

KAROLINA STEINDOR, BERNARD PALOWSKI, SYLWIA OSIŃSKA, AGNIESZKA JAGIEŁŁO

Monitoring zanieczyszczenia metalami śladowymi drzewostanów świerkowych Beskidu Śląskiego i Żywieckiego

Monitoring of trace metal pollution in Norway spruce stands of Beskid Mountains

ABSTRACT

Steindor K., Palowski B., Osińska S., Jagiełło A. 2012. Monitoring zanieczyszczenia metalami śladowymi drzewostanów świerkowych Beskidu Śląskiego i Żywieckiego. Sylwan 156 (8): 593-598.

In recent years the condition of spruce stands in Beskid Śląski and Żywiecki (S Poland) has decreased drastically. This process consists of many factors. One of them is intense anthropopressure, therefore monitoring of forest pollution is extremely important. An analysis of four chosen trace elements (Cd, Pb, Cu and Zn) in soil and bark of Norway spruce from 7 locations in Beskid Śląski and Żywiecki was conducted. Tree bark was considered as a very good bioindicator of environmental gaseous and dust pollution. The concentrations of investigated elements in the material did not exceed the physiological concentrations, only in the bark of spruce trees from Beskid Żywiecki elevated levels of cadmium (2 mg/kg d.w.) were measured.

KEY WORDS

Picea abies, trace metals, biomonitoring, Beskid Mountains (S Poland)

ADDRESSES

Karolina Steindor – e-mail: karolina.steindor@us.edu.pl

Katedra Ekologii; Uniwersytet Śląski; ul. Bankowa 9; 40-007 Katowice

Wstęp

W ostatnich latach w Europie drzewostany iglaste, w tym przede wszystkim drzewostany świerkowe, dotknęło masowe wymieranie. Wymieranie lasów świerkowych zostało odnotowane w takich krajach jak Niemcy [Hauk i in. 2001; Hauk, Runge 2002], Słowenia [Batič i in. 1999], była Czechosłowacja [Kubikova 1991], a także Polska [Grodzińska, Szarek-Łukaszewska 1997]. Osłabione świerki w Beskidzie Śląskim i Żywieckim stały się podatne na atak korników i patogenów grzybowych. Przyczyny tej sytuacji są złożone. Po pierwsze, obecny skład gatunkowy lasów beskidzkich różni się od pierwotnego, gdy głównymi gatunkami budującymi ekosystem były jodła i buk, a w wyższych położeniach świerk. Gospodarka leśna w czasie panowania austro-węgierskiego wprowadziła niewłaściwe strategie zalesiania. Monokulturyzacja spowodowała, że naturalny las zamieniono w wydajne fabryki drewna. Po drugie, gwałtowna industrializacja po drugiej wojnie światowej oraz zaniedbania ochrony środowiska podczas okresu socjalizmu spowodowały wzrost zanieczyszczeń [Grodzińska, Szarek-Łukaszewska 1997; Main-Korne i in. 2009, Fanta 1996]. W dużym stopniu właśnie kwaśne zanieczyszczenia gazowe oraz pyły metaliczne przyczyniły się do złej kondycji lasów w Polsce.

Kwaśne zanieczyszczenia gazowe i pyły, w skład których wchodzić mogą metale ciężkie, powodują wiele niekorzystnych zmian w organizmach żywych. Jony metali, szczególnie Cd^{2+} oraz Pb^{2+} , są silnymi inhibitorami enzymów, wpływają na pobór niezbędnych mikro- i makroelementów, zaburzają proces fotosyntezy, powodują zmiany mutagenne w DNA [Seregin, Ivanov 2001; Briat, Lebrun 1999; Das i in. 1997]. Te zmiany metaboliczne mogą wpływać na wzrost i rozwój roślin, przejawiając się w inhibicji wzrostu i spadku naturalnej odporności roślin na stresy środowiskowe. Dodatkowo, kwaśne opady, które już same w sobie stanowią ogromne zagrożenie dla ekosystemów, wzmagają szkodliwe działanie metali ciężkich, poprzez zwiększanie mobilności i biodostępności jonów tych pierwiastków z roztworu glebowego [Kwapisz, Gworek 2006]. Dlatego też, aby chronić ekosystemy leśne przed możliwymi szkodami, niezbędny jest stały monitoring emisji zanieczyszczeń w środowisku.

