

Antropogeniczne wzbogacenie w metale ciężkie gleb obszarów zalewowych na terenie miasta Opola

*Izabella Pisarek
Uniwersytet Opolski*

1. Wstęp

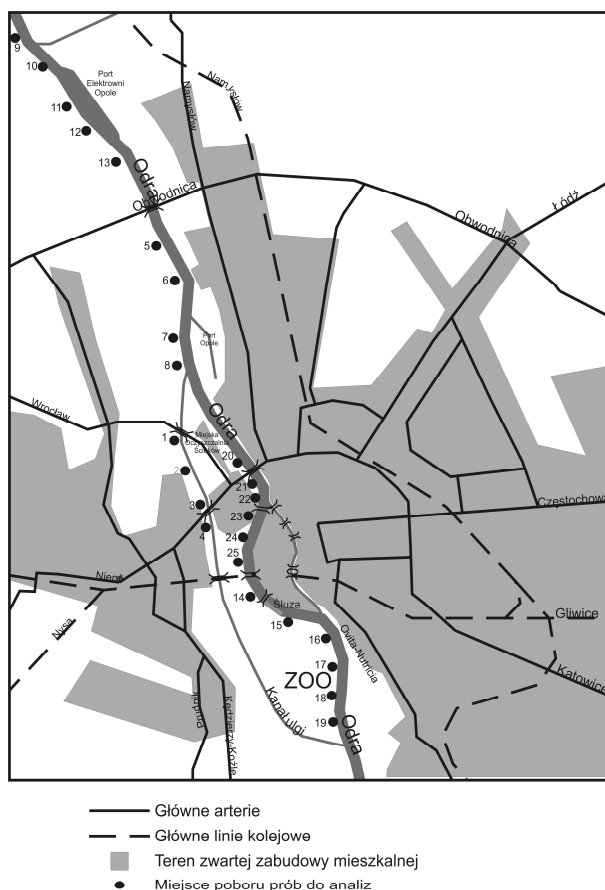
Według niektórych autorów [Ilnicki i in. 2001, Skorbiłowicz 2006] pogorszenie jakości powierzchniowych wód płynących jest powodowane przede wszystkim przez zanieczyszczenia punktowe i powierzchniowe, w tym pochodzące z terenów rolnych i leśnych. Jednocześnie za główną przyczynę zanieczyszczenia metalami ciężkimi osadów aluwialnych miast są uważane emisje pochodzące ze środków transportu, komunikacji, zakładów przemysłowych oraz odprowadzane do rzek niedostatecznie oczyszczone ścieki komunalno - przemysłowe (zanieczyszczenia punktowe) [Lewandowski i in. 1998, Kabata-Pendias, Pendias 1999]. W dolinach rzecznych – terenach zalewowych, równocześnie z procesem aluwialnym zachodzi proces darniowy sprzyjający akumulacji masy organicznej. Ilość i skład jakościowy organicznych koloidów glebowych odgrywa istotną rolę w procesach przemieszczania, immobilizacji i transformacji metali ciężkich. Wytworzone z osadów aluwialnych zadarnione gleby, położone między wałami przeciwpowodziowymi na terenie miasta Opola narażone są nie tylko na zanieczyszczenia punktowe (komunikacyjne i przemysłowe), ale także na skażenia powodowane corocznymi wylewami powodziowymi, które są nośnikiem osadów o wysokiej koncentracji metali ciężkich, których źródłem są także zanieczyszczenia powierzchniowe.

Celem pracy było określenie stopnia wzbogacenia w metale ciężkie gleb terenów zalewowych rzeki Odry występujących na terenie miasta Opola.

