

Badania zawartości metali ciężkich w glebach gminy Oświęcim przy użyciu GIS

Tomasz Bartuś

WSTĘP

Ochrona zasobów gleb stanowi obecnie jeden z najważniejszych problemów w skali światowej. Postępująca degradacja oraz kurczenie się pokrywy glebowej obserwowane w ostatnich latach są przede wszystkim efektem nadmiernej industrializacji i urbanizacji. Przykładowo w latach 70-tych średni wskaźnik ubytku gleb w Polsce i w Niemczech wynosił odpowiednio: 70 i 200 ha/dobę (St. Mularz, 1994).

Celem niniejszego opracowania było określenie stanu zanieczyszczenia gleb miasta i gminy Oświęcim metalami ciężkimi, znalezienie czynników mogących mieć wpływ na podwyższone ich zawartości oraz wskazanie miejsc podatnych na kumulowanie zanieczyszczeń.

Oświęcim leży w Kotlinie Oświęcimskiej, w miejscu, w którym rzeka Soła wpada do Wisły. Gmina sąsiaduje z trzema ośrodkami przemysłowymi: od północy z Górnośląskim Okręgiem Przemysłowym, od wschodu z aglomeracją krakowską i od południowo-zachodu z regionem Podbeskidzia. Miasto Oświęcim stanowiące centralną część gminy jest drugim pod względem wielkości ośrodkiem województwa bielskiego. Zajmuje obszar 30.3 km² i liczy ok. 50 tys. mieszkańców.

Największym zakładem przemysłowym miasta jest Firma Chemiczna „Dwory” SA, (dawniej Zakłady Chemiczne „Oświęcim” SA) będąca jednym z najważniejszych ośrodków tej branży w Polsce południowej. Na obrzeżach miasta rozwinęło się w niewielkich arealach rolnictwo (przeciętnie gospodarstwo liczy 2.5 ha.). Obszar objęty badaniami zawierał się w całości w granicach gminy Oświęcim (106,13 km²). Przy czym punkty opróbowania nie obejmowały obszarów zabudowanych, przemysłowych, rzek i stawów.

1. Metodyka

1.1. Prace terenowe

Dane geochemiczne, które były wykorzystywane do zbudowania bazy danych GIS dla obszaru gminy Oświęcim pochodziły z badań Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej w Gliwicach, wykonanych na zlecenie Urzędu Gminy Oświęcim i Urzędu Miasta Oświęcim w latach 1995 i 1996.

Badania, a także wstępna analiza i interpretacja wyników zostały przeprowadzone zgodnie z zaleceniami szczegółowej metodyki Instytutu Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa (IUNiG) w Puławach. Badaniami objęto powierzchnię użytków rolnych w ilości ok. 2850 ha. o kategoriach agronomicznych gleb od lekkich (II) do ciężkich (IV). Zgodnie z zaleceniami zleciodawców w okresie letnim pobierano próbki glebowe z warstwy ornej (do głębokości 20 cm.) oraz z okresu zbiorów płodów rolnych (w większości z plonu głównego) próbki materiału roślinnego z tych samych miejsc, z których pochodziły próbki glebowe. Łącznie w okresie dwuletnim pobrane zostały do badań 92 próbki. Co daje gęstość opróbowania około 1 punkt na 1 km². Na próbach tych Okręgowa Stacja Chemiczno-Rolnicza w Gliwicach wykonała następujące badania:

1. skład mechaniczny,
2. odczyn pH,
3. zasobność gleby w fosfor, potas, magnez,
4. zawartość cynku, ołowiu, kadmu i niklu,

W opracowaniu uwzględniono także wyniki badań gleb z lat 1992-95 dotowane przez Ministerstwo Rolnictwa (20 prób zagęszczających).

1.2. Prace kameralne

Realizację głównych zadań projektu przeprowadzono w następujących etapach:

1. Utworzenie wielonakładkowej, przestrzennej bazy danych w oparciu o digitalizację odpowiednich map i interpolację obrazów z danych źródłowych.
2. Przeprowadzenie różnorodnych analiz rozkładu zanieczyszczeń gleb gminy metalami w zależności od wyodrębnionych czynników środowiskowych.
3. Badanie zależności korelacyjnych pomiędzy stężeniami i współwystępowaniem niektórych metali, a wybranymi parametrami geochemicznymi nie będące przedmiotem niniejszego opracowania.
4. Próba przeprowadzenia prostych analiz teledetekcyjnych badanego obszaru przy zastosowaniu wielospektralnego zdjęcia satelitarnego Landsat TM.

Wyniki analiz chemicznych wprowadzono do arkusza kalkulacyjnego *EXCELL*

Do utworzenia bazy danych w oparciu o digitalizację manualną map posłużył program *TOSCA 2.12* będący podobnie jak program *IDRISI* dziełem zespołu z Uniwersytetu Clarka z Worcester, Massachusetts, USA

Omówione w dalszym ciągu analizy zostały przeprowadzone przy użyciu technik GIS. Posłużono się pakietem IDRISI będącym jednym z najczęściej wykorzystywanych programów GIS dla komputerów klasy PC. Aktualnie w sprzedaży jest wersja *IDRISI for Windows 2.0*. Dystrybucją i popularyzowaniem pakietu zajmuje się Centrum IDRISI, funkcjonujące w ramach Zakładu Systemów Informacji Geograficznej Instytutu Geografii Uniwersytetu Jagiellońskiego. Ponadto, do utworzenia map izolinowych posłużył program *SURFER* firmy Golden Software.