Celem pracy było oszacowanie aktualnego stanu zanieczyszczenia drzewostanów świerkowych Beskidu Śląskiego i Żywieckiego metalami ciężkimi (Cu, Cd, Pb, Zn).

Materiał i metody

Kora świerków oraz gleba zostały zebrane w drzewostanach świerkowych w Beskidzie Śląskim i Żywieckim. Próbkę z lasów Beskidu Śląskiego zebrano w Bystrej, Istebnej, Jaworzynce i Jasnowicach, z lasów Beskidu Żywieckiego – w Przyłękowie i Zawoi w części północnej i południowej oznaczonej dalej jako, odpowiednio, Zawoja I i II.

Próbki kory, grubości około 2-3 mm, pobierano z 80-letnich drzew świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karst) na wysokości 1,3 m. Przed zbiorem kora była czyszczona przy pomocy szczotki o twardych włóknach. W sumie zebrano 55 próbek kory. Każda próbka składała się z materiału zebranego z 5 drzew rosnących w bliskim sąsiedztwie. Próbkę kory zostały zmielone i wysuszone w 105°C przez 24 h. Następnie 3-gramowe porcje mineralizowano na sucho w piecu muflowym w temperaturze 460°C. Uzyskany popiół rozpuszczano w 25 ml 10% kwasu azotowego (V) i przefiltrowano. Dodatkowo zebrano wierzchnią warstwę gleby (do 10 cm głębokości) u podstawy każdego drzewa, z którego pobierano próbki kory. Gleba była przechowywana w płóciennych woreczkach do uzyskania powietrznie suchej masy, a następnie została przesiana przez sito o średnicy oczek 1 mm. 10-gramowe naważki gleby były wytrząsane ze 100 ml 10% kwasu azotowego (V) przez jedną godzinę, a następnie przefiltrowane.

Zawartość miedzi, kadmu, ołowiu i cynku w przesączu oznaczono metodą AAS. Wszystkie pomiary przeprowadzono w trzech powtórzeniach. Oznaczono także wartości pH próbek kory i gleby. W celu oznaczenia kwasowości kory, materiał został zmielony i suszony w 105°C przez 24 h. Do wysuszonej próbki kory o masie 2 g dodano 8 ml wody destylowanej. Poziom pH gleby zmierzono dla próbek o masie 20 g zalanych 50 ml wody destylowanej. Pomiary przeprowadzono po upływie 24 godzin (gleba) i po 48 godzinach (kora) [Ostrowska i in. 1991]. Wyniki poddano analizie statystycznej z zastosowaniem testu Shapiro-Wilka w celu określenia normalności rozkładu. Do określenia istotnych statystycznie różnic między stanowiskami użyto testu Tukeya. Wykonano analizę korelacji uzyskanych rezultatów, wyznaczając współczynniki korelacji liniowej Pearsona między oznaczonymi parametrami. Analizy przeprowadzono w programie Statistica 10.0.

