

Stężenia wybranych metali ciężkich w igłach sosny zwyczajnej z wybranych obszarów Polski

Renata Gamrat¹, Katarzyna Ligocka^{1*}

¹ Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa, Katedra Ekologii, Ochrony i Kształtowania Środowiska ul. Juliusza Słowackiego 17, 70-001 Szczecin

* Autor do korespondencji: lk42559@zut.edu.pl

STRESZCZENIE

Celem podjętych badań był wstępny monitoring stężeń wybranych metali ciężkich (Cd, Co, Cr, Ni, Pb, Zn) w igłach sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w zależności od miejsca poboru próbek. Do badań wytypowano trzy obszary badawcze (Świeradów Zdrój, Świnoujście, Byszyno), z których pobrano łącznie 14 próbek zbiorczych. Stężenia metali ciężkich oznaczone w próbkach igieł sosny zwyczajnej pochodzących z jednego obszaru badawczego są zbliżone. Świadczyć to może o zdolnościach bioindykacyjnych sosny zwyczajnej. Stężenia poszczególnych metali ciężkich pochodzące z trzech różnych obszarów badawczych wykazują duże różnice w ich stężeniu. Analizy statystyczne wykazały statystycznie istotne różnice (test Tukeya $p \leq 0,05$) stężeń wybranych metali ciężkich w próbkach igieł sosny zwyczajnej jedynie z obszaru Świeradów Zdrój.

Słowa kluczowe: metale ciężkie, obszar leśny, obszar miejski, sosna zwyczajna, igły

Concentrations of selected heavy metals in Scots pine needles from selected areas of Poland

ABSTRACT

The aim of the research was preliminary monitoring of selected heavy metals (Cd, Co, Cr, Ni, Pb Zn) concentrations in pine needles (*Pinus sylvestris* L.). Three research areas were selected for the study (Świeradów Zdrój, Świnoujście, Byszyno), from which a total of 14 aggregate samples were collected. Heavy metals concentrations in Scots pine needles samples from one research area were similar. This may indicate the bioindication abilities of Scots pine. Concentrations of individual heavy metals, from three different research areas, showed quite large differences. Statistical significant differences (Tukey's test $p \leq 0.05$) of concentrations of selected heavy metals in samples of pine needles were noted only on the Świeradów Zdrój area.

Keywords: heavy metals, forest area, urban area, scots pine, needles

WSTĘP

Wzrost transportu, turystyki oraz uprzemysłowienia i chemizacji rolnictwa uważane są za główne przyczyny pogarszającego się stanu środowiska. Wzrost stężeń metali ciężkich sprawia, że metale ciężkie stały się najbardziej uciążliwym oraz niebezpiecznym zanieczyszczeniem środowiska przyrodniczego. Ich bioakumulacja w roślinach powoduje niebezpieczeństwo zatrucia kolejnych ogniw łańcucha troficznego [Musielńska i in. 2016]. Zanieczyszczenia mogą powodować u

roślin negatywne zmiany fizjologiczne oraz morfologiczne. Spośród roślin, aparat asymilacyjny sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) uznawany jest za czuły indykator zmian środowiska [Czeraniak i in. 2009]. Ta swoista wrażliwość wybranych gatunków roślin pozwala na ocenę stopnia intoksykacji metalami ciężkimi środowiska przyrodniczego [Musielńska i in. 2016]. Do najważniejszych bioindykatorów skażeń atmosferycznych zalicza się igły sosny, zaraz obok porostów [Migaszewski 1996] oraz mchów [Grodzińska 1983]. Badania bioindykacyjnie w Euro-

pie najczęściej wykonuje się na igłach gatunku najbardziej popularnego, czyli sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). Gatunek ten uważany jest przez wielu badaczy za dobry bio wskaźnik określający poziom zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego. Do badań bioindykacyjnych najlepiej nadają się igły jedno- lub dwuroczne [Migaszewski i Gałuszka 1997]. Sosnę zwyczajną charakteryzują duże zdolności przystosowywania się do różnych siedlisk, co wiąże się z niedużymi wymaganiami glebowymi. Obok porostów i mchów, igły sosny zwyczajnej uważane są za wrażliwy wskaźnik zanieczyszczeń atmosferycznych. Skażenie środowiska powoduje uszkodzenia podstawowych funkcji życiowych, tj.: fotosyntezy, oddychania, transpiracji oraz pobierania składników pokarmowych przez korzenie [Chudzińska i Urbaniak 2008].

