

## WPŁYW ŚRODOWISKA NA ZAWARTOŚĆ ARSENU W GLEBACH UPRAWNYCH REJONU ZGORZELECKO-BOGATYŃSKIEGO

Ewa Kucharczak-Moryl<sup>1</sup>, Andrzej Moryl<sup>2</sup>, Romuald Żmuda<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Katedra Biochemii, Farmakologii i Toksykologii, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Norwida 31, 50-375 Wrocław, e-mail: ewa.kucharczak@up.wroc.pl

<sup>2</sup> Instytut Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław, e-mail: andrzej.moryl@up.wroc.pl

<sup>3</sup> Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław, e-mail: romuald.zmuda@up.wroc.pl

### STRESZCZENIE

Badania prowadzono w rejonie oddziaływania Kopalni i Elektrowni „Turów”, które poprzez emisję zanieczyszczeń gazowych i pyłowych przyczyniają się do skażenia gleb m.in. arsenem. Celem przeprowadzonych badań było określenie całkowitej zawartości tego metalu w próbkach gleb uprawnych pobranych w rejonie oddziaływania ww. zakładów. Jednocześnie określono ich skład granulometryczny oraz właściwości fizyko-chemiczne – odczyn i procentową zawartość substancji organicznej. Gleby pobrane z głębokości od 0,0 do 0,3 m ppt oraz od 0,3 do 0,6 m ppt pochodziły z terenu bezpośredniego oddziaływania kopalni i elektrowni (rejon Bogatyni) oraz z regionu Zgorzelca, usytuowanego poza zasięgiem bezpośredniego oddziaływania emiterów. Zawartość arsenu całkowitego oznaczano metodą ICP-AES z wykorzystaniem spektrometru plazmowego Varian-Liberty Series II. Wszystkie próbki gleb, niezależnie od miejsca pochodzenia, wykazywały odczyn kwaśny, a zawartość substancji organicznej w obydwu rejonach badawczych była wyższa na głębokości od 0,0 do 0,3 m. Zgodnie z klasyfikacją PTG 2008, gleby z rejonu Zgorzelca zaliczono do bardzo lekkich, lekkich i średnich (piasek luźny, piasek gliniasty, glina piaszczysta i glina lekka), stwierdzono w nich ponadto wysoką zawartość frakcji piaskowej. Gleby z rejonu Bogatyni zaliczono do gleb średnich i ciężkich pyłowych (pył gliniasty i pył ilasty), z wysoką zawartością frakcji pyłowej. Podwyższony poziom arsenu w glebie uprawnej z rejonu oddziaływania Kopalni i Elektrowni, z jednej strony związany jest z antropogenicznym jego uwalnianiem podczas spalania węgla, ale również wpływ na to mają właściwości fizykochemiczne gleb. Jest to przyczyną zwiększonej kumulacji tego metalu, głównie na głębokości od 0,3 do 0,6 m. Wykazano również istotny, około 3-krotnie wyższy poziom tego metalu w rejonie bezpośredniego oddziaływania Kopalni i Elektrowni „Turów”, w porównaniu z rejonem zgorzeleckim, niezależnie od głębokości ich pobrania. Z pewnością duże znaczenie na absorpcję tego metalu mogą mieć nakładające się w tym rejonie zanieczyszczenia lokalne i transgraniczne, kwaśny odczyn gleb i wyższa procentowa zawartość substancji organicznej. Dużą rolę odgrywa także skład granulometryczny, głównie przeszło 4-krotnie wyższa średnia procentowa zawartość frakcji pyłowych i ilowych.

