

PROBLEMATYKA ZANIECZYSZCZENIA ROŚLINNOŚCI ODŁOGÓW METALAMI CIĘŻKIMI W SOŁECTWACH PSARY I PŁOKI

Agnieszka Petryk¹, Paweł Guzdek², Piotr Petryk³

¹ Katedra Gospodarki Regionalnej, Wydział Gospodarki i Administracji Publicznej, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, ul. Rakowicka 27, 31-510 Kraków, e-mail: agnieszka.petryk@uek.krakow.pl

² Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochronę Środowiska, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, e-mail: guzdekp@interia.pl

³ Katedra Melioracji i Kształtowania Środowiska, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji Uniwersytet Rolniczy w Krakowie Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, e-mail: piotr.petryk@gmail.com

STRESZCZENIE

W artykule dokonano analizy określenia zawartości metali ciężkich w roślinności odłogów dwóch sołectw gminy Trzebinia: Psarów i Płok. Odłogowanie niesie ze sobą istotne zmiany w fitocenozie. Zmiany te mają przeważnie negatywny charakter dla rolnictwa. Rośliny pobierają metale ciężkie z roztworu glebowego poprzez system korzeniowy. Ich pobór jest aktywny przez system korzeniowy (szczególnie Pb) i pasywny przez liście zwłaszcza (w przypadku Zn, Cu). Problem toksycznej obecności metali ciężkich w roślinach ww. sołectw ma charakter wieloletni i jest wynikiem antropogenicznego oddziaływania człowieka na środowisko przez różnorodne formy działalności przemysłowej, górniczej i przetwórczej lokalnych surowców leżących na terenach silnie przekształconych przez przemysł wydobywczy i przetwórczy. Otrzymane wyniki stężenia kadmu w Psarach i Płokach w materiale roślinnym nieznacznie przekroczyły dopuszczalną normę zawartości pierwiastka dla pasz zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi ≤ 1 mg/kg s.m., co oznacza, że roślinność badanego obszaru nie może być wykorzystana na cele paszowe. Zawartość ołowiu w pobranym materiale roślinnym nie przekroczyła przywołanej normy. Otrzymane wyniki zawartości cynku i miedzi w materiale roślinnym nie przekroczyły dopuszczalnych zawartości tych pierwiastków dla pasz zaproponowanych przez IUNG. W Płokach wykazano dodatni kierunek zależności pomiędzy zawartością ołowiu w glebie i w roślinach.

Słowa kluczowe metale ciężkie, gleba, roślina, odłóg, zanieczyszczenie

THE PROBLEM OF FALLOW VEGETATION CONTAMINATION WITH HEAVY METALS IN RURAL ADMINISTRATIVE UNITS OF PSARY AND PŁOKI

ABSTRACT

The study aimed at analysing the content of heavy metals in the vegetation of fallow lands of two rural administrative units in the municipality of Trzebinia, namely Psary and Płoki. Fallowing results in significant changes in phytocenosis. The changes generally have a detrimental effect on agriculture. Plants take up heavy metals from the soil solution through the root system. Their uptake by the root system (especially Pb) is active and passive by leaves, especially in the case of Zn, Cu. The problem of the toxic presence of heavy metals in plants found in the afore-mentioned administrative units is long-term in nature and results from the anthropogenic impact on the environment. The human influence assumes various forms of industrial, mining and processing activities of local raw materials located in areas heavily transformed by the extractive and processing industries. The obtained results of the cadmium concentration found in plant material from Psary and Płoki slightly exceeded the permissible concentrations of the element for feed, according to the Regulation of the Minister of Agriculture and Rural Development, i.e. ≤ 1 mg/kg dry weight. This means that the vegetation of the area cannot be used for feed purposes. The lead content of the collected plant material did not exceed the reference standard. The obtained results of zinc and copper contents in plant material were lower than the permissible content of these elements for feeds proposed by IUNG. In Płoki, a positive relationship between the content of the lead in soil and in plants was determined.