Celem podjętych badań był wstępny monitoring stężeń wybranych metali ciężkich w igłach sosny zwyczajnej w zależności od miejsca poboru próbek.

METODYKA BADAŃ

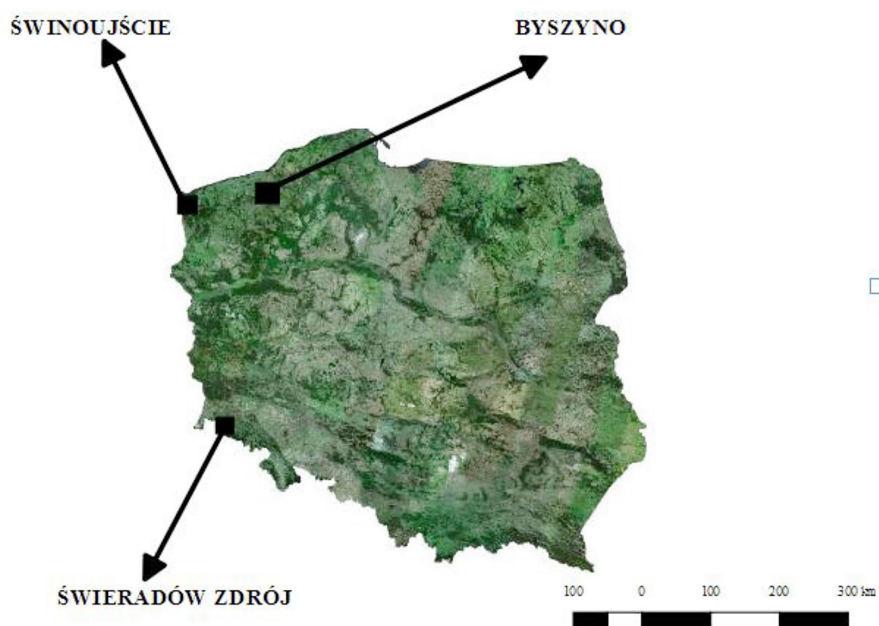
Do zrealizowania postawionego celu wytypowano trzy obszary badawcze w różnych regionach Polski. Do badań zawartości metali ciężkich pobrano łącznie 14 próbek zbiorczych igieł sosny zwyczajnej w następujących obszarach badawczych:

- a) Nadleśnictwo Białogard – w obszarze leśnym w pobliżu miejscowości Byszyno (obszar o najmniejszym wpływie antropopresji);
- b) Nadleśnictwo Międzyzdroje – pas nadmorski w Świnoujściu;
- c) Nadleśnictwo Świeradów Zdrój – na obrzeżach miasta.

W pobranych próbkach po wysuszeniu i zmieleniu w młynku laboratoryjnym oraz zmineralizowaniu w stężonym kwasie HNO_3 (65%) i H_2O_2 (30%) w stosunku 4:1 oznaczono całkowitą zawartość pierwiastków, tj.: Cd, Co, Cr, Ni, Pb, Zn za pomocą spektrometru absorpcji atomowej ASA ICE 3000 Thermo Scientific.

Dokładność stosowanych metod i procedur analitycznych oceniono na podstawie certyfikowanych materiałów odniesienia: osadów (Metals of sediment CRMO 15-050) oraz piasku gliniastego (Loamy Sand 4 CRMO 36-050).

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie z wykorzystaniem oprogramowania Statistica 12.0. Dla uzyskanych wyników zastosowano test normalności Shapiro-Wilka ($p \leq 0,05$), który potwierdził normalność rozkładów wyników. W celu określenia istotności różnic między badanymi obszarami wykonano analizę testem Tukey'a oraz wyliczono współczynnik korelacji liniowej Pearsona. Wszystkie wartości NIR oraz R istotne na poziomie istotności $p \leq 0,05$ wyrażono bezpośrednio w tekście.



Rys. 1. Mapa lokalizacji badanych obszarów badawczych
Fig. 1. Map of the locations of the studied research areas

WYNIKI I Dyskusja

Stężenia wybranych metali ciężkich oznaczone w poszczególnych próbkach igieł sosny zwyczajnej, pochodzących z jednego obszaru badawczego, są zbliżone. Świadczy to o zdolnościach i potencjale indykacyjnym sosny zwyczajnej. Największe średnie stężenia wszystkich analizowanych metali ciężkich wystąpiły w obszarze badawczym Świeradów Zdrój. Spowodowane może być to zwiększonym ruchem turystycznym (przez cały rok) oraz położeniem Świeradowa Zdrój w tzw. Obniżeniu Świeradzkim. Natomiast najniższe średnie stężenia wystąpiły w obrębie obszaru leśnego (m. Byszyno), gdzie wpływ antropopresji jest najniższy (tab. 1). Stężenia analizowanych metali ciężkich w Świeradowie Zdrój są nawet piętnastokrotnie wyższe, niż stężenia uzyskane w Byszynie i Świnoujściu.

