

FITOTOKSYCZNOŚĆ GLEB W OKOLICY HUTY MIEDZI „GŁOGÓW”

Justyna Rybak¹, Maria Ratajek¹

¹ Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Wrocławska, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, e-mail: justyna.rybak@pwr.edu.pl

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki badań ekotoksykologicznych przeprowadzonych w sąsiedztwie huty miedzi „Głogów”, które miały na celu wykazanie w jaki sposób działalność i bliskość huty miedzi wpływa na środowisko naturalne. Ponieważ szata roślinna jest doskonałym odzwierciedleniem intensywności i rodzaju oddziaływań człowieka na środowisko przyrodnicze przeprowadzono testy fitotoksykologiczne, które miały na celu ocenę ryzyka ekotoksykologicznego wynikającego z wprowadzenia do środowiska różnego typu zanieczyszczeń. Wybór stanowisk był podyktowany typem gleby oraz ich odległością od huty. W wyniku badań stwierdzono znaczną poprawę jakości i kondycji gleby wokół zakładu. Toksyczność w stosunku do producentów stwierdzono jedynie w przypadku gleb znajdujących się w najbliższym sąsiedztwie huty.

Słowa kluczowe: gleba, metale ciężkie, badania fitotoksykologiczne, badania ekotoksykologiczne.

PHYTOTOXICITY OF SOIL IN THE VICINITY OF COPPER SMELTER “GŁOGÓW”

ABSTRACT

Smelters are harmful for environment causing water and soil contamination or deflation of dust which contains heavy metals. As limited information is available on the toxicity of copper smelter “Głogów” to plants the paper presents a bioevaluation of such a possible influence. The samples were taken from three sampling points situated in the environs of the city of Głogów (Lower Silesia). Toxicity tests were carried out at producers trophic levels (phytotoxicity tests) under laboratory conditions. The inhabiting effects of heavy metal contamination were revealed at the site situated in the very close vicinity of the smelter. The obtained results allowed to determine the acute toxicity for one tested organism (*Zea mays*). Presented results deliver promising perspectives for inhabitants of this region as the condition of environment is improving.

Keywords: copper smelter, ecotoxicology, plants, producers, heavy metals.

WSTĘP

Zanieczyszczenie gleb metalami ciężkimi stanowi poważne zagrożenie dla wód powierzchniowych i gruntowych, które są rezerwuarem wody pitnej. Tego typu zanieczyszczenia wpływają niekorzystnie też na rośliny uprawne. Z kolei włączenie metali ciężkich do łańcucha troficznego ekosystemu powoduje również negatywne oddziaływanie na ludzi i zwierzęta. Głównymi czynnikami, których efektem może być degradacja chemiczna gleb są emisje pyłowe z hut metali nieżelaznych, które zawierają w swym składzie znaczne ilości metali ciężkich. Obok emisji pyłowych, pojawiają się także emisje gazowe jak np. tlenki siarki, węgla, czy azotu, które również

mają szkodliwy wpływ na środowisko glebowe.

Tego typu znaczną uciążliwość dla sąsiadujących obszarów wykazuje przemysł wydobywczy i metalurgiczny w tym też przemysł miedziowy. Huta Miedzi „Głogów” położona jest na obszarze aglomeracji miejskiej leżącej z kolei w pobliżu obszarów rolniczych. Uprawia się tu zboża, szczególnie pszenicę, ale również rośliny okopowe jak ziemniaki i buraki cukrowe. W okolicy Głogowa Huta Miedzi od dawna postrzegana jest jako zagrożenie o naturze ekologicznej. Tereny sąsiadujące z zakładem uznawane były dawniej (kilkanaście lat temu) za rejon kłęski ekologicznej, ponieważ ilość emisji pyłów i gazów kilkakrotnie przekraczały dopuszczalne normy. Ale dzięki polityce proekologicznej w ostatnim

dziesięcioleciu stan środowiska wokół huty znacząco się poprawił [Rosada 2007]. Jednak mimo iż, wprowadzono wiele zmian, które poprawiły jakość środowiska przyrodniczego w okolicy, w sąsiedztwie Huty Miedzi Głogów nadal widoczne są zniszczenia ekologiczne, które powstały w początkowych latach działalności zakładu. Szczególnie chodzi o glebę, w której bioakumulacji uległy metale ciężkie [Rosada i in. 2010].