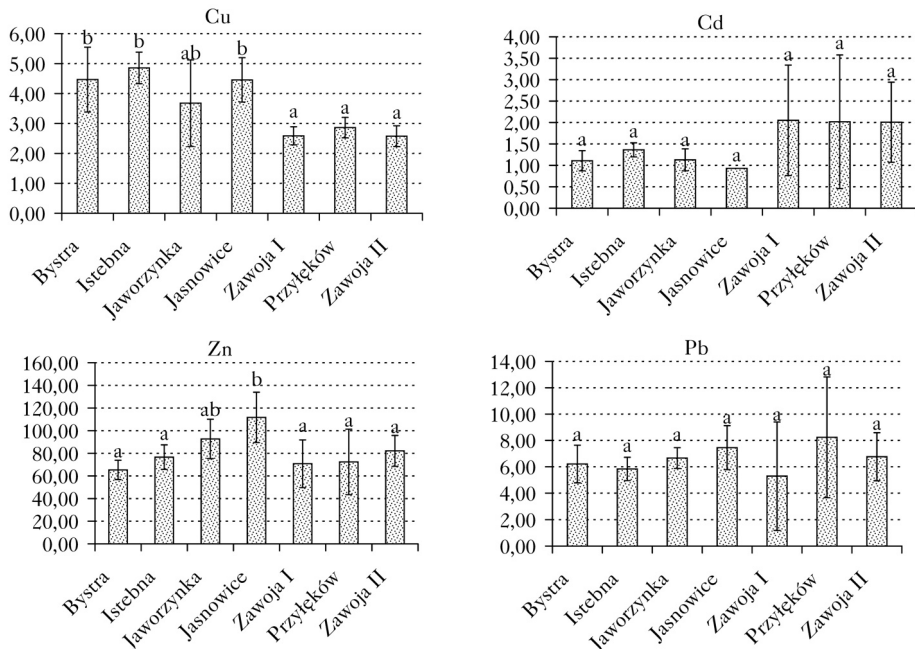
Wyniki

Średnia koncentracja badanych metali ciężkich w korze świerków z Beskidu Śląskiego nie przekroczyła poziomu stężeń uważanych za fizjologiczne. Natomiast w korze z drzew pozyskanej z lasów Beskidu Żywieckiego oznaczono podwyższone stężenie kadmu (2 mg/kg s.m.; ryc.). Wyłącznie zawartość miedzi w korze była skorelowana statystycznie istotnie z kwasowością

kory. Zawartość miedzi i cynku w korze była negatywnie skorelowana z pH gleby (tab. 1). Koncentracja wszystkich badanych pierwiastków w glebie ze stanowisk świerka pospolitego była niższa od poziomów dopuszczalnych. Można zauważyć, że gleba z Beskidu Żywieckiego charakteryzowała się znacząco niższą zawartością miedzi i cynku niż gleba z terenu Beskidu Śląskiego (tab. 2).

Dyskusja

Głównym źródłem zanieczyszczenia metalami ciężkimi w Beskidach są centra przemysłowe Górnego Śląska i rejonu Ostrawy, jednakże emisja z tych obszarów zmniejszyła się znacząco w ciągu ostatniej dekady [Staszewski, Kubiesa 2008]. Także kondycja świerków w Polsce poprawiła się znacząco. Odsetek zdrowych drzew wzrósł z 12,2% w 1998 roku do 24,3% w roku 2009, ciągle jednak większość średnich i silnych uszkodzeń drzew iglastych odnosi się do świerka pospo-



Ryc.

Średnia zawartość [mg/kg s.m.] badanych pierwiastków w korze świerków z Beskidu Śląskiego i Żywieckiego

Mean concentration [mg/kg d.w.] of investigated heavy metals in bark of *Picea abies*

Tą samą literą oznaczono wartości nieróżniące się istotnie przy $p < 0,05$

Values with the same letter do not differ significantly at $p < 0,05$

Tabela 1.

Wartość współczynnika korelacji między pH kory oraz gleby a koncentracją badanych pierwiastków w korze świerka pospolitego

Correlation coefficient values between bark and soil pH and investigated elements concentration in Norway spruce bark

N=55	Cu	Cd	Zn	Pb
Kora	0,42*	-0,25	0,07	-0,05
Gleba	-0,39*	0,15	-0,47*	0,07

* korelacja istotna statystycznie przy $p = 0,05$; significant at $p = 0,05$

Tabela 2.

Koncentracja [mg/kg s.m.] (średnia \pm odchylenie standardowe) badanych pierwiastków w glebie ze stanowisk świerka pospolitego

Concentration [mg/kg d.w.] (mean \pm standard deviation) of investigated elements in soil from the *Picea abies* stands

Powierzchnia	Cu	Cd	Zn	Pb
Bystra	5,04 \pm 1,76	1,08 \pm 0,20	191,72 \pm 29,75	15,43 \pm 5,33
Istebna	4,54 \pm 1,57	1,04 \pm 0,21	196,02 \pm 25,33	14,87 \pm 2,16
Jaworzynka	4,56 \pm 1,35	0,98 \pm 0,10	176,33 \pm 21,01	13,32 \pm 3,15
Jasnowice	6,18 \pm 1,58	1,16 \pm 0,20	191,29 \pm 32,52	19,13 \pm 3,25
Zawoja I	1,73 \pm 0,64	1,16 \pm 0,08	134,36 \pm 83,10	21,06 \pm 18,46
Przyłęków	1,70 \pm 0,47	1,10 \pm 0,06	64,22 \pm 18,98	13,74 \pm 6,64
Zawoja II	1,44 \pm 0,46	1,19 \pm 0,09	77,07 \pm 57,27	13,61 \pm 11,82

litego [Mały... 2000, 2011]. Spadek odporności lasu uważany jest za skutek zmian klimatycznych oraz zanieczyszczeń, w tym także metalami ciężkimi [Gawel i in. 1996; Ayres, Lombardero 1999; Schellas i in. 2003].

