

**ZASTOSOWANIE NARZĘDZI GEOINFORMATYCZNYCH
DLA OCENY POZIOMU ZANIECZYSZCZENIA GLEB METALAMI CIĘŻKIMI
W REJONIE ZGH „BOLESŁAW” W BUKOWNIE**

**APPLICATION OF GEOINFORMATION TOOLS
FOR THE ASSESSMENT OF HEAVY METAL SOIL CONTAMINATION LEVEL
IN “BOLESŁAW” MINE REGION IN BUKOWNO**

**Marek Pająk¹, Marta Szostak¹, Jarosław Socha², Piotr Wężyk¹, Piotr Tompalski¹,
Sebastian Mucha¹, Maciej Lesiak¹**

¹ Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Leśny, Katedra Ekologii Lasu
Laboratorium GIS i Teledetekcji

² Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Leśny, Katedra Ekologii Lasu
Katedra Dendrometrii

SŁOWA KLUCZOWE: zanieczyszczenie środowiska, metale ciężkie, gleba, geostatystyka, interpolacja danych

STRESZCZENIE: Celem badań było określenie stopnia zanieczyszczenia metalami ciężkimi ściółki i wierzchniej warstwy gleby (0 – 20 cm) na terenach leśnych w promieniu do 2 km od środka osadnika ZGH „Bolesław” w Bukownie. Do przetwarzania danych pochodzących z monitoringu środowiskowego zastosowano metody geostatystyki. Podstawą analiz była baza danych zawierająca oznaczenia zawartości metali ciężkich: Zn, Pb, Cd, Cu, Ni, Cr oraz współrzędne X i Y określające lokalizację poboru próbek gleby. Badano zasięg i stopień zanieczyszczenia gleb w rejonie osadnika.

Oznaczono podstawowe charakterystyki zawartości metali ciężkich w ściocie i glebie oraz wykonano analizy statystyczne dla ustalenia zależności koncentracji metali ciężkich od wybranych właściwości ściółki, gleby, cech drzewostanu, lokalizacji względem osadnika oraz ZGH „Bolesław”. Przy wykorzystaniu korelacji liniowych Pearsona określono zależności koncentracji pomiędzy poszczególnymi metalami ciężkimi zarówno w ściocie, jak i w glebie. W analizach badano między innymi wpływ położenia stanowisk badawczych, który opisano w terenie za pomocą azymutu. Dokonując interpolacji danych pomiarowych sporządzono mapy rozkładu stężeń poszczególnych metali ciężkich w warstwie ściółki oraz gleby.

Wyniki analiz wykazały bardzo wysokie stężenia takich pierwiastków, jak cynk, ołów i kadm zarówno w ściocie, jak i w glebie. Koncentracje miedzi, niklu i chromu w przebadanych elementach środowiska kształtowały się na poziomie stężeń naturalnych. Wykazano zasadniczą różnicę pomiędzy wielkością zdeponowanych metali po stronie zachodniej osadnika a ich ilością po stronie wschodniej.

1. WPROWADZENIE

Działalność człowieka prowadzi do znacznych zmian w obiegu pierwiastków, co przyczynia się do zanieczyszczenia nimi różnych komponentów środowiska. Dotyczy to