Keywords: heavy metals, soil, plant, fallow land, contamination

WSTĘP

Rośliny lądowe pobierają metale ciężkie z roztworu glebowego poprzez system korzeniowy w sposób aktywny, co określa się mianem poboru aktywnego [Wallace i Romney 1975; Gabara 1991]. Pierwiastki zanieczyszczające powietrze atmosferyczne, pobierane są biernie – pobór bierny – za pośrednictwem aparatu szparkowego w formie gazowej lub rozpuszczonej w wodzie opadowej [Godzik 1991; Skowroński i in., 2002; Boroń i Ryczek 1993, 1998]. Większość metali ciężkich jest o wiele skuteczniej pobierana i przyswajana przez rośliny z gleb kwaśnych i nadmiernie uwilgotnionych niż z obojętnego roztworu glebowego. Rośliny najłatwiej przyswajają cynk i kadm, najtrudniej miedź i ołów. Kadm i ołów gromadzą się głównie w korzeniach, choć w niewielkich ilościach są transportowane do pędów [Sykut i in., 1997; Szerszeń i in. 1997; Galimska-Stypa i Badura 1997]. Z kolei nikiel i cynk równomiernie kumulują się zarówno w pędach, jak i w korzeniach. Istnieje zatem gradacja w stopniu ruchliwości pierwiastków śladowych w glebie, tempa przemieszczania się w łańcuchu troficznym oraz szybkości i łatwości ich bioakumulacji w organizmach roślinnych, co jest warunkowane czynnikami abiotycznymi i biotycznymi: gatunkiem i stadium rozwoju rośliny, strukturą korzeni, ilością i dostępnością składników mineralnych i materii organicznej w glebie, wilgotnością, teksturą i strukturą gleby oraz jej napowietrzeniem, a nade wszystko odczynem gleby (jeden z najważniejszych czynników), stopniem zaopatrzenia rośliny w wodę, sorpcją i wymianą jonów, wystąpieniem zjawiska synergizmu lub antagonizmu jonowego, właściwościami geochemicznymi metalu, jego formą występowania oraz obecnością innych metali, odległością od emitora zanieczyszczeń, warunków pogodowych, w tym temperatury, wilgotności, pory dnia i roku [Stuczyński i in., 1996; Gorlach i Gambus 2000; Siwek 2008]. Wzrost zawartości próchnicy, tlenków żelaza, glinu i manganu, minerałów ilastych w glebie, a także jej pojemności sorpcyjnej oraz zastosowanie nawożenia, m.in. przez zabieg wapnowania, zmniejszają rozpuszczalność metali w roztworze glebowym i ich bioprzyswajalność przez organizmy roślinne. Rośliny dwuliścienne wykazują wyższy poziom poboru metali ciężkich niż trawy czy rośliny zbożowe [Czerwińska 1977; Gondek i Kopeć 2005]. Z kolei organy reprodukcyjne (nasiona, owoce mięsiste, ziar-

niaki) uzyskują niższy poziom akumulacji niż organy wegetatywne (liście) [Kudak 1995; Rogóż i Urbaniak 2007; Rogóż i Kołodziejczyk 2007]. Szkodliwe działanie metali nie ujawnia się natychmiastowo w chwili ich poboru przez roślinę, lecz wraz z przekroczeniem przez nie bariery plazmalemy. Ich toksyczność jest efektem interakcji zachodzącej pomiędzy metalami a białkami (grupy SH), kwasami nukleinowymi i lipidami oraz innymi związkami chemicznymi komórki, a więc ujawnia się ona najpierw na poziomie biochemicznym i fizjologicznym, a w dalszej kolejności morfologicznym [Boroń i Ryczek 1993; Gębski i in., 2000; Baranowska-Morek 2003]. Zanieczyszczenie biocenozy dokonuje się najczęściej przez toksyczne występowanie kilku metali ciężkich w różnych zakresach ilościowych, wskutek czego ich toksyczne działanie może się sumować, potęgować lub obopólnie znosić [Karczewska 2002; Żurek 2009]. Toksyczna obecność metali ciężkich w podłożu glebowym i powietrzu atmosferycznym, ich pobór aktywny przez system korzenny (szczególnie Pb) i pasywny przez liście (zwłaszcza Zn, Cu) oraz akumulacja w tkankach roślinnych wywołują zaburzenia w procesach fizjologicznych i metabolicznych roślin oraz prowadzą do powstania stresu oksydacyjnego [Czerwińska 1977; Kabata-Pendias i Pendias 1999; Juda-Rezler 2000; Benavides i in. 2005, Siwek 2008]. Wpływają przez to degradująco na przebieg fotosyntezy, oddychania komórkowego, produkcji ATP, respiracji, homeostazy Ca, biosyntezy hemu, działanie enzymów metabolicznych, przepuszczalność błon komórkowych, gospodarkę wodną roślin, procesy embriologiczne, kiełkowanie nasion, rozwój siewek, kwitnienie, plonowanie oraz długość okresu wegetacyjnego [Antosiewicz 1992; Godzik 1993; Lyanguzova 2003; Gruca-Królikowska i Wacławek 2006, Siwek 2008]. Powodują utratę przez roślinę zdolności selektywnego poboru substancji z roztworu glebowego, uszkodzenie aparatów asymilacyjnych, hydrolizę chlorofilu i zmniejszenie liczby chloroplastów, wzrost sztywności ścian komórkowych. Toksyczne metale śladowe zaburzają przebieg mitozy i cytokinezy, wywołują aberracje chromosomowe, peroksydację białek i lipidów, uszkodzenie struktur kwasów nukleinowych i otoczki jądrowej, spadek objętości jąder [Baranowska-Morek 2003; Siwek 2008]. Fitotoksyczność metali skutkuje strukturalnymi zmianami hipodermy, endodermy i perycyklu, zmianami morfologicznymi systemu korzeniowego poprzez

