

**ZASTOSOWANIE GEOSTATYSTYKI I GIS
DO ANALIZY WPŁYWU CZYNNIKÓW NATURALNYCH
I ANTROPOGENICZNYCH NA KONCENTRACJĘ
METALI CIĘŻKICH
W GLEBACH REJONU OLKUSKIEGO**

APPLICATION OF GEOSTATISTICS AND GIS
TO ANALYSIS OF INFLUENCE OF NATURAL
AND ANTHROPOGENIC FACTORS ON HEAVY METALS
CONCENTRATION IN SOILS OF OLKUSZ REGION

Barbara Namysłowska-Wilczyńska¹, Katarzyna Rusak²

¹ Instytut Geotechniki i Hydrotechniki, Politechnika Wrocławska,

² Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Głogowie

Słowa kluczowe: modelowanie powierzchniowe, metale ciężkie, geostatystyka, GIS
Keywords: surface modeling, heavy metals, geostatistics, GIS

Wprowadzenie

Rozmieszczenie i stężenie metali w glebach zależy od wielu czynników naturalnych i antropogenicznych takich jak: procentowy udział frakcji ilastej, pylastej i piaszczystej, wartość pH gleby, litologia utworów powierzchniowych, kierunki wiatrów, rodzaj roślinności, odległość od źródeł zanieczyszczenia, typ zabudowy i zagospodarowania terenu (Namysłowska-Wilczyńska B., Rusak K., 2001, 2002, 2003).

W pracy dokonano analizy wybranych czynników wpływających na rozmieszczenie zawartości metali ciężkich – kadmu Cd i cynku Zn w glebie, wykorzystując System Informacji Geograficznej – GIS, przy pomocy którego opracowano cyfrowe podkłady zawierające wyselekcjonowane elementy topografii i budowy geologicznej terenu oraz metody geostatystyczne do estymacji wartości średnich badanych parametrów środowiskowych. Stosując kriging zwyczajny (blokowy), który stanowi metodę oceny wartości średnich parametru zróżnicowanego w przestrzeni, sporządzono mapy rastrowe rozkładu średnich estymowanych Z^* zawartości Cd i Zn oraz procentowego udziału frakcji drobnoziarnistej.

Zaprezentowana w pracy analiza przestrzenna GIS z wykorzystaniem metod geostatystycznych umożliwiła poszukiwanie i analizowanie wspomnianych zależności oraz ich przestrzenną wizualizację w postaci wyników map rastrowych (Rusak, 2003).

Przedmiot badań stanowił obszar o powierzchni 171 km², reprezentujący okręg olkuski, który stanowi rejon występowania i eksploatacji złóż rud cynku i ołowiu. W glebach tego obszaru zaznacza się jedna z największych w Polsce anomalii Cd-Pb-Zn, związana z wychodniami dolomitów kruszconych oraz eksploatacją, przeróbką i hutnictwem rud Zn i Pb, zarówno współczesną, jak i historyczną (Lis, Pasieczna A 1997).

Cel i zakres badań

Zamiarem pracy była identyfikacja udziału czynników naturalnych (budowa geologiczna) i antropogenicznych (historyczne oraz współczesne górnictwo i hutnictwo rud Zn i Pb) w obserwowanym obrazie zanieczyszczenia środowiska gruntowego cynkiem i ołowiem. Podjęto próbę wielokierunkowej analizy takich czynników jak: wykształcenie litologiczne utworów powierzchniowych, warunki klimatyczne i własności fizykochemiczne gruntów. Pełne i wyczerpujące rozpoznanie czynników określających aktualnie istniejący przestrzenny zasięg i stopień skażenia gruntów metalami ciężkimi powinno umożliwić gospodarzom regionu olkuskiego efektywniejsze gospodarowanie i zarządzanie terenami zdegradowanymi.

W pierwszym etapie badań wykonano numeryczne mapy rejonu olkuskiego, wykonując analizę przestrzenną GIS z użyciem oprogramowania MicroStation GeoGraphics. Podstawę wektoryzacji stanowiły mapy topograficzne i geologiczne w skali 1:50 000. Zwektoryzowano mapy w poszczególnych nakładkach tematycznych: zagospodarowanie terenu, zabudowa, komunikacja, cieki powierzchniowe, elementy budowy geologicznej – wychodnie dolomitów kruszconych. Przeprowadzono wektoryzację z uwzględnieniem zasad budowy obiektowej poszczególnych elementów mapy. Utworzone obiekty graficzne nie posiadają danych opisowych w bazie danych, a stanowią jedynie obraz graficzny.

Następnie wykonano analizę geostatystyczną. Jej podstawą były wyniki analiz geochemicznych prób gruntów pobranych z głębokości 0,0–0,2 m, w latach 2000–2001, na obszarze o łącznej powierzchni 171 km², w regularnej siatce 1 km x 1 km (rys. 1). Sporządzono bazę danych, zawierającą współrzędne geograficzne X i Y, określające miejsca pobrania prób oraz wyniki oznaczeń zawartości metali Cd i Zn, stanowiących badane zmienne zregionalizowane¹.

Połączenie techniki estymacyjnej – krigingu zwyczajnego (blokowego) z analizą przestrzenną GIS umożliwiło dokonanie szczegółowej oceny, analizy i identyfikacji rozkładu zawartości metali ciężkich w gruntach, w odniesieniu do wybranych elementów środowiska i istniejącej budowy geologicznej (wychodnie dolomitów kruszconych).

Metodyka badawcza

Podstawę geostatystycznego opisu zmienności stanowi funkcja semiwariogramu, ujmująca zależność między średnim zróżnicowaniem wartości badanego parametru określonego w punktach opróbowania, a odległością między tymi punktami (Mucha 1994 i 2002; Namysłowska-Wilczyńska, 1993) i wyrażona jako:

¹ Analizy statystyczne i geostatystyczne wykonano z wykorzystaniem wybranych programów z pakietu oprogramowania ISATIS, zakupionego w Firmie GEOVARIANCES & ECOLE DES MINES DE PARIS, we Francji.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n_h} \sum_{i=1}^{n_h} (Z_{i+1} - Z_i)^2 \quad (1)$$

gdzie:

- $\gamma(h)$ – wartość funkcji semiwariogramu,
- Z_i, Z_{i+1} – wartości parametru w punktach opróbowania, oddalonych o odległość h ,
- n_h – liczba par punktów opróbowania, oddalonych o odległość h .