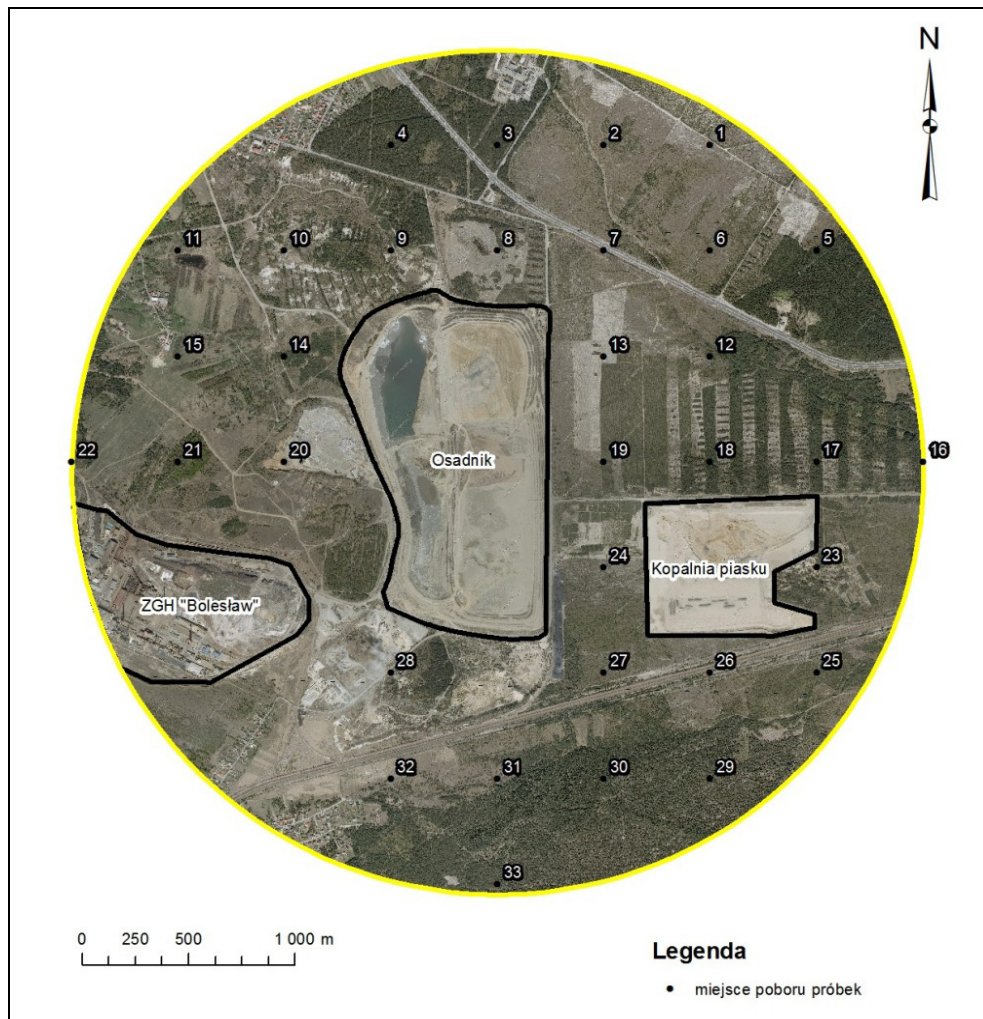
szczególnie metali ciężkich, które stają się zagrożeniem dla naturalnej równowagi ekologicznej (Rapalska, 2010). Niebezpieczne jest przede wszystkim gromadzenie się metali ciężkich w glebie z uwagi na fakt, iż gleba stanowi główne ogniwo w przyrodniczym obiegu pierwiastków (Dziadek, Waclawek, 2005). Metale śladowe stanowią uniwersalny oraz dość powszechnie stosowany wskaźnik skażenia środowiska glebowego, w tym głównie powierzchniowych poziomów gleb leśnych (Panek, 2000). W rejonach prowadzonej działalności przemysłowej przekształcenia chemiczne gleb są często spotykanym jej skutkiem. Przekształcenia te mogą prowadzić do utraty użyteczności gleby, czy też wykazać spadek jej produktywności (Trafas *et al.*, 2006). Na obszarach górniczo-hutniczych, gdzie wydobywa się, wzbogaca i przerabia niskoprocentowe rudy metali kolorowych oraz składa duże ilości odpadów poprodukcyjnych, takie zmiany są tym bardziej nie do uniknięcia. Szczególnie niebezpieczeństwo stanowią metale ciężkie pochodzenia hutniczego, które po dostaniu się do gleb są z nich praktycznie nieusuwalne i mogą negatywnie oddziaływać na środowisko przez okres kolejnych 200 lat (Cabała, 2009).

Celem niniejszej pracy było określenie stopnia skażenia wierzchnich warstw gleb leśnych metalami ciężkimi (Zn, Pb, Cd, Cu, Ni i Cr) w sąsiedztwie osadnika po flotacji rud cynku i ołowiu ZGH „Bolesław”. Do przetwarzania danych pochodzących z monitoringu środowiskowego zastosowano metody geostatystyczne.

Wykorzystanie geostatystyki obejmuje różne dziedziny nauki i gospodarki oraz jest przydatne wszędzie tam, gdzie pojawia się potrzeba przetwarzania i analiz danych zawartych w środowiskowych bazach danych. Rozwój technologii geoinformacyjnych i ich szerokie upowszechnienie powoduje, iż coraz częściej szczegółowo opisujemy i analizujemy procesy zachodzące w ekosystemach. Wyniki badań nad zjawiskami mającymi charakter przestrzenny wymagają zastosowania odpowiedniej techniki do ich statystycznego opracowania i prezentacji (np. kartograficznej). Rozwiązując różnorodne zagadnienia z zakresu ochrony i monitoringu środowiska mamy możliwość wyboru najbardziej odpowiedniego narzędzia geoinformacyjnego dla dokonania oceny stanu środowiska i zachodzących w nim zmian. Dzięki wykorzystaniu m.in. interpolujących algorytmów geostatystycznych można uzyskać przybliżony opis rzeczywistości. Zaprezentowana w niniejszym opracowaniu metodologia badawcza wykorzystuje różne metody geostatystyczne do określenia oceny stanu zanieczyszczenia gruntów metalami ciężkimi.