Do oceny zanieczyszczenia Beskidu Śląskiego wybranymi metalami ciężkimi wybrano korę świerka pospolitego. Materiał ten uważany jest za dobry bio wskaźnik stopnia zanieczyszczenia powietrza ze względu na jego dużą powierzchnię i stały kontakt z atmosferą, jak również łatwą dostępność. Podczas zbioru drzewo nie ulega także trwałym uszkodzeniom [Kuik, Wolterbeek 1994; Poikolainen 1997]. Kora drzew została wykorzystana w wielu pracach dotyczących monitoringu zanieczyszczeń metalami ciężkimi [np. El-Hasan i in. 2002; Reinman i in. 2007; Kuang i in. 2007]. Zawartość pierwiastków była także mierzona w korze z drzewostanów świerkowych dotkniętych masowym wymieraniem w Górach Harzu [Hauk i in. 2001; Hauk, Runge 2002]. Stężenie Cu i Pb w korze niemieckich drzew przekroczyło stężenie oznaczone w korze świerków pochodzących z Beskidu Śląskiego i Żywieckiego. Odnosi się to zwłaszcza do ołowiu, którego koncentracja była 8-20 razy wyższa niż w korze świerków pochodzących z Beskidów. Wymienieni autorzy zauważają, że zawartość metali w korze świerków dotkniętych wymieraniem różni się względem relatywnie zdrowych drzewostanów. Różnice wiążą oni ze spływem wód opadowych wzdłuż pni drzew, których chemizm podlega zmianom, wynikającym z ubytku szpilek na osobnikach chorych [Hauk i in. 2001].

Zawartość badanych pierwiastków w próbach gleby zebranej z drzewostanów świerkowych różniła się między Beskidem Śląskim a Żywieckim w przypadku Cd, Cu i Zn. Koncentracja miedzi i cynku była wyższa w glebach z Beskidu Śląskiego. Z kolei w glebach z Beskidu Żywieckiego znacząco wyższe było stężenie kadmu. Jakkolwiek stężenie wszystkich zbadanych pierwiastków nie przekracza dopuszczalnego poziomu [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Podobne stężenie Zn i Cd jest podawane dla gleb górskich z rejonu Bielska-Białej, Wisły i Babiogórskiego Parku przez Strzyszcza i in. [2005] oraz Ciepła i in. [2002] dla rezerwatów przyrody z Beskidu Śląskiego. Zawartość Pb (155,6-165,6 mg/kg) w glebach z Baraniej Góry i Czantorii w pracy Kandziory i in. [2009] przekracza wielokrotnie koncentrację zmierzoną dla gleb z lasów Beskidu Śląskiego zaprezentowaną w tej pracy (13,3-19,1 mg/kg). Także zawartość Cu i Cd została oznaczona w wyższym stężeniu w pracy Kandziory i in. [2009]. Z drugiej strony, koncentracja badanych metali ciężkich oznaczona w lasach beskidzkich była znacznie wyższa (zwłaszcza dotyczy to Cd i Zn) od zawartości podawanej dla drzewostanów świerkowych dotkniętych wymieraniem na terenie Karpat Ukraińskich (Cd – 0,14, Cu – 2,8, Pb – 12,3, Zn – 11,0 mg/kg) [Shparyk, Parpan 2004]. Może to wskazywać na istnienie innych przyczyn powodujących

wymieranie świerków. Długoterminowe zanieczyszczenie atmosfery mogło być jedną z przyczyn osłabiania się świerków w Beskidach, jednak w eksperymencie przeprowadzonym przez Hermle i in. [2006] świerk pospolity okazał się być najbardziej odpornym na zanieczyszczenie Cu, Cd i Zn, wykazując najmniejszy pobór metali i brak zaburzeń w procesie wzrostu w porównaniu do topoli osiki (*Populus tremula*), brzozy brodawkowatej (*Betula pendula*) oraz wierzby wiciowej (*Salix viminalis*). Przyczyną pogarszania się kondycji zdrowotnej świerka pospolitego mogą być różnice genetyczne między osobnikami wrażliwymi i odpornymi na zanieczyszczenia. Longauer i in. [2004] zaobserwowali, że wrażliwe na zanieczyszczenie osobniki świerków wykazywały większe zróżnicowanie genetyczne.