Celem pracy była ocena jakości badanych gleb wokół Huty Miedzi „Głogów” za pomocą roślin naczyniowych (testy ekotoksykologiczne). Jak wiadomo, zakład prowadzi różnego typu działania mające na celu poprawienie jakości gleb na sąsiadujących z hutą obszarach. Gdyby jakość gleb w okolicy huty okazała się być dobra, nie byłoby przeciwskażeń do prowadzenia tam upraw roślin użytkowych a także innego typu aktywności jak na przykład hodowli zwierząt itp. Badania przeprowadzono w różnych odległościach od huty miedzi, zgodnie z założoną hipotezą badawczą, że wraz ze wzrostem odległości od zakładu jakość gleb powinna być lepsza.

MATERIAŁ I METODY

Obszar Legnicko-Głogowskiego Zagłębia Miedziowego jest uznawany powszechnie za region naszego kraju, w którym doszło do intensywnych procesów przeobrażeń środowiska. Pierwiastki takie jak: miedź, ołów, kadm, nikiel, chrom, cynk, arsen, kobalt czy rtęć, które znajdują się w rudzie w momencie uwalniania wraz z pyłami i gazami negatywnie oddziałują na środowisko [Kijewski 1995]. W związku z tym warstwa orna gleb w obrębie zasięgu emisji Huty Miedzi „Głogów” może zawierać zwiększone zawartości tych metali. W 2014 roku w rejonie Głogowa stwierdzono przekroczenia w 12 punktach pomiarowych. Ponadnormatywne stężenia dotyczyły miedzi, ołowiu i benzo(a)pirenu [Raport

WIOŚ z roku 2014]. Intensywne wapnowanie gleb spowodowało wzrost pH w warstwie ornej większości pól uprawnych. Dzięki temu znacząco ograniczono pobór metali ciężkim z kompleksu sorpcyjnego gleb przez system korzeniowy roślin [Przewocka 2011].

CHARAKTERYSTYKA TERENU BADAŃ

Obszarem badań był teren wokół Huty Miedzi „Głogów”, która jest zlokalizowana w odległości ok. 7 km na północny-zachód od ścisłej zabudowy miasta Głogowa, na lewym brzegu rzeki Odry. Huta graniczy od strony południowo-zachodniej z wsią Wróblin Głogowski, od strony północnej z rzeką Odrą a od wschodu z gruntami ornymi miasta Głogowa położonymi wzdłuż rzeki Odry.

Próbki gleby pobrano 3 września 2015 r. z powierzchniowej warstwy gleby (poziom orno-próchnicy tzn. 0-20 cm). Do badań wybrano trzy stanowiska wokół Huty Miedzi w oparciu o wcześniej prowadzone badania Kaszubkiewicz i Marczyk [2010]. Stanowisko kontrolne stanowiła gleba z terenu nieskażonego o podobnej strukturze. Glebę poddano suszeniu, a następnie przesiano przez sito celem odseparowania drobniejszych frakcji. W tabeli 1 przedstawiono lokalizację stanowisk badawczych w odległości do Huty Miedzi „Głogów”, a także ich przybliżony skład granulometryczny i zawartość próchnicy.