2. TEREN BADAŃ

Jako teren badań wybrano obszar, który swym zasięgiem objął tereny Nadleśnictwa Olkusz oraz tereny rekultywowane i prywatne wokół osadnika po flotacji rud cynku i ołowiu ZGH „Bolesław”. Środek terenu badań wybrano w centralnym punkcie najwyższej części osadnika. Wokół punktu centralnego utworzono obszar badań w kształcie okręgu o promieniu 2000 m. W zasięgu okręgu utworzono regularną siatkę kwadratów 500×500 m. W miejscach przecięcia się linii siatki założono powierzchnie badawcze. Do badań wykorzystano tylko powierzchnie o charakterze leśnym lub będące w trakcie procesu postępowania sukcesji leśnej (w sumie 33 powierzchnie) pomijając te, które wypadły na terenach przekształconych (strefy dróg, linii kolejowych, czynne piaskownie, tereny pozbawione roślinności drzewiastej w wyniku działalności zakładów przemysłowych – tereny urbanoziemne itp.) (Rys. 1).



Rys. 1. Schemat rozmieszczenia powierzchni badawczych

Dla każdej powierzchni zostały określone współrzędne (x, y). Lokalizację powierzchni wyznaczono w terenie za pomocą odbiornika GPS oraz zastabilizowano je. Na wszystkich powierzchniach badawczych wyznaczono kwadrat o boku 10 m (środek kwadratu pokrywa się z miejscem lokalizacji danej powierzchni). W każdej z tych jednoarowych powierzchni dokonano poboru próbek gleby z głębokości 0–20 cm oraz ścioly. Materiał pobrano z czterech narożników powierzchni badawczej oraz z jej środka (pięć próbek). Dodatkowo dla każdej powierzchni wykonano jedną próbkę mieszaną (średnią).

3. METODYKA

Próbki gleby wysuszono, przetarto w moździerz i przesiano przez sito o oczku 2 mm, zaś próbki ścióły wysuszono i zmielono, a następnie poddano analizom laboratoryjnym. Określono także azymuty i odległości poszczególnych punktów badawczych względem osadnika i względem ZGH „Bolesław” oraz przeprowadzono kategoryzację powierzchni poboru próbek (kategorie: rodzaj powierzchni, zwarcie drzewostanu, klasa wieku).

Kolejne etapy prac to:

- wykonanie prostych analiz statystycznych w celu określenia podstawowych charakterystyk zawartości metali ciężkich w ściółce i glebie;
- określenie zależności koncentracji metali ciężkich w ściółce i glebie od wybranych właściwości ściółki (pH) oraz gleby (pH, kwasowości hydrolitycznej H_h , udziału kationów zasadowych V_s , zawartości materii organicznej C i składu granulometrycznego G), zwarcia drzewostanu Z, lokalizacji względem osadnika D_o oraz względem ZGH „Bolesław” D_H);
- wyznaczenie zależności zawartości metali ciężkich pomiędzy ściółką a glebą oraz ocena, jak kształtują się zależności między poszczególnymi metalami w tych dwóch komponentach.

Do oceny występujących zależności wykorzystano metody regresji wielorakiej i liniowej. Przeprowadzanie analiz regresji było za każdym razem poprzedzane sprawdzaniem warunków, jakie muszą spełnić zmienne wyjaśniające, aby zbudowany model był poprawny. W związku z tym oceniano:

- nadmiarowość zmiennych (tylko przy regresji wielorakiej);
- normalność rozkładu reszt;
- homoskedastyczność, określającą jednorodność wartości resztowych w całym zakresie wartości przewidywanych. Niepożądany był brak homoskedastyczności. Warunek ten sprawdzano za pomocą wykresów rozrzutu wartości resztowych względem przewidywanych;
- liniowość zależności;
- brak autokorelacji reszt przy pomocy testu Durбина-Watsona.

Modele regresji wielorakiej opisujące badane zależności oceniono przy pomocy skorygowanych współczynników determinacji wielorakiej (R^2_{adj}), pozwalających na ocenę udziału wariancji wyjaśnionej przez model regresji z uwzględnieniem liczby zmiennych wyjaśniających (równanie 1).

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \left(\frac{n-1}{n-p-1} \right) \quad (1)$$

gdzie:

R^2_{adj} – skorygowany współczynnik determinacji wielorakiej dla regresji danej zmiennej o numerze j;

X – wartość zmiennej wyjaśniającej;

\bar{X} – średnia wartość zmiennej wyjaśniającej;

n – liczba przypadków;

p – liczba parametrów.