jego skrócenie, brązowienie i zanik włosników, symulację lignifikacji korzenia oraz zmianami morfologicznymi części nadziemnej rośliny przez chlorozę, nekrozę i flawonoidowe przebarwienia liści, zmniejszenie się ich ilości, zahamowanie wzrostu pędów, a także spadek biomasy zarówno pędów, jak i korzenia [Godzik 1991; Wierzbička 1995; Siwek 2008; Baran i in., 2008]. Fitotoksyczność metali skutkuje strukturalnymi zmianami hipodermisy, endodermisy i perycyklu, zmianami morfologicznymi systemu korzeniowego poprzez jego skrócenie, brązowienie i zanik włosników, symulację lignifikacji korzenia oraz zmianami morfologicznymi części nadziemnej rośliny przez chlorozę, nekrozę i flawonoidowe przebarwienia liści, zmniejszenie się ich ilości, zahamowanie wzrostu pędów, a także spadek biomasy zarówno pędów, jak i korzenia [Godzik 1991; Wierzbička 1995; Siwek 2008; Baran i in., 2008]. Toksyczna obecność metali ciężkich w środowisku glebowym ma decydujące znaczenie również dla różnorodności i liczebności rozwijających się w nim mikroorganizmów [Koter 1987; Wąchalewski 1994; Fotyma i Mercik 1995]. Abratowska [2006] szereguje mechanizmy odporności roślin w dwóch grupach: mechanizmy obronne – wykluczenia, eliminacji, redystrybucji, kompartmentacji, zapobiegające przenikaniu jonów metali do wnętrza komórki oraz mechanizmy tolerancji – neutralizujące toksyczną obecność w cytoplazmie. Abratowska zauważa, że mechanizmy odpornościowe wpisują się w odporność indukowaną, czyli nabytą w rezultacie przystosowania się określonych gatunków roślin do warunków tok-

sycznego wpływu metali na ich funkcjonowanie. Istnieje również inny rodzaj odporności, zwanej odpornością konstytucjonalną, charakterystyczną dla wszystkich gatunków roślin, u których podczas wzrostu nie wystąpił kontakt z metalami. Baranowska-Morek [2003] twierdzi ponadto, że gatunki roślin wykazują różnice w poziomie tolerancji na poszczególne metale. Dobór mechanizmów tolerancji uzależniony jest od rodzaju, czasu działania i ilości metalu oraz gatunku i stadium rozwoju rośliny, a także rodzaju tkanki i organu kumulującego metal.

METODYKA I CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAWCZEGO

Psary i Płoki są sołectwami gminy Trzebinia położonej w zachodniej części województwa małopolskiego (ryc.1). Według danych historycznych teren eksploatowany górnictwem od najdawniejszych czasów. Początkami swoimi sięga końca XIV wieku. Liczne ślady dawnych wyrobisk odkrywkowych rud odnotowano w rejonie Psarów i Płok. Degradacja struktury glebowej badanych terenów wiąże się z intensywną działalnością sektora wydobywczego, metalurgicznego, rafineryjnego i energetycznego [Pietraszek 1961; Szuwarzyński i Kryza 1995; Pęckowski 2013]. Materiał roślinny został pobrany z sołectw latach 2010–2012. W składzie gatunkowym dominowały gatunki ruderalne typowe dla odłogów z klasy oraz łąkowe z klasy *Mollinio-Arrhenathereta* [Petryk 2016e]. Każda powierzchnia badawcza



Rys.1. Lokalizacja Psarów i Płoków na tle województwa Małopolskiego
Fig. 1. Location of Psary and Płoki on the background of Malopolska voivodeship.

przyjęła formę kwadratu o boku 5 m i obejmowała obszar 25 m². W każdym z naroży kwadratu wyznaczono po jednym punkcie poboru próbek. Z powierzchni 0,1 m² wyznaczonej za pomocą ramki kołowej, wycięto rośliny na wysokości gleby przy użyciu nożyc do trawy. Z zebranych próbek roślinnych usunięto suche lub zbutwiałe części. Pobrany materiał umieszczono w szczelnie zamkniętych papierowych kopertach i zabezpieczono w sposób uniemożliwiający utratę lub zanieczyszczenie całości próbki lub jej części. Próbkę zostały ponumerowane zgodnie z numeracją poszczególnych powierzchni. Wybrano łącznie 17 powierzchni. Z każdej powierzchni badawczej zbiorczo pobrano cztery próbki materiału roślinnego. Analiza materiału roślinnego polegała na oznaczeniu: całkowitej zawartości Pb, Zn, Cu, Cd w roślinach metodą Absorpcyjnej Spektrometrii Atomowej.