2. Obiekty i metodyka badań

Obiektami badań było 25 profilów gleb aluwialnych zlokalizowanych wzdłuż lewego brzegu Odry i kanału Ulgi w granicach administracyjnych miasta Opola (rys. 1). Próbkę glebową pobrano z reprezentatywnych miejsc analizowanego terenu, z uwzględnieniem stopnia narażenia gleb na działanie presji czynnika antropogenicznego:

- gleby o potencjalnie niskim poziomie skażenia antropogenicznego (teren Wyspy Bolko, obszary zalewowe dzielnicy Zakrzów): gleby oznaczone nr 5, 6, 7, 8, 14, 15, 16, 17, 18, 19;
- tereny wokół uczęszczanych dróg i mostów (potencjalnie wysokie zagrożenie skażeniem antropogenicznym): gleby oznaczone nr 1, 2, 3, 4, 9, 10, 11, 12, 13, 20, 21, 22, 23, 24, 25.



Rys. 1. Lokalizacja terenu badań

Fig. 1. Location of investigated area

Z terenów objętych badaniami pobrano średnie próbki glebowe (z powierzchni 2 m²) z warstwy 0÷20 cm. W próbkach glebowych oznaczono ich podstawowe właściwości fizyko-chemiczne i zawartość ogólną pierwiastków śladowych. Skład granulometryczny oznaczono metodą areometryczną Casagrandea w modyfikacji Prószyńskiego, pH – potencjometrycznie w zawiesinie roztworu 1 mol·dm⁻³ KCl, zawartość węgla utlenialnego metodą Tiurina. Kwasowość hydrolityczną (Hh) i kationy wymienne (S) – Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ – oznaczono metodą Kappena. Dysponując wartościami Hh i S wyliczono pojemność sorpcyjną (T) i stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami (V). Ogólną zawartość metali ciężkich w glebach (Zn, Cu, Pb, Cd) oznaczono metodą AAS po ekstrakcji mieszaniną stężonych kwasów solnego i azotowego.

W celu statystycznej oceny wyników badań obliczono współczynniki korelacji i zmienności. Jednocześnie koncentrację metali ciężkich w badanych glebach porównano z wartościami określającymi tło geochemiczne gleb wg Czarnowskiej [1996].

3. Wyniki i dyskusja

Badane gleby terenów zalewowych wykazywały istotne zróżnicowanie ich składu granulometrycznego (piaski, pyły, gliny) w zależności od miejsca sedymentacji (tabela 1). Analiza składu mechanicznego wskazywała na zmienną zawartość frakcji pyłu (10÷54%), części spławianych (8÷38%) i frakcji ilu (1÷32%). Wyrażało się wartościami współczynników zmienności: 36,7% dla frakcji o ϕ 0,05÷0,002 mm, 40,7% dla cząstek < 0,02 mm i 74% dla cząstek < 0,002 mm. Badane gleby zaliczono do mad lekkich (profile 9, 10, 11, 14, 16, 20, 21, 24), średnio-zwężłych (profile 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 15, 17, 18, 19, 23, 25) i ciężkich (profil 1, 2, 13, 22). Charakter skał macierzystych badanych gleb, związany z gospodarką erozyjno-sedymentacyjną rzeki Odry oraz postępujący proces darniowy wpłynęły na całokształt właściwości fizykochemicznych analizowanych gleb. Ich odczyn, wahał się od 6,3 do 7,3 i nie wykazywał większego zróżnicowania (współczynnik zmienności = 4,9%). Stopień wysycenie kompleksu sorpcyjnego zasadami (V) wynosił ponad 90 %. Zawartość materii organicznej w badanych glebach była wysoka i zróżnicowana w poszczególnych punktach badawczych (10,5÷78,2 g·kg⁻¹). Wysoka zawartość węgla organicznego (średnio 43,4 g·kg⁻¹) w próbkach z wszystkich analizowanych warstw glebowych związana jest z częstymi wylewami rzeki Odry (przykrywającymi warstwę „dawnej” darni) i nanoszeniem namulów zawierających duże ilości shumifikowanej materii organicznej. Procesy te przyczyniają się do nierównomiernego rozmieszczenia materii organicznej w profilu, wyższej jego kumulacji w warstwie środkowej oraz do transportu i przemieszczania związków humusowych i metali ciężkich w profilach badanych gleb, jak wykazano we wcześniejszej pracy [Pisarek, Żarczyńska 2002].