Modele regresji opisujące badaną zależność między dwiema zmiennymi oceniono za pomocą skorygowanych współczynników determinacji liniowej (R^2), pozwalających na ocenę udziału wariancji wyjaśnionej przez model regresji (równanie 2).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (2)$$

W przeprowadzanych badaniach określano także zależności koncentracji pomiędzy poszczególnymi metalami ciężkimi w ściółce i w glebie. W tym celu wyznaczano współczynniki korelacji zupełnej (Pearsona; równanie 3), określające siłę związku liniowego dwóch zmiennych (zmiennie to stężenia poszczególnych metali).

$$r = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sigma(X) \cdot \sigma(Y)} \quad (3)$$

gdzie:

$\sigma(x), \sigma(Y)$ – odchylenia standardowe zmiennych X, Y;

$\text{cov}(X, Y)$ – kowariancja (współzależność) zmiennych X, Y wyznaczana wg równania 4.

$$\text{cov}(X, Y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i \cdot Y_i) - \bar{X} \cdot \bar{Y} \quad (4)$$

Analizowano również wpływ rodzaju utworu, z jakiego wytworzone są gleby. Poszczególne stanowiska przyporządkowano do pięciu rodzajów utworów, które z kolei uwzględniono w modelach regresji w postaci zmiennych sztucznych. O istotności wpływu poszczególnych rodzajów utworów świadczyły istotności parametrów występujących przy reprezentujących je sztucznych zmiennych, które oceniono za pomocą statystyki t. W analizach badano między innymi wpływ położenia stanowisk badawczych, który opisano w terenie za pomocą azymutu. Analizy statystyczne wykonano za pomocą programu STATISTICA (StatSoft, 2009).

W programie ArcGIS ESRI wykonano mapy rozkładu stężeń poszczególnych metali ciężkich w warstwie ściółki oraz gleby. W tym celu wykorzystano metodę interpolacji IDW (Inverse Distance Weighted; równanie 5) (Isaaks, Mohan Sirivastava, 1989).

$$v_j = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p} v_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} \quad (5)$$

gdzie:

v_j – wartość cechy estymowanej w punkcie j;

v_i – wartość cechy zmierzona w punkcie i;

d_i – odległość między punktami i, j;

p – wykładnik potęgowy – waga odległości.

W analizach pominięto obszary znajdujące się w bardzo wczesnym stadium sukcesji leśnej, na których ściółka nie występuje lub znajduje się w niewielkich ilościach, a także strefy o charakterze urbanoziemnym (drogi, linie kolejowe, zabudowania itp.) czyli obszary, w których brak jest wierzchniej warstwy.

4. WYNIKI

W wyniku przeprowadzonych prac wyznaczono podstawowe charakterystyki statystyczne dla zawartości metali ciężkich w glebie i ściółce (Tab. 1, 2).

Tab. 1. Podstawowe charakterystyki statystyczne dla zawartości metali ciężkich w wierzchniej warstwie gleby

Metal	Maksimum	Minimum	Średnia	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności
	ppm				%
Zn	9036,0	182,4	1249,8	1785,2	142,8
Pb	2351,2	57,1	443,9	578,5	130,3
Cd	36,1	0,0	6,2	8,3	135,1
Cu	101,6	0,0	6,4	17,6	276,8
Ni	10,5	0,0	0,9	2,7	281,2
Cr	20,5	0,6	5,3	5,5	104,2

Tab. 2. Podstawowe charakterystyki statystyczne dla zawartości metali ciężkich w ściółce

Metal	Maksimum	Minimum	Średnia	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności
	ppm				%
Zn	10426,0	1215,3	4116,3	2410,0	23,1
Pb	4602,5	526,3	1445,1	869,5	18,9
Cd	95,0	13,0	35,4	17,7	18,6
Cu	299,3	16,3	45,9	52,2	17,5
Ni	14,3	0,0	7,4	4,3	30,0
Cr	34,6	7,3	23,2	7,0	20,4

Oceniając wartości stężenia metali ciężkich w ściółce i glebie na badanych powierzchniach można stwierdzić, iż teren wokół osadnika należy do jednego z najbardziej skażonych obszarów Polski. Określono, iż 42% próbek charakteryzował silny i bardzo silny stopień zanieczyszczenia. Stężenia analizowanych metali ciężkich w wierzchniej warstwie gleb wykazały w badanym terenie duże zróżnicowanie. W obszarze badań przede wszystkim zaobserwowano bardzo wysoką zawartość cynku, ołowiu i kadmu, natomiast stężenia miedzi, niklu i chromu kształtowały się na poziomie naturalnym (Tab. 1). W przypadku ściółki stężenia metali ciężkich osiągnęły jeszcze wyższe wartości (Tab. 2).