Podsumowanie

Porównanie zawartości metali ciężkich w glebach i korze drzew świerka pospolitego z terenu Beskidu Śląskiego i Żywieckiego nie daje jednoznacznych dowodów, że pełnią one kluczową rolę w wymieraniu drzewostanów świerkowych. Uzyskane wyniki dowodzą jednak istnienia antropopresji na badanym terenie i wskazują na potrzebę monitorowania stanu tych ekosystemów. Lasy Beskidu Śląskiego wydają się być bardziej narażone na emisję miedzi i cynku niż lasy Beskidu Żywieckiego, jednak w Beskidzie Żywieckim odnotowano podwyższone stężenia kadmu, zwłaszcza w korze drzew.

Literatura

- Ayres M. P., Lombardero M. J. 1999. Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. *Sci. Total Environ.* 262: 263-286.
- Batič F., Kalan P., Kraigher H., Šircelj H., Simončič P., Vidregar-Gorjup N. 1999. Bioindication of different stresses in forest decline studies in Slovenia. *Water Air Soil Poll.* 116: 337-382.
- Briat J.-F., Lebrun M. 1999. Plant responses to metal toxicity. *C. R. Acad. Sci. Paris Life Sci.* 322: 43-54.
- Ciepał R., Palowski B., Łukasik I. 2002. Ocena obciążenia metalami ciężkimi i siarką gleby oraz liści i igieł drzew pochodzących z wybranych rezerwatów Beskidu Śląskiego i Żywieckiego. W: *Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań. 653-658.
- Das P., Samantray S., Rout G. R. 1997. Studies on cadmium toxicity in plants: a review. *Environ. Pollut.* 98 (1): 29-36.
- El-Hasan T., Al-Omari H., Jiries A., Al-Nasir F. 2002. Cypress tree (*Cupressus sempervirens* L.) bark as an indicator for heavy metal pollution in the atmosphere of Amman City, Jordan. *Environ. Int.* 28: 513-519.
- Fanta J. 1997. Rehabilitating degraded forests in Central Europe into self-sustaining forest ecosystems. *Ecol. Eng.* 8: 289-297.
- Gawel J. E., Ahner B. A., Friedland A. J., Morel F. M. M. 1996. Role for heavy metals in forest decline indicated by phytochelatin measurements. *Nature* 381: 64-65.
- Grodzińska K., Szarek-Łukaszewska G. 1997. Polish mountain forest: past, present and future. *Environ. Pollut.* 98 (3): 369-374.
- Hauk M., Runge M. 2002. Steamflow chemistry and epiphytic lichen diversity in dieback-affected spruce forest of the Harz Mountains, Germany. *Flora* 197: 250-261.
- Hauk M., Jung R., Runge M. 2001. Relevance of element content of bark for the distribution of epiphytic lichens in a montane spruce forest affected by forest dieback. *Environ. Pollut.* 112: 221-227.
- Hermle S., Günthard-Goerg M., Schulin R. 2006. Effects of metal-contaminated soil on the performance of young trees growing in model ecosystems under field conditions. *Environ. Pollut.* 144: 703-714.
- Kabata-Pendias A., Pendias H. 1999. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. PWN, Warszawa.
- Kandziora M., Ciepał R., Nadgórska-Socha A. 2009. Heavy metals and sulphur accumulation in the *Picea abies* L. Karst. needles and soil of the forest promotional complex „Lasy Beskidu Śląskiego”. *Ecol. Chem. Eng. A.* 16 (7): 791-795.
- Kuang Y. W., Zhou G. Y., Wen D. Z., Liu S. Z. 2007. Heavy metals in bark of *Pinus massoniana* (Lamb.) as an indicator of atmospheric deposition near a smeltery at Qujiang, China. *Env. Sci. Pollut. Res.* 14 (4): 270-275.
- Kubikova J. 1991. Forest dieback in Czechoslovakia. *Vegetation* 93: 101-108.
- Kuik P., Wolterbeek H. Th. 1994. Factor analysis of trace-element data from tree-bark samples in the Netherlands. *Environ. Monit. Assess.* 32 (3): 207-226.
- Kwapisz J., Gworek B. 2000. Rola składników gleby w wiązaniu metali ciężkich oraz możliwości ich określenia. *Ochr. Śr. Zasobów Nat.* 19: 51-62.