Do analizy chemicznej gleby pochodzącej z terenu badań, pobrano próbki w ilości 1kg ze stanowisk badawczych (z głębokości 0–20 cm). Celem badań było wykazanie przekroczeń dopuszczalnych wartości według wytycznych IUNG do oceny stopnia zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi (po uwzględnieniu charakterystyki gleby) [Kabata-Pendias i in. 1993; Kabata-Pendias i Piotrowska 1995]. Badania zostały przeprowadzone w Laboratorium Toksykologii i Badań

Tabela 1. Charakterystyka stanowisk badawczych, przybliżony skład granulometryczny oraz zawartość próchnicy na podstawie Kaszubkiewicz i Marczyk [2010]

Table 1. The characteristics of studies sites, the size distribution and the humus content based on Kaszubkiewicz & Marczyk [2010]

Numer stanowiska badawczego	Odległość od huty [m]	Skład granulometryczny				Grupa granulometryczna	C org, [mg·g ⁻¹]	Próchnica, [mg·g ⁻¹]
		części szkieletowe	piaski	pyły	iły			
1	ok. 2235	10	83	28	10	glina lekka pylasta	25,3	43,4
2	ok. 1030	14	29	47	32	piasek gliniasty mocny pylasty	17,3	29,8
3	ok. 585	1	81	13	6	piasek słabo gliniasty	2,6	4,5

Środowiskowych przy Placu Grunwaldzkim 9 we Wrocławiu. Wyniki przedstawiono w tabeli 2.

Wyniki wskazują na znaczne zanieczyszczenie gleby miedzią w przypadku stanowiska nr 3. Stanowiska 1 i 2 charakteryzują się od słabego po średnie zanieczyszczenie. W przypadku ołowiu i kadmu tylko stanowisko nr 3 odznacza się podwyższonymi zawartościami tych pierwiastków. Badana gleba pod względem jakości klasyfikuje się do grupy C, do której należą tereny przemysłowe, użytki kopalne, tereny komunikacyjne.

Do badań ekotoksykologicznych użyto trzech gatunków roślin naczyniowych: *Zea mays* (kukurydza) i *Triticum aestivum* (pszenica) dawniej klasyfikowane jako rośliny jednoliścienne oraz *Lupinus luteus* (lubin) – roślinę dwuliścienne. Przed eksperymentem oceniono zdolność nasion do kiełkowania w warunkach laboratoryjnych (temperatura 20 ± 1 °C, w ciemności). Doświadczenie wykonano w trzech powtórzeniach. Testy ekotoksyczne zostały przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych. Stosowano oświetlenie naturalne i sztuczne (16 h/d) z okresem podziału na dzień i noc. Hodowlę prowadzono w temperaturze $20/16 \pm 1$ °C. Podczas prowadzenia doświadczenia utrzymywano stały poziom wilgotności gleby na poziomie 80% WHC. Przeprowadzono doświadczenia wazowne, polegające na zmierzeniu długości pędu i korzenia badanych roślin oraz zważeniu roślin wyhodowanych na glebie pobranej z okolic huty (100%) i jej rozcieńczeniach z glebą kontrolną: 50%, 25%, 12,5%, 6,25% (zgodnie z normą ISO/DIS 11269-2). Eksperyment wykonano w trzech

powtórzeniach dla każdego z rozcieńczeń. Do każdego powtórzenia wykorzystano 20 nasion, które wysiano do pojemnika na głębokość ok. 15 mm pod powierzchnią ziemi. Po okresie 14 dni ze wszystkich pojemników usunięto rośliny w celu dokonania pomiarów długości korzeni i łodyg oraz ich zważenia. Na podstawie otrzymanych wyników dokonano oceny wpływu skażenia gleby na wzrost roślin.

Wyniki badań ekotoksykologicznych poddano analizie statystycznej z wykorzystaniem arkusza kalkulacyjnego MS Excel. Wartości EC_{50} wyznaczano metodą logitową (metoda regresji logistycznej), w której zmienna zależna jest zmienną dychotomiczną przyjmującą dwie wartości, przy czym wartość pierwsza oznacza brak efektu hamowania wzrostu rośliny, a druga wystąpienie efektu hamowania wzrostu.

WYNIKI

Badania siły kiełkowania wykazały bardzo wysoką jakość nasion (kiełkowanie powyżej 90%). Wyniki przeprowadzonych badań fitotoksycznych przedstawiono zbiorczo w tabelach. Tabele 3–5 przedstawiają długości pędu i korzenia po 14 dniach dla trzech badanych gatunków roślin. Na podstawie wyników obliczono EC_{50} dla poszczególnych gatunków i stanowisk. W tabeli 6 przedstawiono wartości EC_{50} dla pędu i korzenia badanych gatunków roślin dla 3 stanowisk badawczych.