Analizy regresji wielorakiej wykazały jakie właściwości ściółki i gleby mają wpływ na zawartość w nich metali ciężkich. Wyniki przedstawia tabela 3. Analiza stężeń metali ciężkich w wierzchniej warstwie gleb wykazała różnice w ilości sorbowanych pierwiastków w zależności od składu granulometrycznego gleby oraz zawartości węgla. Utwory o większej ilości drobnej frakcji i zasobniejsze w węgiel charakteryzowały się większą

ilością zakumulowanych metali, a co za tym idzie silniejszym skażeniem. Zarówno dla gleby, jak i ścióły nie udało się określić wyraźnej zależności między zakumulowanymi w nich metalami ciężkimi a odległością od emitorów zanieczyszczeń, jakimi są ZGH „Bolesław” i osadnik. Jedynie w przypadku zawartości cynku w ściółce wykonana regresja wieloraka wyjaśniła 60% zmienności przy uwzględnieniu zmiennych, jakimi są odległość od huty i pH.

Tab. 3. Właściwości ścióły i gleby wpływające na zawartość w nich metali ciężkich

Obiekt analizowany		Zn	Pb	Cd	Cu	Ni	Cr
Ściółka: D _H , D _O , pH	Istotne parametry	D _H , pH	pH	pH	-	-	pH
	R ² _{adi} [%]	60,4	19,4	37,1	-	-	11,1
Gleba: D _H , D _O , pH, V _S , H _h , C, G, Z,	Istotne parametry	pH				D _H	
		C	C	C	C	pH	H _h
	G	G	G	G	H _h	G	
	R ² _{adi} [%]	92,0	86,8	90,5	85,4	94,5	95,1

W dalszym opracowaniu zbadano współczynniki korelacji zupełnej (Pearsona) dla zawartości badanych pierwiastków w glebie i ściółce. Nie wykazano ścisłej korelacji pomiędzy zawartością badanych pierwiastków w ściółce a ich zawartością w wierzchniej warstwie gleb. Następnie oceniono zależności zawartości w glebie i ściółce kolejnych pierwiastków w odniesieniu do pozostałych metali. Wyniki przedstawia tabela 4. Wartości współczynnika korelacji r przyjęto następująco ($\alpha=0,05$):

- $r < 0,3$ – korelacje słabe, ozn. N;
- $0,3 < r < 0,6$ – korelacje przeciętne, ozn. *;
- $r > 0,6$ – korelacje silne, ozn. **.

Tab. 4. Wartości korelacji liniowych Pearsona – zawartość w ściółce / glebie poszczególnych pierwiastków

Ściółka / gleba	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	Cr
Zn	–	** / N	** / **	** / **	N / *	N / **
Cu	** / N	–	** / *	N / N	N / N	N / N
Pb	** / **	** / *	–	* / **	* / **	N / **
Cd	** / **	N / N	* / **	–	N / *	N / **
Ni	N / *	N / N	* / **	N / *	–	** / **
Cr	N / **	N / N	N / **	N / **	** / **	–

Ostatnim etapem prac było opracowanie map rozkładu stężeń poszczególnych metali ciężkich w warstwie ścióły oraz gleby dla oceny wielkości zanieczyszczenia i jego lokalizacji przestrzennej. W tym celu przeprowadzono interpolację danych metodą IDW. Testowano także metodę interpolacji – kriging, w jej wyniku uzyskano podobny rozkład przestrzenny stężeń metali. Wyniki uzyskane przy zastosowaniu interpolacji metodą IDW

dla wierzchniej warstwy gleby przedstawiono na rysunku 2, natomiast dla ściółki na rysunku 3. Na rysunkach tych zamaskowano tereny wyłączone z analiz, czyli obszary o charakterze urbanoziemnym (np. drogi). Dla map rozkładu stężeń metali w ściółce zamaskowano tereny z obszaru badań, na których ona nie występuje lub znajduje się w niewielkich ilościach.