Funkcja semiwariogramu $\gamma(h)$ stanowiła podstawą obliczeń izotropowych i kierunkowych semiwariogramów empirycznych zawartości Zn i Cd, których przebiegi przybliżano funkcjami matematycznymi. W obliczeniach semiwariogramów izotropowych uwzględnia się wszystkie dane związane z analizowaną populacją próbkową, co daje pogląd na temat struktury zmienności badanych parametrów, jak kształt wykresu, poziom wariancji progowej C , zasięg oddziaływania a , ewentualna obecność efektu samorodków C_0 , proporcja udziałów składnika losowego i nielosowego. Przebiegi semiwariogramów kierunkowych są obliczane wzdłuż różnych linii badawczych (np. geograficznych), informując o charakterze zróżnicowania zmienności badanego parametru, izotropowym lub anizotropowym. Odmienne przebiegi funkcji $\gamma(h)$ w poszczególnych kierunkach, z zaznaczającymi się różnymi zasięgami oddziaływania a świadczą o anizotropii zmian wartości rozważanego parametru.

Szczegółowe wyniki aproksymacji przebiegów izotropowych semiwariogramów empirycznych zawartości metali Cd i Zn za pomocą geostatystycznych modeli teoretycznych zmienności przedstawiono w pracach (Namysłowska-Wilczyńska, Rusak 2001, 2002, 2003).

Zastosowano model liniowy z efektem samorodków, który najlepiej odwzorowywał przebiegi wykresów wartości funkcji semiwariogramu $\gamma(h)$ tych parametrów. W przebiegach semiwariogramów stwierdzono obecność składnika losowego (efektu samorodków C_0), co świadczy o występowaniu lokalnej zmienności rozważanych pierwiastków, w skali mniejszej niż podstawowa odległość między punktami oznaczeń. Zwraca uwagę bardzo duży udział składnika losowego UL w wariancji całkowitej pomimo, iż dane oryginalne poddano przekształceniu logarytmicznemu, ze względu na wysokie wartości skośności histogramów rozkładów kadmu i cynku (Cd – 4,18; Zn – 4,83).

Zasięg oddziaływania a semiwariogramów, a więc dystans skorelowania zawartości wynosił 1886 m, w przypadku obu metali Zn i Cd. Identyczne zasięgi a mogą sugerować istnienie zbliżonego źródła pochodzenia tych metali w gruncie.

W ostatniej fazie analizy strukturalnej zastosowano procedurę kross – walidacji (Wackernagel, 1998), określaną niekiedy jako test krzyżowy (Mucha, 2002). Wartości błędu standaryzowanego, charakteryzującego jakość dopasowania wymienionych wyżej modeli, wahały się w granicach od 0,9–1,23 (Zn: 1–1,23; Cd: 1–0,9) dla badanej subpopulacji próbkowej (N=120). Świadczy to, iż modele te dobrze wyrażają przebiegi semiwariogramów empirycznych zawartości Cd i Zn.

W dalszej kolejności zastosowano procedurę krigingu zwyczajnego (blokowego). Technika krigingu jest metodą oceny średnich wartości parametru zróżnicowanego w przestrzeni (zregionalizowanego), z uwzględnieniem współzależności między obserwacjami, wyrażającą się ich autokorelacją (Matheron, 1962–1963). Kriging zapewnia ocenę średniej z minimalnym błędem (wariancją estymacji), a więc w porównaniu z innymi metodami interpolacyjnymi, cechuje się wyższą efektywnością. Procedura szacowania wartości średnich Z^* jest prowadzona w obrębie wydzielonego bloku, stąd nazwa metody – kriging blokowy. Średnie

estymowane Z^* szacuje się dla środków pól siatki elementarnej, którą nakłada się na obszar badania.

Estymator wartości średniej kriginu, mający postać wartości średniej ważonej badanego parametru, jest określony ogólnym wzorem:

$$Z^* = \sum_{i=1}^n w_{ik} * Z_i \quad (2)$$

gdzie:

w_{ik} – współczynnik wagowy kriginu,

Z_i – wartość parametru w i -tym punkcie opróbowania.

Nieznane współczynniki wagowe (wagi) kriginu wyznacza się z układu równań kriginowych. Wyznaczenie współczynników wagowych powala na oszacowanie wielkości wariancji kriginu:

$$\sigma_k^2 = \sum_{i=1}^n w_i * \bar{\gamma}(S_i, A) + \lambda - \bar{\gamma}(A, A) \quad (3)$$

gdzie:

$\bar{\gamma}(S_i, A)$ – średnia wartość semiwariogramu między próbką a szacowanym blokiem A,

$\bar{\gamma}(A, A)$ – średnia wartość semiwariogramu dla wszystkich możliwych odcinków, których końce leżą w obrębie szacowanego bloku,

λ – mnożnik Lagrange'a,

σ_k – standardowe odchylenie estymacji (błąd kriginu).

Rozpatrywany obszar pokryty siatką bloków elementarnych o wymiarach 250 m x 100 m, przyjmując dla danego bloku współczynnik dyskretyzacji, wynoszący (7x7=49). Całkowita liczba środków wszystkich bloków, dla których obliczono średnie estymowane Z^* , wynosiła 7696. W procesie szacowania wartości średnich Z^* i standardowego odchylenia estymacji sk dla środków bloków zastosowano sąsiedztwo ustalone, z uwagi na nie aż tak bogatą liczebność analizowanych danych (N=120). Oznacza to, iż podczas estymacji używano każdą informację.

Obliczenia kriginowe wykonano z uwzględnieniem wcześniej wyznaczonych parametrów analitycznych funkcji teoretycznych, tzw. modeli geostatystycznych semiwariogramów empirycznych (wariancji progowej C, efektu samorodków C_0 i zasięgu oddziaływania A) (Namysłowska-Wilczyńska, Rusak, 2001, 2002, 2003).

Analiza przestrzenna rozkładu średnich estymowanych Z^* zawartości kadmu i cynku

Zasadniczą analizę geostatystyczną poprzedzono oceną podstawowych parametrów statystycznych zawartości badanych metali (Namysłowska-Wilczyńska, Rusak, 2001, 2002, 2003).

Stwierdzona maksymalna zawartość Zn przekraczała aż 50-krotnie wartość dopuszczalną – 300 [ppm], osiągając 15 128,50 [ppm], zaś maksymalna zawartość Cd była 16-krotnie wyższa od wartości dopuszczalnej – 4 [ppm] i wynosiła 64,18 [ppm]. Średnie arytmetyczne zawartości Cd i Zn wynosiły odpowiednio: 5,56 [ppm] i 901,80 [ppm], przekraczając dopuszczalne normy. Wartości pozostałych parametrów, takich jak wariancja S^2 , odchylenie

standardowe S i współczynnik zmienności V świadczą o bardzo dużej zmienności zawartości analizowanych metali. Największym zróżnicowaniem zawartości charakteryzuje się Zn, w tym przypadku współczynnik V wynosił aż 221%, wskazując na skrajnie dużą zmienność. Podobnie przedstawiała się sytuacja z zawartością Cd ($V = 160\%$).