**Słowa kluczowe:** gleby uprawne, rejon zgorzelecko-bogatyński, arsen, właściwości fizykochemiczne.

## INFLUENCE OF THE ENVIRONMENT ON THE CONTENT OF ARSENIC IN CULTIVATED SOILS IN ZGORZELEC-BOGATYNIA REGION

### ABSTRACT

The study was conducted in the area of influence of Mine and Power Plant "Turów" which, through the emission of gaseous and particulate pollutants contribute to soil contamination, among other things by arsenic. The aim of this study was to determine the total content of this metal in samples of arable soils collected in the area of the impact of the above-mentioned emitters. At the same time their grain-size distribution and their physico-chemical properties, as pH and percentage of organic matter were determined. Soils collected from a depth of 0.0 to 0.3 m below ground surface, and from 0.3 to 0.6 m b.g.s. came from the area of direct impact of the mine and power plant (area of Bogatynia) and the region of Zgorzelec, located out of the direct impact of emitters. Total arsenic content was determined by ICP- AES using a plasma spectrometer Varian Liberty Series II. All soil samples, independently of the place of origin, showed acid pH, and organic matter content in both research areas was higher at a depth of 0.0 to 0.3 m. In accordance with the classification of PTG 2008, soils from the area of Zgorzelec were classified as very light, light and medium (loose sand, loamy sand, sandy loam and light loam), with a high content of sand fraction it was also found. The soils of Bogatynia region were classified as medium and heavy silty (loamy silt and clayey silt), with a high content of silt fraction. Increased levels of arsenic in cultivated soils in the area of influence of the Mine and Power Plant, on the one hand they are connected with its anthropogenic its release during the combustion of coal, and on the other hand it is the influence of physico-chemical properties of soils. It is the reason of increased accumulation of this metal, mostly at a depth of 0.3 to 0.6 m. Significant, 3 times, higher level of this metal was showed in the area of direct impact of Mine and Power Plant "Turów", compared with the area of Zgorzelec, apart from the depth of their collection. Certainly the great importance for the absorption of the metal may be overlapping in this region, local and cross-border pollution, acidic soils and a higher percentage of organic matter. Grain-size distribution, mainly 4 times higher average percentage of fractions of silt and clay fractions are of great importance.

**Keywords:** cultivated soils, Zgorzelec-Bogatynia region, arsenic, physico-chemical properties

### WSTĘP

Problem zanieczyszczenia metalami ciężkimi dotyczy wszystkich elementów środowiska przyrodniczego, a w przypadku gleb ma najczęściej charakter lokalny i występuje przede wszystkim na terenach przemysłowych. Głównym źródłem metali, obok motoryzacji i rolnictwa, jest przemysł, w tym także energetyczny i wydobywczy [17]. Jednym z takich rejonów jest region zgorzelecko-bogatyński. Źródłem zanieczyszczeń gazowych i pyłowych są dwa główne zakłady po stronie polskiej tj. Kopalnia i Elektrownia „Turów”, ale przede wszystkim te, które zlokalizowane są po stronie czeskiej i do niedawna po stronie niemieckiej. Ocenia się że aż 60% zanieczyszczeń do tego rejonu napływa spoza granic Polski. Rozpoczęte od połowy lat 90.tych zintegrowane działania proekologiczne realizowane w ramach programu

regionalnego „Czarny Trójkąt” doprowadziły do zmniejszenia emisji zanieczyszczeń powietrza z elektrowni znajdujących się w tym rejonie o około 60–70%. [22]. Zrealizowano między innymi szereg kosztownych przedsięwzięć zmierzających do zredukowania obciążeń ekologicznych oraz poważnie ograniczono działalność produkcyjną niektórych obiektów. W efekcie tego odczuwalnie zmniejszyła się emisja zanieczyszczeń do atmosfery i stopniowo dochodzi do rekultywacji zdegradowanych terenów. W tego typu działaniach niezwykle trudne do osiągnięcia jest doprowadzenie do spadku stężenia metali ciężkich w glebie. Kumulowane przede wszystkim w ich warstwach wierzchnich, łatwo trafiają do kolejnych ogniw łańcucha pokarmowego, przyczyniając się w znacznym stopniu do spotęgowania geochemicznego obiegu wielu pierwiastków. Dodatkowo ich obecność w nadmiernych ilościach przyczynia się do zmniejszenia żyzności i odczynu gleb, wpływa szkodliwie na właściwości biologiczne, działa toksycznie na rośliny, jak również może być przyczyną skażenia wód gruntowych [3, 13, 16].