WYNIKI

Średnia zawartość kadmu w roślinach Płoków wynosiła 1,82 mg/kg, a mediana 1,53 mg/kg. Rozstęp zawartości metalu w roślinach mieścił się w zakresie 0,59–4,66 mg/kg (tab.1). Średnia zawartość ołowiu w roślinach Płoków wynosiła 3,08 mg/kg, mediana 2,54 mg/kg. Zawartość tego metalu w roślinach mieściła się w zakresie 1,45–5,71 mg/kg. Średnia zawartość cynku w roślinach wynosiła 104,37 mg/kg, a mediana 88,04 mg/kg.

Średnia zawartość miedzi w roślinach Psarów wynosiła 3,62 mg/kg, a mediana 2,54 mg/kg. Zawartość metalu w roślinach mieściła się w zakresie 2,29–6,99 mg/kg (tab.1). Średnia zawartość cynku w roślinach Psarów wynosiła 73,44 mg/kg, a mediana 55,33 mg/kg. Rozstęp zawartości metalu w roślinach wynosił 29,22–128,98 mg/kg.

DYSKUSJA WYNIKÓW BADAŃ

Według Kabata-Pendias i Pendias [1999] naturalna zawartość kadmu w roślinach może wahać się od <0,1 do 1 mg/kg s.m., a krytyczna przedziały 5–10 mg/kg s.m. W analizowanych próbach roślin sołectw średnie stężenie kadmu wynosiła dla Psarów 2,25 mg/kg s.m., natomiast dla Płoków 1,82 mg/kg s.m. Z porównania oznaczonych zawartości kadmu z Rozporządzeniem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi [2012a] maksymalne dopuszczalne stężenie kadmu w materiale paszowym pochodzenia roślinnego (siano, kiszonki, świeża trawa) wynosi ≤ 1 mg/kg s.m. co oznacza, że roślinność badanego obszaru nie może być wykorzystana na cele paszowe. Na obszarze Lubelszczyzny, który uznawany jest za niezanieczyszczony, średnie stężenie kadmu w trawach wynosiło 0,1 mg/kg s.m. [Warda 1997] i było prawie 10-krotnie niższe od stężenia kadmu w roślinności odłogów Trzebini [Petryk 2016a]. Badania [Niesiołódzkiej i Krajewskiej 2008b] w pobliżu Jeziora Czerniakowskiego wykazały, że średnia zawartość kadmu w tamtejszych zielonkach wynosiła 8,72 mg/kg s.m. Średnia zawartość kadmu w roślinności trawiastej na Roztoczu, w Łomży i okolicach huty stali w Dąbrowie Górniczej wynosiła kolejno: 0,037 mg/kg s.m., 0,04 mg/kg s.m. oraz 0,3 mg/kg s.m. [Biernacka i Wójcik 1998]. Natomiast zawartość kadmu w roślinach z przygranicznego pasa wschodniej Polski kształtowała się w przedziale 0,05–2,62 mg/kg s.m. [Mikos-Bielak i Tujaka 1999]. Zaproponowany przez Górlacha i Gambusia [2000] zakres dopuszczalnej zawartości kadmu w roślinach trawiastych (1–5 mg/kg s.m.) potwierdza konstatację o nie zanieczyszczeniu roślinności sołectw Psarów i Płoków tym pierwiastkiem. Nie wykazano zależności (tabela 2) pomiędzy zawartością kadmu w glebach i roślinach rozpatrywanych sołectw.

Tabela 1. Zawartości metali ciężkich w roślinach z sołectwa Płoki i Psary

Table 1. Contents of heavy metals in plants from Płoki and Psary villages.

Sołectwo	Parametr	Średnia	SD	Mediana	Min	Max	
Psary	Metale ciężkie w roślinach [mg/kg]	Cd	2,25	3,23	1,28	0,53	10,18
		Pb	1,75	0,47	1,64	1,09	2,51
		Zn	73,44	38,64	55,33	29,22	128,98
		Cu	3,62	1,77	2,54	2,29	6,99
Płoki	Metale ciężkie w roślinach [mg/kg]	Cd	1,82	1,42	1,53	0,59	4,66
		Pb	3,08	1,40	2,54	1,45	5,71
		Zn	104,37	48,60	88,04	58,04	217,01
		Cu	3,55	1,04	3,22	2,43	5,59

