

ZAWARTOŚCI METALI CIĘŻKICH W WIERZCHNIEJ WARSTWIE  
GRUNTU I ROŚLINNOŚCI SKŁADOWISKA ŻUŻLA  
HUTNICZEGO ZGH „ORZEŁ BIAŁY” W PIEKARACH ŚLĄSKICH

MARZENA FERDYN, ZYGMUNT STRZYSZCZ

Institut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, ul. M. Skłodowskiej-Curie 34, 41-819 Zabrze

Keywords: metallurgical slag, heavy metals, phytoaccumulation.

HEAVY METAL CONTENT IN TREE SPECIES AND METALLURGICAL SLAG  
FROM NON-FERROUS „ORZEŁ BIAŁY“ PLANT  
IN PIEKARY ŚLĄSKIE

The aim of the study was to estimate the influence of metallurgical slag on heavy metal concentration in tree species. The research included pH-reaction and conductivity of slag samples, heavy metal content (Pb, Zn, Cd, Cu, Ni) in slag, needles and leaves samples. The waste material is covered by vegetation and fulfils a soil function. The vegetation is self-sending. The plant cover being a result of natural succession consists of weeds, grasses, perennials, bushes and trees. Dominant tree species are birches and willows as well as poplar and pine.

In slag samples are observed the raised concentration of cadmium, lead and copper. The low content of zinc is surprising. In tree material observed excessive heavy metal concentration especially lead and cadmium. Their accumulation is undoubtedly depended on tree species, but in this case heavy metal content in plant samples is a result of their presence in slag material. The higher heavy metal content in slag results the higher concentration in needles and leaves (probes S<sub>1</sub> and S<sub>2</sub>, T<sub>1</sub> and T<sub>2</sub>). Exception to this rule is the birch – probe B<sub>1</sub>, but in this case the pH is crucial. In samples with pH over 6.8 heavy metal mobility, their solubility and phytoavailability decrease. pH below 7 results in higher trace element uptake in plants.

Streszczenie

Celem badań było określenie, czy znaczna ilość metali ciężkich znajdujących się w gruncie składowiska żużla huty cynku i ołowiu w Piekarach Śląskich, wpływa na ich zawartość w liściach drzew. Materiał tworzący zwałowisko stanowi podłoże życia i rozwoju roślin, spełniając funkcję utworu glebowego. Istniejąca roślinność to rezultat sukcesji naturalnej. Stanowi ją roślinność ruderalna, a także trawy jedno- i wieloletnie, krzewy i drzewa. Dominującymi gatunkami drzew są brzozy i wierzby, a także topole i sosna zwyczajna. Określono wartości pH i przewodnictwa gruntu oraz zawartości niektórych metali ciężkich (Pb, Zn, Cd, Cu, Ni) w próbach gruntu i materiale roślinnym (liście i szpilki).

W gruncie obserwuje się podwyższoną zawartość kadmu, ołowiu i miedzi, a niską cynku. W badanym materiale roślinnym stwierdzono nadmierną zawartość metali ciężkich, zwłaszcza ołowiu i kadmu. Kumulacja tych metali uzależniona jest od gatunku roślin, ale także odzwierciedla ich obecność w gruncie. Zauważono, że im wyższa zawartość pierwiastków śladowych w gruncie, tym wyższy stopień ich akumulacji w liściach i szpilkach (próby S<sub>1</sub> i S<sub>2</sub>, T<sub>1</sub> i T<sub>2</sub>). Wyjątek stanowi tu brzoza omszona, ale w tym przypadku zdecydował

prawdopodobnie kwaśny odczyn. Przy wartości pH większej od 6,8 zmniejsza się mobilność metali ciężkich oraz przyswajanie przez rośliny. Przy wartości pH podłoża poniżej 7 rośliny akumulują więcej mikrośladników.

## WPROWADZENIE

Proces degradacji środowiska przyrodniczego jest bardzo często powodowany nadmierną kumulacją metali ciężkich. Ich wysoką zawartość notuje się w pobliżu dużych ośrodków przemysłowych, a zwłaszcza hut: cynku, ołowiu i miedzi, które są jednym z najpoważniejszych źródeł zanieczyszczeń. Emitują one do atmosfery nie tylko związki produkowanych metali, lecz również inne metale, występujące jako domieszki w przerabianych surowcach. Chodkowski [2] podaje skład chemiczny i mineralogiczny rud cynkowo-ołowiowych (Tab. 1). Znajdują się w nich minerały zawierające oprócz cynku i ołowiu, także miedź, żelazo, tal oraz w małych ilościach kadm, arsen, antymon, kobalt, bizmut i niektóre metale szlachetne [2].

