2,6 (2,3–2,9)	175,6 (154,2–196,1)
30	7,2	13,5 (11,8–15,2)	5,7 (4,6–6,6)	163,8 (142,1–187,4)

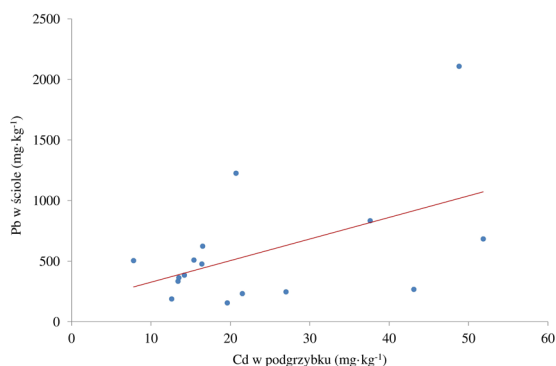


**Rys. 2** Analiza składowych głównych dla wybranych metali ciężkich w ściocie i glebie  
**Fig. 2** Analysis of main components for selected heavy metals in forest litter and in soil



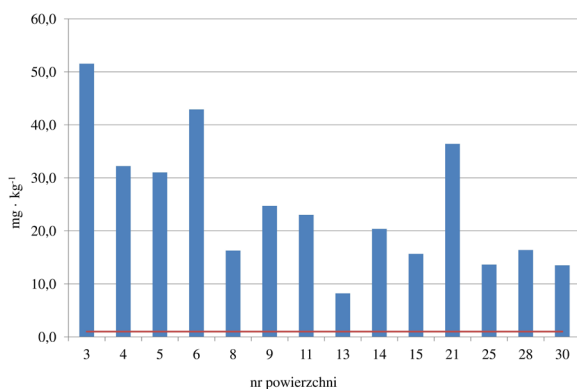


**Rys. 3** Analiza wielowymiarowej regresji pomiędzy zawartości Cd w ściśle, a w podgrzybku brunatnym  
**Fig. 3** Analysis of multiple regression between the Cd content in forest litter and in bay bolete



**Rys. 4** Analiza wielowymiarowej regresji pomiędzy zawartości Pb w ściśle, a Cd w podgrzybku brunatnym

**Fig. 4** Analysis of multiple regression between the Pb content in forest litter and the Cd content in bay bolete



**Rys. 5.** Średnia zawartość Cd w owocnikach podgrzybka brunatnego na poszczególnych powierzchniach badawczych w odniesieniu do dopuszczalnego maksymalnego poziomu zanieczyszczenia grzybów dziko rosnących Cd ( $1\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ).

**Fig. 5.** Mean content of cadmium in sporocarps of bay bolete within the particular trial plots, referred to the acceptable maximum degree of Cd contamination established for wild mushrooms ( $1\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ).

renów nieskażonych [Kalać i in. 1996, Svoboda i in. 2000]. I tak Karmańska i Wędzisz [2010] wskazują na zawartość Cd i Zn w kapeluszach podgrzybka brunatnego zbieranego w województwie Łódzkim w przedziale od 0,26 do 0,16  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  dla Cd i od 4,40 do 4,98  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  dla Zn. Natomiast Adamiak i in. [2013] podają zawartość Cd i Pb w podgrzybku brunatnym w zakresie od 0,72 do 0,77  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  dla Cd i od 0,14 do 0,36  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  dla Pb w grzybach pochodzących z Wysoczyzny Siedleckiej.

## PODSUMOWANIE

1. Potwierdzono wysoką kumulację Cd, Pb i Zn w podgrzybku brunatnym wzrastającym na terenach silnie zanieczyszczonych, a tym samym na możliwość wykorzystania go jako bioindykatora stopnia skażenia środowiska przyrodniczego metalami ciężkimi.
2. Wykazano wysoką korelację pomiędzy zawartością Cd w ściśle, a Cd w podgrzybku brunatnym oraz zawartością Pb w ściśle, a Cd w podgrzybku brunatnym, natomiast nie wykazano takiej korelacji pomiędzy kumulacją analizowanych metali w podgrzybku brunatnym, a odległością od największego emitora zanieczyszczeń w badanym regionie.
3. Stwierdzono bardzo duże przekroczenie dopuszczalnych norm określających maksymalną zawartość szkodliwych pierwiastków w badanym gatunku grzyba. W przypadku Cd norma ta była przekroczona 50-krotnie, co stanowi bardzo duże zagrożenie dla zdrowia ludzi zbierających i spożywających te grzyby.

## Podziękowania

Badania zostały sfinansowane z dotacji przyznanej przez MNiSW na działalność statutową.