W ostatnich latach wydobycie i popyt na węgiel brunatny znacznie wzrosło i według światowych prognoz tendencja ta będzie utrzymywać się do połowy XXI wieku. Obecnie w Polsce energia elektryczna wytwarzana jest wyłącznie z węgla kamiennego i brunatnego (94% całkowitej jej produkcji), z czego z węgla brunatnego pochodzi od 32 do 35%. Wydobycie i energetyczne wykorzystywanie węgla wiąże się wydzieleniem do atmosfery, w postaci gazów i pyłów, toksycznych metali, przede wszystkim ołowiu, kadmu i rtęci. Coraz częściej przeprowadzane są też analizy związane z obecnością metali śladowych, w tym również arsenu. Średnia zawartość tego metalu w najważniejszych złożach węgla brunatnego w Polsce to 4,79 ppm. W popiołach stężenie tego składnika jest o wiele wyższe i mieści się w przedziale od 1,2 ppm do 130 ppm. Badania złóż węgla Turów prowadzone przez Bielowicz [1, 2] wykazały, że średnia zawartość arsenu wynosiła 4,81 ppm, a w popiele uzyskanym metodą powolnego spalania 11,90 ppm.

Według Raportów publikowanych przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami [9, 10] emisja tego metalu do atmosfery na terenie Polski nie ulega zmniejszeniu. Dane zawierające porównanie emisji tego metalu w latach 2010 i 2011 wskazują na zmniejszeniu emisji arsenu w tym okresie o około 6%, ale w roku 2012 w porównaniu z rokiem 2011 zaobserwowano wzrost emisji o niecały 1%. Chociaż najwięcej tego metalu emitowane jest w procesach spalania poza przemysłem oraz w procesach przemysłowych to również spalanie związane z sektorem produkcji i transformacji energii wiąże się ze znaczną emisją arsenu do atmosfery. W roku 2010 było to 5767 kg, w roku 2011 – 5576 kg oraz w roku 2012 – 5592 kg.

Celem przeprowadzonych badań było określenie całkowitej zawartości arsenu w próbkach gleb uprawnych, pobranych w rejonie oddziaływania Kopalni i Elektrowni „Turów” oraz rejonu będącego poza zasięgiem emiterów. Ocena jakości gleb przeprowadzona została również na podstawie ich właściwości fizyko-chemicznych oraz określeniu składu granulometrycznego.

## MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Badania próbek gleb uprawnych przeprowadzono w latach 2008–2011, w ramach oceny zawartości metali w abiotycznych i biotycznych elementach środowiska w Polsce południowo-zachodniej. Próby gleb pochodziły z dwóch rejonów:

- Bogatyni (miejscowości Bogatynia, Działoszyn, Bratków, Ręczyn, Wyszków, Wolanów), leżącej w rejonie oddziaływania Elektrowni i Kopalni „Turów”;
- Zgorzelca (miejscowości Jerzmanki, Łągów, Jagodzin, Gronów, Sławnikowice), usytuowanych poza zasięgiem bezpośredniego oddziaływania emiterów.

Łącznie badaniom poddano 64 próbki gleb, pobrane z głębokości od 0 do 30 cm oraz od 30 do 60 cm (rys. 1)



Rys. 1. Lokalizacja rejonów poboru próbek gleb uprawnych

Fig. 1. Location of sampling areas

Przed analizą chemiczną materiał glebowy suszono w temperaturze pokojowej, następnie rozdrobniono i przesiano przez sito o wymiarach oczek 1 mm. We wszystkich próbkach oznaczono odczyn gleb w  $H_2O$  i 1N KCl (metodą potencjometryczną), procentową zawartość substancji organicznej (metodą wyprażania) oraz skład granulometryczny (metodą sitową - cząstek powyżej 1 mm i metodą areometryczną Bouyocosa w modyfikacji Casagrande'a i Prószyńskiego - cząstek poniżej 1 mm) [14].

W celu oznaczenia zawartości całkowitego arsenu w glebie 0,5 g naważki poddano mineralizacji na mokro w wodzie królewskiej z zastosowaniem podciśnieniowego systemu mikrofalowego Mars 5. W uzyskanym mineralizacie oznaczono metodą

ICP-AES z wykorzystaniem spektrometru plazmowego Varian-Liberty Series II, zawartość arsenu całkowitego. Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej, obliczając średnią arytmetyczną i odchylenie standardowe. Do analizy statystycznej wykorzystano test t-studenta. Za statystycznie istotną różnicę przyjęto wartość  $p \leq 0,05$ .

## WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

### Odczyn gleb i zawartość substancji organicznej

Na obszarach użytkowanych rolniczo w województwie dolnośląskim dominują gleby o odczynie kwaśnym i lekko kwaśnym. Zajmują one powierzchnię ponad 60% użytków rolnych. W powiecie zgorzeleckim udział gleb bardzo zakwaszonych i kwaśnych mieści się w przedziale od 66 do 71% [22]. Zarówno odczyn gleb, jak i zawartość materii organicznej ma ogromny wpływ na jakość zachodzących w niej procesów. Kształtuje to zachowanie się wielu substancji nieorganicznych w glebie, a w szczególności metali ciężkich [3, 13]. Dochodzić może do wzrostu ich rozpuszczalności oraz ruchliwości, przez co są one łatwiej włączane do obiegu w ekosystemie. Związki organiczne decydują z kolei o przebiegu procesu glebotwórczego i kształtowaniu profilu glebowego. Skutkiem nadmiernej kwasowości gleby może być z kolei ograniczenie wzrostu wielu roślin, co spowodowane jest zmniejszeniem dostępności pierwiastków niezbędnych, z jednoczesnym wzrostem dostępności pierwiastków potencjalnie toksycznych [24]. Ze względu na silną zależność rozpuszczalności metali od odczynu gleb podstawowym zabiegiem ograniczającym ruchliwość metali, szczególnie w glebach ciężkich, są zabiegi wapnowania. W powiecie zgorzeleckim, którego gleby są dodatkowo zakwaszane na skutek antropogenicznej działalności człowieka (obecność zakładów emitujących kwasotwórcze tlenki siarki i azotu) procesowi temu musi być poddanych około 73% gleb [4,20]. Związki organiczne w glebach pełnią zasadniczą rolę w wiązaniu metali w proste i chelatowe związki kompleksowe oraz ich sole, a trwałość takich kompleksów również zależy od odczynu gleby i rodzaju jonu metalu. Przeprowadzone badania gleb w regionie zgorzelecko-bogatyńskim potwierdziły, że wykazują one odczyn kwaśny i to niezależnie od miejsca pochodzenia próbek. Średnia procentowa zawartość substancji organicznej jest wyższa na głębokości od 0,0 do 0,3 m, co z pewnością jest korzystne dla neutralizacji metali, które na tej głębokości łatwo tworzą związki kompleksowe ze związkami humusowymi (Tabela 1).

### Skład granulometryczny

Skład granulometryczny jest podstawową cechą gleby kształtującą jej zdolności sorpcyjne, które ograniczają ruchliwość zarówno makro-, jak i mikropierwiastków niezbędnych do pełnienia przez nią wielu funkcji biologicznych. Zdolności sorpcyjne gleb odgrywają bardzo ważną rolę m.in. w zatrzymywaniu metali ciężkich w glebach.

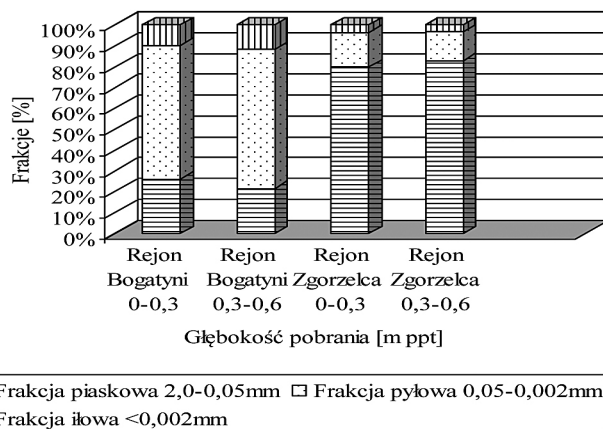
**Tabela 1.** Odczyn gleb i zawartość substancji organicznej w próbkach gleb [11]

**Table 1.** Soil pH and organic matter content in soil samples [11]

Rejon badań	Głębokość pobrania [m ppt]	Parametry	pH		Substancja organiczna [%]
			H <sub>2</sub> O	1M KCl	
a	0–0,3	zakres	5,38–6,32	4,73–6,22	3,63–7,60
		średnia	5,80	5,64	5,76
	0,3–0,6	zakres	5,58–6,42	4,81–6,05	2,52–4,62
		średnia	6,02	5,46	3,79
b	0–0,3	zakres	5,51–5,96	4,70–5,32	2,83–6,71
		średnia	5,63	5,02	5,30
	0,3–0,6	zakres	3,42–6,01	4,88–5,42	2,54–4,18
		średnia	5,65	5,15	3,53