1.3. Przygotowanie Cyfrowej Bazy Danych GIS

Cyfrowe Bazy Danych GIS budowane są w oparciu o jednowarstwowe (tematyczne) mapy badanego obszaru (ang. *layers*), relacyjne bazy danych tabelarycznych, wykresy, dane teledetekcyjne, fotogrametryczne i inne np. zdjęcia fotograficzne, opisy itp. Mając na uwadze złożoność zjawisk przyrodniczych mogących mieć wpływ na rozkład zawartości metali ciężkich w glebach obszarów rolniczo-przemysłowych zdecydowano się na możliwie największe zróżnicowanie tematyczne bazy danych. Za podstawę opracowania przyjęto następujące materiały kartograficzne: mapy topograficzne Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii (GUGiK) w skali 1:25000 z lat 1978 i 1979, arkusze Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1:50000 oraz arkusz Bielsko-Biała w skali 1:200000, miejscowy plan ogólnego zagospodarowania przestrzennego w skali 1:10000. Do systemu wprowadzono także punktowe dane ilościowe z badań dokonanych na zlecenie Urzędu Miasta i Urzędu Gminy Oświęcim. Ze względu na znaczne zróżnicowanie pokrycia terenu, a także dość skąpe dane geochemiczne zdecydowano się na określenie wielkości pojedynczego piksela na 10 m.

W skład Cyfrowej Bazy Danych GIS wchodziły:

I. Zdigitalizowane manualnie:

1. Cyfrowy model terenu (CMT),
2. Mapa geologiczna,
3. Mapa zagospodarowania przestrzennego Gminy Oświęcim,
4. Mapa sieci transportowej dróg i kolei,
5. Mapy zawartości wybranych metali ciężkich w glebach Gminy Oświęcim,
6. Mapa odczynu pH gleb Gminy Oświęcim,
7. Mapa większych rzek i zbiorników wodnych,
8. Mapa kanałów i drobnych potoków,
9. Mapa punktów poboru próbek,

II. Inne materiały:

10. Dane teledetekcyjne,
11. Cyfrowa baza danych geochemicznych,

1.3.1. Cyfrowy Model Terenu (CMT)

Mając na uwadze niewielkie zróżnicowanie morfologii obszaru gminy, a także złożoność i czasochłonność procesu budowania dobrego CMT zdecydowano się na jego uproszczenie. Pierwszym etapem tworzenia CMT była digitalizacja punktów wysokościowych o zamieszczonych na mapie wartościach wysokości nad poziomem morza. W celu podkreślenia charakterystycznych krawędzi morfologicznych, oraz zmniejszenia błędu powstającego przy interpolacji danych, zdigitalizowano metodą punktową niektóre poziomice (te, których przebieg nie budził wątpliwości). W ten sposób powstał wektorowy plik z ok. 2600 punktami. Baza danych została przeniesiona do programu *SURFER*, w którym za pomocą metody *krigingu zwykłego* utworzono mapę CMT. Na koniec zaimportowano dane do programu *IDRISI*. W wyniku obróbki danych CMT w programie *IDRISI* wygenerowano mapy nachyleń i ekspozycji stoków.

1.3.2. Mapa geologiczna

Przyjęto standartowe, zgodne ze Szczegółową Mapą Geologiczną Polski nazwy wydzieleń geologicznych i symboli. Wektorowa mapa została poddana procesowi dostosowania jej współrzędnych do Państwowego Układu Współrzędnych 1965. Całkowity średni błąd kwadratowy (RMS) dowiązywania wyniósł 119m. Tak duży błąd był wynikiem nałożenia się zniekształceń odwzorowań charakterystycznych dla map w różnej skali i różnym układzie współrzędnych. Miało tu także wpływ nałożenie się błędu wynikającego z przejścia ze skali 1:50 000 i 1:200 000 (ark. Bielsko-Biała) na układ w skali 1:25 000.

1.3.3. Mapa Zagospodarowania Przestrzennego

Całkowity błąd RMS dowiązywania współrzędnych do układu 1965 wyniósł 55m. W tym przypadku błąd był wynikiem zniekształceń powstałych przy kopiowaniu mapy.

1.3.4. Mapy zanieczyszczeń gleb metalami ciężkimi i odczynu pH gleb

Mapy zanieczyszczeń gleb metalami ciężkimi i odczynu pH powstały w oparciu o dane z badań Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej w Gliwicach.

Poszczególne mapy izolinowe przygotowano w programie *SURFER* wykorzystując podobnie jak w CMT metodę *krigingu zwykłego*. Przygotowane w ten sposób pliki przeniesiono do programu *IDRISI*. W celu uzyskania

modeli skażeń w dowiązaniu do obowiązujących norm (IUNiG Puławy, 1995) mapy poddano reklasyfikacji. W związku ze stwierdzoną analitycznie przewagą gleb ciężkich (bg i cg) na omawianym terenie dla uproszczenia przyjęto w reklasyfikacjach normy skażeń gleb ciężkich. Należy zastrzec, że w związku z tym stopień zanieczyszczenia gleb lekkich będzie relatywnie wyższy.