W Płokach wykazano zależność pomiędzy zawartością tego pierwiastka w glebie i w roślinach (tabela 2). Gleba stanowi główne źródło ołowiu dla roślin [Rejmer 1997], do których przenika w głównej mierze przez system korzeniowy [Cyra i Pajdzik 1995]. Dla zawartości ołowiu w roślinach istotna jest również jego immisja z pyłu atmosferycznego [Ciepał 1992]. Najwyższe stężenie ołowiu w materiale roślinnym stwierdzono w Płokach, których gleby są zanieczyszczone tym pierwiastkiem. Kabata-Pendias i Pendias [1999] podaje, że naturalna zawartość ołowiu w roślinach może wahać się od 1 do 5 mg/kg s.m. a krytyczna w przedziale 10–20 mg/kg s.m. W analizowanych próbach roślin z Psarów i Płoków średnie stężenie ołowiu wynosiło 1,75 mg/kg s.m. oraz 3,08 mg/kg s.m. Z porównania oznaczonych zawartości ołowiu z danymi literaturowymi [Kabata-Pendias i Pendias 1999] wynika, że badane rośliny zawierają ten pierwiastek w ilościach nieprzekraczających krytyczne zawartości dla ich wzrostu. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi [2012a] maksymalne dopuszczalne stężenie ołowiu w paszy wynosi ≤ 10 mg/kg s.m. Biorąc pod uwagę fakt, że oznaczone stężenia tego pierwiastka są ponad 5 razy niższe od wartości dopuszczalnej, zatem wszystkie zebrane rośliny spełniają te wymagania. Bardzo zbliżone wartości stężenia ołowiu oznaczono w trawach Trzebini [Petryk 2016c]. W badaniach prowadzonych w okolicy Żyrakowa (powiat Dębicki) zawartość ołowiu wahała się w przedziale 0,71–5,98 mg/kg s.m. [Gabmuś i in. 1999]. W runi łąkowej w re-

jonie oddziaływania przemysłu miedziowego zawartość ołowiu wynosiła średnio 1,11 mg/kg s.m. [Dobrzański i in. 2003]. W analizowanych próbach roślin sołectw średnie stężenie cynku wynosiło dla Psarów 73,44 oraz dla Płoków 104,37 mg/kg s.m. Z porównania oznaczonych zawartości cynku z danymi literaturowymi [Kabata-Pendias i Pendias 1999] wynika, że badane rośliny zawierają ten pierwiastek w ilościach nieprzekraczających krytyczne zawartości dla ich wzrostu (tabela 1). Biorąc pod uwagę proponowaną przez Kabatę-Pendias i in. [1993] dopuszczalną zawartość cynku dla pasz wynoszącą ≤ 100 mg/kg s.m., wszystkie zebrane próbki roślin spełniają te wymagania. Podobne wyniki badań dla roślinności odłowów otrzymała Petryk [2016b] dla roślinności odłogowanej z terenów Trzebini. Na terenach nieobjętych wpływem zanieczyszczeń zawartość cynku w roślinach waha się w granicach 10–70 mg/kg s.m. [Pyś 1999]. Według Kabaty-Pendias i Pendias [2002] trawy Polski cechują się zawartością cynku w przedziale 12–72 mg/kg s.m., ze średnią 30 mg/kg s.m. Kabata-Pendias i Pendias [1999] podaje, że naturalna zawartość miedzi w roślinach może wahać się (3–15 mg/kg s.m.), a krytyczna przedziale 15–20 mg/kg s.m. W analizowanych próbach roślin średnie stężenie miedzi wynosiło dla Psarów – 3,62 mg/kg s.m.), natomiast dla Płoków – 3,55 mg/kg s.m. Z porównania oznaczonych zawartości miedzi z danymi literaturowymi Kabata-Pendias i Pendias [1999] wynika, że badane rośliny zawierają ten pierwiastek w ilościach nieprzekraczających krytyczne zawartości dla ich wzrostu (tabela 1).

Tabela 2. Zależność pomiędzy zawartością metali ciężkich w glebie (0–20cm) a zawartością metali ciężkich w roślinach Psarów i Płoków

Table 2. The relationship between heavy metals content in soil (0–20 cm) and heavy metals content in plants in Psary and Płoki.

Parametr		Korelacja z pomiędzy zawartością w glebie (0–20 cm) a zawartością w roślinach			
		Współczynnik korelacji *	p	Kierunek zależności	Siła zależności
Płoki	Cd	0,117	0,776	---	---
	Pb	0,69	0,04	dodatni	średnia
	Zn	-0,083	0,843	---	---
	Cu	0,245	0,525	---	---
Psary	Cd	0,333	0,428	---	---
	Pb	0,412	0,311	---	---
	Zn	-0,088	0,835	---	---
	Cu	-0,152	0,72	---	---

* Dla Pb i Cu współczynnik korelacji Pearsona (normalność rozkładu), dla Cd i Zn współczynnik korelacji Spearmana (brak normalności rozkładu)