**Objaśnienia:** a – rejon Bogatyni, b – rejon Zgorzelca.

Szczególne znaczenie w składzie granulometrycznym ma zawartość frakcji pyłowej i ilowej, jest to zasadniczy czynnik decydujący o mobilności metali ciężkich w glebach oraz ich pobieraniu przez rośliny. Wysoka zawartość cząstek o średnicy mniejszej od 0,05 mm powoduje zmniejszenie dostępności metali dla roślin, jednak jakakolwiek zmiana warunków fizykochemicznych, m.in. zakwaszenie gleb, może doprowadzić do ponownego uruchomienia toksycznych metali i włączenia ich do obiegu geochemicznego [24]. Średnia zawartość frakcji piaskowej w badanych glebach była wyższa w rejonie Zgorzelca i wynosiła 79% w próbkach gleb pobranych z głębokości od 0,0 do 0,3 m i 82% w pobranych na głębokości od 0,3 do 0,6 m. Gleby pobrane z rejonu Bogatyni cechują się wyższą zawartością frakcji pyłowej, niezależnie od głębokości pobrania tj. 63% (głębokość od 0,0 do 0,3 m) i 65% (głębokość od 0,3 do 0,6 m). Również stwierdzono w glebach tego rejonu wyższą, około 3-krotnie, zawartość frakcji ilowej w porównaniu do gleb z rejonu Zgorzelca (rys. 2).



**Rys. 2.** Procentowa zawartość frakcji uziarnienia gleb wg PTG 2008

**Fig. 2.** Percentage of soil size fractions by PTG 2008

Na podstawie uzyskanych wyników, zgodnie z klasyfikacją PTG 2008, określono podgrupy granulometryczne i kategorie ciężkości gleb [14, 19]. Gleby z okolic Bogatyni to gleby średnie i ciężkie pyłowe (pył gliniasty i pył ilasty), natomiast w okolicach Zgorzelca występują gleby bardzo lekkie, lekkie i średnie (piasek luźny, piasek gliniasty, glina piaszczysta i glina lekka).

### Zawartość arsenu w glebach

Arsen jest pierwiastkiem szeroko rozpowszechnionym w środowisku. Całkowite roczne zanieczyszczenie tym metalem w wyniku działalności człowieka wynosi  $9,4 \times 10^7$  kg a główne antropogeniczne jego źródła to: 41% odpady produkcyjne, 23% spalanie węgla, 14% depozycja atmosferyczna, 10% odpady materiałowe, 7% wytop rud, 3% rolnictwo, 2% inne źródła [19]. Metal ten wchodzi w skład około 200 minerałów, gdzie występuje w postaci arsenków i arsenosiarczków metali takich jak żelazo, nikiel, kobalt i miedź. Zawartość arsenu w glebie zależy od wielu czynników, przede wszystkim od koncentracji w skale macierzystej, przebiegu procesów glebotwórczych oraz degradacyjnej działalności człowieka. W zależności od warunków oksydacyjno-redukcyjnych występuje na różnych stopniach utlenienia, najczęściej jako pięciowartościowy, mniej reaktywny i nietoksyczny. Zachowuje się wtedy podobnie jak fosfor, podlegając sorpcji przez wodorotlenki żelaza i glinu, substancję organiczną, związki wapnia i fosforu. Gromadzi się głównie na powierzchni, ponieważ wiązany jest przez wiele komponentów glebowych. Natomiast w glebach kwaśnych, gdzie dominują warunki redukcyjne i niskie pH, występuje on na trzecim stopniu utlenienia, w formie łatwo rozpuszczalnej. Wzrost zakwaszenia gleby przyspiesza jego migrację w głąb profilu, a to z kolei może doprowadzić do możliwości zanieczyszczenia wód podziemnych [13, 16]. Zarówno naturalne jak i antropogeniczne źródła arsenu w środowisku powodują, że nawet gleby nie narażone na bezpośrednie emisje tego metalu, zawierają pewne jego ilości, a naturalna zawartość arsenu mieści się w przedziale od 1 do 30 mg As kg<sup>-1</sup> [13]. Najwyższe stężenia arsenu stwierdza się w glebach ilastych oraz bogatych w składniki organiczne, szczególnie związki siarki i rudy żelaza. Dopuszczalna zawartość arsenu w glebach użytkowanych rolniczo w Polsce wynosi 20 mg As kg<sup>-1</sup> a tło geochemiczne mieści się w zakresie od 2 do 13 mg As kg<sup>-1</sup> [3, 24].