Tabela 1. Zawartość niektórych składników rud cynkowo-ołowiowych [2]  
Component content of zink-lead ore [2]

Ruda / Ore	Zn	Pb	Cu	Fe	S	SiO <sub>2</sub>
1.	2,6	1,3	0,2	2,0	3,6	54,5
2.	6,6	1,0	2,3	10,6	13,3	46,0
3.	5,5	2,3	1,0	1,8	-	20,0
4.	3,3	2,0	0,4	3,5	5,1	38,1
5.	11,2	3,9	0,1	7,7	8,0	12,0

Obszerne są badania dotyczące hałd górniczych, związanych z wydobyciem węgla kamiennego, brunatnego, rud żelaza i miedzi, rud cynku i ołowiu, a także osadników związanych z procesami ich flotacji [17–19]. Brak jest natomiast wyników badań zawartości metali ciężkich w gruntach zwałów odpadów hutnictwa metali nieżelaznych i metod ich rekultywacji. Paluch i Strzyszczyk badali wpływ tego rodzaju odpadów na wody gruntowe i powierzchniowe, charakteryzując przy tym zwałowany materiał [15]. Określono również zawartości niektórych metali ciężkich w różnych gatunkach drzew zastosowanych do rekultywacji składowiska odpadów z flotacji rud cynku i ołowiu [20].

Jednak zagadnieniem zawartości pierwiastków śladowych w gruncie zwałowisk hutniczych w relacji podłoże – roślina dotychczas się nie zajmowano. W niniejszej pracy podjęto próbę poznania tych zagadnień i ich interpretacji. Może to nastęrczać wiele trudności, ponieważ obiekt badań nie jest glebą, a tylko gruntem składowiska odpadów, więc trudno oceniać go w tych samych kategoriach, co gleby.

## OBIEKT BADAŃ

Obiektem badań było składowisko żużla hutniczego Kombinatu Metali Nieżelaznych ZGH „Orzeł Biały” w Piekarach Śląskich, zlokalizowane w dzielnicy Piekar – Brzezinach Śląskich, po wschodniej stronie huty „Orzeł Biały”. Zajmuje powierzchnię 16 hektarów, jego średnia wysokość wynosi 20 m, kubatura – 3,3 mln m<sup>3</sup>, a masa 5 mln

ton. Powstawało ono w latach 1926–1979, a obecnie jest eksploatowane przez przedsiębiorstwa obce. Odpad tworzy żużel z pieców przewalowych – mieszanina okruszków dolomitowych, spieków żużla i wypałów koksu [22].

W 1994 roku przeprowadzono badania przydatności materiału ze zwałowiska do budowy autostrad. Badania dotyczyły składu ziarnowego oraz petrograficzno-mineralogicznego. Rozpatrując granulację materiału, stwierdzono przeważający udział frakcji o wymiarach 0,063–20 mm oraz bardzo duży procent ziarn większych od wyżej podanego zakresu. Występują też lokalnie bryły spieków twardych i monolitycznych.

W wyniku badań petrograficzno-mineralogicznych wykazano obecność w materiale pohnicznym faz krystalicznych, powstałych w procesie wysokotemperaturowym (są to: spinele, trydymit i mullit, występujące w postaci spieków) oraz faz krystalicznych powstałych w procesie oddziaływania warunków powierzchniowych (są to: gips, kalcyt, minerały ilaste) [12]. Odpad charakteryzuje się bardzo dużym zróżnicowaniem pod względem zawartości pierwiastków chemicznych (Tab. 2) [15]. Tak scharakteryzowany materiał składowiska stanowi podłoże życia roślin. Właściwości oraz stopień zwietrzenia materiału nie nadają mu cech gleby, choć będąc podłożem życia wielu gatunków flory spełnia funkcję utworu glebowego.

Tabela 2. Skład chemiczny odpadów (dane ZGH „Orzeł Biały” z 1967 r.) [15]  
Chemical composition of metallurgical slag from "Orzeł Biały" Plant [15]

Składnik Component	%	Składnik Component	%
Zn-total	2,80	As	0,19
ZnO	1,41	Sb	0,01
ZnS	1,39	Sn	0,00
Pb-total	0,36	Mn	0,75
Fe-total	19,21	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,88
FeS <sub>2</sub>	1,90	Ni	0,01
FeS	9,55	CaO	18,48
FeO	7,20	MgO	9,66
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,56	SiO <sub>2</sub>	17,00
Cd	0,01	Cl	0,01
Cu	0,27	S	6,23
Ag	0,01	C	12,46

Warunki klimatyczne obiektu omówiono na podstawie danych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Katowicach dla Świerklańca (najbliższej stacji meteorologicznej). Dane te są średnią wieloletnią z okresu trzydziestolecia (lata 1961–90) i obejmują:

- rozkład kierunków wiatru,
- miesięczne, sezonowe i roczne sumy opadów,
- wilgotność względną powietrza,
- temperaturę powietrza.

Przeważają wiatry zachodnie, północno-zachodnie i południowo-zachodnie. Częstości wiatrów wynoszą odpowiednio: 21,2%, 19,4% i 19,2%. Najmniej wiatrów notuje

się z kierunku południowo-wschodniego: tylko 6,9%. Udział cisz jest niewielki (4,7%). Średnioroczna prędkość wiatru wynosi 2,7 m/s, a średnioroczna suma opadów – 699 mm, przy czym na okres wegetacyjny przypada 63% ilości opadów w roku. Średnia temperatura powietrza dla charakteryzowanego obiektu wynosi 7,7°C, a średnioroczna wilgotność względna powietrza 76%.