Zawartość kadmu Cd

Wydzielone strefy o najwyższych zawartościach Cd (powyżej 32 [ppm]) są wyraźnie związane z lokalizacją hutnictwa rud cynku i ołowiu. Strefa o największym powierzchniowym zasięgu, charakteryzująca się najwyższą średnią estymowaną Z^* Cd w gruntach (powyżej 32 [ppm]), zlokalizowana jest w miejscu nieczynnych już wyrobisk rud Zn i Pb, położonych na północny zachód od ZGH „Bolesław” (rys. 2). Jej powierzchniowy zasięg ma rozciągłość 1,7 km z północnego wschodu na południowy zachód oraz 1,2 km z zachodu na wschód i w całości pokrywa się z powierzchniowymi wychodniami dolomitów kruszonych. Druga strefa o najwyższych zawartościach Cd (powyżej 32 [ppm]), ma zdecydowanie mniejszy zasięg powierzchniowy – maksymalnie 500 m i położona jest około 0,5 km na wschód od hałd i osadników poflotacyjnych ZGH „Bolesław”. Trzecią, wyraźną strefą wyróżniającą się podwyższonymi średnimi Z^* , w stosunku do otoczenia, jest rejon centrum miasta Olkusza. Najwyższe średnie Z^* zawartości Cd uzyskane w tej strefie, o powierzchni 1,4 x 1,1 km, są jednak mniejsze, w porównaniu do uzyskanych dla wyżej omówionych podobszarów i osiągają 16 [ppm] (rys. 2).

Zawartość cynku Zn

Średnie estymowane Z^* zawartości Zn w gruntach rejonu olkuskiego (lata 2000–2001) osiągają największe wartości w sąsiedztwie miejsc historycznej eksploatacji rud Zn i Pb oraz w miejscach współczesnego górnictwa i hutnictwa tych rud. Występuje więc analogia do rezultatów otrzymanych dla zawartości Cd (rys. 3). Wartość dopuszczalna dla Zn – 300 [ppm] jest w tych miejscach wielokrotnie przekroczona i dochodzi nawet do ponad 8000 [ppm], a punktowo aż do 15000 [ppm] (rys. 3). Kształt strefy o najwyższych koncentracjach zawartości Zn wraz z zaznaczającymi się jej dwoma charakterystycznymi maksimumami jest bardzo zbliżony do powierzchniowego rozkładu zawartości Cd. Obserwowane podobieństwo przestrzennych rozkładów potwierdza wysoka wartość współczynnika korelacji liniowej $r = 0,92$ dla zawartości Cd i Zn. Obszar najwyższych zawartości Zn również wykazuje rozciągłość równoleżnikową (zachód – wschód) (rys. 3), wcześniej wspomnianą dla Cd. Stwierdzoną rozciągłość strefy o podwyższonych zawartościach obu metali w powierzchniowej warstwie gruntu wywołują wiatry przeważające z sektora zachodnio-wschodniego.

Wyniki obliczeń wartości standardowego odchylenia estymacji σ_k

Spośród różnorodnych metod estymacyjnych, jedynie użyta procedura kriginu zwyczajnego pozwala na równoczesne oszacowanie dokładności oceny badanego parametru wraz ze średnią estymowaną Z^* . W efekcie zastosowania techniki kriginu do określenia zmienności zawartości Zn i Cd w powierzchniowej (0,0–0,2 m) warstwie gruntu uzyskano również prognozę błędów przeprowadzonej estymacji (tzw. błędów kriginu σ_k) (tab. 1).

Tabela 1. Zestawienie wybranych podstawowych statystyk dla wartości standardowego odchylenia estymacji s_k zawartości Zn i Cd – kriging zwyczajny (blokowy)

Analizowany parametr	Całkowita liczba bloków elementarnych	Średnia wartość $\bar{\sigma}_k$ [ppm]	Minimalna wartość σ_{kmin} [ppm]	Maksymalna wartość σ_{kmax} [ppm]	Współczynnik zmienności V [%]
Zn	7696	1,24* (2,48)**	0,75	2,11	221
Cd	7696	0,95* (1,90)**	0,55	1,70	160

* wartość błędu standardowego odchylenia estymacji σ_k , odpowiadająca poziomowi prawdopodobieństwa $P=0,68$.

** wartość błędu standardowego odchylenia estymacji $2\sigma_k$, odpowiadająca poziomowi prawdopodobieństwa $P=0,95$.

Analiza rozkładu zawartości cynku w gruntach na tle wybranych czynników środowiskowych

Z uwagi na ograniczoną objętość pracy wyniki przeprowadzonej analizy wpływu czynników naturalnych i antropogenicznych (wymienionych we Wprowadzeniu) na koncentrację metali ciężkich w gruncie przedstawiono jedynie na przykładzie zawartości cynku Zn.

Fracja drobnoziarnista

Przestrzenny rozkład procentowego udziału frakcji pyłowej i iłowej (poniżej 0.063 mm) potraktowano łącznie, zgodnie z normą europejską – ISO/CEN 2000, która zaleca połączenie tych frakcji w jedną grupę gruntów drobnoziarnistych, a ponadto Polska Norma PN-86/B-02480, która rozdzielała frakcję pyłową od iłowej, już nie obowiązuje. Rozkład procentu udziału gruntów drobnoziarnistych na badanym terenie jest bardzo zróżnicowany od 0%, w rejonie ZG „Olkusz”, w sąsiedztwie czynnych i nieczynnych kopalń piasku „Szczakowa” oraz na obszarze pustyń: Starczynowskiej i Błędowskiej do ponad 70% w NW części, w rejonie występowania na powierzchni terenu plejstocenijskich lessów (rys. 4). W rejonie o najwyższych koncentracjach Zn procentowy udział sumy frakcji pyłowej i iłowej waha się w przedziale od 10–30 %, osiągając zaledwie od 0–2 % na obszarze leżącym między ZG „Pomorzanany”, ZG „Olkusz”, a Pomorzankami (rys. 4).

Analiza składu mechanicznego gruntów, pozwala stwierdzić, iż w rejonach o najwyższych koncentracjach Zn grunty mają charakter piasków gliniastych, pylastych, ewentualnie glin piaszczystych. Zawartość frakcji drobnoziarnistej kształtuje się na zróżnicowanych poziomach od 10–30 %.