1.3.5. Inne mapy wejściowe

Mapy większych rzek i zbiorników wodnych, kanałów i drobnych potoków, sieci transportowej dróg i kolei oraz punktów poboru próbek zdigitalizowano z podkładów 1:25000 a następnie zrastrowano. Posłużyły one analizie zmian stężeń metali ciężkich w glebach w funkcji odległości od opisywanych przez nie obiektów.

1.3.6. Dane teledetekcyjne

Materiałem wejściowym do przeprowadzonych prostych analiz teledetekcyjnych była scena krakowska satelity Landsat TM (w siedmiu pasmach). Zdjęcia pochodziły z kwietnia 1994 roku. Głównym celem zastosowania tych technik była lepsza wizualizacja obszaru gminy oraz zbudowanie mapy zagospodarowania przestrzennego metodą klasyfikacji nadzorowanej. Opisywane techniki nie są przedmiotem niniejszego opracowania.

1.4. Wskaźnik podwyższonej zawartości metali ciężkich w glebach

Do kompleksowej oceny stanu skażenia środowiska glebowego gminy Oświęcim posłużył syntetyczny współczynnik degradacji gleb metalami ciężkimi (Rys. 2.1) (K. Foryciarz 1996). Do utworzenia obrazu wartości współczynnika zastosowano procedurę algebry map. W celu uproszczenia analizy przyjęto model zakładający, że całość gminy Oświęcim położona jest na glebach ciężkich. Za graniczne wartości zanieczyszczenia gleb ciężkich przyjęto:

Cd: 3 ppm.
Pb: 50 ppm.
Zn: 200 ppm.

Syntetyczny współczynnik degradacji gleb metalami ciężkimi posiada właściwość zaniżania wskaźnika zanieczyszczenia w przypadku gdy dana próbka wykazuje podwyższoną zawartość tylko jednego polutanta i podwyższania go w przypadku podwyższonych zawartości kilku metali. Oblicza się go ze wzoru (1.1) (K. Foryciarz 1996).

$$S = \sqrt{\left(\frac{Zn}{200}\right)^2 + \left(\frac{Pb}{50}\right)^2 + \left(\frac{Cd}{3}\right)^2} \quad (1.1)$$

Zn, Pb i Cd oznaczają stężenia metali w przypowierzchniowych warstwach gleb wyrażone w ppm, natomiast obecne w mianownikach liczby określają przyjęte graniczne wartości zanieczyszczenia gleb ciężkich. Wartości współczynnika mniejsze od 2 charakteryzują obszary o niewielkich zawartościach metali ciężkich w glebach, natomiast obszary o współczynniku wyższym od 5 wykazują znaczne zanieczyszczenie i powinny być objęte stałym monitorowaniem.