Klimat lokalny ma ścisły związek ze stopniem zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego. Analizując warunki klimatyczne Piekar Śląskich należy uznać je, z punktu widzenia rozprzestrzeniania zanieczyszczeń i samooczyszczania się atmosfery, za umiarkowanie korzystne, gdyż występują tu duże prędkości wiatru i stosunkowo niewielkie ilości cisz. Jednak mimo to, notuje się tu dosyć wysokie stężenie zanieczyszczeń gazowych i pyłowych oraz bardzo wysoki opad pyłu (Tab. 3). Przyczyną tego mogą być emisje huty „Orzeł Biały”, nasilony transport samochodowy na tym terenie oraz napływ zanieczyszczeń (np. z okolic miasta Bytomia, Zabrze, Gliwic, Tarnowskich Gór). Pozytywnym zjawiskiem jest obserwowane w ostatnich latach zmniejszenie wartości opadu pyłów.

Tabela 3. Średnie obszarowe wartości opadu pyłu w Brzezinach Śląskich  
(dane Rejonowej Stacji Sanitarno-Epidemiologicznej w Bytomiu)  
Dust fall in Brzeziny Śląskie

Rok Year	Opad pyłu Dust fall g/m <sup>2</sup> r	Opad Pb Pb fall mg/m <sup>2</sup> r	Opad Zn Zn fall mg/m <sup>2</sup> r	Opad Cd Cd fall mg/m <sup>2</sup> r	Opad Cu Cu fall mg/m <sup>2</sup> r	Opad Ni Ni fall mg/m <sup>2</sup> r
1982	312	1270	2134	12,52	70	10,8
1988	184	452	827	15,01	-	-
1992	115	161	423	4,32	17	7,1
wart.dop. limit value	200	100	-	10	-	-

Składowisko żużła hutniczego w Brzezinach Śląskich jest zazielenione. Zieleń powstała w sukcesji naturalnej. Stanowi ją roślinność ruderalna, trawy jedno- i wieloletnie, krzewy i drzewa. Stopień zadrzewienia nie jest jeszcze zbyt wysoki, ale można wnioskować, że stopień ten ma tendencję wzrostową pod wpływem sukcesji naturalnej. Najwyższy stopień pokrycia terenu przez rośliny drzewiaste cechuje wschodnią część zwałowiska. Wynika to zapewne z faktu, że rejon ten został najwcześniej wyłączony z eksploatacji. Dominującymi gatunkami drzew są brzozy (*Betula pubescens Ehrh.* i *Betula verrucosa L.*), wierzby (*Salix caprea L.* i *Salix pentandra L.*) oraz topole, zwłaszcza topola osika (*Populus tremula L.*). Obok wymienionych gatunków drzew najliczniej rosnących, występują także: wierzba purpurowa (*Salix purpurea L.*), sosna zwyczajna (*Pinus silvestris L.*), topole: czarna i biała (*Populus nigra L.*, *Populus alba L.*).

Składowisko w Brzezinach Śląskich ma negatywny wpływ na sąsiadujące tereny z powodu wtórnej emisji pyłów. Jego nieustabilizowane zbocza nie są zadrzewione, ani zadarnione, łatwo osypują się, będąc źródłem niekontrolowanego pylenia. Pyły te mogą być powodem zanieczyszczenia gleb uprawnych (np. pobliskich ogródków działkowych) oraz przyczyną akumulacji metali ciężkich w roślinach.

Podłoże, na którym zlokalizowany jest obiekt stanowią grunty kamienisto-gliniaste. Z hydrologicznego punktu widzenia grunty te są słaboprzepuszczalne [12].

### POBÓR PRÓB I METODYKA BADAŃ

Z punktów badań zlokalizowanych we wschodniej części składowiska żużla hutniczego w Brzezinach Śl. pobrano we wrześniu 1995 liście i szpilki:

- brzozy omszonej – *Betula pubescens Ehrh.* (próby B<sub>1</sub> i B<sub>2</sub>),
- sosny zwyczajnej – *Pinus silvestris L.* (próby S<sub>1</sub> i S<sub>2</sub>),
- topoli osiki – *Populus tremula L.* (T<sub>1</sub> i T<sub>2</sub>),
- wierzby laurowej – *Salix pentandra L.* (W<sub>1</sub>).

Z każdego drzewa pobrano po jednej próbie liści. Materiał roślinny umyto, wysuszone i zmielono. Zawartości metali ciężkich oznaczono metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej (spektrometr PHILIPS PU 9100X), po uprzedniej mineralizacji prób według metodyki podanej przez Ostrowską [14].

Próbki gruntu pobrano spod okapu poszczególnych drzew:

A: głębokość 0 – 10 cm,

B: głębokość 10 – 20 cm.