Toksyczność gleby w stosunku do grupy producentów była najwyższa na stanowisku nr 3, jest to stanowisko zlokalizowane w najbliższej odległości od huty. W przypadku tego stanowiska hamowanie rozwoju korzenia o 50% zaobserwowano w przypadku wszystkich trzech badanych roślin (przy rozcieńczeniu wynoszącym od 25% do 29% gleby skażonej). Zoobserwowano wyższą wrażliwość na związki toksyczne korzeni badanych roślin, co ma bezpośredni związek z pełnioną przez niego funkcją. W przypadku pędu hamowanie jego rozwoju (w próbkach gleby pobranych ze stanowiska nr 3) obserwowano u dwóch gatunków: pszenicy i kukurydzy (od 63% do 95% gleby skażonej). W przypadku badań próbek gleby pochodzących ze stanowiska 1 i 2 nie było możliwe wyznaczenie ilości osadu (w %) jaka powoduje zahamowanie wzrostu roślin o 50% (EC_{50}), nawet nierozcieńczona (100%) gleba nie powodowała zahamowania wzrostu badanych gatunków. Wy-

Tabela 2. Analiza chemiczna próbek gleby pobranych z 3 stanowisk badawczych

Table 2. Chemical characteristic of soil samples taken from 3 studied sites

Numer stanowiska	Pierwiastek [mg/kg]	Stopień zanieczyszczenia gleb wg IUNG
1 (typ gleby c) pH 8.1	77 Cu	Stopień I – zawartość podwyższona
	56 Pb	0 – zawartość naturalna
	0.5 Cd	0 – zawartość naturalna
2 (typ gleby c) pH 8.4	150 Cu	Stopień III – średnie zanieczyszczenie
	69 Pb	0 – zawartość naturalna
	0.9 Cd	0 – zawartość naturalna
3 (typ gleby b) pH 7.3	740 Cu	Stopień V – bardzo silne zanieczyszczenie
	270 Pb	Stopień II – słabe zanieczyszczenie
	1.4 Cd	Stopień I – zawartość podwyższona

Tabela 3. Tabela zbiorcza wyników długości korzenia i pędu dla trzech badanych gatunków roślin na stanowisku badawczym nr 1 (średnia oznacza wartość średnią z 60 pomiarów)

Table 3. Summary the results of shoot and root lengths for 3 studied species at the site no. 1 (the average = the average from 60 measurements)

Próbka	Pszenica (<i>Triticum aestivum</i>)		Łubin (<i>Lupinus luteus</i>)		Kukurydza (<i>Zea mays</i>)	
	korzeń	pęd	korzeń	pęd	korzeń	pęd
	średnia [cm]	średnia [cm]	średnia [cm]	średnia [cm]	średnia [cm]	średnia [cm]
Kontrola	17.76	25.5	11.8	24.42	18.9	28.9
6,25%	15.5	22.44	8.3	22	16.44	25.9
12,5%	15.5	22.86	7.6	21.2	15.73	25.46
25%	15.62	22.5	7.09	19.87	11.8	22.46
50%	11.15	21.54	6.9	20.14	10.5	23.44
100%	10.4	20.75	6.75	18.45	8.4	22.9

Tabela 4. Tabela zbiorcza wyników długości korzenia i pędu dla trzech badanych gatunków roślin na stanowisku badawczym nr 2 (średnia oznacza wartość średnią z 60 pomiarów)

Table 4. Summary the results of shoot and root lengths for 3 studied species at the site no. 2 (the average = the average from 60 measurements)