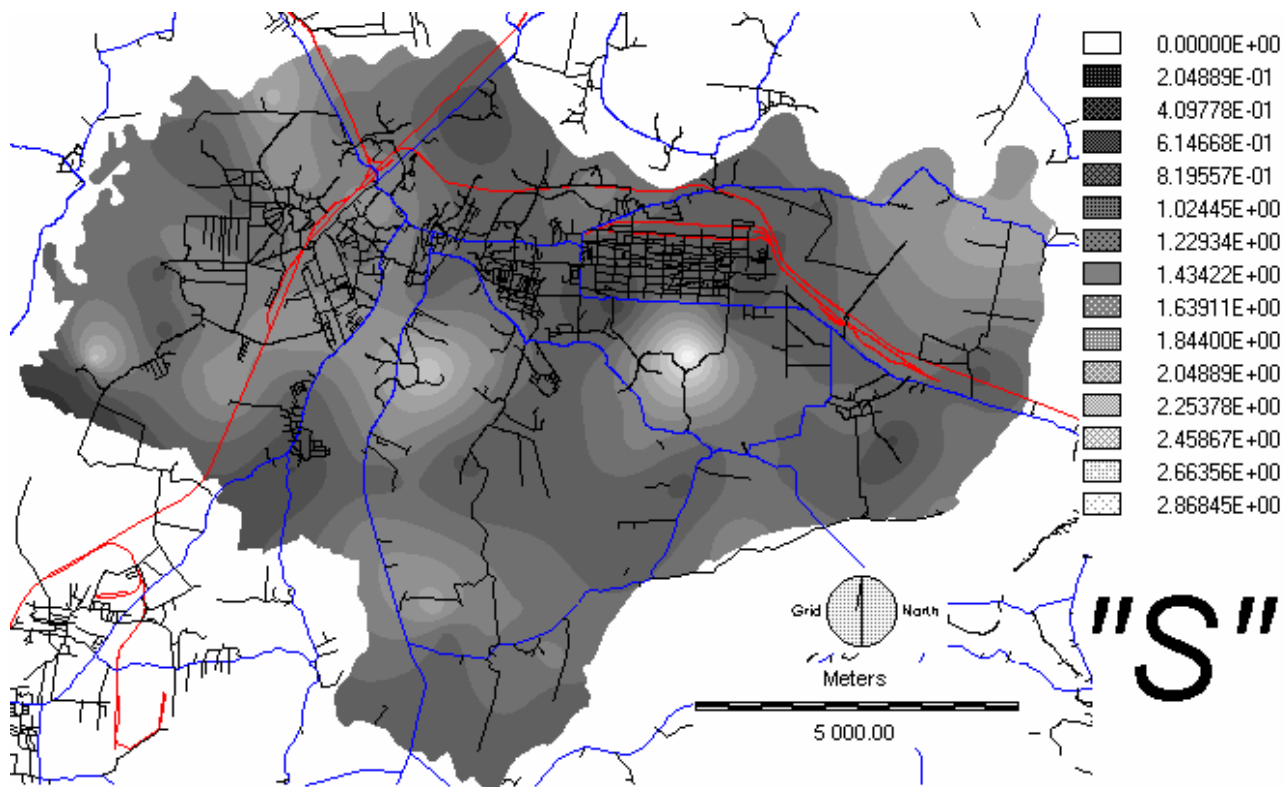
2. Wyniki badań

Oznaczenia stężeń metali ciężkich w glebach gminy uwzględnia zarówno naturalne ich zawartości pochodzące ze skał macierzystych i procesów glebotwórczych jak i zanieczyszczenie antropogeniczne. Biorąc pod uwagę ocenę stopnia zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi (IUNiG) stwierdzono niewielkie zanieczyszczenie badanego obszaru. Żadna z badanych prób nie wykazywała stopnia zanieczyszczenia II klasy. Stwierdzono, że zanieczyszczenie obszaru gminy ma charakter punktowy. Wiąże się to zapewne z niewielkim arealem przeciętnego gospodarstwa rolnego i indywidualnym sposobem nawożenia.

Potwierdziła się teza, że na obszarach antropopresji wzrost stężenia metali jednego rodzaju idzie w parze z ogólnym zanieczyszczeniem środowiska glebowego i podwyższonymi wartościami występień innych metali. Wszystkie korelacje były dodatnie. Najlepiej skorelowane ze sobą były:

Pb-Ni: wsp. korel. +0,60
Zn-Cd: wsp. korel. +0,546
Zn-Ni: wsp. korel. +0,534

Nie potwierdziła się natomiast ogólnie przyjmowana cecha środowisk glebowych mówiąca o uruchamianiu się metali i ich ługowaniu z przypowierzchniowej warstwy przy wzroście zakwaszenia gleby.



Rys. 2.1 Mapa syntetycznego współczynnika degradacji gleb metalami ciężkimi.

2.1. Analiza rozkładu zanieczyszczeń w zależności od czynników środowiskowych

Mając na uwadze posiadane dane, zdefiniowano główne czynniki środowiskowe mogące mieć wpływ na kumulację metali ciężkich w glebach. Były nimi:

- budowa geologiczna,
- ukształtowanie terenu (ekspozycja i nachylenie),
- odległość od lasów,
- odległość od obszarów przemysłowych,
- odległość od obszarów zabudowanych,
- odległość od głównych arterii komunikacyjnych,
- odległość od rzek,
- rodzaj pokrycia roślinnego,

Czynniki te zostały przedstawione w postaci map tematycznych i stanowiły materiał wejściowy do dalszych analiz.

2.2. Badania rozkładu zanieczyszczeń w kolejnych warstwach tematycznych

Zasadniczą część analizy stanowiła ekstrakcja dwóch parametrów statystycznych: średniej i odchylenia standardowego z map stężeń poszczególnych metali na obszarach każdego rodzaju wydzielenia map tematycznych.

Do dalszego wnioskowania przyjęto istotne założenie mówiące, że związki te mają charakter przyczynowo-skutkowy.

Na obszarze gminy zostało wyróżnionych osiem wydzieleni geologicznych zgodnych z wydzieleniami Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski. W związku z małym rozprzestrzenieniem większości wydzieleni za reprezentatywne przyjęto wyniki dla kategorii:

- „2” - osady rzeczne holocenu,
- „5” - lessy, gliny lessowe,
- „6” - mady, piaski, żwiry tarasów akumulacyjnych zlodowacenia Wisły,

Otrzymane wyniki wskazują na nieznacznie podwyższone zawartości metali ciężkich w glebach terenów budowanych przez osady rzeczne holocenu oraz tarasów akumulacyjnych zlodowacenia Wisły reprezentowane przez mady, piaski, żwiry. Oba wymienione wydzielenia reprezentują podobny typ osadów aluwialnych. Nieco wyższe zawartości metali ciężkich w glebach osadów rzecznych holocenu może być wynikiem ich antropogenicznego zanieczyszczenia. Nieco niższe zawartości metali wykazują gleby utworów lessowych. Jeżeli chodzi o statystyczne

znaczenie wyników badań to najistotniejsze są dane otrzymane dla wydzielenia „2” - (51 prób) i kolejno dla wydzielenia „6” - (28 prób) i „5” - (13 prób).