Lokalizacja poboru próbek gruntu:

- punkt nr I pod brzozą omszoną (B<sub>1</sub>),
- punkt nr II pod brzozą omszoną (B<sub>2</sub>),
- punkt nr III pod sosną zwyczajną (S<sub>1</sub>),
- punkt nr IV pod sosną zwyczajną (S<sub>2</sub>),
- punkt nr V pod topolą osiką (T<sub>1</sub>),
- punkt nr VI pod topolą osiką (T<sub>2</sub>),
- punkt nr VII pod wierzbą laurową (W<sub>1</sub>).

W laboratorium próby wysuszone, a następnie przesiano przez sito o średnicy oczek 1 mm. W laboratorium oznaczono:

- odczyn (pH),
- zasolenie,
- zawartości metali ciężkich.

pH w H<sub>2</sub>O oznaczono potencjometrycznie (pehametr ELMETRON CP-211) [14].

W celu określenia stopnia zasolenia gruntów dokonano pomiarów przewodnictwa właściwego wyciągów glebowych metodą konduktometryczną (konduktometr ELMETRON CC-317), przy stosunku substratu do wody jak 1:5.

Zawartości metali ciężkich oznaczono metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej (spektrometr PHILIPS PU 9100X) po uprzednim trawieniu prób 2-molarnym roztworem HNO<sub>3</sub>. Do trawienia prób zastosowano kwas azotowy, ponieważ w rudach cynkowo-olowiowych tworzących zwałowisko, metale ciężkie występują głównie w formie siarczków. Kwas azotowy utlenia siarczki, w przeciwieństwie do kwasu solnego, który tylko je rozkłada.

Obliczono współczynniki korelacji między zawartością metali w poszczególnych próbach podłoża i w próbach roślinnych.

## OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

## Odczyn i zasolenie gruntu

Badane próby podłoża charakteryzują się małym zróżnicowaniem odczynu: od kwaśnego (próba IA) do zasadowego (próby IIA, IVA, IVB, VB, VIB, VIIA, VIIB), który przeważał (Tab. 4). Odczyn obojętny wykazują próby: IB, IIB, IIIA, IVA, VA, a lekko kwaśny – próba IIIB. Najbardziej kwaśny odczyn wykazuje grunt w punkcie I, w którym pH waha się od 5,85 do 6,93, wykazując wzrost z głębokością. Odczyn zasadowy stwierdzono w punkcie IV, gdzie pH waha się od 8,43 do 8,56 w warstwie głębszej podłoża. Podobną tendencję zmiany pH zaobserwowano również w punktach V i VI. W próbach II, III, VII wartość pH maleje wraz z głębokością. W punktach nr I i VI wartości odczynu w warstwach A (0–10 cm) i B (10–20 cm) różnią się znacznie.

Badane próby charakteryzują się zróżnicowanym przewodnictwem, które waha się od 240  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (próba IVA) do 4390  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (próba VA) (Tab. 4). W większości punktów badawczych większe zasolenie wykazuje głębsza warstwa gruntu (10–20 cm), przewodnictwo której zmienia się od 712  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (punkt IV) do 3890  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (punkt I). Zwraca uwagę znaczne, w porównaniu do innych punktów badawczych, powierzchniowe zasolenie gruntu w punktach V i VI. Uzyskane wyniki są porównywalne z pomiarami przewodnictwa prób różnych rodzajów odpadów ze składowiska Huty „Mała Panew” prowadzonymi przez Gucwę [8]. Przewodnictwo właściwe materiału ze składowiska było zróżnicowane i mieściło się w zakresie od 127  $\mu\text{S}/\text{cm}$  do 8700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Tabela 4. Przewodnictwo, pH i zawartości metali ciężkich w gruntach składowiska zużła hutniczego ZGH "Orzeł Biały" w Piekarach Śląskich

Conductivity, pH and heavy metal content in metallurgical slag from "Orzeł. Biały" Plant in Piekary Śląskie

Numer próby Number of slag samples	Głębokość Depth [cm]	Przewodnictwo właściwe Conductivity $\mu\text{S}/\text{cm}$	Odczyn pH-reaction pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	Zawartości metali ciężkich Heavy metal content [ppm]				
				Pb	Zn	Cd	Cu	Ni
I	0-10(A)	2090	5,85	164,9	59,3	10,5	171,8	22,3
	10-20(B)	3890	6,93	112,1	57,7	4,0	18,0	35,7
II	0-10(A)	1455	7,60	1437,0	63,6	31,8	250,1	60,8
	10-20(B)	2020	7,44	630,0	62,8	16,6	249,8	47,2
III	0-10(A)	1832	7,40	1363,0	63,9	46,3	171,1	30,9
	10-20(B)	2010	6,74	255,5	59,8	7,7	207,7	10,7
IV	0-10(A)	240	8,43	244,2	62,4	17,9	13,8	9,0
	10-20(B)	712	8,56	146,1	62,3	10,9	11,0	10,3
V	0-10(A)	4390	7,45	49,1	55,5	2,5	26,9	29,7
	10-20(B)	2410	7,68	29,4	55,5	1,9	17,5	20,8
VI	0-10(A)	4200	6,93	592,5	62,1	31,6	156,9	24,0
	10-20(B)	1881	8,00	5,1	55,6	2,8	2,4	8,1
VII	0-10(A)	546	8,18	3540,0	64,2	33,6	80,6	13,6
	10-20(B)	1781	7,84	1420,0	68,5	29,4	122,7	12,5