Próbka	Pszenica (<i>Triticum aestivum</i>)		Łubin (<i>Lupinus luteus</i>)		Kukurydza (<i>Zea mays</i>)	
	korzeń	pęd	korzeń	pęd	korzeń	pęd
	średnia [cm]	średnia [cm]	średnia [cm]	średnia [cm]	średnia [cm]	średnia [cm]
Kontrola	17.77	25.5	11.85	24.42	18.9	28.8
6,25%	15.11	22.83	10.4	22.72	17.05	25.9
12,5%	14.57	23.52	9.35	20.8	15	24.7
25%	14.44	23.7	8.45	19.62	13.2	24.35
50%	13.7	22.5	8.23	19.01	11.05	22.9
100%	11.8	21.72	7.65	19.35	8.22	22.05

Tabela 5. Tabela zbiorcza wyników długości korzenia i pędu dla trzech badanych gatunków roślin na stanowisku badawczym nr 3 (średnia oznacza wartość średnią z 60 pomiarów).

Table 5. Summary the results of shoot and root lengths for 3 studied species at the site no. 3 (the average = the average from 60 measurements)

Próbka	Pszenica (<i>Triticum aestivum</i>)		Łubin (<i>Lupinus luteus</i>)		Kukurydza (<i>Zea mays</i>)	
	korzeń	pęd	korzeń	pęd	korzeń	pęd
	średnia [cm]	średnia [cm]	średnia [cm]	średnia [cm]	średnia [cm]	średnia [cm]
Kontrola	17.7	25.5	11.85	24.42	18.9	28.8
6,25%	17.55	25.3	10.7	22.62	17.73	26.7
12,5%	14.1	24.9	8.51	19.15	14.7	24.7
25%	8.05	22.7	7.63	20.2	12.67	22.15
50%	3.3	21.74	3.2	19.5	7.06	21.65
100%	0	10.31	1.03	16.46	2.04	9.02

Tabela 6. Wyniki analizy ekotoksykologicznej próbek gleby

Table 6. Results of ecotoxicological studies

Stanowisko badawcze	Pszenica		Łubin		Kukurydza		
	<i>(Triticum aestivum)</i>		<i>(Lupinus luteus)</i>		<i>(Zea mays)</i>		
	korzeń EC ₅₀ [%]	pęd EC ₅₀ [%]	korzeń EC ₅₀ [%]	pęd EC ₅₀ [%]	korzeń EC ₅₀ [%]	pęd EC ₅₀ [%]	
EC ₅₀ ³	Stanowisko badawcze Nr 1	>100	>100	>100	>100	86,63	>100
	Stanowisko badawcze Nr 2	>100	>100	>100	>100	94,52	>100
	Stanowisko badawcze Nr 3	25,04	95,47	27,46	>100	29,73	63,93

jątek stanowiła kukurydza, gdzie obserwowano zahamowanie wzrostu przy rozcieńczeniu wynoszącym od 86% do 94% gleby skażonej. Pęd kukurydzy tak jak i pędy a także korzenie dwóch pozostałych roślin nie wykazywały efektu hamowania wzrostu w rozcieńczeniach do 100% gleby skażonej. Reasumując, mimo, że oddziaływanie związków toksycznych na rośliny testowe było bardzo zróżnicowane zaobserwowano wyraźny wpływ związków toksycznych na długość głównie korzenia badanych roślin jedynie na stanowisku nr 3. Powodem największej toksyczności gleby ze stanowiska nr 3 może jej charakter, która należy do grupy piasków gliniastych, będących najłagodniejszym podłożem z niewielką ilością próchnicy (Tabela 1).

DYSKUSJA

Miedź należy do grupy mikroelementów i jest niezbędnym składnikiem do właściwego rozwoju i wzrostu roślin, wchodzi bowiem w skład enzymów i białek, które uczestniczą w procesach metabolicznych. Rośliny wykazują dużą odporność na zatrucie miedzią, jednak nadmierne ilości powodują zaburzenia w metabolizmie, czego efektem jest ograniczenie wzrostu i rozwoju. Metal ten, podobnie jak inne pierwiastki śladowe zatrzymuje się też na powierzchni blaszek liściowych wskutek pylenia. Spośród czynników mających wpływ na zachowanie się miedzi w glebach, czyli na jej rozpuszczalność, przyswajalność i migrację istotne są: odczyn gleby, obecność wodorotlenków, zawartość substancji organicznej, minerałów ilastych oraz występowanie możliwych interakcji z innymi pierwiastkami [Pendias i Pendias-Kabata 1993].