Badania przeprowadzone na terenie gminy Bogatynia, w latach 2000–2003 w pobliżu miejscowości położonych w sąsiedztwie Kopalni i Elektrowni „Turów” wykazały obecność arsenu w glebach użytkowanych rolniczo w zakresie od 1,66 do 28,76 mg As kg<sup>-1</sup> [20, 22]. W badaniach własnych (tab. 2), w próbkach gleb pobranych z głębokości od 0,0 do 0,3 m pochodzących z rejonu Bogatyni, maksymalny poziom arsenu wynosił 18,02 mg As kg<sup>-1</sup> i był prawie 6-krotnie niższy od maksymalnego poziomu tego metalu stwierdzonego w glebach powiatu jeleniogórskiego, sąsiadującego z rejonem zgorzelecko-bogatyńskim [7]. Prawdopodobną przyczyną tego stanu rzeczy jest obecność w rejonie Jeleniej Góry znacznej ilości zakładów przemysłowych

**Tabela 2.** Zawartość arsenu w glebach  
**Table 2.** The content of arsenic in soils

Rejon badań	Parametr	Arsen [mg As kg <sup>-1</sup> ]	
		Głębokość pobrania [m ppt]	
		0–0,30	0,30–0,60
Rejon Bogatyni	zakres	9,47–18,02	13,20–17,30
	średnia ± SD	13,90±3,49*	14,73±1,83*
Rejon Zgorzelca	zakres	1,95–10,63	3,18–8,32
	średnia ± SD	4,93±3,55	5,55±1,84

**Objaśnienia:** SD – odchylenie standardowe; \* różnice statystycznie istotne przy  $p \leq 0,05$

stosujących przestarzałe technologie, nielegalnych wysypisk odpadów komunalnych i przemysłowych, związanych m.in. z wydobyciem rud metali i hutami szkła.

Równie wysokie stężenia arsenu w zakresie od 21 do 1573 mg As kg<sup>-1</sup> stwierdzono w próbkach gleb pobranych w rejonie dawnej kopalni srebra w pobliżu Pragi [23]. Wysokie stężenia arsenu w glebach narażonych na antropogeniczne uwalnianie się tego metalu do środowiska mogą utrzymywać się przez bardzo długi czas, czego dowodem są badania prowadzone w rejonie Złotego Stoku, niegdyś największego w Europie ośrodka przetwórstwa tego metalu. Stwierdzane ilości w glebach sąsiadujących z hałdami pogórnictwa dochodziły nawet do 11 500 mg kg<sup>-1</sup>, ale również stężenia w glebach ogródków działkowych tj. 232 mg As kg<sup>-1</sup> w warstwie powierzchniowej i 281 mg As kg<sup>-1</sup> w warstwie podpowierzchniowej nie spełniały standardów jakości gleby [5, 6]. Zanieczyszczenia gleb arsenem obserwowane są również na terenach pozbawionych presji antropogenicznej, czemu dowodzą wyniki badań Rapalskiej [21] prowadzone na obszarze polskiego i słowackiego Tatrzańskiego Parku Narodowego. Bliskość okręgu przemysłowego zlokalizowanego w rejonie Bańskiej Bystrzycy spowodowała, że ilości arsenu dochodziły do 37,7 mg As kg<sup>-1</sup>.