## Zawartości metali ciężkich w gruncie

Z analizy danych, dotyczących zawartości metali ciężkich w gruncie składowiska wynika, że największą akumulację wykazują ołów, cynk i miedź, przy czym gromadzą się one przede wszystkim w warstwie wierzchniej (0–10 cm). W warstwie o głębokości 10–20 cm zawartości tych metali znacznie się zmniejszają. Zauważono, że zawartość miedzi w punktach III i VII wzrasta wraz z głębokością. Podobna sytuacja występuje w punktach I i VI, ale dla niklu (Tab. 4).

Zawartość ołowiu (Pb) waha się od 5,1 ppm (próba VIB) do 3540 ppm (próba VIIA). Zwraca uwagę duża różnica między zawartością metalu w warstwach A i B. W punktach I, IV, V i VII zawartość Pb w warstwie wierzchniej (0–10 cm) jest około dwa razy większa niż w warstwie B (10–20 cm), natomiast w przypadku punktu nr VI zawartość ta jest aż stukrotnie wyższa (592,5 ppm Pb w warstwie A i 5,1 ppm Pb w warstwie B). Wynika to z bardzo dużej różnorodności tworzywa zwałowiska. Prawie we wszystkich próbach została przekroczona wartość graniczna dla wyciągu w 2 M HNO<sub>3</sub> [3]. Wyjątek stanowią próby punktu V, gdzie ilość ołowiu wynosi 49,1 ppm Pb (warstwa A) i 29,4 ppm Pb (warstwa B).

Cynk (Zn) występuje w ilościach nie przekraczających wartości progowej 200 ppm [3]. Zawartość cynku jest mało zróżnicowana zarówno w poszczególnych punktach badań, jak i w warstwach i zmienia się od 55,5 ppm Zn (punkt nr V) do 68,5 ppm Zn (punkt nr VII). W warstwie powierzchniowej (0–10 cm) ilość Zn jest nieznacznie większa niż na głębokości 10–20 cm.

Zawartość kadmu (Cd). Stwierdzono malejące zawartości tego metalu wraz z głębokością. Jego zawartość waha się od 1,9 ppm Cd (próba VB) do 46,3 ppm Cd (próba IIIA). We wszystkich przypadkach zawartość Cd kilkakrotnie (nawet 50 razy w próbie IIIA) przekracza wartość graniczną dla wyciągu w 2 M HNO<sub>3</sub> (0,8 ppm Cd) [3].

Zawartość miedzi (Cu) zmienia się od 2,4 ppm Cu (próba VIB) do 250 ppm Cu (próby z punktu II). Zasadniczo ilość tego metalu maleje wraz z głębokością. Wyjątek stanowią próby punktów III i VII. W kilku próbach: IB, IVA, IVB, VA, VB i VIB zawartość Cu jest bliska wartości progowej (50 ppm Cu) [3].

Zawartość niklu (Ni) waha się od 8,1 ppm Ni (próba VIB) do 60,8 ppm (próba IIA). Norma dla wyciągu w 2 M HNO<sub>3</sub> (50 ppm Ni) [3] została przekroczona tylko w jednym przypadku – w próbie IIA.

## Zawartości metali ciężkich w materiale roślinnym

Akumulacja składników w roślinach zależy od właściwości samych roślin, określonego stadium ich rozwoju, zawartości składników w środowisku wzrostu, a także wszystkich czynników (temperatura, światło, jakość powietrza i gleby, zaopatrzenie w wodę) decydujących o wzroście i rozwoju roślin [13].

W warunkach naturalnych istnieje duże zróżnicowanie zawartości składników w zależności od gatunków, a nawet odmian roślin. Większą tolerancję pod tym względem wykazują drzewa liściaste niż iglaste [1]. Porównując zawartości metali ciężkich w szpilkach sosny S<sub>1</sub> (Tab. 5), rosnącej na podłożu o zbliżonym składzie chemicznym do materiału pod okapem brzozy omszonej B<sub>2</sub>, zauważono, że w próbie S<sub>1</sub> ich zawartość jest wyższa. Znamienne jest, że liście wierzby laurowej zawierały stosunkowo małe ilości metali ciężkich, mimo znacznych ich zawartości w podłożu (punkt VII). Może to

być spowodowane odpornością tego gatunku na obecność metali w środowisku wzrostu lub też obojętnym odczynem, powodującym, że metale występują w formach trudno przyswajalnych przez rośliny.

