

Paweł Jezierski*, Wojciech Jagodzik**

**OCENA ZAGROŻENIA ZANIECZYSZCZENIA GRUNTÓW
ORNYCH METALAMI CIĘŻKIMI W WYNIKU STOSOWANIA ŻUŻLA
POHUTNICZEGO DO UTWARDZANIA DRÓG POLNYCH**

**THE RISK EVALUATION OF AREBLE LAND OF HEAVY METALS
POLLUTION AS AN OUTCOME OF METALLURGICAL SLAG APPLIED
TO THE SOLID-SURFACED ROADS HARDENING**

Słowa kluczowe: zanieczyszczenie gleb metalami ciężkimi, żużel pohutniczy, obszary użytkowane rolniczo.

Key words: heavy metals soil pollution, metallurgical slag, agricultural area.

The paper presents results of research conducted in the district Głogów of the risk of agriculture land contamination to heavy metals in areas where the metallurgical slag is used for hardening mid-field roads. Głogowski district, particularly the areas placed in close proximity to the steel plants of the company KGHM Polish Copper, these are areas where large-scale metallurgical slag is used for hardening mid-field roads. The results obtained in the light of the Regulation on Soil Quality Standards and Lands are not the contamination of soils, but whereas IUNG guidelines on the assessment of soil pollution with heavy metals there is a substantial risk of such pollution.

1. WPROWADZENIE

W niniejszym artykule szczególną uwagę czytelników skierowano na odmienne wykorzystanie żużla pohutniczego w rejonie głogowskim. Wzrost produkcji metali kolorowych w ostatnich latach, a co za tym idzie wzrost ilości powstających odpadów w postaci żużli pohutniczych, zmusił zakłady hutnicze do szukania nowych, innych sposobów zagospodarowania tego materiału. Nie można również pominąć zmian legislacyjnych, które wręcz nakła-

* *Dr inż. Paweł Jezierski, mgr inż. Wojciech Jagodzik – Instytut Nauk o Glebie i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław; kontakt: e-mail: pawel.jezierski@up.wroc.pl*

dają obowiązek wykorzystywania odpadów. Dlatego też znaczenie alternatywnych źródeł kruszyw sztucznych, odpadowych lub pochodzących z recyklingu wzrosło i będzie zdecydowanie nadal wzrastać [Sobczyński 1999]. Właściwości fizykochemiczne i mechaniczne żużla sprawiają, że znajduje on zastosowanie jako surowiec do produkcji budowlanych kruszyw łamanych, szczególnie w budownictwie drogowym [Dobrzański i in. 1999]. Przeprowadzone liczne badania własności żużla, dotyczące ścieralności, podatności na rozkruszanie, odporności na działanie mrozu oraz nasiąkliwości, wskazują, że w zakresie charakterystyk fizyko mechanicznych żużel z procesu szybowego spełnia wymagania stawiane skałom litym II klasy. Skład chemiczny żużla szybowego pochodzącego z huty „Głogów” przedstawiono w tabeli 1 [Pietrzyński 1996].

Tabela 1. Skład chemiczny żużla szybowego

Table. 1. The chemical composition of slag shaft

Skład chemiczny	Zawartość poszczególnych składników [mg/kg·10 ³]	
	Huta miedzi „Legnica”	Huta miedzi „Głogów”
Cu	4,10	3,80
Ag	0,02	0,02
Fe	959,00	832,00
S	140,00	170,00
Pb	230,00	250,00
As	0,14	0,17
SiO ₂	439,90	480,30
CaO	146,50	151,80
MgO	75,70	92,10
Al ₂ O ₃	135,90	139,50
Zn	4,90	7,40

Źródło: KGHM.