## LITERATURA

1. Adamiak E., Kalembasa S., Kuziemska B., 2013. Zawartość metali ciężkich w wybranych gatunkach grzybów jadalnych. *Acta Agrophysica*, 2013, 20(1), 7–16
2. Ankundo-Janowska A., Glura J. 2013. Znaczenie produktów ubocznego użytkowania lasu dla gospodarki narodowej. *Forestry Letters*, 104, 99–107.
3. Çayır A., Coşkun M., Coşkun M. 2010. The heavy metal content of wild edible mushroom samples

- collected in Canakkale Province, Turkey. Biological Trace Element Research, 134, 212–219.
4. Chrastný V., Vaněk A., Teper L., Cabala J., Procházka J., Pechar L., Drahotka P., Penížek V., Komárek M., Novák M. 2012. Geochemical position of Pb, Zn and Cd in soils near the Olkusz mine/smelter, South Poland: effects of land use, type of contamination and distance from pollution source. Environmental Monitoring and Assessment, 184(4), 2517–36.
  5. Falandysz J., Monkiewicz E., Klawikowska K., Gucia M. 2001. Total Merkury concentration of wild edible mushrooms of the Borecka Forest and the adjacent area. Polish Journal of Food and Nutrition Science, 10, 53–58.
  6. Falandysz J., Bielawski L., Kawano M., Brzostowski A., Chudzyński K. 2002. Merkury in mushrooms and soil from the of Wieluńska Upland in south-central Poland. Journal of Environmental Science and Health, A37, 1409–1420.
  7. Gambuś F., Rak M. 2000. Wpływ właściwości gleby na rozpuszczalność związków kadmu. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych 472, 251–257.
  8. Gast C.H., Jansen E., Bierling J. 1988. Heavy metals in mushrooms and their relationship with soil characteristics. Chemosphere, 17, 789–799.
  9. Gruszecka A.M., Wdowin M. 2013. Characteristics and distribution of analyzed metals in soil profiles in the vicinity of a postflotation waste site in the Bukowno region, Poland. Environmental Monitoring and Assessment, 185, 8157–8168
  10. Kabata-Pendias A., Piotrowska M. 1984. Zanieczyszczenie gleb i roślin uprawnych pierwiastkami śladowymi. Warszawa, CBR, 8–15.
  11. Kalač P., Nižnanska M., Bevilacqua D., Stašlova I. 1996. Concentration of mercury, copper, cadmium and lead in fruiting bodies of edible mushrooms in a vicinity of a mercury smelter and copper smelter. Science of the Total Environment, 15, 251–258.
  12. Kalač P., Svoboda L. 2000. A review of trace element concentrations in edible mushrooms. Food Chemistry, 69, 273–281.
  13. Kalač P., Svoboda L., Havličková, B. 2004. Contents of detrimental metals mercury, cadmium and lead in wild growing edible mushrooms: A review. Energy Education Science and Technology, 13, 31–38.
  14. Karmańska A., Wędzisz A. 2010. Zawartość wybranych makro i mikroelementów w różnych gatunkach grzybów wielkoowocnikowych z okolic województwa łódzkiego. Bromatologia i Chemia Toksykologiczna, 43, 124–129.
  15. Krzaklewski W., Barszcz J., Małek S., Kozioł K., Pietrzykowski M. 2004. Contamination of forest soils in the vicinity of the sedimentation pond after zinc and lead ore flotation (in the region of Olkusz, southern Poland). Water, Air and soil Pollution, 159, 151–164.
  16. 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 nr 137, seria: Inżynieria środowiska – nr 17, 112–122.
  17. Pająk M., Jasik M. 2011. Heavy metal (Zn, Pb, Cd) concentration in soil and moss (*Pleurozium schreberii*) in the Brynica district, southern Poland. iForest – Biogeosciences and Forestry, 4, 176–180.
  18. 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.
  19. Pająk M., Gąsiorek M., Cygan A., Wanic T., 2015a. Concentrations of Cd, Pb and Zn in the top layer of soil and needles of scots pine (*Pinus sylvestris* L.): A case study of two extremely different conditions of the forest environment in Poland. Fresenius Environmental Bulletin, 24(1), 71 – 76.
  20. Pająk M., Cygan A., Bilański P., Kołodziej Z., 2015b. Growth and development of the Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in forest environments strongly polluted with heavy metals. Journal of Environmental Protection and Ecology, 16(2), 620–629.
  21. Plan Urządzenia Lasu dla Nadleśnictwa Świerklaniec na okres gospodarczy od 01.01.2003 r. do 31.12.2012 r. (manuskrypt).
  22. Radulescu C., Stihl C., Busuioc G., Gheboianu A.I., Popescu, I.V. 2010. Studies concerning heavy metals bioaccumulation of wild edible mushrooms from industrial area by using spectrometric techniques. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 84, 641–646.
  23. Rozporządzenie Komisji (WE) nr 1881/2006 z dnia 19 grudnia 2006 r. ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych.
  24. Saa-Golak I., Sobieralski K., Siwulski M., Lisiecka J. 2011. Skład, wartości odżywcze oraz właściwości zdrowotne grzybów pozyskiwanych ze stanowisk naturalnych. Kosmos, 60(3–4), 483–490.
  25. Svoboda L., Kalač P. 2003. Contamination of two edible *Agaricus* spp. mushrooms growing in a town with cadmium, lead, and mercury. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 71, 123–130.
  26. Svoboda L., Zimmermannova, K., Kalač P. 2000. Concentrations of mercury, cadmium, lead and copper in fruiting bodies of edible mushrooms in an emission area of a copper smelter and a mercury smelter. Science of the Total Environment, 246, 61–67.
  27. Ullrich S.M., Ramsey M.H., Helios-Rybicka E. 1999. Total and exchangeable concentrations of heavy metals in soils near Bytom, an area of Pb/Zn mining and smelting in Upper Silesia, Poland. Applied Geochemistry, 14, 187–196.