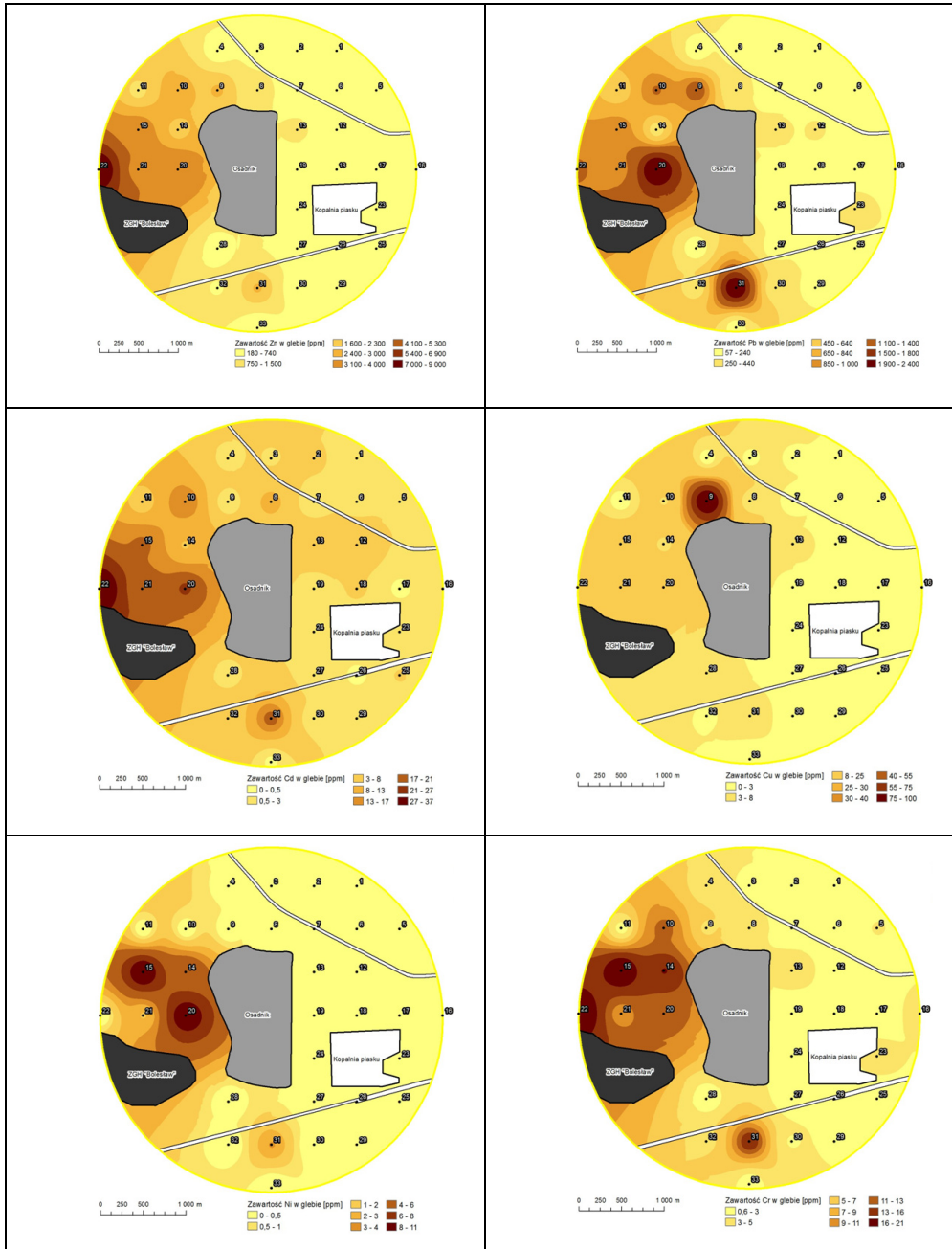
Na podstawie map rozkładu stężeń poszczególnych metali w glebie można zauważyć zasadniczą różnicę pomiędzy wielkością zdeponowanych metali po stronie zachodniej osadnika na glebach średniociężkich, a ich ilością po stronie wschodniej, gdzie wystąpiły utwory bardzo lekkie i lekkie. Potwierdza to wyniki analiz statystycznych, wskazujących na różnice w ilości sorbowanych pierwiastków w zależności od składu granulometrycznego gleby oraz zawartości węgla. Jeżeli chodzi o zawartość metali w ściółce to również dominujące stężenia metali są po zachodniej stronie osadnika, przy czym dla niklu i chromu, skażenia są znikome i rozkładają się równomiernie na całym obszarze badań.