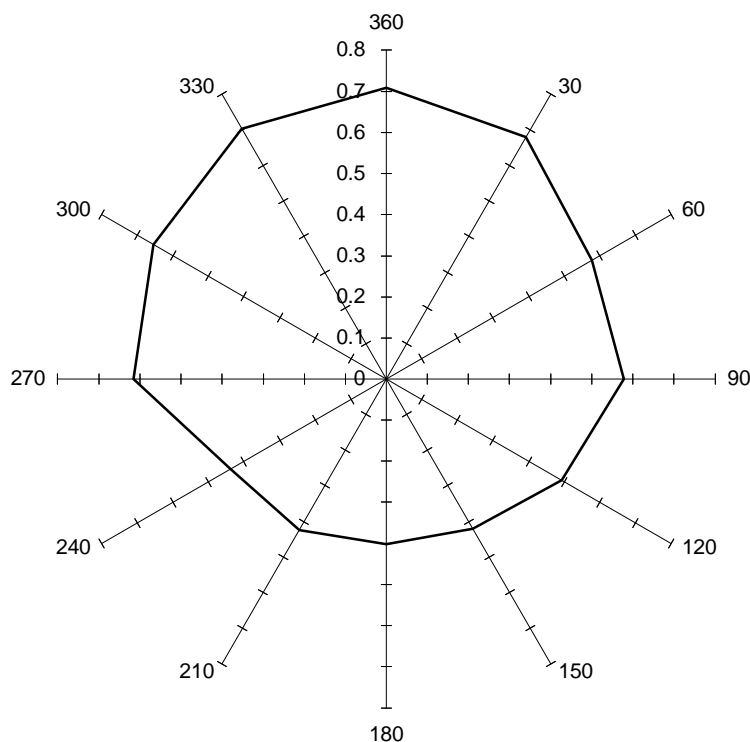
Wyniki przeprowadzonej analizy w pełni potwierdzają spotykane w literaturze dane mówiące o powinowactwie metali ciężkich z frakcją ilastą i substancją organiczną np. węgla oraz stopniowym spadkiem zawartości w kierunku utworów węglanowych i piaszczystych.

Badania wpływu rodzaju pokrycia roślinnego na kumulację metali w glebach nie dały jednoznacznych wyników. W związku z podejrzanym wpływem zwartej roślinności wysokiej na przechwytywanie zanieczyszczeń atmosferycznych (głównie pyłów) przeprowadzono analizę zmian stężeń metali ciężkich w glebach w funkcji odległości od lasów.

Analiza wykazała, że lasy są pewnego rodzaju buforami dla przemieszczających się zanieczyszczeń atmosferycznych. Utrzymuje się wyraźna tendencja spadku zawartości metali w glebach wraz ze wzrostem odległości od kompleksów leśnych. Dzieje się tak z powodu silnych turbulencji nad obszarami lasów (P. Wężyk, 1998). Metale ciężkie najprawdopodobniej są wychwytywane przez części zielone drzew, a po ich obumarciu dostają się do gleby.

Interesujące wyniki uzyskano badając zależności zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi w funkcji ekspozycji stoków. Analizę przeprowadzono z wykorzystaniem syntetycznego wskaźnika degradacji gleb.

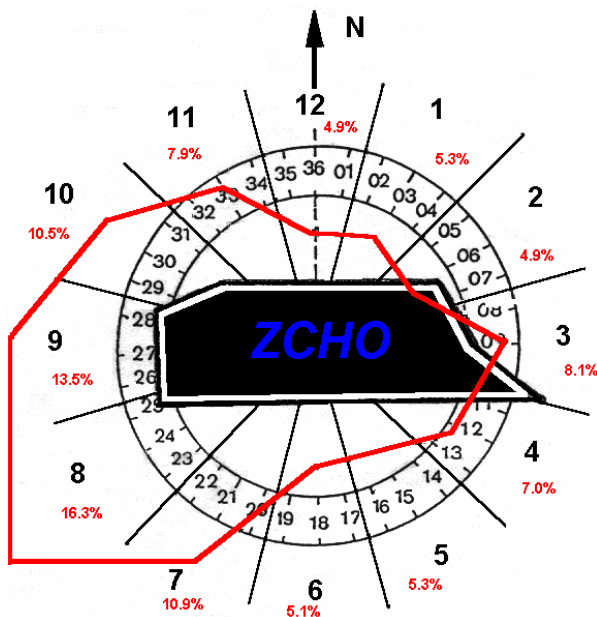
Wyniki tej analizy obarczone są dużym błędem wynikającym z małego zróżnicowania nachylenia stoków. Widoczną na wykresie prawidłowość nieznacznie wyższych średnich wartości syntetycznego wskaźnika degradacji gleb na stokach północnych i północno-zachodnich zdaje się tłumaczyć bliska obecność aglomeracji Górnego Śląska wraz z jego emiterami atmosferycznymi. Stosunkowo niższe wartości obserwowane są na stokach południowych podatnych na wiatry wiejące znan Beskidu Małego, Śląskiego i Żywieckiego.



Rys. 2.2 Wykres wartości średniej syntetycznego wskaźnika degradacji gleb przypadającej na kolejne przedziały ekspozycji terenu gminy Oświęcim.