Stwierdzone w badaniach własnych wyższe poziomy arsenu w glebach pobranych z głębokości od 0,3 do 0,6 m zależne są z pewnością od jej odczynu oraz procentowej zawartości substancji organicznej. Dowodzą temu wyniki zawartości arsenu uzyskane przez Kicińską [8] w glebach pochodzących z rejonu olkuskiego, gdzie znajdują się złoża mineralno-cynkowo-olowiowe. Odczyn tych gleb jest obojętny lub lekko zasadowy a zawartość substancji organicznej wyższa niż uzyskana w badaniach własnych. Wysoką koncentrację tego metalu tj. 1900 mg As kg<sup>-1</sup> stwierdzono w warstwie powierzchniowej, a na głębokości od 0,25 do 0,3 m uległa ona 4-krotnemu zmniejszeniu do 467 mg As kg<sup>-1</sup>. Chociaż emisje przemysłowe mają największe znaczenie w zanieczyszczeniu arsenem środowiska glebowego, to nie należy pomijać udziału gospodarstw domowych posiadających własne systemy ogrzewania, które często nie podlegają kontroli. Wskazują na to wyniki zawartości arsenu w glebach miejskich przeprowadzone w mieście Łodzi mieszczące się w zakresie od 16,6 do 52,5 mg As kg<sup>-1</sup>. Przypuszcza się, że przyczyną takiego stanu rzeczy są nadziemne



części roślinności asymilujące duże ilości pyłów, które potem przenoszone są do gleby [15]. Porównywalne zawartości tego metalu stwierdzono także w parkach miejskich chińskiego miasta Guangzhou [12]. Uzyskane w badaniach własnych wyniki zawartości arsenu, istotnie wyższe w rejonie oddziaływania Kopalni i Elektrowni „Turów” z jednej strony związane są z antropogenicznym uwalnianiem tego metalu podczas spalania węgla, ale również wpływ na to mają właściwości fizykochemiczne gleb tj. kwaśny odczyn i wyższa procentowa zawartość substancji organicznej. Dużą rolę odgrywa także skład granulometryczny, głównie przeszło 4-krotnie wyższa średnia procentowa zawartość frakcji pyłowych i ilowych oraz nakładające się w tym rejonie zanieczyszczenia lokalne i transgraniczne.

## WNIOSKI

1. Badania gleb przeprowadzone w regionie zgorzelecko-bogatyńskim potwierdziły, że wykazują one odczyn kwaśny, niezależnie od miejsca pochodzenia próbek, a zawartość substancji organicznej jest wyższa na głębokości od 0 do 0,3 m w porównaniu do pobranych z głębokości od 0,3 do 0,6 m.
2. Gleby z rejonu Bogatyni to gleby średnie i ciężkie pyłowe: pył gliniasty i pył ilasty, z wysoką zawartością frakcji pyłowej, a z rejonu Zgorzelca to gleby bardzo lekkie, lekkie i średnie: piasek luźny, piasek gliniasty, glina piaszczysta i glina lekka, z wysoką zawartością frakcji piaskowej.
3. Istotnie wyższy poziom arsenu w glebie uprawnej z rejonu oddziaływania Kopalni i Elektrowni związany jest z antropogenicznym jej uwalnianiem podczas spalania węgla, kwaśnym odczynem gleb, wysoką zawartością substancji organicznej oraz frakcji pyłowych.

## PIŚMIENNICTWO

1. Bielowicz B. 2010. Wybrane pierwiastki szkodliwe w węglu brunatnym ze złoża „Gubin”. Zesz. Nauk., Inżynieria Środowiska. 18: 92-101.
2. Bielowicz B. 2013. Występowanie wybranych pierwiastków szkodliwych w polskim węglu brunatnym. Gospodarka Surowcami Mineralnymi. 29(3): 47-59.
3. Kabata – Pendias A., H. Pendias. 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa.
4. Kaczor A., Brodowska M. 2008. Oddziaływanie emisji ditlenku siarki i tlenków azotu na zakwaszenie gleb Polski. Proceeding of ECOpole, 2 (1) : 191-195.
5. Karczewska A., Bogda A., Gałka B., Kabała C, Krysiak A., Szopka K. 2007. Metale ciężkie i arsen w glebach na obszarach dawnego górnictwa rud metali w Sudetach i na Przedgórzu Sudeckim. WUG: bezpieczeństwo pracy i ochrona środowiska w górnictwie. 4: 25-27.
6. Karczewska A., Lewińska K., Agata M., Krysiak A. 2010. Soil Pollution by Arsenic within the Allotment Gardens in Złoty Stok. Ecol.Chem.Engineering A. 17 (8): 927-933.