Budowa geologiczna

Najważniejszymi utworami triasu środkowego, ze względu na występowanie złóż rud Zn i Pb, są dolomity kruszczońskie. Nie stanowią one poziomu statygraficznego, lecz są utworami wtórnymi, często zachowującymi tekstury skał pierwotnych (Śliwiński, 1978). Na badanym terenie dolomity kruszczońskie obejmują większą część wapiennych warstw olkuskich. Ich wychodnie występują na południe od Bukowna oraz w obszarze między Sokotnicą, Podlipiem i Sławkowem, jak również między terenem ZGH „Bolesław”, a miejscowo-

ścią Bolesław, a ponadto w okolicy Dąbrówki oraz na północ od Sławkowa. Miąższość tych warstw nie przekracza 12–15 m.

Badania rozmieszczenia zawartości cynku w gruntach, związanego z formacją kruszconośną środkowego triasu (rys. 5) wykazują, iż w miejscach gdzie występują wychodne dolomitów kruszconośnych obserwuje się przeważnie podwyższone (ponad wartość dopuszczalną) zawartości Zn.

Wyznaczone strefy o najwyższych zawartościach Zn (ponad 8000 [ppm]) występują na terenach intensywnego górnictwa i hutnictwa, zwłaszcza historycznego, a zatem pokrywają się również ze wspomnianymi wyżej wychodniami (rys. 5). Wynika to z faktu, że w czasach historycznych eksploatację rud Zn-Pb prowadzono, korzystając wyłącznie z odsłoneń powierzchniowych, wykonanych metodą odkrywkową. Tezę o głównie antropogenicznym charakterze najwyższych koncentracji badanych metali ciężkich potwierdza analiza zmienności, przeprowadzona wraz z głębokością. Wykazała ona, że wraz z jej zwiększeniem się (poziom: 0,8–1,0 m), zawartość i powierzchniowy zasięg rozprzestrzenienia Zn, związanego z dolomitami kruszconośnymi, zmniejszają się. Stwierdzenie to nie wyklucza istotnego wpływu wspomnianych wychodni triasu środkowego na proces kształtowania się gleb w tym rejonie i oczywiście na poziom tła geochemicznego Zn w warstwie powierzchniowej, który jest bogatszy niż w rejonach, w których utwory kruszconośne nie występują, zaś miąższość pokrywy utworów czwartorzędowych jest znaczna.

Historyczna i współczesna działalność górniczo-hutnicza

Olkuskie górnictwo, dzięki intensywnemu rozwojowi w drugiej połowie XVI i pierwszej połowie XVII wieku, znalazło się w gronie wyróżniających się w Europie producentów ołowiu, natomiast w produkcji srebra było ośrodkiem średnich rozmiarów.

W okresach upadku działalności górniczej lub po wyeksploatowaniu złóż, następowała zmiana użytkowania gruntu, prowadząca do zatarcia śladów prowadzonego wydobycia, które dziś odnajdujemy w gruntach w formie intensywnych anomalii geochemicznych.

Anomalna strefa o najwyższych zawartościach Zn (powyżej 8000 [ppm]) pokrywa się prawie idealnie ze śladami dawnych odkrywek: „Bolesławskiej”, „Jerzy”, „Dąbrówka”, „Ujków” i „Krażek” oraz Michalskiej hałdy (rys. 6). Podwyższone zawartości Zn, obserwowane na obszarze Olkusza, niewątpliwie są piętnem hutnictwa ołowiu i srebra, podobnie zresztą, jak widoczne podwyższenia w rejonie miasta Sławkowa, będącego w XVII wieku ważnym centrum hutnictwa ołowiu.

Schematyczny kształt i zasięg powierzchniowy współczesnych obszarów górniczych (OG) rejonu olkuskiego tj. „Bolesław” (zlikwidowany w 1997), „Pomorzany” i „Olkusz” (od 1979 połączone w jeden Wydział Robót Górniczych Olkusz-Pomorzany), w których eksploatację złóż prowadzi się metodą głębinową, systemem zabierkowym i komorowo-filarowym z podsadzką płynną, z głębokości około 250 m n.p.m, nie wykazuje związku z obserwowaną anomalią geochemiczną Zn-Pb-Cd.

Strefa o wysokich zawartościach Zn (od 6000 do 8000 [ppm]), zlokalizowana ok. 0,5 km na wschód od ZGH „Bolesław”, wydaje się być związana z niekontrolowanym pyleniem pochodzącym z hałd i osadników poflotacyjnych z tegoż Zakładu (rys. 6).

Warunki klimatyczne i topograficzne

Na rozprzestrzenianie się przemysłowych zanieczyszczeń pyłowych i gazowych oraz na opad pyłu zasadniczy wpływ mają warunki meteorologiczne, zaś największy wpływ wywiera tutaj wiatr.

Analiza rozkładu kierunków wiatrów wskazuje, że przeważającym kierunkiem na analizowanym terenie jest sektor zachodni (linia od SW po NW), z którego pochodzi prawie 45% przypadków wiatrów. Najwięcej przypadków wiatrów notuje się, przy tym, z kierunku zachodniego (ponad 21%). Wtórnie maksymalne częstości wiatrów odnotowuje się z kierunku wschodniego (około 15% przypadków). Badane okolice charakteryzują się dużą ilością okresów ciszy (ponad 17%). Średnia prędkość wiatru waha się od 2,4 m/s – dla kierunku południowego do 3,5 m/s – dla kierunku zachodniego.

Głównymi źródłami zanieczyszczeń przemysłowych rejonu olkuskiego są ościenne zakłady, do których należą: Zespół Elektrowni Jaworzno, Huta Katowice, Elektrownia Siersza i inne. Położenie geograficzne rejonu wzdłuż linii najczęściej wiejących wiatrów z kierunków południowo-zachodniego i zachodniego sprzyja napływowi zanieczyszczeń z tych zakładów oraz z centrum GOP-u.

W samych miastach Olkuszu i Bukownie zaznacza się ponadto wpływ zanieczyszczeń emitowanych przez lokalne zakłady: ZGH „Bolesław”, OFNE „Emalia” S.A., Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej oraz ruch pojazdów samochodowych. W sezonie grzewczym na stan powietrza atmosferycznego, oprócz emisji przemysłowych, wpływają w znacznym stopniu lokalne kotłownie i indywidualne ogrzewnictwo piecowe. Należy też wspomnieć o zlokalizowaniu rozpatrywanego rejonu w kotlinie, co przy występowaniu znacznej ilości ciszy – 17%, dodatkowo sprzyja kumulowaniu się zanieczyszczeń, zwłaszcza w okresie występowania zjawisk inwersji.