Wartość ta jest prawie piętnastokrotnie niższa od zaproponowanej przez IUNG [Kabata-Pendias i in., 1993] dopuszczalnej zawartości tego pierwiastka w roślinach przeznaczonych na cele paszowe (50 mg/kg s. m.), co oznacza że wszystkie badane rośliny spełniają wymagane kryteria. Według Kabaty-Pendias i Pendias [2002] średnie stężenie miedzi w trawach Polski wynosi 5,5 mg/kg s.m. Wybieralski i Maciejewska [2001] w trawach w okolicy Szczecina odnotowali średnią zawartość na poziomie 11,5 mg/kg s.m. Wzdłuż dróg lokalnych na trasie Szczecin–Poznań, badania prowadzili Maciejewska i in. [2007], którzy stwierdzili stężenie miedzi w trawach w przedziale 2,7–8,8 mg/kg s.m. Uzyskane wyniki średniej zawartości pierwiastka w materiale roślinnym dla sołectw Psarów i Płoków pokrywają się z wynikami otrzymanymi przez Petryk [2016d] dla całej gminy Trzebinia, gdzie roślinność odłogów nie była zamieszczona miedzią.

WNIOSKI

Otrzymane w rezultacie przeprowadzonych badań wyniki, pozwoliły na wysunięcie następujących wniosków:

1. Analizując uzyskane wyniki średnich stężeń kadmu w roślinach dla sołectw Psary i Płoki, należy stwierdzić, że przekroczyły one wartości dopuszczalnych stężeń tych pierwiastków według regulacji przyjętych przez polskiego ustawodawcę w sprawie zawartości substancji niepożądanych w paszach. Dz. U. 2012 Nr 0, poz. 203. [2012a].
2. Analizując uzyskane wyniki średnich zawartości ołowiu w roślinach dla sołectw Psary i Płoki, należy stwierdzić, iż nie przekroczyły one wartości dopuszczalnych stężeń pierwiastka według regulacji krajowych [Dz. U. 2012a].
3. W Płokach wykazano dodatni kierunek zależności pomiędzy zawartością ołowiu w glebie i w roślinach.
4. Otrzymane wyniki zawartości cynku i miedzi w materiale roślinnym nie przekroczyły dopuszczalnych zawartości tych pierwiastków dla pasz zaproponowanych przez IUNG [Kabata-Pendias i in. 1993].
5. Otrzymane wyniki zanieczyszczenia roślin kadmem wykazują powiązanie z prowadzoną w przeszłości w Psarach i Płokach działalnością wydobywczo-przetwórczą złóż lokalnych surowców.

BIBLIOGRAFIA

1. Abramowska A. 2006. *Armeria maritima*- Gatunek rośliny przystosowanych do wzrostu na glebach skażonych metalami ciężkimi. *Kosmos*.nr.2–3. Tom.55,s,217–227.
2. Antosiewicz D.M. 1992. Adaptation of plants to environment polluted with heavy metals. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 61,2, 281–289.
3. Baran A., Jasiewicz Cz., Klimek A. 2008. Reakcja roślin na toksyczną zawartość cynku i kadmu w glebie, *Proceedings of ECOpole*, Vol. 2, No. 2, 417–422.
4. Baranowska-Morek A. 2003. Roślinne mechanizmy tolerancji na toksyczne działanie metali ciężkich. *Kosmos-Problemy Nauk Biologicznych*, 52,2,283–298.
5. Benavides M.P., Gallego S.M., Tomaro M.L. 2005. Cadmium toxicity in plants. *Braz. J.Physiol.*17(1),21–34.
6. Biernacka E., Wójcik M. 1998. Wpływ antropogenezacji środowiska na zawartość Zn, Pb, Cd w roślinności trawiastej. *Przegląd Naukowy Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska*, 14,15–24.
7. Boron K., Ryczek M. 1993. The effect of the power-plant ash yard in Przechlebie on pollution of soils and plant in the adjacent area 4-th International Symposium on the Reclamation, Treatment and Utilization of Coal Mining Wastes, Kraków Poland, September 6–10.1993, volume II ,553–559.
8. Boron K., Ryczek M. 1998. The influence of the power-plant ash yard in Przechlebie on some chemical of adjacent soils and plants. *Contaminated and derelict land*. Green 2 Thomas Telford, London,103–109.
9. Ciepał R. 1992. Przenikanie S, Pb, Cd, Zn, Cu i Fe do biomasy oraz gleby ekosystemu leśnego. Znaczenie bioindykacyjne. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
10. Cyra S., Pajdzik J. 1995. Ochrona środowiska-metale ciężkie. *Doradca Galicyjski Magazyn Rolniczy*, 41,4.
11. Czerwiński W. 1977. *Fizjologia roślin*. PWN, Warszawa,
12. Dobrzański Z., Kołacz R., Górecka H., Malarz W., Rudnicka A. 2003. Wpływ przemysłu miedziowego na zawartość miedzi, ołowiu i cynku w roślinach paszowych. *Acta Agrophysica*, 1,233–238.
13. Fotyma M., Mercik S. 1995. *Chemia rolna*. PWN, Warszawa.
14. Gabara B. 1991. Zmiany w morfologii, anatomii i cytologii korzeni wywołane obecnością metali ciężkich. *Materiały Konferencyjne Zanieczyszczone środowisko a fizjologia rośliny*, 17–24.