7. Kaszubkiewicz J., Kawałko D. 2009. Zawartość wybranych metali ciężkich w glebach i roślinach na terenie powiatu jeleniogórskiego. Ochr. Śr. Zasobów Nat.40: 177-189.
8. Kicińska A. 2009. Arsen i tal w glebach i roślinach rejonu Bukowna. Ochr. Śr. Zasobów Nat.40: 199- 208.
9. [http://www.kobize.pl/materialy/Inwentaryzacje\\_krajowe/2013/Bilans\\_emisji-raport\\_syn-tetyczny\\_%202011.pdf](http://www.kobize.pl/materialy/Inwentaryzacje_krajowe/2013/Bilans_emisji-raport_syn-tetyczny_%202011.pdf)
10. [http://www.kobize.pl/materialy/Inwentaryzacje\\_krajowe/2014/Bilans\\_emisji-raport\\_syn-tetyczny\\_2012.pdf](http://www.kobize.pl/materialy/Inwentaryzacje_krajowe/2014/Bilans_emisji-raport_syn-tetyczny_2012.pdf)
11. Kucharczak E, Moryl A. 2011. Wpływ Elektrowni i Kopalni „Turów” na zawartość wybranych metali ciężkich w glebach uprawnych. Ochr.Śr.Zasobów Nat., 49:178- 185.
12. Lu Y., Yin W., Huang L., Zhang G., Zhao Y. 2011. Assessment of bioaccessibility and exposure risk of arsenic and lead in urban soils of Guangzhou City. China. Environ. Geochem. Health, 33: 93-102.
13. Łoźna K., Biernat J.2008. Występowanie arsenu w środowisku i w żywności. Roczn. PZH, 59 (1): 19- 31.
14. Marcinek J., Komisarek J., Bednarek R., Mocek A., Skiba S., Wiatrowska K. 2011. Systematyka gleb Polski. Roczn. Glebozn., 62(3): 5-142.
15. Niedbała M., Smolińska B., Król K. 2010. Zanieczyszczenia gleb miejskich miasta Łodzi wybranymi pierwiastkami śladowymi. Zesz.Naukowe Politechniki Łódzkiej, Chemia Spożywcza i Biotechnologia, 74 (1081): 29- 38.
16. Niedzielski P., Siepak M., Siepak J. 2000. Występowanie i zawartości arsenu, antymonu i seleniu w wodach i innych elementach środowiska. Roczn. Ochrony Środowiska. 2: 317-340.
17. Panasiuk D., Głodek A., Piątek R., Pacyna E.2007. Scenariusze emisji metali ciężkich, dioksyn i PCB w Europie do 2020 roku. Proceedings of ECOpole, 1(1/2): 201-204.
18. Plak A. 2007. Czynniki kształtujące zawartość i formy arsenu w glebach aglomeracji lubelskiej. Acta Agroph., Rozprawy i monografie, 149 (3).
19. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze. 2009. Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych – PTG 2008. Roczn. Glebozn., 60(2): 5-16.
20. Program Ochrony Środowiska dla Miasta i Gminy Bogatynia. 2004. Cz. IV. Analiza oraz ocena zasobów i składników środowiska przyrodniczego. Abrys technika Sp. z o.o.: 70-78.
21. Rapalska M. 2010. Analiza zawartości metali ciężkich w glebach Tatrzańskiego parku Narodowego w części słowackiej (TANAP). V Krakowska Konferencja Młodych uczonych, Kraków 2010: 327-335.
22. Raport o stanie środowiska woj. dolnośląskiego w 2004 roku. Wojewódzki Inspektorat Środowiska we Wrocławiu. 2004.
23. Száková J., Tlustoň P., Goessler W., Pokorný T., Findenig S., Balík J. 2011. The effect of soil contamination level and plant origin on contents of arsenic, cadmium, zinc, and arsenic compounds in *Mentha Aquatica L.* Archiv. Environ. Protection. 37(2): 109-121.
24. Szczepocka A. 2005. Kryteria oceny zanieczyszczeń gleb metalami ciężkim. Zesz. Nauk. SGSP, 32: 13-28.