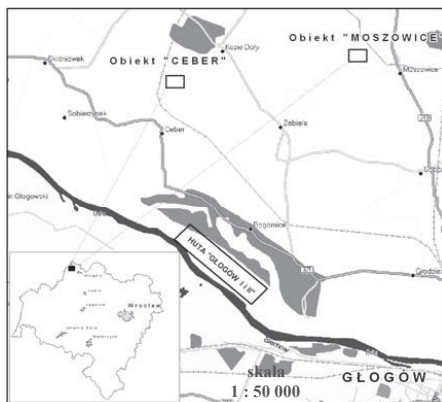
W rejonie głogowskim jednym z kierunków wykorzystania materiału żużlowego jest stosowanie go jako kruszywa utwardzającego warstwy powierzchniowe dróg polnych. W przeciwieństwie do dróg z nawierzchnią asfaltową, gdzie warstwa utwardzająca żużla jest izolowana obustronnie, żużel stosowany w nawierzchniach dróg polnych ma bezpośredni kontakt ze środowiskiem zewnętrznym. Oddziałują na niego czynniki klimatyczne w postaci opadów atmosferycznych, wiatru, mrozu i temperatury, jak również czynniki antropogeniczne, np. przemieszczające się ciężkie maszyny rolnicze. Każda z wymienionych form oddziaływania może powodować znaczne rozdrobnienie materiału żużlowego, co prowadzi do zagrożenia uwalniania się z żużlu metali ciężkich występujących w tym materiale.

Celem pracy było określenie całkowitych zawartości metali ciężkich, występujących zarówno w glebach użytkowanych rolniczo, jak i w żużlu wykorzystywanym do utwardzania

dróg polnych, a także określenie rozmiarów zagrożenia uwalnianiem się metali ciężkich zawartych w żużlu do gruntów ornych.

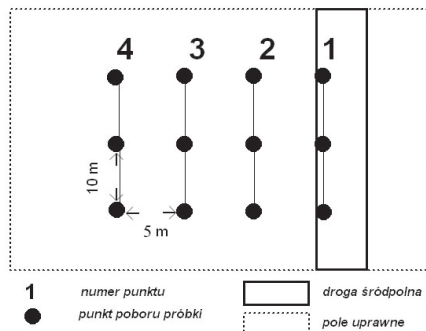
2. MATERIAŁY I METODY

W październiku 2008 r. pobrano próbki glebowe z dwóch obiektów badawczych, usytuowanego w miejscowości Moszowice obiektu badawczego „Moszowice” i w miejscowości Ceber – obiektu badawczego „Ceber” (rys.1). Na każdym obiekcie próbki glebowe pobrano z czterech punktów, z dwóch głębokości: 0 – 10cm i 20 – 30cm. Punkty poboru próbek rozmieszczono co 5 metrów, z czego jeden punkt na samej drodze, a kolejne w linii prostopadłej do drogi, na polach uprawnych. Zebrane próbki glebowe, w każdym punkcie z danej głębokości, stanowiły próbę średnią uzyskaną z wymieszania gleby pobranej z 3 miejsc oddalonych od siebie co 10 m (położonych w linii równoległej do drogi, rys. 2). Próbki na drodze pobrano z różnych głębokości, z uwzględnieniem morfologicznego zróżnicowania materiału żużlowego na obiekcie Moszowice (0 – 10cm i 20 – 30cm) i na obiekcie Ceber (0 – 10cm i 15 – 20cm).



Rys. 1. Lokalizacja obszarów poboru prób

Fig. 1. Location of sampling areas



Rys. 2. Schemat poboru prób na obiektach

Fig. 2. Scheme of sampling sites

Wszystkie próbki glebowe wysuszono, a następnie roztarto i przesiano na sitach. W częściach ziemistych oznaczono:

- 1) skład granulometryczny, metodą areometryczną Bouyoucosa w modyfikacji Casagrande'a i Prószyńskiego, z klasyfikacją uziarnienia wg PTG 2008;
- 2) odczyn (pH) gleb w 1 M KCl, metodą potencjometryczną;
- 3) procentową zawartość węgla organicznego, metodą Tiurina;
- 4) całkowitą zawartość Cu, Zn, Pb i As, metodą ICP - AES, po mineralizacji w wodzie królewskiej.