15. Galimska-Stypa R., Badura L. 1997. Oddziaływanie niektórych czynników abiotycznych na zmianę toksyczności ołowiu dla bakterii glebowych. Materiały Sympozjum. Ołów w Środowisku- Problemy Ekologiczne i Metodyczne, 64.
16. Gambuś F., Filipek-Mazur B., Grzywnowicz I., Mazur K., Rogóż A. 1999. Zawartość metali ciężkich w glebach i roślinach z rejonów zagrożenia województwa tarnowskiego. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej Kraków, 64,97–109
17. Gębski M., Stepski W., Mercik S. 2000. Ocena metod oznaczania metali ciężkich w glebie w oparciu o ich zawartości w roślinach. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 472,267–273.
18. Godzik B. 1993. Heavy metal content in plants from zinc dumps and reference areas. Polish Botanical Studies, 5, 113–132.
19. Godzik S. 1991. Zanieczyszczenia powietrza i ich skutki dla roślin. Materiały Konferencyjne. Zanieczyszczone środowisko a fizjologia rośliny., 25–30.
20. Gondek K., Kopeć M. 2005. Zawartości metali ciężkich w runi łąkowej na glebie bardzo kwaśnej. Inżynieria Ekologiczna, 10,115–121.
21. Gorlach E., Gambuś F. 2000. Potencjalne toksyczne pierwiastki śladowe w glebach (nadmiar, szkodliwość, przeciwdziałanie). Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 472,275–296.
22. Gruca-Królikowska S., Waclawek W. 2006. Metale w środowisku. Cz. II. Wpływ metali ciężkich na rośliny. Chemia. Dydaktyka. Ekologia. Metrologia, 11,1–2,41–56.
23. Juda-Rezler K. 2000. Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na środowisko. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa.
24. Kabata-Pendias A., Pendias H. 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN. Warszawa.
25. Kabata-Pendias A., Pendias H. 1993. Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN. Warszawa.
26. Kabata-Pendias A., Pendias H. 2002. Biogeochemia pierwiastków śladowych (Biogeochemistry of Trace Elements). PWN, Warszawa.
27. Kabata-Pendias A., Piotrowska M., Witek T. 1993. Ocena Jakości i możliwości rolniczego użytkowania gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi. Ramowe wytyczne dla rolnictwa. IUNG, Puławy.
28. Karczeńska A. 2002. Metale ciężkie w glebach zanieczyszczonych emisjami hut miedzi- formy i rozpuszczalność. Rozprawa habilitacyjna. Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu. Rozprawy CLXXXIV. Wydział Rolniczy,432.
29. Koter M. 1987. Chemia rolna. PWN, Warszawa.
30. Kudak C. 1995. Reakcje grochu (*Pisum arvense* L.) na różne dawki ołowiu w glebie. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych PAN, 418,773–777.
31. Lyanguzova I. 2003. Effect of environmental pollution by heavy metals on their accumulation in flower plants. Ekologija (Vilnius), 2, 49–52.
32. Maciejewska M., Wybieralski M., Gibczyńska M., Jurgiel-Małecka G. 2007. Metale ciężkie w popularnych trawach, ziołach i roślinach motylkowych rosnących wzdłuż dróg lokalnych numer 10 i 24 na trasie Szczecin-Poznań. Ekologia i Technika, 15, 2,55–63
33. Mikos-Bielak M., Tujaka A. 1999. Akumulacja metali ciężkich w glebach i roślinach z przygranicznego pasa środkowowschodniej Polski. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych,18,213–223.
34. Monitoring chemizmu gleb ornych w Polsce w latach 2010–2012. Raport końcowy. Puławy.
35. Niesiobędzka K., Krajewska E. 2008b. Metale ciężkie w układzie gleba roślinność w środowisku wielkomiejskim. Materiały z II konferencji naukowej „Ekotoksykologia w Ochronie Środowiska”. Wydawnictwo PZITS,265–270.
36. Pęcowski J. 2013. Trzebinia: osada górniczo-przemysłowa w powiecie chrzanowskim. Monografia. Trzebinia.
37. Petryk A. 2016a. Assessment of the content of heavy metals in plants and soil in the area of the Trzebinia municipality, Poland. 1. Cadmium. Infrastructure and Ecology of Rural Areas, IV/1: 1243–125
38. Petryk A. 2016b. Assessment of the content of heavy metals in plants and soil in the area of the Trzebinia municipality, Poland. 2. Zinc. Infrastructure and Ecology of Rural Areas, IV/3: 1581–1592
39. Petryk A. 2016c. Assessment of the content of heavy metals in plants and soil in the area of the Trzebinia municipality, Poland. 3. Lead. Infrastructure and Ecology of Rural Areas, IV/3: 1689–1702
40. Petryk A. 2016d. Assessment of the content of heavy metals in plants and soil in the area of the Trzebinia municipality, Poland. 4. Copper. Infrastructure and Ecology of Rural Areas, IV/4: 1711–1721.
41. Petryk A. 2016e. Species composition of vegetation cover in the fallow lands in the area of the Trzebinia municipality. IV/2:1399–1409
42. Pietraszek E. 1961. Zagłębie Krakowskie w latach 1796–1848. Kwartalnik Historii Kultury Materialnej, R.IX,4.
43. Pyś J.B. 1999. Pierwiastki śladowe w roślinach pastewnych, dawkach pokarmowych i mleku krów w rejonach oddziaływania przemysłu siarkowego. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie.
44. Rejmer P. 1997. Podstawy ekotoksykologii. Wydawnictwo Ekoinżynieria, Lublin.
45. Rogóż A., Urbaniak A. 2007. Zawartość pierwiastków śladowych w glebie i warzywach przy zmien-