Oznaczone ilości poszczególnych metali ciężkich pochodzące z trzech różnych obszarów badawczych wykazują duże różnice w ich stężeniu. Największą różnicę zaobserwowano w stężeniu cynku, który najwyższe stężenie wykazał w miej-

scowości Świeradów Zdrój ($151,72 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), natomiast najniższe stężenie tego metalu odnotowano w Świnoujściu w punkcie nr 6. Było ono ponad trzykrotnie niższe i wynosiło $46,29 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Dla porównania największe stężenie cynku w badaniach Szponara i in. [2009] w igłach świerku (*Picea Excelsa*) pochodzących z regla górnego Czarnohory (Karpaty Wschodnie) wynosiło $34,85 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, jest to ponad czterokrotnie niższe, niż najwyższe stężenie zaobserwowane w badaniach własnych.

Najwyższe stężenia kadmu wystąpiły w obszarze Świeradowa Zdrój, które wynosiły od $0,88 \text{ mg}$ do $0,96 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Były to wartości średnio dwu- i trzykrotnie wyższe niż w obszarze badań w Świnoujściu oraz w Byszynie. Najniższe stężenie tego pierwiastka odnotowano w Byszynie ($0,25 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). W badaniach Szponara i in. [2009] średnie stężenie kadmu stwierdzone w szpilkach świerka z regionu Karpat Wschodnich jest prawie trzykrotnie niższe, niż w badaniach własnych. Najwyższe stężenie kadmu u tego samego autora, które wynosi $0,36 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, jest prawie półtora razy niższe, niż najniższe stężenie tego pierwiastka odnotowane w badaniach własnych.

Tabela 1. Stężenia metali ciężkich w igłach sosny zwyczajnej z wytypowanych obszarów badań [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$]
Table 1. Concentrations of heavy metals in pine needles from selected research regions [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$]

Punkty	Świeradów Zdrój					
	Cd	Co	Cr	Ni	Pb	Zn
1	0,91	0,36	8,50	36,53	1,91	147,28
2	0,95	0,41	8,01	35,04	2,96	151,72
3	0,96	0,39	7,98	34,40	2,96	151,00
4	0,88	0,36	4,21	24,24	1,12	115,70
5	0,96	0,65	4,26	21,73	1,51	104,37
6	0,96	0,65	4,10	24,30	1,16	134,07
Średnia	0,94	0,47	6,18	29,37	1,94	134,02
Świnoujście						
1	0,55	0,33	2,20	7,37	0,91	115,61
2	0,52	0,12	3,52	9,66	0,38	71,11
3	0,56	0,15	1,80	6,11	0,00	68,78
4	0,38	0,04	1,84	7,33	0,00	60,30
5	0,46	0,25	1,94	9,10	1,32	61,65
6	0,45	0,15	3,80	13,10	0,74	46,29
Średnia	0,49	0,17	2,52	8,78	0,56	70,62
Byszyno						
1	0,28	0,01	2,61	4,68	*	63,42
2	0,25	0,06	2,14	4,22	*	63,16
3	0,25	0,06	2,16	4,23	*	63,17
Średnia	0,26	0,03	2,38	4,45	*	63,29

Objaśnienie: * – wartości poniżej progu oznaczalności.

Explanation: * – values below the determination limit.

Biorąc pod uwagę średnie stężenia kobaltu w trzech analizowanych miejscowościach stwierdzono ponad piętnastokrotnie wyższą koncentrację tego metalu w Świeradowie Zdroju oraz ponad pięciokrotnie wyższe stężenia w Świnoujściu niż w Byszynie, gdzie średnie stężenie wynosiło jedynie 0,03 mg·kg⁻¹.

W przypadku chromu zaobserwowano podobne średnie stężenia w Świnoujściu (2,52 mg·kg⁻¹) oraz w Byszynie (2,38 mg·kg⁻¹), natomiast w miejscowości Świeradów Zdrój stężenie tego pierwiastka było ponad dwukrotnie wyższe i wynosiło 6,18 mg·kg⁻¹.