Tabela 1. Niektóre właściwości badanych gleb

Table 1. Some properties of investigated soils

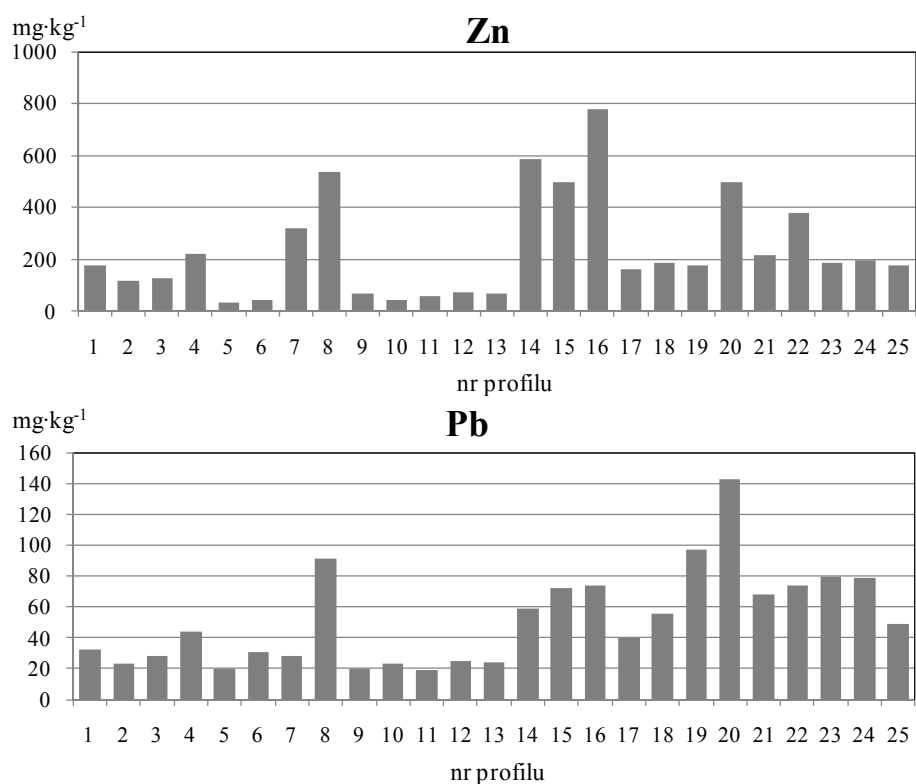
Nr prof. No of profile	Lokalizacja Location	% zawartość frakcji (o ϕ w mm) <i>Granulometric composition</i>			pH _{KCl}	C _{og.} C _{total} g·kg ⁻¹	T Cmol(+)/kg	V %
		0,05÷0,002	<0,02	<0,002				
1.	Dzielnica Zaodrze	50	35	28	7,2	63,4	15,8	97,5
2.	Dzielnica Zaodrze	48	36	24	7,1	58,9	17,0	96,8
3.	Dzielnica Zaodrze	49	33	30	6,7	60,2	16,4	95,9
4.	Dzielnica Zaodrze	52	34	32	6,4	64,2	20,7	96,1
5.	Dzielnica Zakrzów	36	26	9	7,0	10,5	16,3	95,8
6.	Dzielnica Zakrzów	35	30	11	6,9	12,6	14,5	94,3
7.	Dzielnica Zakrzów	33	20	18	7,1	35,1	18,1	93,5
8.	Dzielnica Zakrzów	30	14	12	7,3	17,2	16,7	96,8
9.	Dzielnica Wróblin	13	8	1	6,9	18,3	11,3	94,3
10.	Dzielnica Wróblin	18	12	2	6,9	13,4	10,9	95,8
11.	Dzielnica Wróblin	22	12	2	7,2	20,5	14,5	96,0
12.	Dzielnica Wróblin	31	27	18	7,0	27,6	16,4	94,1
13.	Dzielnica Wróblin	54	37	14	7,1	28,1	16,3	95,2
14.	Wyspa Bolko	38	15	5	7,1	20,2	19,8	95,1
15.	Wyspa Bolko	49	36	8	7,0	60,8	20,2	94,2
16.	Wyspa Bolko	24	17	6	7,3	50,2	22,3	97,6
17.	Wyspa Bolko	42	20	7	6,4	72,8	27,1	96,2
18.	Wyspa Bolko	34	25	8	6,3	51,2	26,8	93,5
19.	Wyspa Bolko	48	20	6	6,3	56,4	14,8	96,2
20.	Centrum Opola	20	13	9	6,7	19,6	19,8	95,1
21.	Centrum Opola	22	17	8	6,8	75,4	13,6	94,6
22.	Centrum Opola	40	38	10	6,8	62,1	22,2	96,4
23.	Centrum Opola	33	28	6	6,4	54,8	30,2	98,4
24.	Centrum Opola	10	9	8	6,4	78,2	20,6	92,0
25.	Centrum Opola	30	26	10	6,3	52,3	18,6	96,2