2.3. Modelowanie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w zależności od kierunków wiatrów

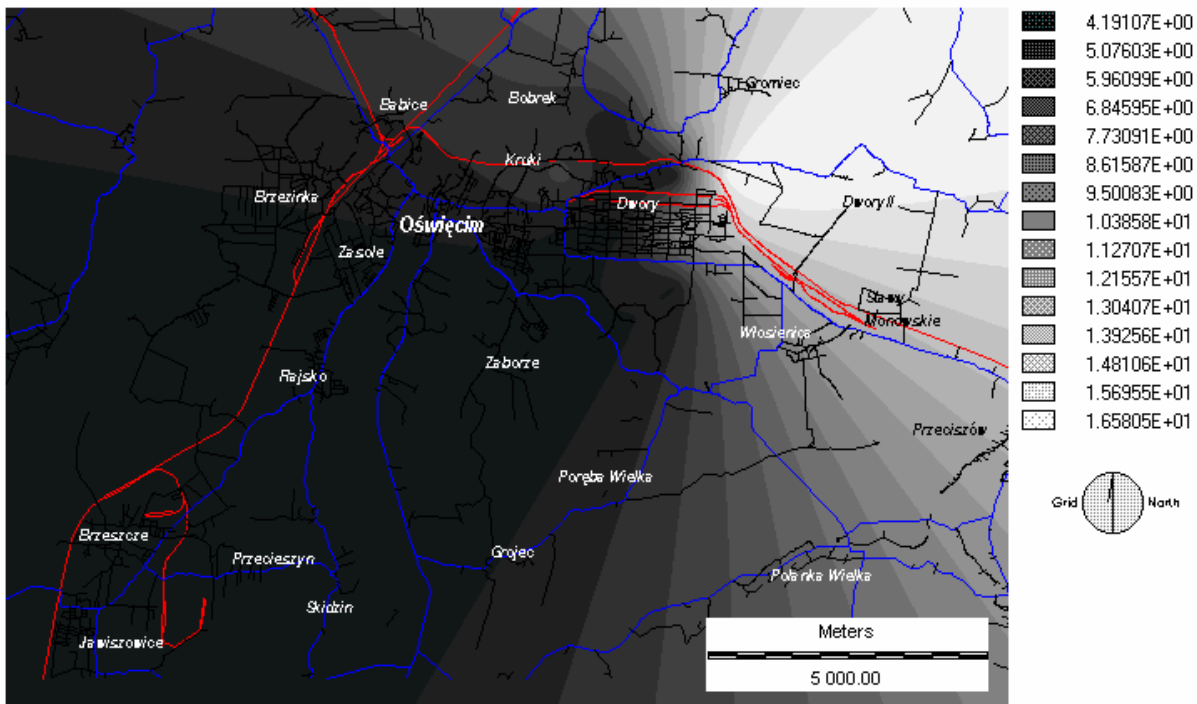
Większość zjawisk występujących w przyrodzie ma charakter anizotropowy. Na zmianę pewnej badanej cechy mają wpływ inne zjawiska, także zmieniające się w czasie i przestrzeni. Typowym przykładem tego typu funkcji jest zmiana zanieczyszczeń atmosfery w zależności od kierunków i siły wiatrów. Poniżej przedstawiona została próba wymodelowania rozkładu zanieczyszczenia gleb gminy uwzględniająca kierunki i częstotliwości wiatrów. Należy zaznaczyć, że dane dotyczące częstotliwości wystąpień wiatrów wykorzystywane w tym opracowaniu pochodzą z terenu gminy Oświęcim z wysokości $h=24\text{m}$. i na innych wysokościach rozkłady mogą mieć inny charakter.



Rys. 2.3 Róża wiatrów dla Oświęcimia.

Pierwszym etapem próby modelowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w atmosferze w zależności od kierunków wiatrów było utworzenie mapy określającej anizotropię tego zjawiska. Róża kierunków została podzielona na 12 części (przedziały o interwale 30° rozpoczynały się od azymutu 15°), którym przypisano wartości proporcjonalne do „gęstości wiatrów” (procentowy udział wiatrów wiejących z danego kierunku) (Rys.2.3). Tak spreparowaną różę wiatrów zdigitalizowano i interpolowano. Powstała w ten sposób „powierzchnia siły wiatrów” (ang. *force surface image*). Należy ją sobie wyobrazić jako pofalowaną i nachyloną pod pewnym kątem w kierunku, z którego wiatry wieją rzadziej (Rys.2.4).

Następnym etapem było zreklassyfikowanie mapy zagospodarowania przestrzennego gminy w celu wyodrębnienia binarnej mapy źródeł zanieczyszczeń. Biorąc pod uwagę fakt, że niewątpliwie największym emiterem w obszarze gminy jest Firma Chemiczna „Dwory” S.A.(dawniej ZCHO), zdecydowano się przyjąć za środek róży wiatrów rejon kominów siłowni i karbidowni tego zakładu.



Rys.2.4 „Powierzchnia siły wiatrów” (ang. *force surface image*) z nałożoną warstwą sieci komunikacyjnej.

Do obliczeń modelu wykorzystywano w dalszej części moduł DISTANCE OPERATORS, [cost], cost push, gdzie za *source image* przyjęto binarną mapę źródeł zanieczyszczeń, od których były liczone odległości, a za „mapę oporów przeciw wiatrom” (ang. *friction surface image*) mapę będącą odwrotnością „powierzchni siły wiatrów” (1/force surface image) (rys. 2.4). Obraz taki można zbudować w module OVERLAY. Mapa końcowa (Rys. 2.5) przedstawia strefy odległości (kodowane cyframi 1-4) od źródeł zanieczyszczeń z uwzględnieniem anizotropii wywołanej przeważającymi kierunkami wiatrów (z SW). Ma ona dla głównego źródła zanieczyszczeń postać „pawiego oka” wydłużonego na NE-E. Inne potencjalne źródła zanieczyszczeń położone na W i S od Firmy „Dwory” nie były modelowane odrębnie lecz podczas analizy z centrum w rejonie kominów w Dworach. Brak wydłużenia stref liczonych od nich jest efektem niewielkiej zmienności „powierzchni oporów przeciw wiatrom” na ich obszarach.