Średnie koncentracje niklu charakteryzują się dużymi różnicami w poszczególnych punktach badawczych. Wartość maksymalną tego pierwiastka stwierdzono w Świeradowie Zdrój w punkcie badawczym nr 1 (36,53 mg·kg⁻¹) i było to stężenie ponad ośmiokrotnie większe, niż najniższe stężenie w Byszynie w punkcie badawczym nr 2 (4,22 mg·kg⁻¹).

Stężenia ołowiu wynosiły od wartości poniżej progu oznaczalności do 2,96 mg·kg⁻¹, a najwyższe średnie stężenie stwierdzone w Świeradowie Zdrój wynosiło 1,94 mg·kg⁻¹, natomiast w Świnoujściu- 0,56 mg·kg⁻¹. W obszarze leśnym (Byszyno) wartości były poniżej progu oznaczalności. W badaniach Szponara i in. [2009] stwierdzono znacznie wyższe stężenia ołowiu, niż uzyskane wartości w badaniach własnych. Najwyższe stężenie ołowiu w badaniach własnych (2,96 mg·kg⁻¹) jest czternastokrotnie niższe, niż stwierdzone najwyższe stężeni tego metalu w badaniach Szponara i in. [2009] w igłach świerka z regionu Karpat Wschodnich.

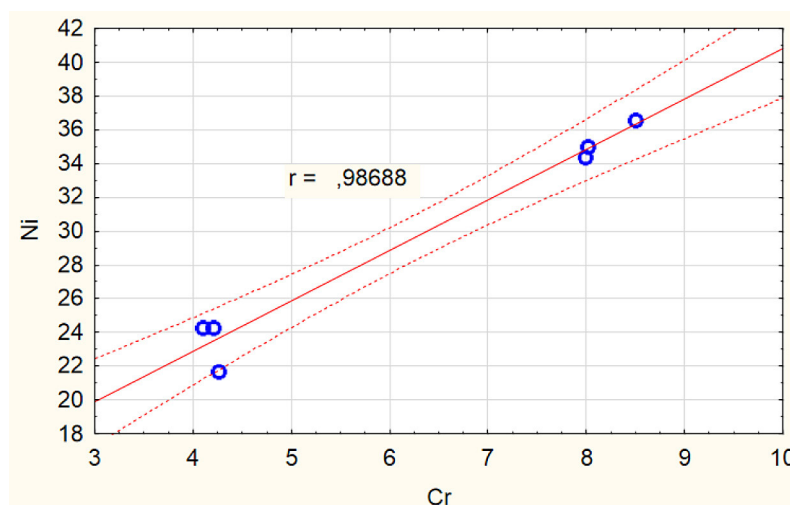
Obliczenia statystyczne wykazały statystycznie istotne różnice (test Tukeya p≤0,05) stężeń wybranych metali ciężkich w próbkach igieł sosny zwyczajnej z obszaru Świeradowa Zdrój (tab. 2). Dla pozostałych dwóch obszarów badań nie stwierdzono statystycznych istotnych różnic w stężeń metali ciężkich.

Tabela 2. Istotność zróżnicowania zawartości metali ciężkich w igłach sosny zwyczajnej z obszarów badań
Table 2. Significance of differences of heavy metals concentrations in needles of Scots pine from research areas

Metale ciężkie	Byszyno	Świnoujście	Świeradów Zdrój
Cd	n.i.	n.i.	*
Co	n.i.	n.i.	*
Cr	n.i.	n.i.	*
Ni	n.i.	n.i.	*
Pb	n.i.	n.i.	*
Zn	n.i.	n.i.	*

Objaśnienia: * – istotność przy poziomie p≤0,05; n.i. – nieistotne.

Explanation: * – significance level p ≤ 0.05; n.i. – not significant.



Rys. 2. Wykres korelacji liniowej Pearsona (p≤0,05) dla Świeradowa Zdrój [mg· kg⁻¹]
Fig. 2. Pearson's linear correlation graph (p≤0.05) for the Świeradów Zdrój [mg· kg⁻¹]

Opracowanie statystyczne wykazało istotnie statystycznie dodatnią korelację (Pearsona $p \leq 0,05$) pomiędzy chromem, a niklem ($R = 0,986$), ołowiem ($R = 0,835$) i cynkiem ($0,856$) oraz dodatnią korelację pomiędzy niklem i cynkiem ($R = 0,909$) w próbkach z obszaru Świeradowa Zdrój. Natomiast w próbkach pobranych ze Świnoujścia wykazano dodatnią korelację pomiędzy chromem i niklem, dla której wartość R wynosi $0,858$. Natomiast w przypadku próbek pobranych z obszaru leśnego (Byszyno), stwierdza się ujemną korelację dla kadmu i kobaltu ($R = -1,00$), chromu, niklu i cynku ($R = -0,999$), a także stwierdzono dodatnią korelację pomiędzy stężeniami kadmu i chromu, niklu oraz cynku ($R = 0,999$).