Obserwowana na mapie rastrowej rozkładu średnich estymowanych Z^* strefa o wysokich zawartościach Zn rozciąga się na długości około 2,5 km na północny zachód oraz 7 km na północny wschód od ZGH „Bolesław”. Można zatem przyjąć, iż wpływ ZGH „Bolesław” zaznacza się najwyraźniej w kierunku przeważających wiatrów z sektora zachodniego – 43,9. Zdecydowanie mniejsza częstość wiatrów z sektora wschodniego – 27,8 % znajduje swoje odzwierciedlenie w mniejszym zasięgu strefy anomalnych zawartości Zn w kierunku zachodnim. Widoczne na mapie centrum o najwyższych koncentracjach Zn, zlokalizowane między osadnikami poflotacyjnymi ZGH „Bolesław”, a ZG „Olkuś”, spowodowane jest najprawdopodobniej niekontrolowaną emisją z tychże osadników.

Analiza kierunkowych semiwariogramów zawartości Zn, wykonana w 4 kierunkach geograficznych (przy kącie tolerancji 45^0), wykazała, iż kierunek N-S (D3) cechuje się wyraźnie odmiennym przebiegiem, niż kierunki: W-E (D1), NE-SW (D2) i (NW-SE) (D4).

Przestrzenny rozkład zanieczyszczeń wzdłuż kierunków W-E, NE-SW i NW-SE jest równomierny. Największą zmienność zawartości Zn stwierdza się na linii N-S, gdzie strefy poszczególnych zawartości przechodzą gwałtownie jedna w drugą, zaś ich zasięg jest niewielki. Taki rozkład zanieczyszczeń w płaszczyźnie N-S wywołany jest stosunkowo niskim procentowym udziałem wiatrów wiejących z N na S – 5,3 % i z S na N – 5,6 % (rys. 7).

Podsumowanie

Przedstawione wyniki różnych analiz geostatystycznych pogłębiły i usystematyzowały wiedzę o stanie środowiska gruntowego w rejonie oddziaływania górnictwa i hutnictwa rud cynku i ołowiu w okręgu olkuskim. Nowatorskie połączenie metod geostatystycznych i GIS pozwoliło na określenie powierzchniowego rozkładu zawartości Zn i Cd w gruncie i prawidłowości zmienności zawartości Cd i Zn w przypowierzchniowej warstwie gruntu (0,0–0,2 m) na tle wybranych elementów środowiska geograficznego i istniejącej budowy geologicznej.

Rezultaty analizy przestrzennej pozwalają stwierdzić, iż występujące w podłożu dolomity kruszczone, zawierające rozważane metale ciężkie, nie wpływają w istotny sposób na podwyższenie zawartości Cd i Zn w powierzchniowej warstwie gruntu. Wyznaczone podobszary o wysokich koncentracjach Cd i Zn są związane z prowadzoną od kilku wieków działalnością górniczo-hutniczą rud Zn i Pb, a także z narastającą ilością odpadów.

Kształt i powierzchniowy zasięg powierzchni współczesnych obszarów górniczych w rejonie olkuskim nie wykazują bezpośredniego powiązania z anomalią geochemiczną Zn i Cd, określoną na podstawie badań geostatystycznych.

Średnie estymowane Z^* zawartości analizowanych metali w powierzchniowej warstwie gruntów przekraczają wartości dopuszczalne i wahają się dla kadmu, od 0,5–32,0 [ppm] oraz cynku, od 50,0–8000,0 [ppm]. Granice podobszarów o podwyższonych zawartościach Cd i Zn mają zbliżony rozkład przestrzenny, pokrywając się w dużej mierze ze zlokalizowaniem historycznego i współczesnego górnictwa i hutnictwa rud Zn-Pb.

Analiza anizotropii zróżnicowania zmian zawartości Zn wykazała istnienie wyraźnego trendu zmienności dla kierunku północ – południe. Znalazło to swoje odzwierciedlenie w kształcie wydzielonej strefy o podwyższonych zawartościach Zn, w przybliżeniu wykazującej równoleżnikową rozciągłość, co jest wywołane przewagą wiatrów wiejących z sektora zachodnio-wschodniego.

Wykonanie wielokierunkowej analizy przestrzennej zanieczyszczenia gruntów Zn i Cd stwarza optymalne warunki do zrozumienia procesów zachodzących w gruncie oraz określenia wpływu czynników naturalnych i antropogenicznych na koncentrację zawartości metali ciężkich.

Literatura

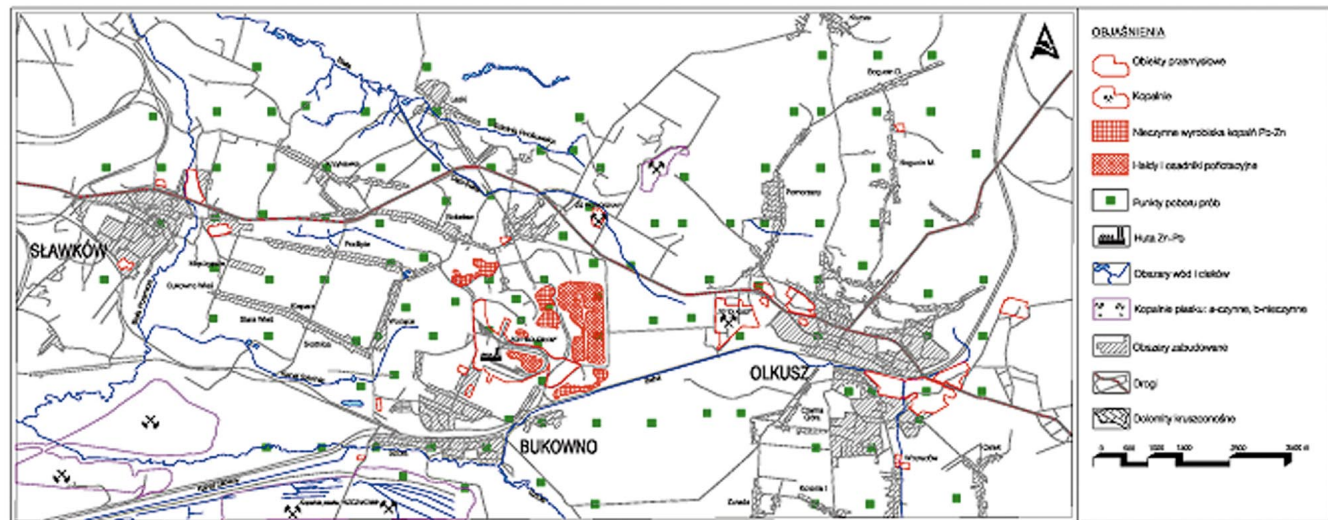
- Kiryk F., Kołodziejczyk R., 1978: Dzieje Olkusza i regionu olkuskiego, PWN, Warszawa Kraków, s.196.
- Lis J., Pasieczna A., 1997: Anomalie geochemiczne Zn-Pb-Cd w glebach na Górnym Śląsku, *Przegląd Geologiczny* nr 2.
- Liszka J., Świć E., 2000: Zakłady Górniczo-Hutnicze „Bolesław” Dzieje-Wydarzenia-Ludzie, Bukowno, s. 460.
- Matheron G., 1962–1963: *Traite de geostatistique appliquee*, Editions Technip, Paris, T.1 (1962), s. 334, T.2 (1963), s. 172.
- Mucha J., 1994: *Metody geostatystyczne w dokumentowaniu złóż*, Wydawnictwo AGH, Kraków, s. 155.
- Mucha J., 2002: *Struktura zmienności zawartości [Zn] i [Pb] w śląsko-krakowskich złóżach rud Zn-Pb*, Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków, s. 146.
- Namysłowska-Wilczyńska B., 1993: *Zmienność złóż rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej w świetle badań geostatystycznych*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, s. 205.
- Namysłowska-Wilczyńska B., Rusak K., 2001: *Charakterystyka przestrzenna stanu zanieczyszczenia środowiska gruntowego rejonu olkuskiego metalami ciężkimi (Zn, Pb i Cd) z wykorzystaniem metod statystyki przestrzennej – poster*, w: Przewodnik LXXII Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego, pt.: „Geologia, ochrona środowiska i zagospodarowanie pogórnictwa Małopolski”, Kraków.
- Namysłowska-Wilczyńska B., Rusak K., 2003: *Geostatistical description of heavy metal content variation in soil of Olkusz region against a background of geological structure, by GIS method*, *Mathematische Geologie*, vol. 7, Dresden.