Dla takich pierwiastków jak kadm czy ołów nie wykazano do tej pory roli biologicznej w metabolizmie roślin [Piotrowski 2008]. Ołów i kadm są uznawane za metale toksyczne. Stwierdzono, że ołów wykazuje negatywny wpływ na metabolizm azotowy, a także hamuje transport elektronów i syntezę barwników w procesie fotosyntezy u roślin [Gruca-Królikowska i Waclawek 2006]. Aby dokonać oceny ekotoksykologicznej ważne jest zarówno określenie całkowitych stężeń metali ciężkich w roztworze jak i postaci, w jakich te metale występują [Karczewska 2002]. Czynnikiem dominującym w podatności metali ciężkich (szczególnie miedzi) na mobilizację gleb są: całkowita pojemność

sorpcyjna gleb, która jest związana ze składem granulometrycznym i zawartością próchnicy oraz odczynem gleby. Badane próbki gleb wykazują obojętny bądź lekko kwaśny odczyn, co jest związane z przeprowadzonymi zabiegami wapnowania gleb na terenie objętym badaniami (dawne strefy ochronne). Skutkuje to wysokim stopniem wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi.

Do badań ekotoksykologicznych na poziomie producentów wykorzystano trzy gatunki roślin: kukurydzę, pszenicę oraz łubin. Tylko w przypadku stanowiska nr 3 obserwowano znaczne (już przy niskich rozcieńczeniach) hamowanie rozwoju korzenia o 50% u wszystkich trzech badanych gatunków roślin. Wyniki badań ekotoksykologicznych znajdują potwierdzenie w analizach chemicznych (Tabela 2), z których wynika, że na tym stanowisku zawartość metali ciężkich była najwyższa. Ponadto, mimo obojętnego czy też zasadowego charakteru gleby rośliny mogły mieć możliwość pobierania substancji nierozpuszczalnych w wodzie, dzięki wydzielaniu specyficznych metabolitów zwiększających ich rozpuszczalność i ułatwiających wchłanianie. Większa ilość metali znajduje się w korzeniach niż w częściach nadziemnych, co także odzwierciedlają otrzymane wyniki badań. Reakcja rośliny na skażenie zależy od też od gatunku oraz fazy rozwoju i wzrostu [Baran i Jasiewicz 2009, Korzeniowska i Stanisławska-Głubiak 2007; Stanisławska-Głubiak i Korzeniowska 2005]. Dodatkowo, o fitotoksyczności metali mogą decydować interakcje z innymi pierwiastkami mającymi wpływ na procesy fizjologiczne [Baran i Jasiewicz 2009]. Na podstawie wyników badań za najbardziej odporną rośliną na zanieczyszczenie gleb uznano łubin (roślina dwuliścienna), obserwowano u niej hamowanie rozwoju korzenia o 50% jedynie na stanowisku badawczym nr 3. Najbardziej wrażliwa na zanieczyszczenia była kukurydza.

Stwierdzono, iż wpływ na ograniczenie wzrostu roślin miał charakter (skład granulometryczny) miejsca poboru próbek gleby (stanowisko badawcze nr 3), niewielka odległość od huty (580 m), a także prawdopodobnie dominujące wiatry zachodnie, sprzyjające pyleniu.

Wyniki badań wskazują na zmieniającą się, coraz lepszą kondycję gleb wokół huty, co jest wynikiem proekologicznej polityki zakładu, którą wymuszają coraz to wyższe wymogi społeczne odnośnie jakości środowiska.