3. WYNIKI I DYSKUSJA

Gleby badane pod kątem uziarnienia nie wykazują przestrzennego zróżnicowania. W próbkach pobranych z punktów usytuowanych na drogach (punkty nr. 1,2 i 15, 16) oznaczony skład granulometryczny części ziemistych odpowiadał utworom piaszczystem (piasek gliniasty, piasek słabogliniasty), z wyjątkiem punktu 10, gdzie stwierdzono glinę piaszczystą (tab. 2). Wśród prób pobranych z punktów rozlokowanych na glebach ornych w poziomach powierzchniowych (0 – 10 cm) i podpowierzchniowych (20 – 30cm) dominują gliny lekkie (w 5 próbach) oraz gliny piaszczyste (w 5 próbach), tylko w punktach 15 i 16 gleby miały zwięźlejsze uziarnienie, w postaci gliny piaszczysto-ilastej.

Wartości pH oznaczone w 1M KCl dla wszystkich analizowanych próbek mieściły się w granicach od pH 6,1 do pH 7,4 co oznacza, że badane gleby charakteryzuje wąski zakres odczynu – od lekko kwaśnego do zasadowego (tab. 2). Tak wysokie wartości pH są efektem wapnowania gleb uprawnych położonych na obszarach bezpośrednio narażonych na imisję zanieczyszczeń pochodzących z zakładów hutniczych KGHM Polska Miedź S.A., Huty Miedzi Głogów „I” i „II”. Tym samym są to gleby w znacznie mniejszym stopniu zagrożone mobilizacją metali ciężkich, a co za tym idzie, zwiększeniem udziału tych metali w obiegu biogeochemicznym [Karczewska 2003].

Procentowa zawartość próchnicy glebowej w analizowanych próbach kształtowała się w zakresie od 2,07 do 12,28 (tab. 2), przy czym największe zawartości oznaczono w próbkach pobranych z dróg. Średnia zawartość próchnicy w próbach pobranych z pól uprawnych wynosiła 2,64 %.

Analizując skład chemiczny żużli pohutniczych powstających jako odpad w Hucie Miedzi Głogów (tab. 1) i wykorzystywanych do utwardzania dróg śródpolnych w rejonie głogowskim, zdecydowano się na oznaczenie w zebranych do badań materiale całkowitych zawartości czterech wybranych pierwiastków metalicznych: Cu, Zn, Pb i As.

Zawartość miedzi w próbkach pobranych z drogi mieściła się w zakresie od 51,89 mg·kg⁻¹ do 524,23 mg·kg⁻¹. Na obydwu obiektach zawartość miedzi w poziomie podpowierzchniowym była prawie o połowę mniejsza (tab. 2), a tylko na obiekcie „Moszowice” stwierdzono przekroczenie standardów dla grupy B [Rozporządzenie... 2002]. Gleby orne zawierały znacznie mniej miedzi, jej zawartości występowały w przedziale od 23,58 do 54,56 mg·kg⁻¹, bez wyraźnego zróżnicowania ilości miedzi w poziomach 0 – 10 cm i 20 – 30 cm. Średnia zawartość miedzi we wszystkich próbach pobranych z użytków rolnych wynosiła 41,36 mg·kg⁻¹ i pomimo że gleby te odpowiadają standardom dla grupy B [Rozporządzenie... 2002], wartość ta przekracza 20 mg·kg⁻¹ – wartość uznawaną za tło geochemiczne gleb gliniastych [Kabata-Pendias, Pendias 1999].

Zawartość cynku oznaczona w materiale zebranych z drogi zawierała się w przedziale od 43,12 mg·kg⁻¹ do 512,66 mg·kg⁻¹. W poziomach 0–10 cm ponad sześciokrotnie większe ilości Zn odnotowano w materiale analizowanym na obiekcie „Moszowice” niż na obiekcie