T - pojemność sorpcyjna - *sorption capacity*;

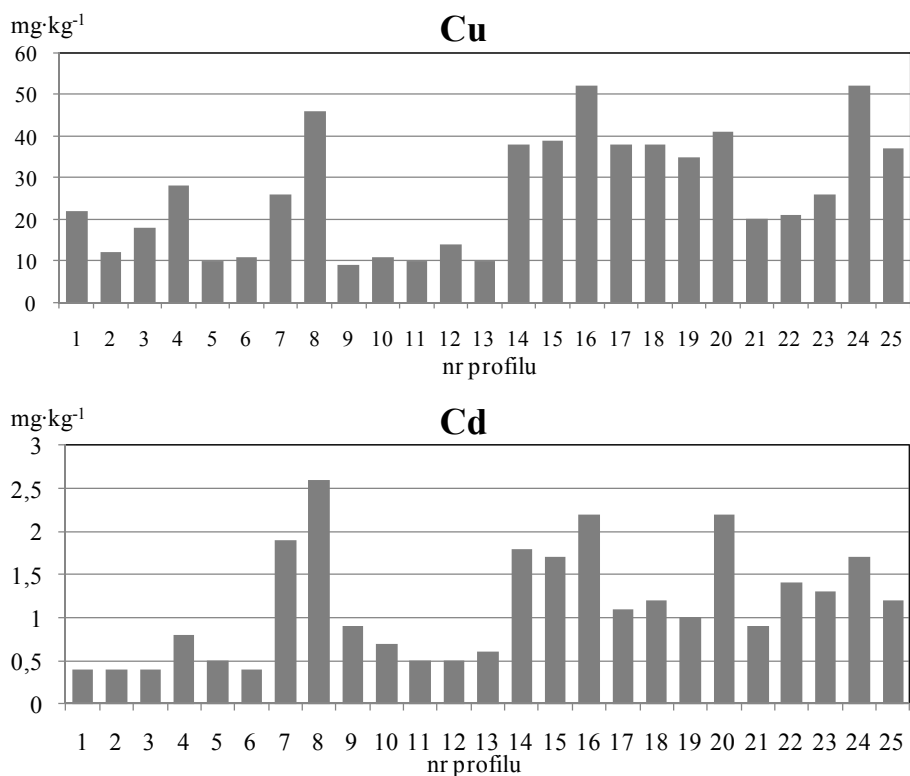
V - wysycenie kompleksu sorpcyjnego zasadami - *degree of saturation*

Zawartość i rozmieszczenie metali ciężkich w profilach glebowych uwarunkowane są ilością materii organicznej, właściwościami fizykochemicznymi gleb oraz przebiegiem procesów glebotwórczych. Naturalna zawartość pierwiastków śladowych w glebie zależy przede wszystkim od rodzaju skały macierzystej, będącej ich pierwotnym źródłem [Czarnowska, Bontruk 1995, Gambuś, Grabowski 1996, Kabata-Pendias, Pendias 1999].