Tabela 5. Zawartości metali ciężkich w liściach i szpilkach drzew składowiska żużla hutniczego ZGH "Orzeł Biały" w Piekarach Śląskich  
Heavy metal content in tree species growing on metallurgical slag from "Orzeł Biały" Plant in Piekary Śląskie

Oznaczenie próby Plant samples	Gatunek drzewa Tree species	Zawartości metali ciężkich Heavy metal content [ppm]				
		Pb	Zn	Cd	Cu	Ni
		B <sub>1</sub>	<i>Betula pubescens Ehrh.</i>	115,7	61,6	4,4
B <sub>2</sub>	<i>Betula pubescens Ehrh.</i>	59,8	59,1	1,9	6,4	2,1
S <sub>1</sub>	<i>Pinus silvestris L.</i>	63,7	54,9	1,8	31,5	3,0
S <sub>2</sub>	<i>Pinus silvestris L.</i>	55,9	49,3	0,5	3,9	1,2
T <sub>1</sub>	<i>Populus tremula L.</i>	41,9	17,3	9,3	19,6	2,7
T <sub>2</sub>	<i>Populus tremula L.</i>	28,2	61,0	21,7	5,6	2,2
W <sub>1</sub>	<i>Salix pentandra L.</i>	47,4	57,6	8,5	6,1	1,7

Pobieranie omawianych pierwiastków przez korzenie roślin zależy od stężenia soli mineralnych w roztworze glebowym. Przy niskich stężeniach jonów aktywne pobieranie przez korzenie jest wysoce selektywne, przy większych zaś stężeniach selektywność ta maleje. W konsekwencji przy wyższych stężeniach, rośliny pobierają dużo więcej różnorodnych jonów [5]. Równocześnie korzenie roślin wydzielają aniony, co przy małej ilości kationów pierwiastków alkalicznych, powoduje zakwaszenie bezpośredniego otoczenia korzeni i wpływa na intensywność pobierania metali ciężkich [7]. Zawartości metali ciężkich w roślinie zwiększają się więc proporcjonalnie do ich ilości w środowisku.

Zasada ta nie znajduje w pełni odzwierciedlenia w naszych badaniach, ponieważ w gruntach o najwyższej zawartości metali ciężkich (II, III i VII) nie stwierdzono ich najwyższych stężeń w liściach i szpilkach. Jedynie w obrębie jednego gatunku drzew zależność ta jest widoczna, np. szpilki sosny zwyczajnej w próbie S<sub>1</sub> (punkt III) zakułowały więcej metali ciężkich niż w próbie S<sub>2</sub> (punkt IV). W punkcie I, w którym zawartości metali ciężkich w podłożu są niskie, liście brzozy zawierają więcej tych metali niż jej liście w punkcie II. Spowodował to kwaśny odczyn podłoża, który także wpływa na mobilność pierwiastków śladowych w roztworze glebowym (a tym samym na możliwość toksycznego oddziaływania na rośliny). Z reguły stężenie metali ciężkich w roztworach glebowych silnie wzrasta w miarę obniżania wartości pH gleby [16]. Strzyszcz zwraca uwagę, że nie dotyczy to jednak cynku, który dzięki amfoteryczności jest ruchliwy, zarówno w środowisku kwaśnym, jak i zasadowym [21]. Zawartość cynku we wszystkich próbach roślinnych jest zbliżona i waha się w zakresie 49,3 – 61,6 ppm. Współczynnik korelacji między zawartością metali w poszczególnych próbach podłoża i w próbach roślinnych (Tab. 6) obliczony dla cynku jest wysoki (ponad 0,7). Dla innych pierwiastków (Mn, Ni) wynosi ok. 0,3.



Tabela 6. Współczynniki korelacji między zawartością metali ciężkich w gruncie i roślinach  
Correlation coefficients between heavy metal content in tree and slag samples

	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni
A/T	-0,213	0,768	-0,005	0,037	0,321
B/T	-0,111	0,357	-0,246	0,341	0,259

A – zawartości metali ciężkich w warstwie 0–10 cm

A – heavy metal content in slag 0–10 cm

B – zawartości metali ciężkich w warstwie 10–20 cm

B – heavy metal content in slag 10–20 cm

T – zawartości metali ciężkich w próbach roślin

T – heavy metal content in tree samples

O intensywności pobierania pierwiastków śladowych decydują również związki, w których występują. Najłatwiej przyswajane są kationy roztworu glebowego i kationy wymienne w kompleksach organicznych i nieorganicznych [9]. Na ogół jednak zaznacza się wyraźna tendencja roślin do pobierania określonych metali ciężkich, jak i zdolność tych metali do większej lub mniejszej akumulacji. Obliczono wartości wskaźnika akumulacji ze stosunku zawartości pierwiastków w roślinach do ich stężenia w glebie. Okazało się, że najwyższym stopniem akumulacji charakteryzuje się kadm, średnim cynk, molibden, miedź, rtęć, ołów, natomiast niskim – mangan, nikiel, chrom [9, 10]. Analizując wyniki badań pod tym kątem, należy stwierdzić, że kadm i ołów mają największą tendencję do nagromadzenia, bowiem ich zawartość w liściach i szpilkach jest 10-, a nawet 20-krotnie wyższa od naturalnej, określonej przez Gresztę (Pb: 2,1–10,4 ppm, Cd: 0,12 do 0,84 ppm) [7]. Natomiast badane rośliny zawierały najmniej cynku i niklu, których zawartość utrzymuje się na poziomie zbliżonym do naturalnego (Zn: 26 do 250 ppm, Ni: 0,5 – 10 ppm), oraz miedzi, której naturalna zawartość została przekroczona tylko w dwóch próbach liści: topoli osiki ( $T_1$ ) i sosny zwyczajnej ( $S_1$ ).