Tabela 2. Wybrane właściwości fizyczne i chemiczne badanych gleb

Table 2. Selected physical and chemical properties of soils tested

Nr pkt.	Głębokość pobrania [cm]	Próchnica [%]	pH w 1mol KCl	Procentowa zawartość frakcji o średnicy w [mm]				Całkowita zawartość pierwiastka w mg/100g gleby			
				>2,0	0,05–2,0	0,05–0,002	<0,002	Cu	Zn	Pb	As
1	0 – 10	12,28	7,5	73	79	21	0	524,23	482,59	394,52	9,63
2	20 – 30	2,17	7,8	29	88	10	2	265,56	512,66	490,15	2,26
3	0 – 10	2,17	7,3	1	52	29	19	47,02	54,30	29,48	0,45
4	20 – 30	2,56	7,3	0	53	29	18	46,15	52,21	30,47	0,85
5	0 – 10	2,43	7,2	0	52	29	19	37,89	45,28	22,75	0,76
6	20 – 30	2,02	7,2	0	72	20	8	38,74	42,59	19,58	0,12
7	0 – 10	2,84	7,2	2	69	22	9	39,16	46,69	26,59	0,36
8	20 – 30	2,07	7,2	0	66	25	9	38,36	46,45	26,30	0,57
9	0 – 10	8,61	7,5	38	81	16	3	111,35	79,85	314,25	116,96
10	15 – 20	3,00	7,3	16	68	15	17	51,89	43,12	34,01	5,35
11	0 – 10	2,92	7,3	7	76	16	8	49,26	51,02	32,09	0,24
12	20 – 30	2,09	7,0	3	75	15	10	23,58	46,65	20,45	0,12
13	0 – 10	3,52	7,0	4	60	21	19	43,05	52,13	32,16	0,06
14	20 – 30	2,72	7,0	0	61	20	19	36,44	51,02	27,89	0,81
15	0 – 10	3,67	6,1	0	58	20	22	54,56	60,67	36,56	0,57
16	20 – 30	2,72	6,1	0	53	24	23	42,12	48,54	31,30	3,72

Źródło: badania własne.

„Ceber”, gdzie w poziomie 5 – 15 cm zawartość tego składnika nieznacznie odbiegała od średniej zawartości określonej w glebach ornym i wynoszącej 49,80 mg·kg⁻¹ (tab. 2). Podobnie jak w przypadku miedzi, tylko dla obiektu „Moszowice” stwierdzono przekroczenie standardów dla grupy B [Rozporządzenie... 2002]. Nie zauważono istotnego zróżnicowania w ilości cynku występującego w analizowanych poziomach powierzchniowych i podpowierzchniowych gleb uprawnych. Mieścił się on w przedziale od 42,59 mg·kg⁻¹ do 60,67 mg·kg⁻¹ (tab. 2). Jego średnia zawartość jest większa od wartości 40 mg·kg⁻¹, określonej przez Terelaka [Terelak i in. 1995] jako tło geochemiczne dla gruntów ornym, ale odpowiada ona standardom dla grupy B [Rozporządzenie... 2002].