- Polska Norma Budowlana (PN-86/B-02480), Grunty Budowlane, Określenia, symbole i podział gruntów.
- Rusak K., 2002: Analiza przestrzenna wpływu czynników naturalnych i antropogenicznych na koncentracje metali ciężkich w glebach rejonu olkuskiego, IV Forum Inżynierii Ekologicznej pt. Ekotechnologie XXI wieku, Wydawnictwo Naukowe Gabriel Borowski, Nałęczów, ss. 157-172.
- Rusak K., 2003: Zanieczyszczenie środowiska gruntowego metalami ciężkimi na przykładzie wybranych rejonów działalności górniczo-hutniczej w południowej części Polski. Rozprawa doktorska. *Report* ser. PRE nr 2/2003, Wrocław, s. 191.
- Śliwiński S., 1978: Dolomity kruszconośne, *Pr. Inst. Geol.*, t. 83, Warszawa.
- Wackernagel H., 1998: Multivariate Geostatistics: an Introduction with Applications, 2nd edition, Springer, Berlin, p.291.

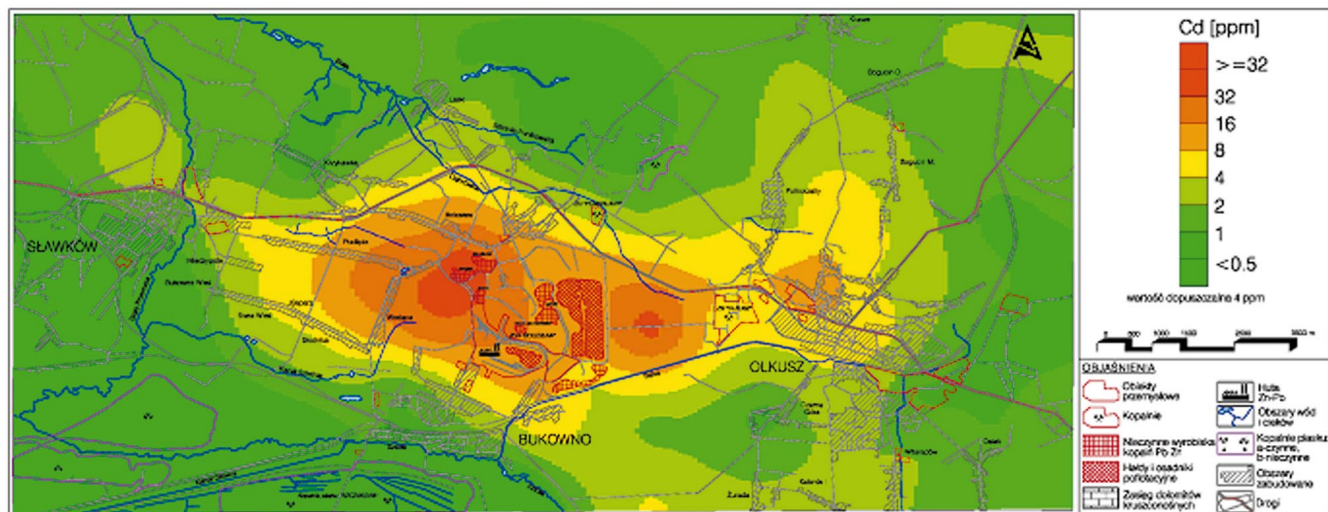
Summary

The distribution and concentration of metals in soils depends on many natural and anthropogenic factors such as: the percentages of clayey, dusty and sandy fractions, the soil's pH, the lithology of surface formations, the wind directions, the kind of flora, the distance from pollution sources and the type of building and land development. The subject of the investigations was the Olkusz region where Zn and Pb ore deposits occur and are mined. The soils in the area show one of the greatest Cd-Pb-Zn anomalies in Poland, associated with ore-bearing dolomite outcrops and the historical and contemporary mining, processing and smelting of Zn and Pb ores. As part of this research an analysis of the factors affecting the distribution of heavy metals in the Olkusz industrialized area was carried out using GIS and geostatistics. The combination of these tools allowed more accurate estimation of soil Cd and Zn content averages Z^ and the computation of an estimation accuracy measure, i.e. standard deviation σ_k for averages Z^* . First numerical surface maps were constructed using GIS spatial analysis and the MicroStation GeoGraphics software. Topographical and geological maps at a scale of 1:50 000 were vectorized to create various thematic overlays such as: land development, building development, transport, waters and geologic structure elements. The object-oriented structure of the map elements was taken into account in the vectorization. Then geostatistical studies based on the results of geochemical analyses of soil samples taken in a regular (1 km×1 km) grid from a depth of 0.0–0.2 m within a study area of 171 km² in the years: 2000 (50 samples) and 2001 (70 samples) were carried out. The studied area was covered by a grid of 250 × 100 m elementary blocks. The total number of block centres for which estimated averages Z^* were calculated was 7696. Prior to the geostatistical analysis basic statistical parameters were calculated. Then the empirical isotropic semi-variograms were computed. The linear model combined with the nugget effect, was used to approximate the heavy metals (Zn and Cd) content semivariograms. In the last stage of the structural analysis, the cross-validation procedure was applied. For the studied sampling subpopulation (N = 120) the values of the standardized estimation error – a measure of model fit show that the adopted mathematical model represents well the empirical Cd and Zn content semivariograms. Then ordinary (block) kriging was used to estimate the averages Z^* of the Cd and Zn. The analyses have shown that the presence of the ore-bearing dolomites in the substratum has no significant effect on the spatial distribution of estimated Cd and Zn content averages Z^* . The existing high Cd and Zn concentration centre is associated with the activity of the Boleslaw Mining-Smelting Works operating in this area for several decades and with the smelting wastes accumulated in the nearby dumps and sedimentation tanks. The geostatistical studies have corroborated the geochemical Zn and Cd anomaly which is unrelated to the shape or surface extent of the current mining areas in the Olkusz region, where mining is carried on underground. The elevated Cd and Zn content subareas show similar spatial distributions of the two metals and coincide to a large extent with the location of the historical and contemporary Zn-Pb ore mining.*