WNIOSKI

1. Jedynie w przypadku próbek gleby pobranych ze stanowiska nr 3 odnotowano toksyczny efekt mający wpływ na rozwój badanych gatunków roślin. Wiąże się to bezpośrednio z lokalizacją stanowiska (w najbliższym sąsiedztwie huty miedzi, gdzie stwierdzono mocno podwyższone stężenia miedzi oraz nieznacznie ołowiu) a także charakterem gleby (piasek słabo gliniasty). Próbki gleby pobrane w dalszej odległości od zakładu (stanowiska nr 1 i 2) nie wykazywały znacznego efektu toksycznego w stosunku do badanych gatunków roślin.
2. Rośliną najbardziej odporną na zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi był łubin, a najbardziej podatną kukurydza, u której stwierdzono zahamowanie rozwoju korzenia na wszystkich stanowiskach badawczych.
3. Stwierdzono, że kondycja gleb wokół huty ulega stopniowemu polepszeniu, co daje perspektywy możliwości wykorzystania tych terenów w przyszłości pod uprawy roślin użytkowych lub hodowlę zwierząt. Jakość gleby nie stanowi już tak znacznego zagrożenia dla organizmów żywych jak to było dawniej.

LITERATURA

1. Baran A., Jasiewicz C., 2009. Toksyczna zawartość cynku i kadmu w glebie dla różnych gatunków roślin, *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 40, 157–164.
2. Gruca-Królikowska S., Waclawek W., 2006. Metale w środowisku Cz. II. Wpływ metali ciężkich na rośliny, *Chemia, Dydaktyka, Ekologia, Metrologia*, 11, 1-2, 41–55.
3. Kabata-Pendias A. i in. 1993. Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. Ramowe wytyczne dla rolnictwa. IUNG, Puławy.
4. Kabata-Pendias A., Piotrowska M. 1995. Podstawy

oceny chemicznego zanieczyszczenia gleb. Metale ciężkie, siarka i WWA. Biblioteka Monitoringu Środowiska, PIOŚ, IUNG, Warszawa, 28.

5. Karczewska A., 2002. Metale ciężkie w glebach zanieczyszczonych emisjami hut miedzi – formy i rozpuszczalność, Instytut Gleboznawstwa i Ochrony Środowiska Rolniczego, Wydawnictwo Akademii Rolniczej, Wrocław.
6. Kaszubkiewicz J., Marczyk M., 2010. Zawartość benzo(a)pirenu w glebach w rejonie oddziaływania Hut Miedzi „Legnica” oraz „Głogów”, *Górnictwo i Geologia*, 5, 4, 139–148.
7. Kijewski P., 1995. Występowanie metali ciężkich na obszarze środkowego nadodrza w strefie oddziaływania przemysłu miedziowego, *Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii*, 29, 47–54.
8. Korzeniowska J., Stanisławska-Głubiak E., 2007. Reakcja trzech odmian gorczycy białej na skażenie gleby miedzią, cynkiem i nikiem, *Ochrona środowiska i Zasobów Naturalnych*, 32, 87–93.
9. Raporty o stanie środowiska w województwie dolnośląskim w 2014 r. – Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska.
10. Rosada J., 2007. Ekologiczne aspekty wykorzystania obszarów objętych oddziaływaniem emisji hut miedzi do upraw rolniczych, *Postępy w Ochronie Roślin*, 47, 1, 119–127.
11. Rosada J., Dopierała U., Remlein-Starosta D., 2010. Monitoring stanu środowiska w aspekcie opracowywania programów ochrony roślin na terenach objętych oddziaływaniem przemysłu. [W:] D. Sosnowska (red.) *Ograniczanie strat w plonach roślin uprawnych z zachowaniem bezpieczeństwa żywności*. Instytut Ochrony Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, Poznań, 51–72.
12. Pendias H., Pendias-Kabata A., 1993. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. PWN, Warszawa.
13. Piotrowski J.K., 2008. *Podstawy toksykologii*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.
14. Przewocka M. 2011. Charakterystyka strefy ochronnej Huty Miedzi „Głogów”, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego*, 144, 103–111.
15. Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J., 2012. Kryteria oceny toksyczności cynku dla roślin. *Proceedings of ECOpole*, 6 (1), 193–205.