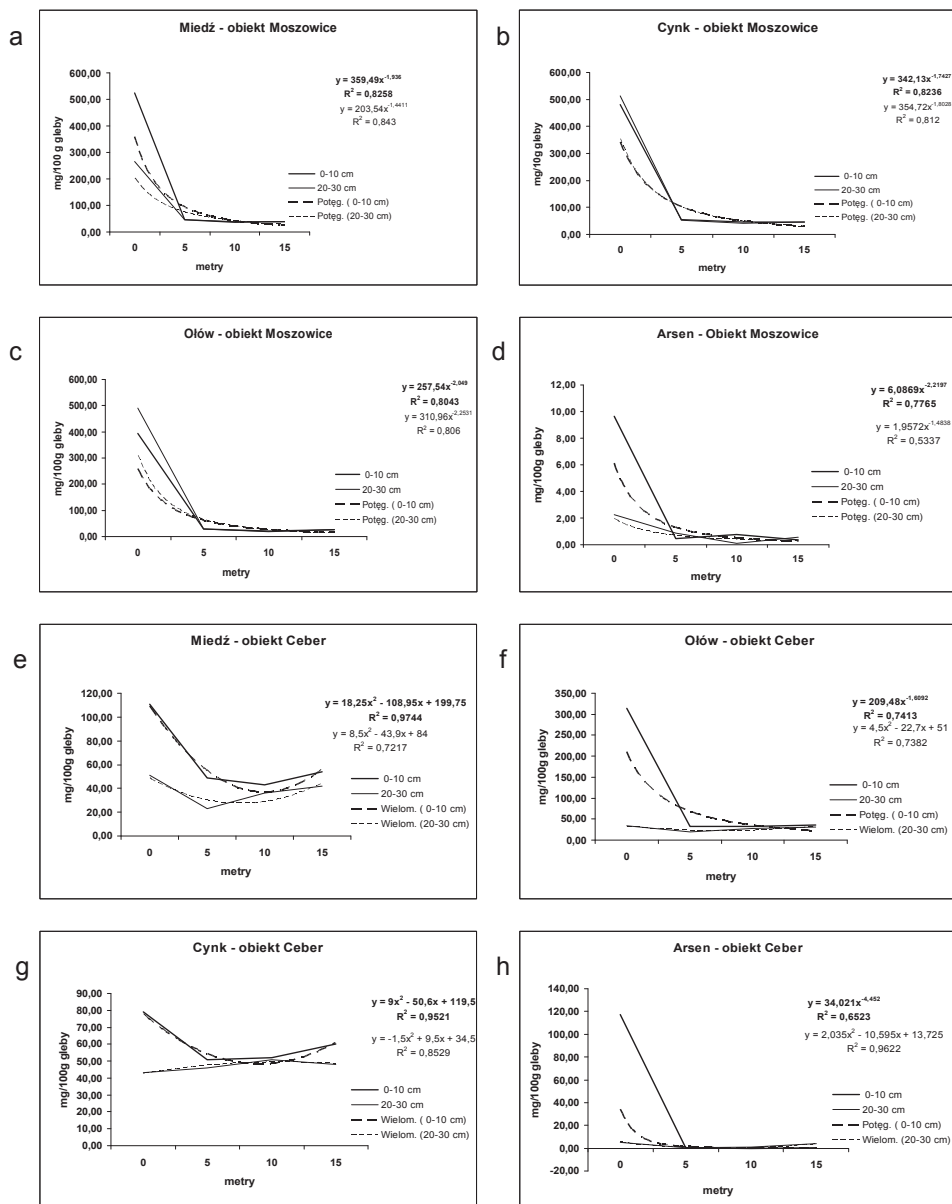
Całkowita zawartość ołowiu określona w częściach ziemistych żużli występujących na drogach śródpolnych zawierała się w zakresie od 34,01 mg·kg⁻¹ do 490,15 mg·kg⁻¹. Z wyjątkiem próby pobranej z poziomu 20–30 cm na obiekcie „Ceber”, gdzie odnotowano najmniejszą zawartość tego pierwiastka, pozostałe próby nie spełniają standardów dla grupy B [Rozporządzenie... 2002]. W glebach użytków rolnym oznaczone ilości Pb kształtowały się w przedziale od 19,58 mg·kg⁻¹ do 36,56 mg·kg⁻¹. Średnia zawartość wynosiła 27,97 mg·kg⁻¹ i niemalże dwukrotnie przewyższa wartość przyjętą przez Terelaka – 14,0 mg·kg⁻¹ [Terelak

i in. 1995], uznaną za naturalne tło geochemiczne dla gleb ornymi o uziarnieniu glin, nie przekraczając przy tym standardów dla grupy B [Rozporządzenie... 2002].

Ostatnim analizowanym metalem był arsen, którego zawartości w próbach pobranych z drogi mieściły się w przedziale od $2,26 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ do $116,96 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. W odniesieniu do zawartości arsenu stwierdzono najmniejszą liczbę przekroczeń standardów dla grupy B. Spośród wszystkich prób tylko w poziomie powierzchniowym obiektu „Ceber” doszło do takiego przekroczenia. Bardzo małe zawartości arsenu oznaczono również w glebach ornymi, od $0,06 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ do $3,72 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (tab. 2). Średnia zawartość tego pierwiastka wynosi $0,72 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ i w porównaniu do tła geochemicznego, przyjętego na poziomie $2 - 13 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ [Kabata-Pendias, Pendias 1999], kształtuje się zdecydowanie niżej, zachowując tym samym standardy dla grupy B [Rozporządzenie... 2002].