## PODSUMOWANIE

Wyniki badań gruntu pobranego ze składowiska, wskazują na bardzo duże zróżnicowanie właściwości chemicznych poszczególnych prób. Świadczy to o niejednorodności materiału, wynikającej prawdopodobnie z faktu, że zwalowisko powstawało w ciągu wielu lat, a każda kolejna partia odpadów miała inny skład.

Odczyn jest w większości badanych prób zasadowy lub obojętny. Fakt ten tłumaczy duża zawartość tlenków zasadowych (CaO, MgO) w składowanych odpadach. Przy wartości pH większej od 6,8 zmniejsza się mobilność metali ciężkich w glebie, ich rozpuszczalność oraz przyswajanie przez rośliny. W dwóch próbach podłoża stwierdzono odczyny: kwaśny (próba IA) i słabokwaśny (próba IIIB). Wpłynęło to na zwiększone pobieranie mikroskładników przez rośliny rosnące na takich podłożach.

Wartości przewodnictwa właściwego są stosunkowo wysokie i wskazują na duże zasolenie. Fink [4] podaje, że przewodnictwo do 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  nie zakłóca wzrostu roślin, ale wartości przekraczające 4000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  są już przyczyną obniżki plonów. Połowa prób podłoża wykazuje przewodnictwo do 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , a w dwóch próbach (VA i VIA) przekroczona jest wartość 4000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

W badanych gruntach stwierdzono podwyższoną zawartość kadmu, ołowiu i miedzi. Niska jest natomiast zawartość cynku w pobranym z hałdy materiale. Zjawisko to trudno wytłumaczyć, zwłaszcza, że podawana przez ZGH „Orzeł Biały” zawartość

cynku w składowanych odpadach (Tab. 1) jest wyższa od zawartości całkowitej ołowiu (którego ilość w próbach jest duża). Przyczyną może być występowanie cynku w formach, które nie są rozpuszczalne w kwasie azotowym (użytym do trawienia prób gruntu).

Zauważono, że wierzchnie warstwy są wyraźnie wzbogacone w poszczególne metale w stosunku do warstw głębszych. Można to tłumaczyć wysokim opadem metali ciężkich pochodzącym z emisji przemysłowych albo podsiąkaniem i parowaniem roztworów.

W materiale roślinnym stwierdzono wysokie zawartości metali ciężkich, zwłaszcza ołowiu i kadmu. Kumulacja tych metali niewątpliwie uzależniona jest od gatunku roślin. Jednak w przypadku omawianych wyników badań, ilość metali ciężkich w roślinach odzwierciedla ich obecność w podłożu.

Porównując uzyskane wyniki z zawartością metali ciężkich w liściach i szpilkach drzew rosnących na osadniku poflotacyjnym rud cynkowo-ołowiowych [20], zauważono, że roślinność na osadniku poflotacyjnym cechuje dużo wyższy stopień akumulacji mikroelementów przez poszczególne gatunki.

Metale ciężkie szkodliwie oddziałują na rośliny. Mogą one blokować układy enzymatyczne, wywołując zmiany fizjologiczne, które w skrajnych przypadkach prowadzą do obumierania tkanek i komórek [6]. Najczęstszymi reakcjami na toksyczne działanie metali ciężkich są: zaburzenia wzrostu i rozwoju, nieprawidłowy rozwój systemu korzeniowego, różne specyficzne zmiany fizjologiczne [11]. Drzewa rosnące na omawianym zwałowisku cechuje karłowatość, deformacje pni i gałęzi, zaobserwowano zmiany zabarwienia: nekrotyczne plamy na liściach, zaczerwienie ogonków i nerwów liściowych, żółknięcie igieł.

## WNIOSKI

1. Grunt składowiska żużla hutniczego wykazuje odczyn zasadowy lub obojętny oraz charakteryzuje się dużym zasoleniem.
2. Analiza chemiczna wykazała znaczne ilości metali ciężkich, zarówno w gruncie, jak i w roślinach.
3. Przyczyną wysokiej zawartości metali ciężkich w badanym materiale jest skład chemiczny zwałowanych odpadów, a podwyższone zawartości tych metali w wierzchnich warstwach gruntu potwierdzają ich obecność w opadającym pyłe.
4. Zawartości metali ciężkich w aparacie asymilacyjnym drzew zależą od gatunku oraz od ich ilości w podłożu: im wyższa zawartość danego pierwiastka w podłożu, tym wyższa jest jego akumulacja w roślinie. Zależność ta jest ewidentna, gdy podłoża wykazują zbliżony odczyn.
5. W celu ograniczenia negatywnego oddziaływania składowiska na sąsiednie tereny należy go zadarnić i zadrzewić, co poprawi również estetykę krajobrazu. Jednak z ekologicznego punktu widzenia rekultywacja biologiczna może okazać się bezcelowa, gdyż metale ciężkie pobierane przez rośliny będą wracały do podłoża z masą roślinną. W wyniku tego nie obniża się ilość metali ciężkich w zwałowanym materiale.