W badanych glebach aluwialnych stwierdzono duże zróżnicowanie zawartości metali ciężkich w warstwach powierzchniowych analizowanych gleb (rys. 2). Jest to zapewne wynikiem rozsegregowania osadów transportowanych przez rzekę, oraz depozycji poszczególnych frakcji i zanieczyszczeń w różnych miejscach [Gambuś, Grabowski 1996]. Podobnie jak we wcześniejszych pracach [Pisarek, Żarczyńska 2002], w pracy Drozda i innych [2001], analiza korelacji pomiędzy zawartością C-ogółem i składem granulometrycznym a ilością metali ciężkich nie wykazała istotnych zależności.



Rys. 2. Zawartość metali ciężkich w glebach doliny Odry
Fig. 2. Content of heavy metals in soils of Odra river valley



Rys. 2. cd
Fig. 2. cont.

Zawartość cynku w analizowanych glebach mieściła się w zakresie od 35 do 780 mg·kg⁻¹ i wykazywała najwyższą koncentrację w profilu 16 gdzie osiągnęła wartość wskazującą na 26-krotne wzbogacenie w stosunku do tła geochemicznego (tabela 4). Wskazywało to na wartość zanieczyszczenia mieszczącą się według Kabaty - Pendias i in. [1993] w stopniu średnim (III) podobnie jak w glebach oznaczonych nr 8, 14, 16 (tabela 2). Według tej samej oceny profile 4, 7, 20, 21, 22 wykazywały stopień zanieczyszczenia II (słabe zanieczyszczenie). Natomiast według skali Gorlacha [Gambuś, Grabowski 1996, Gambuś 1997] gleby te były skażone w stopniu niebezpiecznym dla środowiska.

Tabela 2. Klasy zanieczyszczenia gleb według Kabaty-Pendias i in.[1993]

Table 2. Soil contamination classes by Kabata-Pendias et al.[1993]

Metal	Numer profilu/ No of profile																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Zn	I	I	I	II	0	0	II	III	0	0	0	I	0	III	II	III	I	I	I	II	II	II	I	I	I
Pb	0	0	0	0	0	0	0	I	0	0	0	0	0	I	I	I	0	I	I	II	I	I	I	I	0
Cu	0	0	0	I	0	0	I	I	0	0	0	0	0	I	I	II	I	I	I	I	0	0	I	II	I
Cd	0	0	0	I	0	0	II	II	I	I	0	0	I	II	II	II	I	II	I	II	I	I	I	II	I

Tabela 3. Zakresy ogólnej zawartości metali ciężkich w badanych glebach

Table 3. Ranges of total heavy metal contents in investigated soils

Zawartość <i>Content</i>	Zn	Cu	Pb	Cd
Średnia <i>Mean</i>	236,76	26,16	51,96	1,132
Minimum	35	9	19	0,4
Maximum	780	52	143	2,6
Współczynnik zmienności <i>Coefficient of variation [%]</i>	84,0	53,1	60,3	57,8

Tabela 4. Stopień wzbogacenia w metale ciężkie badanych gleb w stosunku do tła geochemicznego wg Czarnowskiej [1996]

Table 4. Degree of enrichment with heavy metals of investigated soils in comparison with geochemical level by Czarnowska [1996]