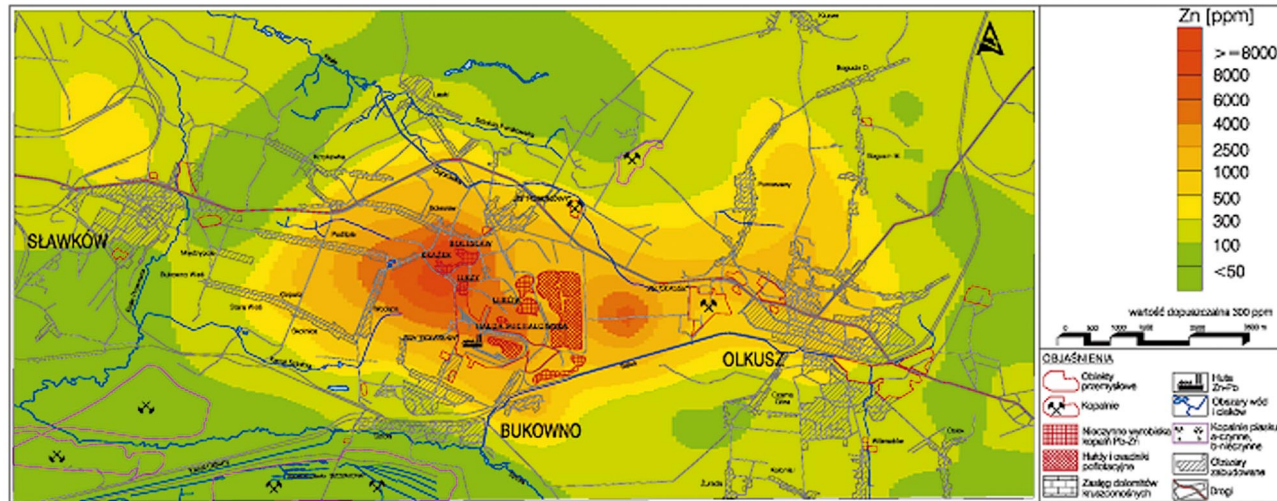
dr hab. Barbara Namysłowska-Wilczyńska, prof. PWr.
b.namyslowska-wilczynska@pwr.wroc.pl
dr Katarzyna Rusak
rusak@pwsz.glogow.pl



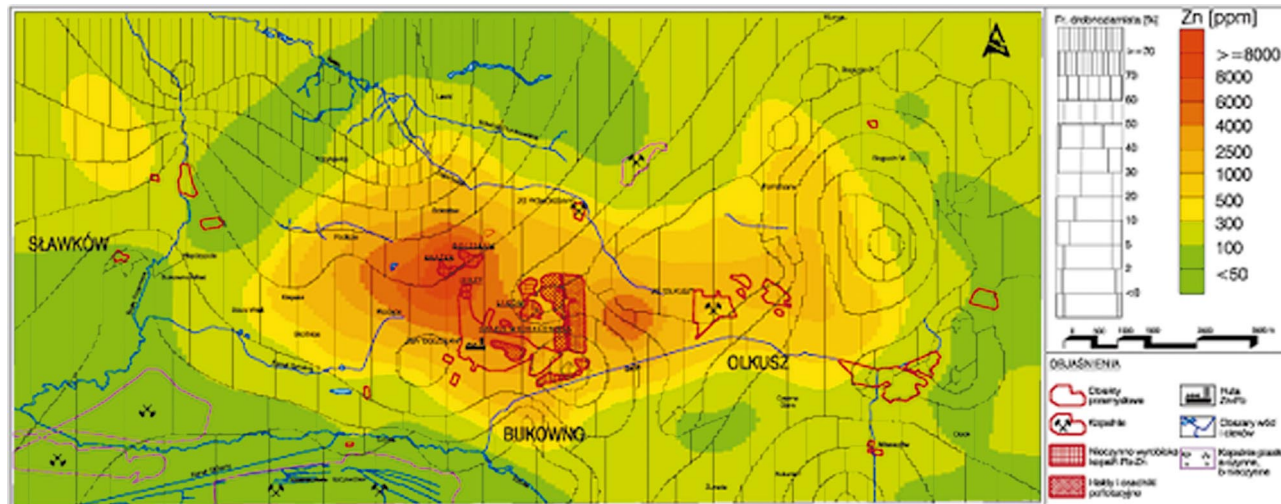
Rys. 1. Mapa rozmieszczenia punktów poboru prób gruntu w rejonie Sławkowa, Bukowna i Olkusza (lata 2000–2001)