Przedstawione wyniki nie dają jednoznacznej odpowiedzi na pytanie, czy stosowanie żużli pohutniczych do utwardza dróg śródpolnych może stanowić zagrożenie zanieczyszczenia metalami ciężkim sąsiadujących z nimi gruntów ornymi. Zaobserwowana w glebach uprawnych zwiększona zawartość tych pierwiastków (z wyjątkiem As), w stosunku do tła geochemicznego, może być zarówno efektem wzbogacania z dróg, jak i efektem emisji z atmosfery pyłów pochodzących z zakładów hutniczych przemysłu miedziowego. Z jednej strony badane gleby cechuje uziarnienie glin piaszczystych, piaszczysto-ilastych i średnio zawierają 1,99% próchnicy, co niewątpliwie sprzyja akumulacji w nich metali ciężkich. Z drugiej strony, jak pokazują badania nad właściwościami żużli pohutniczych, mają one małą podatność na rozkruszanie i ścieranie, wykazując jednocześnie odporność na rozpad chemiczny. Podczas ługowania wodą wnoszą niewielkie ilości zanieczyszczeń do wód ługujących, w tym również metali ciężkich [Pietrzyński 1996, Sobczyński 1999, Zdych 2002]. Należałoby tym samym wnioskować, że wykorzystanie odpadów hutniczych w postaci żużli w drogownictwie jest całkowicie bezpieczne dla środowiska. Tak się dzieje, jeżeli chodzi o drogi z nawierzchnią asfaltową, gdzie warstwa utwardzająca żużla jest izolowana obustronnie. Problem może się pojawić, jeżeli żużel stosowany w nawierzchniach dróg polnych ma bezpośredni kontakt ze środowiskiem zewnętrznym. Podlega oddziaływaniom kół ciężkich maszyn rolniczych, które go rozkruszają, a rozdrobnione na bieżniku fragmenty są wnoszone na pole uprawne. Rozdrobniony żużel znacznie łatwiej ulega wietrzeniu i ługowaniu przez wodę.

W celu zobrazowania związku pomiędzy zawartością badanych metali ciężkich w częściach ziemistych żużli pokrywających powierzchnię dróg śródpolnych a możliwością wzbogacania tymi pierwiastkami gleb uprawnych sytuowanych w bezpośrednim sąsiedztwie drogi sporządzono wykresy zależności, przedstawione na rysunku 3. Na wykresach tych na osi rzędnych przedstawiono zawartości metali ciężkich, na osi odciętych natomiast lokalizację – odległość punktów poboru prób względem drogi, gdzie wartość „0” oznacza punkt bezpośrednio na drodze. Następnie dopasowano linię trendu tak, aby w jak najlepszym stopniu odzwierciedlić badaną zależność. Wspomnianą zależność w odniesieniu do miedzi, oło-



Rys. 3. Zależności zawartości wybranych metali ciężkich w badanych glebach od odległości poszczególnych punktów na obiektach od drogi śródpolnej – wykresy a-d dotyczą obiektu „Moszowice”, wykresy e-h – obiektu „Ceber”

Fig. 3. Depending on the contents of selected heavy metals in the tested soils from a distance of individual points on objects from the road mid-field. Graphs a-d for the object “Moszowice”, graphs e-h for the object “Ceber”

wiu, cynku i arsenu na obiekcie „Moszowice” oraz ołowiu i arsenu w poziomie 0 – 10 cm na obiekcie „Ceber” najlepiej obrazuje potężowy typ regresji, przy czym również w tym wypadku współczynnik determinacji R^2 , wynoszący od 0,533 do 0,843, wskazuje na bardzo silny związek między zawartością metali ciężkich w materiale pochodzącym z dróg a zawartością tych pierwiastków w glebach użytków rolnych (rys. 3). Im bliżej drogi znajdują się gleby uprawne, tym zawartość w nich pierwiastków metalicznych jest większa. Ze względu na zmienność tendencji na obiekcie „Ceber”, z wyjątkiem wcześniej wymienionego ołowiu i arsenu w poziomach powierzchniowych, zależność pozostałych pierwiastków zobrazowano najdokładniej za pomocą wielomianowego typu regresji.