Nr profilu <i>No of profile</i>	Metal			
	Zn	Pb	Cu	Cd
1.	5,8	3,3	3,1	2,2
2.	3,8	2,3	1,7	2,2
3.	4,2	2,9	2,5	2,2
4.	7,5	4,5	3,9	4,4
5.	1,2	2,0	1,4	2,8
6.	1,5	3,2	1,5	2,2
7.	10,7	2,9	3,7	10,6
8.	17,7	9,3	6,5	12,0
9.	2,3	2,0	1,3	5,0
10.	1,5	2,3	1,5	3,9
11.	2,0	1,9	1,4	2,8
12.	2,4	2,6	2,0	2,8
13.	2,3	2,4	1,4	3,3
14.	19,6	6,0	5,4	10,0
15.	16,5	7,3	5,5	5,6
16.	26,0	7,6	7,3	12,2
17.	5,3	4,1	3,9	6,1
18.	6,2	5,7	5,4	6,7
19.	5,8	9,9	4,9	5,6
20.	1,7	14,6	5,8	12,2
21.	7,2	6,9	2,8	5,0
22.	12,7	7,6	2,9	7,8
23.	6,17	8,2	3,7	7,2
24.	6,5	8,1	7,3	9,4
25.	6,0	5,0	5,2	6,7

Zawartość Pb w analizowanych glebach mieściła się w zakresie zawartości naturalnej (0 stopień), podwyższonej (I stopień) i wskazującej na słabe zanieczyszczenie tym pierwiastkiem (stopień II) – tabela 2. Najwyższą koncentrację ołowiu odnotowano w profilu nr 20 (14,6-krotne wzbogacenie w stosunku do tła geochemicznego). Gleba ta reprezentowała miejsce sedymtacji mieszczące się w centrum miasta. Według skali Gorlacha [Gambuś, Grabowski 1996] wartość ta ($142 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) wskazuje na skażenie niebezpieczne. Zawartość Cu i Cd w analizowanych glebach nie przekroczyła ilości określanych jako niebezpieczne. Spośród nich profil 8 i 16 (rys. 2) charakteryzowały się najwyższą kumulacją Cu i Cd. Wartości te wyniosły odpowiednio dla miedzi wartości 46 i $52 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ wskazując na 6,5-krotne oraz 7,3-krotne wzbogacenie w stosunku do tła geochemicznego tego pierwiastka. W stosunku do kadmu stopień wzbogacenia osiągnął w tych profilach wartości 12 i 12,2 i odpowiadał zawartości Cd na poziomie 2,6 i $2,2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Oceniając stopień zanieczyszczenia badanych gleb ołowiem, cynkiem, miedzią, kadmem zgodnie z kryteriami zaproponowanymi przez Kabatę-Pendias i innych [1993] można stwierdzić, iż analizowane profile glebowe charakteryzują się odmienną kumulacją metali ciężkich, wskazującą na cztery kategorie ich zawartości (tabela 2): naturalną zawartość (stopień 0), podwyższoną zawartość (stopień I), słabe zanieczyszczenie (stopień II), średnie zanieczyszczenie (stopień III). Stopień ich zróżnicowania, wyrażony współczynnikiem zmienności wynosi dla Zn: 83,9%, dla Pb: 60,3%, dla Cu: 53,0% i dla Cd 57,8% (tabela 3).

Analiza stanu zanieczyszczenia metalami ciężkimi gleb terenów zalewowych na terenie miasta Opola wskazuje, iż najbardziej zanieczyszczonymi są profile gleb oznaczone jako 8, 16 i 20. Profil 20 położony jest w sąsiedztwie najbardziej uczęszczanej w mieście trasy komunikacyjnej, zatem koncentracja metali ciężkich, a szczególnie ołowiu zależy tu od wpływu emisji z transportu i komunikacji [Pisarek, Żarczyńska 2002]. Profil nr 16 jest zlokalizowany na terenie Wyspy Bolko - parkowy obszar o znacznym ograniczeniu ruchu kołowego, podobnie jak profil nr 8 zlokalizowany w dzielnicy Zakrzów (miejscu oddalonym od tras komunikacyjnych). Źródłem tych zanieczyszczeń mogą być zlokalizowane w pobliżu miejsc poboru wyloty kanalizacji deszczowej.