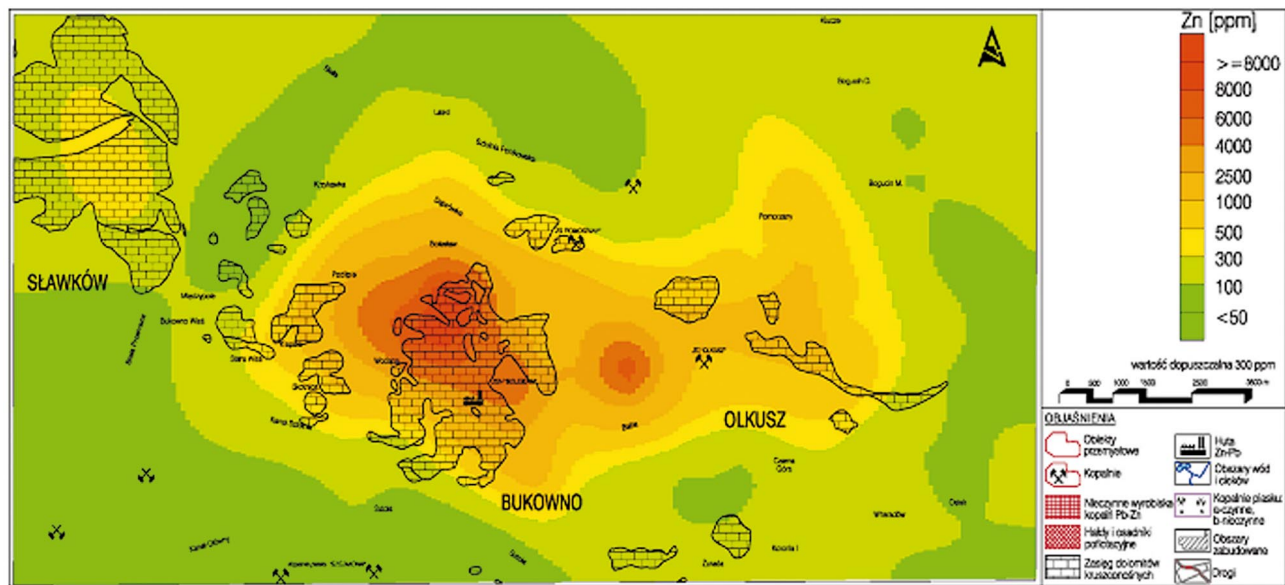
Rys. 2. Mapa rastrowa średnich estymowanych Z^* zawartości Cd w warstwie gruntu z poziomu 0,0–0,2 m, na obszarze Sławkowa, Bukowna i Olkusza (lata 2000–2001) – kriging zwyczajny (blokowy)



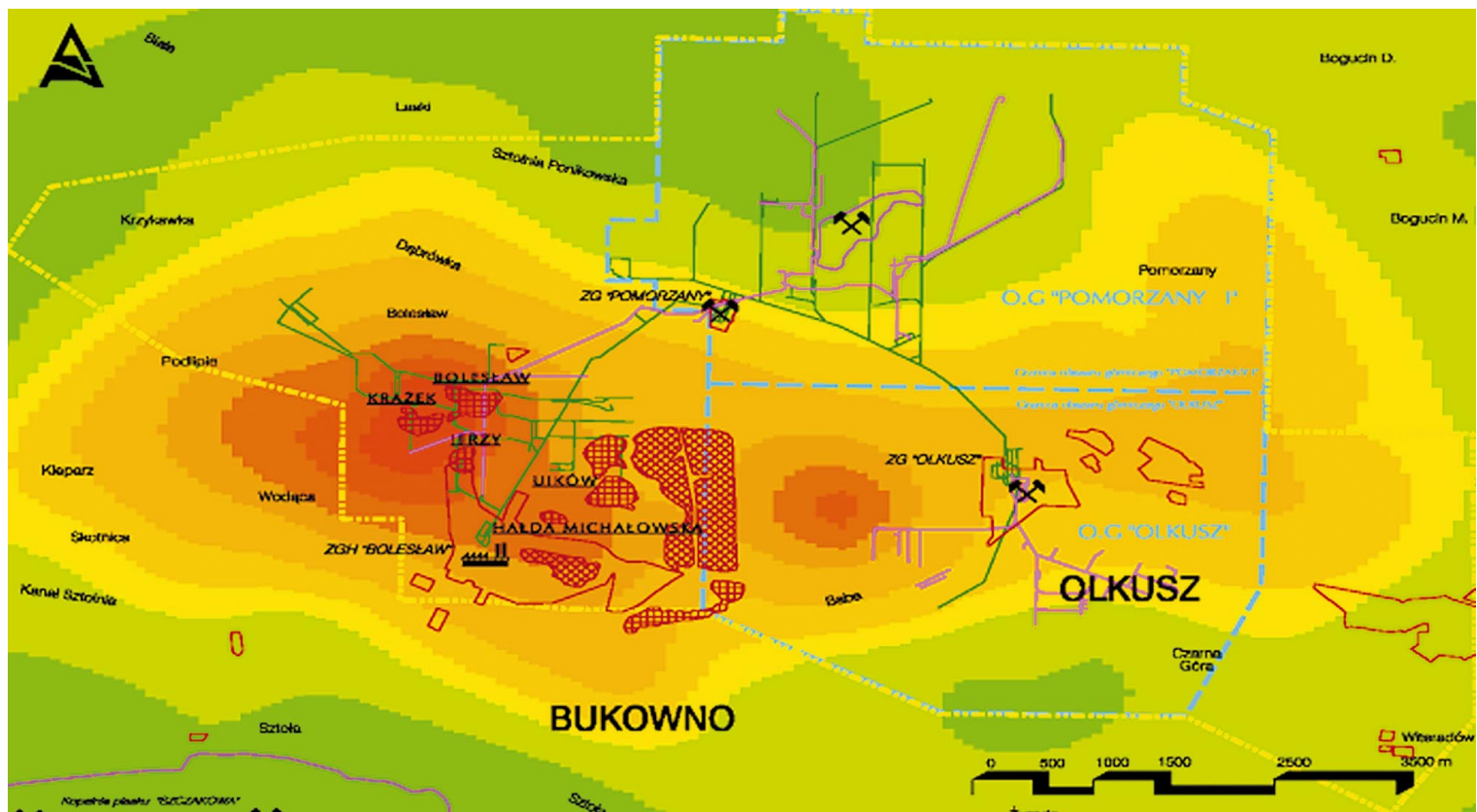
Rys. 3. Mapa rastrowa średnich estymowanych Z^* zawartości Zn w warstwie gruntu z poziomu 0,0–0,2 m, na obszarze Sławkowa, Bukowna i Olkusza (lata 2000–2001) – kriging zwyczajny (blokowy)



Rys. 4. Mapa rastrowa średnich estymowanych Z^* zawartości Zn i frakcji drobnoziarnistej w warstwie gruntu z poziomu 0,0–0,2 m, na obszarze Sławkowa, Bukowna i Olkusza (lata 2000–2001) – kriging zwyczajny (blokowy)



Rys. 5. Mapa rastrowa średnich estymowanych Z^* zawartości Zn w warstwie gruntu z poziomu 0,0 – 0,2 m, na obszarze Sławkowa, Bukowna i Olkusza (lata 2000–2001) z zaznaczonymi wychodniami dolomitów kruszonośnych – kriging zwyczajny (blokowy)



Rys. 6. Mapa rastrowa średnich estymowanych Z^* zawartości Zn w warstwie gruntu z poziomu 0,0 – 0,2 m, na obszarze Sławkowa, Bukowna i Olkusza (lata 2000 – 2001), z zaznaczonymi śladami historycznego i współczesnego górnictwa – kriging zwyczajny (blokowy)