## LITERATURA

- [1] Białobok S.: *Wpływ zanieczyszczeń powietrza na roślinność*, LOP, Warszawa 1988.
- [2] Chodkowski S.: *Metallurgia metali nieżelaznych*, Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1971.
- [3] *Commantery on the ovollinace relating to polutans in soil (VSB0; of June 9, 1986)*, Published by the Swiss Federal Office of Environment, Forests and Landscape (FOEFL), Zürich 1987.
- [4] Finck A.: *Pflanzen-Ernährung in Stichworten*, Verlag Ferdinand Hirt 1969.
- [5] Gąsczyk R.: *Badanie akumulacji i usuwania  $Cd^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  przez  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $NH_4^+$  z materiału glebowego w zróżnicowanych warunkach odczynu i natlenienia*, Wydawnictwo Akademii Rolniczej, Lublin 1991.
- [6] Gorlach E.: *Metale ciężkie w glebie i roślinach*, *Aura*, **11**, 9–10 (1991).
- [7] Greszta J., E. Panek: *Wpływ metali ciężkich na drzewa*, [w:] Białobok S.: *Życie drzew w skażonym środowisku*, PWN, Warszawa – Poznań 1989.
- [8] Gucwa J.: *Ferromagnetyczność gleb w rejonie oddziaływania zakładów hutnictwa żelaza i stali*, Praca magisterska, WSP Opole 1990.
- [9] Kabata-Pendias A., H. Pendias: *Biogeochemia pierwiastków śladowych*, PWN, Warszawa 1999.
- [10] Kabata-Pendias A., H. Pendias: *Pierwiastki śladowe w środowisku biologicznym*, Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1979.
- [11] Książek M., K. Idzikowska, R. Przymusiński: *Wpływ zanieczyszczeń na morfologię, anatomię i ultrastrukturę drzew*, [w:] Białobok S.: *Życie drzew w skażonym środowisku*, PWN, Warszawa–Poznań 1989.
- [12] Łukaszek R., R. Miłkowski: *Dokumentacja badań przydatności materiałów ze zwałowisk ZGH w Bytomiu dla budowy autostrad*, Zakład Usług Geotechnicznych, Kraków 1994.
- [13] Ostrowska A.: *Krążenie składników w przyrodzie – akumulacja w roślinach*, *Ekopartner*, **3**, 21–22 (1996).
- [14] Ostrowska A., S. Gawliński, Z. Szczubiałka: *Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin*, Katalog, Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa 1991.
- [15] Paluch J., Z. Strzyszczyk: *Wpływ odpadów hutnictwa cynku na zanieczyszczenie wód gruntowych i powierzchniowych*, *Biuletyn Zakładu Badań Naukowych GOP PAN*, **12**, 31–47 (1970).
- [16] Prusinkiewicz Z., U. Pokojska: *Wpływ emisji przemysłowych na gleby*, [w:] Białobok S.: *Życie drzew w skażonym środowisku*, PWN, Warszawa–Poznań 1989.
- [17] Rosik-Dulewska Cz., U. Karwaczyńska, K. Cichy, R. Wróbel: *Ocena zagrożenia środowiska naturalnego odpadami pośladowymi rud cynku i ołowiu ze składowiska w Piekarach Śl. oraz odpadami po wtórnej flotacji*, *Archiwum Ochrony Środowiska*, **2**, 119–130 (1998).
- [18] Rostański A.: *Zawartość metali ciężkich w glebie i roślinach z otoczenia niektórych emitorów zanieczyszczeń na Górnym Śląsku*, *Archiwum Ochrony Środowiska*, **3–4**, 181–189 (1997).
- [19] Strzyszczyk Z.: *Bezpośrednie i pośrednie oddziaływanie przemysłu, górnictwa, energetyki i transportu na glebę*, *Zasoby glebowe i roślinne – użytkowanie, zagrożenie, ochrona*, PWRiL, Warszawa 1984.
- [20] Strzyszczyk Z.: *Ecological aspects of remadiated post-mining areas after zink and lead exploration in southern Poland*, *Landscape and Urban Planing*, oddana do druku.
- [21] Strzyszczyk Z.: *Oddziaływanie przemysłu na środowisko glebowe i możliwości jego rekultywacji*, Zakład Narodowy Ossolińskich, Wrocław 1982.
- [22] Wniosek o zatwierdzenie lokalizacji istniejących w ZGH „Orzeł Biały” zwałowisk odpadów przemysłowych, Bytom 1986.