Zmienność tendencji należy tłumaczyć niewielkim zróżnicowaniem właściwości gleb. Gleby położone w punktach najdalej osuniętych od drogi cechuje nieco większa zawartość próchnicy i zwiększony skład granulometryczny.

Współczynnik determinacji R^2 dotyczący Cu, Pb, Zn był na tym obiekcie wysoki i kształtował się w zakresie od 0,721 do 0,974, potwierdzając tym samym istotność zależności między zawartością metali ciężkich w próbach pobranych z dróg a zawartością tych pierwiastków w glebach ornych (rys. 3).

4. WNIOSKI

1. Materiał żuźlowy pobrany z dróg śródpolnych w częściach ziemistych wykazywał uziarnienie piasków gliniastych i słabogliniastych (w poziomach 0 – 10). Odnaczała go bardzo duża zawartość próchnicy, sięgająca ponad 12% oraz odczyn zasadowy.
2. Gleby uprawne cechował skład granulometryczny odpowiadający utworom gliniastym. Zawierały dużo próchnicy – średnia jej zawartość wynosiła 2,64%. Odczyn tych gleb wahał się od lekko kwaśnego do zasadowego.
3. Całkowite zawartości Cu, Zn, Pb na obiekcie „Moszowice” i Pb, As na obiekcie „Ceber” (0 – 10cm), oznaczone w próbach pobranych z dróg śródpolnych, nie spełniają standardów dla grupy B. Zgodnie z rozporządzeniem w sprawie standardów jakości gleb i ziem [Rozporządzenie... 2002] drogi te powinny podlegać rekultywacji. Ponieważ jednak badany żużel wykazywał odczyn zasadowy i stanowi materiał trudno podlegający wietrzeniu, w bliskiej perspektywie nie powinien stanowić zagrożenia dużą mobilizacją pierwiastków metalicznych w nim zawartych.
4. Oznaczone zawartości metali ciężkich w glebach użytków rolnych spełniają standardy dla grupy B, ale ich średnie zawartości przekraczają naturalne tło geochemiczne. Świadczy to o wzbogacaniu tych gleb w pierwiastki metaliczne pochodzące ze źródeł antropogenicznych.
5. Stwierdzono istotną zależność między zawartością metali ciężkich w śródpolnych drogach utwardzanych żużlem pohutniczym a ich zawartością w glebach uprawnych występujących w bezpośrednim sąsiedztwie tych dróg.

PIŚMIENNICTWO I AKTY PRAWNE

- DOBRZAŃSKI J., GARBACZEWSKI J., GROTOWSKI A., MIZERA A., PIĄTKOWSKI J. 1999. Gospodarka odpadami w KGHM Polska Miedź S.A. Bilans odpadów, technologie wykorzystania, efekty ekonomiczne i ekologiczne – stan i perspektywy. Mat. z V Konferencji: „Problemy zagospodarowania odpadów mineralnych.” Wisła – maj 1999. Agencja Gospodarki Odpadami. AGOS S.A. Katowice: 92-119.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa.
- KARCZEWSKA A. 2003. Perspektywy zastosowania fitoremedjacji w rekultywacji gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych nr 25/26:27–54.
- PIESTRZYŃSKI A. (red.) i in. 1996. Monografia KGHM S.A. Wyd. CBPM Cuprum, Wrocław-Lubin.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi** (Dz. U. Nr 165, poz. 1359).
- SOBCZYŃSKI P. 1999. Żużle hutnicze – ich natura oraz przydatność gospodarcza. W: Materiały na konferencję naukowo-techniczną „Odpady przemysłowe i komunalne. Powstawanie oraz możliwości ich wykorzystania”. 15 – 16 kwiecień 1999 r. Kraków.
- TERELAK H., MOTOWICKA - TETELAK T., STUCZYŃSKI T., BUDZYŃSKA K. 1995. Zawartość metali ciężkich i siarki w glebach użytków rolnych Polski oraz ich zanieczyszczenie tymi składnikami. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. 418: 45 – 59.
- ZDYCH S. i in. (red.). 2002. Katalog: Odpady w przemyśle metali nieżelaznych. Instytut metali nieżelaznych w Gliwicach. Centrum badawczo-projektowe miedzi CUPRUM, Wrocław.