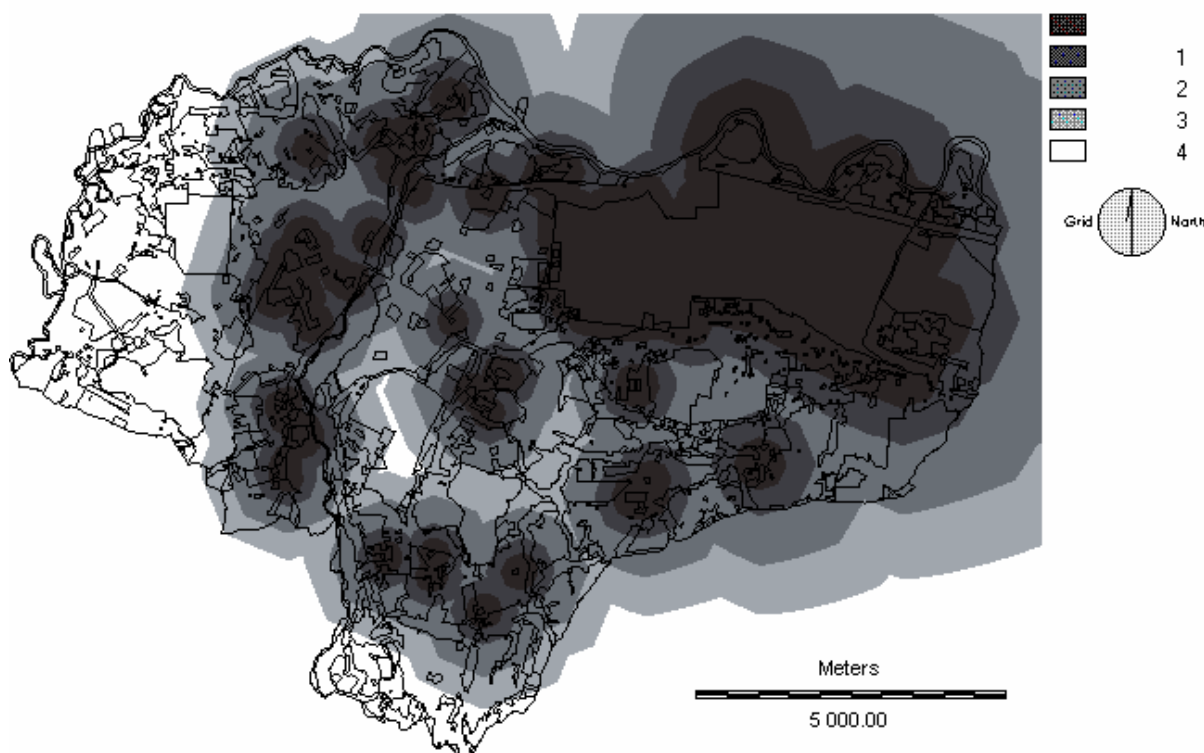
Kolejnym etapem analizy była operacja ekstrakcji mająca na celu stwierdzenie czy istnieje autentyczny wpływ wiatru na rozkład metali w glebach gminy. Za filtr przyjmowano tutaj „mapę oporów przeciw wiatrom”, a za mapy

wartości-mapy stężeń metali w glebach. Na koniec porównywano średnie zawartości metali w wariantach modeli izotropowego i anizotropowego.

Zastosowana metoda ma charakter eksperymentu. Biorąc pod uwagę położenie zakładów chemicznych we wschodniej części badanego obszaru tylko na niewielkim skrawku gminy może ona pomagać w interpretacji skażeń gleb.

Tabela 2-1: Zmiana wartości syntetycznego wskaźnika degradacji gleb w funkcji odległości od obszarów przemysłowych.

| Odległość od obszarów przemysłowych [m]: | Analiza bez uwzględnienia kierunków wiatrów | | Analiza z uwzględnieniem kierunków wiatrów | |
|--|--|-------------------------|--|-------------------------|
| | Średnia zawartość syntetycznego wskaźnika degradacji gleb: | Odchylenie standardowe: | Średnia zawartość syntetycznego wskaźnika degradacji gleb: | Odchylenie standardowe: |
| 0-1 | 1.18 | 0.23 | 1.18 | 0.23 |
| 1-500 | 1.22 | 0.41 | 1.16 | 0.48 |
| 500-1000 | 0.98 | 0.56 | 1.01 | 0.59 |
| 1000-1500 | 0.59 | 0.64 | 0.77 | 0.62 |
| 1500-2000 | 0.20 | 0.44 | 0.71 | 0.65 |
| 2000-2500 | 0.09 | 0.30 | 0.65 | 0.68 |
| 2500-7100 | 0.0002 | 0.01 | 0.22 | 0.47 |