Podwyższoną koncentrację Cu i Cd odnotowano także w innych profilach o potencjalnie niskim poziomie skażenia antropogenicznego (14, 15, 17, 18, 19). Jednakże brak widocznych elementów mogących świadczyć o zanieczyszczeniach punktowych wskazuje na zasobność w te pierwiastki namulów rzeki Odry i ich odkładanie w efekcie sedymtacji. Można zatem stwierdzić, iż

zanieczyszczenia badanych gleb zalewowych na terenie miasta Opola odzwierciedlają przebieg zjawisk powodziowych oraz wpływ zanieczyszczeń punktowych i powierzchniowych z obszaru miasta.

Porównując średnie zawartości metali ciężkich można ich wzbogacenie w metale ciężkie przedstawić według malejącego szeregu: $Zn > Pb > Cu > Cd$.

Przeprowadzona analiza korelacji (tabela 5) pomiędzy zawartością poszczególnych metali ciężkich wskazuje na wysokie istotne zależności pomiędzy nimi, co może wskazywać na to samo źródło ich pochodzenia. Na podobne zależności pomiędzy pierwiastkami z grupy metali ciężkich w glebach terenów miejskich wskazują także badania Czarnowskiej [1999] oraz Kozaneckiej i innych [2000] wykazując jednocześnie ich antropogeniczne pochodzenie.

Tabela 5. Współczynniki korelacji liniowej (r) między zawartością analizowanych metali ciężkich

Table 5. Correlation coefficient (r) between content of analyzed heavy metals.

Pierwiastek - Element	r
Cu – Cd	0,8241
Pb – Cd	0,7249
Zn – Cd	0,8543
Cu – Pb	0,7389
Cu – Zn	0,7550
Pb – Zn	0,6359

r istotny przy $P = 0,01$ – significant at $P = 0.01$

$n = 25$

4. Wnioski

1. Zadarnione gleby aluwialne na terenie miasta Opola wykazują zróżnicowany skład granulometryczny i jednocześnie charakteryzują się dużą zmiennością zawartości frakcji części spławialnych oraz węgla organicznego w zależności od miejsca sedymentacji.
2. Zawartość metali ciężkich wykazuje zróżnicowanie w glebach badanych profilów, a średni wskaźnik ich nagromadzenia geochemicznego według Czarnowskiej [1996] wynosi: Zn (7,3), Cu (3,7), Pb (5,3), Cd (6,1).
3. Ocena stopnia zanieczyszczenia metalami ciężkimi badanych gleb zalewowych miasta Opola wskazuje zarówno na miejscowe oddziaływanie presji czynnika antropogenicznego jak i wpływ zjawisk powodziowych.

4. Źródłem metali ciężkich w glebach terenów o potencjalnie niskim stopniu zagrożenia presją antropogeniczną mogą być emisje o niskiej zawartości Zn, Cu, Pb, Cd. Zanieczyszczenia te mogą stopniowo podlegać immobilizacji w wierzchnich warstwach profili glebowych.