WNIOSKI

- Obszarem, w którym stwierdzono najwyższe średnie stężenia analizowanych metali ciężkich jest obszar Świeradowa Zdrój, gdzie ukształtowanie terenu oraz duży ruch turystyczny przyczyniają się do większego zanieczyszczenia regionu.
- Obszarem, gdzie stwierdzono najniższe średnie stężenia metali ciężkich jest obszar leśny, położony w pobliżu wsi Byszyno, gdzie oddziaływanie antropopresji jest znikome.
- Stężenia poszczególnych metali ciężkich pochodzące z różnych obszarów badań wykazują duże różnice w ich stężeniu. Największą różnicę stwierdzono w stężeniu cynku.
- Stężenia analizowanych metali ciężkich w próbkach igieł sosny zwyczajnej pochodzących z jednego obszaru badawczego są zbliżone, co może świadczyć o zdolnościach i potencjale indykacyjnym sosny zwyczajnej.
- Wykonane obliczenia statystyczne wykazały statystycznie istotne różnice (test Tukeya $p \leq 0,05$) stężeń wybranych metali ciężkich w próbkach igieł jedynie z obszaru Świeradowa Zdrój. Dla pozostałych obszarów badawczych nie wykazano statystycznych istotnych różnic w zawartości stężeń metali ciężkich. Również analiza statystyczna wykazała istotnie statystyczne dodatnie i ujemne korelacje w zawartościach analizowanych metali ciężkich.
- Na podstawie uzyskanych stężeń metali ciężkich można wnioskować, iż najbardziej zanieczyszczone powietrze występuje w obszarze Świeradowa Zdrój, natomiast najbardziej sprzyjające warunki panują w obszarze leśnym w pobliżu miejscowości Byszyno.

LITERATURA

- Chudzińska E., Urbaniak L. 2008. Reakcja sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) na zanieczyszczenia metalami ciężkimi wyrażona w cechach anatomii igieł. Zarządzanie ochroną przyrody w lasach. Wyższa Szkoła Zarządzaniem Środowiskiem w Tucholi. Red. K. Kannenberg i H. Szramka, Tom 2, Roczn. IV, 72-83.
- Czerniak A., Górna M., Kayzer D. 2009. Wpływ drogi o dużym natężeniu ruchu na cechy fizykochemiczne igieł sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 5, 19-26.
- Grodzińska K. 1983. [W:] bioindykacja skażeń przemysłowych i rolniczych. Mat. Pokonferencyjne, J. Fabiszewski (red.). Wyd. PAN, 67-86.
- Migaszewski Z.M. 1996. Przegląd Geologiczny, nr 44, 564-569.
- Migaszewski Z.M., Gałuszka A. 1997. Wykorzystanie sosny do badań bioindykacyjnych. Przegląd Geograficzny, 42(4), 561-569.
- Musielińska R., Bąbelewska A., Ciesielski W. 2001. Ocena zagrożenia ołowiem i kadmem Borówki czernicy (*Vaccinium myrtillus* L.) z terenu Załęczańskiego Parku Krajobrazowego. Prace Naukowe Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie, Tom IV, 279-294.
- Parzych A. 2014. Zawartość wybranych metali ciężkich w glebie i pędach *Vaccinium myrtillus* L. w Słowińskim Parku Narodowym. Leśne Prace Badawcze (Forest Research Papers), 75(3), 217-224.
- Rusek A., Kabała C., Drozdowska J. 2005. Zawartość ołowiu, cynku i miedzi w wybranych typach próchnic leśnych Dolnego Śląska. Roczniki Gleboznawcze, Tom LXVI, nr 1/2, 137-146.
- Szponar A., Shuber P., Bilińska E. 2009. Metale ciężkie w glebach i szpilkach świerka w ekotopie regla górnego Czarnohory (Karpaty Wschodnie) Problemy ekologii krajobrazu, T. XXIII, 191-201.