- nym odczynie. Część I. Zawartość Cu, Zn w glebie i warzywach. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 520, 695–702.
46. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z 6 lutego 2012 r. w sprawie zawartości substancji niepożądanych w paszach. Dz. U. 2012 Nr 0, poz. 203. [2012a].
47. Siwek M. 2008. Rośliny w skażonym metalami ciężkimi środowisku poprzemysłowym. Część II. Mechanizmy detoksyfikacji i strategie przystosowania roślin do wysokich stężeń metali ciężkich, *Wiadomości Botaniczne*, 52(3/4), 7–23.
48. Skowroński T., Kalinowska R., Pawlik-Skowrońska B. 2002. Glony środowisk zanieczyszczonych metalami ciężkimi. *Kosmos. Problemy Nauk Biologicznych*, t. 51, 2, 165–173.
49. Stuczyński T., Terlak H., Motowicka-Terlak T., Piotrowska M. 1996. Monitoring of Heavy Metals and Sulfur in Agricultural Soils and Plants in Poland. Abst. 3-rd Intern. Symp. And Exhibition on Envir. Contam. In Central and Eastern Europe, Warsaw, 78–80.
50. Sykut S., Ruszkowska M., Wojciechowska U., Kusio M. 1997. Wpływ rodzaju gleby i stopnia jej zakwaszenia na pobieranie i zawartość ołowiu w roślinach. Materiały sympozjum. Ołów w Środowisku. *Problemy Ekologiczne i Metodyczne*, Warszawa.
51. Szerszeń L., Kabała C., Karczewska A. 1997. Ołów w relacji gleba zanieczyszczona- roślina na podstawie doświadczenia wazowego. Materiały Sympozjum . Ołów w Środowisku. *Problemy Ekologiczne i Metodyczne*. Warszawa.
52. Szuwarzyński M., Kryza A. 1995. Ocena wpływu zakładów przemysłowych –ZG Trzebieńka, ZM Trzebini, Rafinerii Nafty w Trzebini, ZSO i in. Na rozmieszczenie metali ciężkich w glebach i wodach obszaru Trzebini-Chrzanów. *Centr. Arch. Geol. PIG*. Warszawa.
53. Terelak H., Motowicka-Terelak T., Stuczyński T., Budzyńska K. 1995. Zawartość metali ciężkich i siarki w glebach użytków rolnych Polski oraz ich zanieczyszczenie tymi składnikami. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 418, 45–49.
54. Wąchalewski T. 1994. *Elementy chemii środowiska*. Wydawnictwo AGH, Kraków.
55. Wallace A., Romney E. M. 1975. Roots of higher plants as a barrier to translocation of some metals to shoots of plants. *Proceedings of the 15th Annual Handford Life Sciences Symposium*, 370–379.
56. Warda M. 1997. Wpływ właściwości gleb na akumulację kadmu i niklu w trawach i roślinach dwuliściennych wybranych z runi pastwiskowej. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 448a, 347–351.
57. Wierzbicka M. 1995. Oddziaływanie metali ciężkich na rośliny. *Kosmos* 44, (3–4), 369–351.
58. Wybieralski J., Maciejewska M. 2001. Badania poziomu zanieczyszczeń metalami ciężkimi gleby i roślin na terenach przygranicznych w Rosówku koło Szczecina. *Chemia i Inżynieria Ekologiczna*, 7, 1, 741–748.
59. Żurek G. 2009. Rośliny alternatywne w fitoekstrakcji metali ciężkich z obszarów skażonych. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 3, 83–89.