Literatura

1. **Czarnowska K.:** *Ogólna zawartość metali ciężkich w skałach macierzystych jako tło geochemiczne gleb.* Roczn. Glebozn. 47, Supl.: 43-50. Warszawa 1996.
2. **Czarnowska K., Bontruk H.:** *Zawartość metali ciężkich w glebach aluwialnych Żuław.* Roczn. Glebozn. 46, 1/2: 65-77. Warszawa 1995.
3. **Drozd J., Licznar M., Nowakowski A.:** *Zawartość ołowiu i kadmu w glebach wzdłuż głównych tras komunikacyjnych miasta Wrocławia.* Acta agrophysica 56: 105-114. Lublin 2001.
4. **Gambuś F.:** *The influence of soil reaction on solubility of heavy metals in soil and their availability to plants.* Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 456: 71-78. Warszawa 1997.
5. **Gambuś F., Grabowski M.:** *Metale ciężkie w glebach i roślinach łkowych doliny Wisły na obszarze województwa krakowskiego.* Acta Agraria et Silvestria, Series Agraria, 34: 23-34. Kraków 1996.
6. **Ilnicki P., Kaleta-Więckowska M., Marciniak M., Mikołajewska E.:** *Zanieczyszczenia rzeki Warty przez źródła punktowe w latach 1993-1998.* Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 476: 125-131. Warszawa 2001.
7. **Kabata-Pendias A., Motowicka-Terelak T., Piotrowska M., Terelak H., Witek T.:** *Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. Ramowe wytyczne dla rolnictwa.* IUNG Puławy 1993.
8. **Kabata-Pendias A., Pendias H.:** *Biogeochemia pierwiastków śladowych.* PWN Warszawa 1999.
9. **Kozanecka T., Czarnowska K., Kwasowski W.:** *Nagromadzenie metali ciężkich w glebach w otoczeniu stacji benzynowych w Warszawie.* Roczn. Glebozn. 51, 1/2: 73-78. Warszawa 2000.
10. **Lewandowski P., Burghardt W., Ilnicki P.:** *Metale ciężkie w glebach doliny Warty w obrębie miasta Poznania.* Roczn. Glebozn. 49, 3/4: 19-29. Warszawa 1998.
11. **Pisarek I., Żarczyńska B.:** *Antropogeniczne wzbogacenie w metale ciężkie gleb doliny Odry na terenie miasta Opola.* Roczn. Glebozn. 53, 3/4: 75-84. Warszawa 2002.
12. **Skorbiłowicz M.:** *Ocena wpływu rodzaju oraz intensywności źródeł zanieczyszczeń wód rzeki Supraśl.* Roczn. Glebozn. 57, 3/4: 127-134. Warszawa 2006.

Anthropogenic Enrichment of Soils with Heavy Metals in the Flooded Area in the Opole City Region

Abstract

The main cause of pollution of alluvial sediments with heavy metals are emissions coming from transportation means, communication, industrial plants and insufficiently treated municipal and industrial wastewater (point pollution) introduced to rivers.

Quantity and the qualitative composition of organic soil colloids plays essential part in the processes of transportation, immobilization and transformation of heavy metals. Turf soils created from alluvial sediments, located between flood banks in the area of Opole City are exposed not only to point pollution (communication and industrial), but also to contamination caused the annual floods which are source of sediments with high concentration of heavy metals, which come from surface sources of contamination.

The aim of the work was to determine the concentration and disposition of heavy metals in soils of flooding area (of the Odra river and Ulga Channel) in the region of Opole city. The total concentration of Zn, Pb, Cu, Cd and some soil properties (including: texture, pH, organic carbon concentration and sorption properties) were examined in twenty five soil profiles. Used soils representing alluvial soils, varied in texture and contained but the clay fraction was high in all samples. The high concentration and diversification of content of total carbon was also observed. Total contents of heavy metals ranged were: 35- 780 mg Zn, 9.0- 52.0 mg Cu, 19.0-143.0 mg Pb, 0.40-2.60 mg Cd·kg⁻¹ d.m. The heavy metal concentration can be presented by the following series: Zn>Pb>Cu>Cd. Contamination of tested alluvial soils in the Opole area reflect occurrence of floods and emission of all contamination from the area of the city.

Turf alluvial soils on within the area of Opole city show granulometric composition and they are characterized by large variability of content of eluting fraction and organic carbon in dependence on the place of sedimentation.

Content of heavy metals shows variability in soils of investigated studied profiles, and the average coefficient their of geochemical accumulation according to Czar-nowska [1996] is: Zn (7.3), Cu (3.7), Pb (5.3), Cd (6.1).

Assessment of the degree of pollution with heavy metals of investigated alluvial soils in Opole city shows both local influence of the anthropogenic pressure as well as influence of flood phenomena.

Emissions with low content of Zn, Cu, Pb, Cd may be the source of heavy metals in soils in areas with potentially low degree of threat with anthropogenic pressure. Those contaminants may gradually undergo immobilization in surface layers of soil profiles.