- Longauer R., Gömöry D., Paule L., Blada I., Popescu F., Mankovska B., Müller-Starck G., Schubert R., Percy K., Szaro R. C., Karnosky D. F. 2004. Genetic effects of air pollution on forest tree species of the Carpathian Mountains. *Environ. Pollut.* 130: 85-92.
- Main-Korn M., Hostert P., Kozak J., Kuemmerle T. 2009. How pollution legacies and land use histories shape post-communist forest cover trends in the Western Carpathians. *Forest Ecol. Manag.* 258: 60-70.
- Mały Rocznik Statystyczny. 2000. GUS, Warszawa.
- Mały Rocznik Statystyczny Polski. 2011. GUS, Warszawa.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szezbialka Z. 1991. Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. Katalog IOŚ, Warszawa.
- Poikolainen J. 1997. Sulphur and heavy metal concentrations in Scots pine bark in northern Finland and the Kola Peninsula. *Water Air Soil Pollut.* 93: 395-408.
- Reinman C., Arnoldussen A., Finne T. E., Koller F., Nordulen Ø., Englmaier P. 2007. Element contents in mountain birch leaves, bark and wood under different anthropogenic and geogenic conditions. *Appl. Geochem.* 22: 1549-1566.
- Schelhaas M. J., Schuck A., Varis S. 2003. Database on Forest Disturbances in Europe (DFDE) – Technical Description. EFI Internal Report 14.
- Seregin I. V., Ivanov V. B. 2001. Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants. *Russ. J. Plant Physiol.* 48 (4): 523-544.
- Shparyk Y. S., Parpan V. I. 2004. Heavy metal pollution and forest health in the Ukrainian Carpathians. *Environ. Pollut.* 130: 55-63.
- Staszewski T., Kubiesa P. 2008. Fate of air pollutants in spruce and beech stands on permanent plots in Brenna – the Silesian Beskid. *Beskydy* 1 (1): 77-84.
- Strzyszczyk Z., Brożek S., Zwydak M., Magiera T. 2005. Podatność magnetyczna niektórych typów leśnych gleb górskich w zależności od depozycji pyłów przemysłowych. *Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich* 52: 87-95.

SUMMARY

Monitoring of trace metal pollution in Norway spruce stands of Beskid Mountains

In recent years coniferous forest of Europe has been affected by a dieback, it concerns especially Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) stands. The causes of this situation are complex – inappropriate planting strategies in forest management during Austro-Hungarian rule and increased environmental pollution by gases and metalliferous dusts during socialism. Acid and dust pollution are to a large degree responsible for decrease of nowadays forest health. The aim of this paper was to determine the actual state of chosen heavy metal loading in the Norway spruce stands of Beskid Śląski and Żywiecki. Analysis of concentrations of four selected trace elements (Cd, Pb, Cu and Zn) in soil and spruce bark of seven villages in the Beskid Śląski and Żywiecki were conducted. Sample locations were in Beskid Śląski: Bystra, Istebna, Jaworzynka and Jasnowice, and in Beskid Żywiecki: Przyłęków and Zawoja (divided to Zawoja I and II in north and south part of the village respectively). Tree bark is considered to be a very good bioindicator of atmosphere pollution and the content of elements was also measured in the bark of Norway spruce in forests heavily affected by dieback in Harz Mountains, Germany.

The concentrations of investigated elements in the material did not exceed the physiological concentrations, only in the bark of spruce trees from Beskid Żywiecki elevated levels of cadmium (2 mg/kg d.w.) were measured (fig.). The obtained data do not give clear evidence for crucial role of heavy metals in forest decline. However the results indicate the influence of anthropopressure on these ecosystems which should be monitored. The forests of Beskid Śląski seem to be more exposed to copper and zinc pollution than Beskid Żywiecki, but in Beskid Żywiecki the elevated concentrations of cadmium, especially in bark, were noted.