5. WNIOSKI

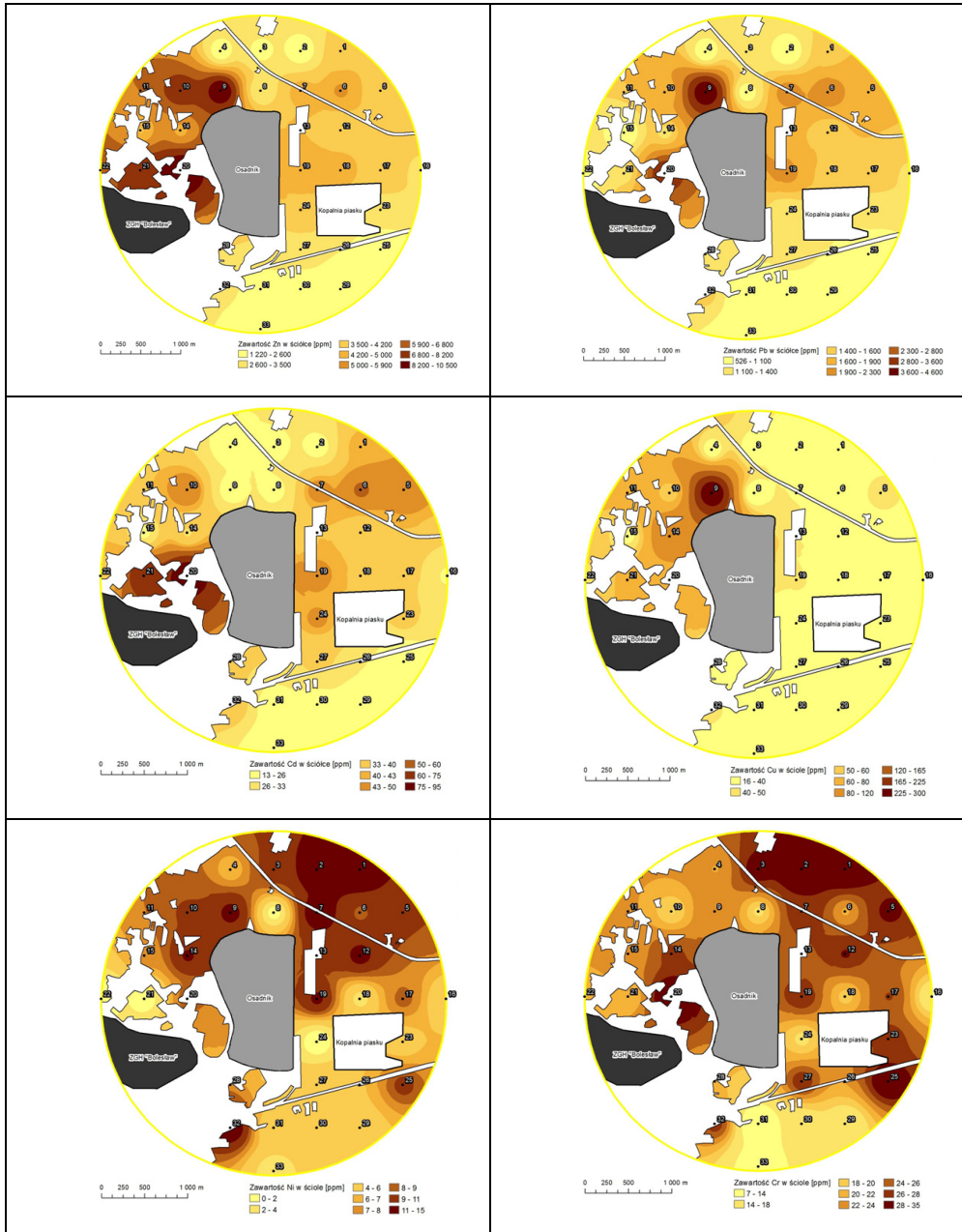
Metody geostatystyczne są stosowane przy rozwiązywaniu różnych zagadnień związanych z ekologią i ochroną środowiska, na przykład do przeprowadzania oceny zanieczyszczenia gruntów, powietrza, wód podziemnych (Kokesz, Nieć, 1992; Namysłowska-Wilczyńska, Wilczyński, 2000; Wiatr, 1996; Wężyk, 1998). Autorzy tych prac wskazali na przydatność narzędzi geoinformacyjnych do przestrzennego monitorowania rozkładu koncentracji zanieczyszczeń, do wykrywania ich źródeł i oceny rozprzestrzeniania oraz stanu zagrożenia środowiska. Metody geostatystyki i techniki estymacyjne często są stosowane dla przetwarzania danych środowiskowych. Pozwalają na opracowanie map, pokazujących przestrzenny obraz rozkładu zawartości analizowanych zmiennych, w obrębie obszaru objętego monitoringiem środowiskowym, a także wyniki ekstrapolacji poza jego granicami (Wężyk, Goś, 2003).

Wykorzystanie narzędzi geoinformacyjnych dla oceny stopnia zanieczyszczenia metalami ciężkimi ściółki i wierzchniej warstwy gleby na terenach leśnych w pobliżu osadnika ZGH „Bolesław” w Bukownie pozwoliło na określenie stopnia zanieczyszczeń w badanym rejonie. Dało też możliwości dla znalezienia tych właściwości ściółki i gleby, które mają wpływ na zawartość w nich metali ciężkich. Analizy statystyczne wraz z, uzyskanymi w wyniku wykonania interpolacji danych, mapami rozkładu zanieczyszczeń dały całościowy obraz dla oceny koncentracji metali ciężkich wokół osadnika.

Wyniki opracowania potwierdzają fakt, iż na terenach pogórnicznych oraz bezpośrednio sąsiadujących z hałdami stężenia metali ciężkich, charakterystycznych dla danych rud, mogą osiągać w glebach zawartości przekraczające jakiegokolwiek standardy jakości. Tak właśnie jest w przypadku analizowanego terenu wokół osadnika po flotacji rud cynku i ołowiu ZGH „Bolesław” w Bukownie.



Rys. 2. Mapy rozkładu stężeń poszczególnych metali ciężkich w warstwie gleby



Rys. 3. Mapy rozkładu stężeń poszczególnych metali ciężkich w warstwie ściółki

6. LITERATURA

- Cabała J., 2009: Metale ciężkie w środowisku glebowym olkuskiego rejonu eksploatacji rud Zn-Pb. *Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego*, Katowice.
- Dziadek K., Waclawek W., 2005: Metale w środowisku. Cz. 1. Metale ciężkie (Zn, Cu, Ni, Pb, Cd) w środowisku glebowym. *Chemia. Dydaktyka. Ekologia. Metrologia*, R. 10, Nr 1-2, s. 33-44.
- Isaaks E. H., Mohan Sirivastava R., 1989: *Applied Geostatistics*. Oxford University Press.
- Kokosz Z., Nieć M. 1992. Metody geostatystyczne w rozpoznawaniu i dokumentowaniu złóż oraz w ochronie środowiska. *Studia i Rozprawy*. Wydawnictwo CPPGSMiE PAN, Kraków, 19, s. 1-51.
- Namysłowska-Wilczyńska B., Wilczyński A., 2000: Badania geostatystyczne rozkładu zawartości metali ciężkich w gruntach. *Geoinformatica Polonica*, Kraków, 2, s. 51-65.
- Panek E., 2000: Metale śladowe w glebach i wybranych gatunkach roślin obszaru polskiej części Karpat. *Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*, Kraków.
- Rapalska M., 2010: Analiza zawartości metali ciężkich w glebach Tatrzańskiego Parku Narodowego w części słowackiej (TANAP). *V Krakowska Konferencja Młodych Uczonych*, Kraków.
- Trafas M., Eckes T., Gołda T., 2006: Lokalna zmienność zawartości metali ciężkich w glebach okolicy Olkusza. *Inżynieria Środowiska*, tom 11, zeszyt 2.
- Wężyk P., 1998: Wykorzystanie Geograficznych Systemów Informacyjnych oraz fotogrametrii do oceny rozprzestrzeniania polutantów pyłowych i siarki w ekosystemach leśnych. *Rozprawa doktorska*, Akademia Rolnicza im. Hugona Kołłątaja w Krakowie.
- Wężyk P., Goś M., 2003: Zastosowanie narzędzi geoinformatycznych w monitoringu szaty roślinnej Puszczy Niepołomickiej. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* ISBN 83-912227-1-3, 2003, Vol. 13 A, s. 265-275.
- Wiatr I., 1996: Metody geostatystyczne w monitorowaniu stanu degradacji środowiska naturalnego. *Ekoinżynieria*.

APPLICATION OF GEOINFORMATION TOOLS FOR THE ASSESSMENT OF HEAVY METAL SOIL CONTAMINATION LEVEL IN "BOLESŁAW" MINE REGION IN BUKOWNO

KEY WORDS: environmental pollution, heavy metals, soil, geostatistics, data interpolation.

SUMMARY: The aim of this study was to determine the level of the heavy metals (Zn, Pb, Cd, Ni, Cr) pollution in the topsoil layer (0 – 20 cm) and in the duff of the woodland on the distance of 2 km from the centre of the sedimentation pond of MMW "Bolesław". For the processing of environmental monitoring data geostatistics tools were applied. A database containing the Zn, Pb, Cd, Cu, Ni, Cr content data and coordinates X and Y specifying the sample locations constituted a basis for the geostatistical analysis. The extent and degree of soil pollution in areas near of the sedimentation pond were analyzed.

The basic characteristics of heavy metals in the duff and soil and the statistical analysis were performed to determine the concentration of heavy metals depending on the selected properties of duff and soil, stand characteristics and location of the sedimentation pond of MMW "Bolesław". Pearson's linear correlations were used to determine the concentration dependence between heavy

metals both in duff and soil. The impact of the position research positions, which are described in the field with azimuth, was tested in the analysis. Maps of the distribution of individual heavy metal concentrations in the duff and soil were drawn with using the interpolation of measurement data. The researches and lab analyses showed a very high level of the accumulation of Zn, Pb, Cd in the duff and soil. The values of the Cu, Ni and Cr have been accumulated in the accepted norms. In the paper it is also pointed out the fundamental difference between the level of the metals accumulation on the west side of the sedimentation pond, and their accumulation on the east side.

dr inż. Marek Pająk
e-mail: rlpajak@cyf-kr.edu.pl
telefon: +48 12 662 53 35

dr inż. Marta Szostak
e-mail: rlszosta@cyf-kr.edu.pl
telefon: +48 12 662 50 76

dr hab. inż. Jarosław Socha
e-mail: rlsocha@cyf-kr.edu.pl
telefon: +48 12 662 50 11

dr inż. Piotr Wężyk
e-mail: rlwezyk@cyf-kr.edu.pl
telefon: +48 12 662 50 82

mgr. inż. Piotr Tompalski
e-mail: piotr.tompalski@ur.krakow.pl