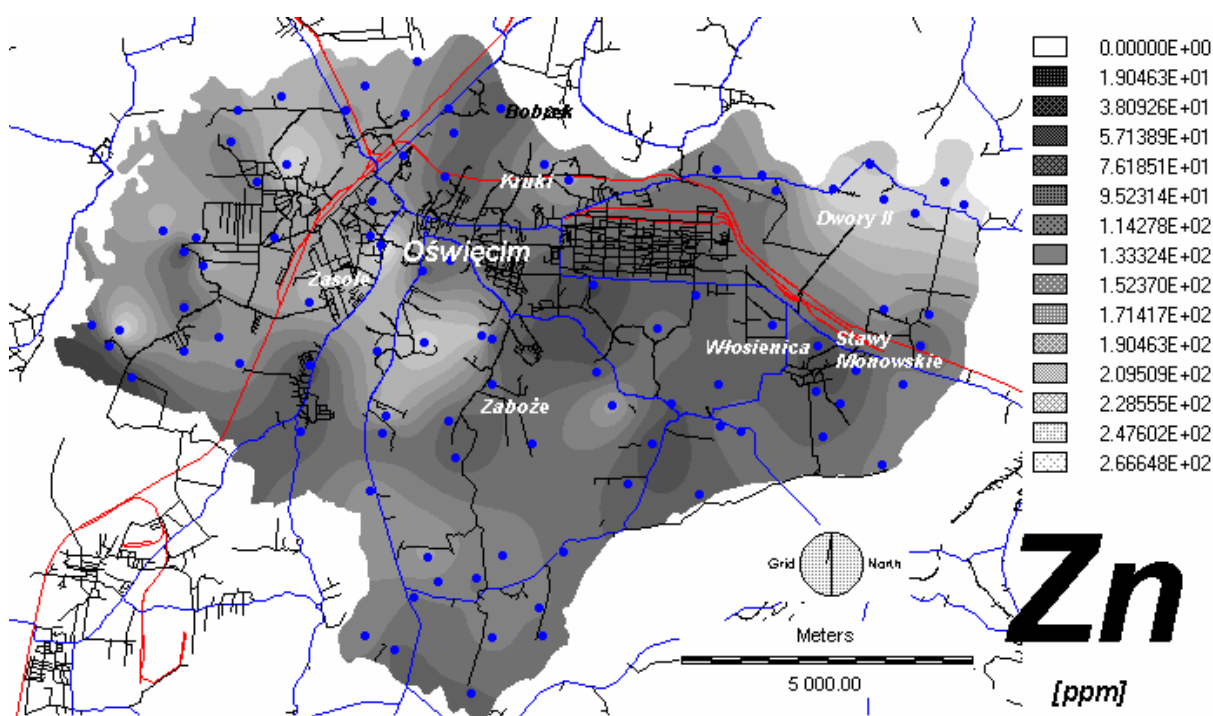
Rys. 2.5 Zreklasyfikowana mapa zmian odległości od obszarów potencjalnej emisji zanieczyszczeń przy użyciu „mapy oporów przeciw wiatrom” z centrum w rejonie siłowni Firmy Dwory SA.

Analiza powinna być traktowana jako teoretyczne modelowanie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń. Mapa po analizie anizotropowej (Rys. 2.5) przedstawia nieregularność przyrostów odległości od analizowanych obszarów we wszystkich kierunkach. Nieregularność ta uwzględnia częstości wiatrów wiejących w określonym kierunku. Inaczej mówiąc mapa przedstawia prawdopodobne rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w atmosferze w zależności od najczęściej wiejących wiatrów. W kierunku na NE przyrosty odległości są największe i właśnie na tym kierunku zanieczyszczenie gleb metalami ciężkimi pochodzącymi z emisji pyłowej zakładów chemicznych powinno być największe. Według powyższego modelowania wsiami najbardziej narażonymi na opisywane zjawisko powinny być DworyII, Włosienica, Gromiec, Stawy Monowskie. Przeprowadzoną analizę zdają się potwierdzać dane zamieszczone w tabeli 2-2 oraz mapy zanieczyszczeń gleb metalami ciężkimi (np. Zn; Rys. 2.6).

Tabela 2-2: Ilość dni w roku 1992 z przekroczeniem wartości dobowych stężeń pyłów wg. danych Firmy „Dwory” SA.

| Punkt pomiarowy: | Ilość dni w 1992r. z przekroczeniem wartości dobowych stężeń pyłów | |
|------------------|--|--------------------|
| | Całkowita w roku: | Z napływem z ZCHO: |
| Zasole | 18 | 1 |
| Kruki | 10 | 1 |
| Zaboże | 7 | 1 |
| Bobrek | 8 | - |
| Dwory II | 11 | 3 |
| St. Monowskie | 5 | 4 |
| Włosienica | 20 | 5 |

Poza powyższą próbą interpretacji należy zauważyć tendencję wskazującą na wzrost zanieczyszczeń w miarę zbliżania się do obszarów przemysłowych. Średnie wartości zanieczyszczeń gleb dla poszczególnych klas odległości od emitorów są wyższe w przypadku map uwzględniających anizotropię zjawiska. Niestety ze względu na niecentryczne położenie zakładów w stosunku do całości gminy wyniki analizy należy traktować z dużą ostrożnością na co zdają się wskazywać nieco wyższe odchylenia standardowe dla analizy anizotropowej niż dla izotropowej.



Rys. 2.6 Mapa zawartości cynku (Zn) w glebach gminy Oświęcim.

Dużą niedogodnością stosowanej analizy jest warunek ograniczający ją w zasadzie do jednego głównego emitera.

2.4. Zastosowanie analizy wielu kryteriów MCE (ang. Multi-Criteria Evaluation).

Celem procedury nazywanej dalej analizą wielu kryteriów jest utworzenie mapy, na której wskazane będą obszary o różnym stopniu zagrożenia określonym zjawiskiem. W tym przypadku mapa końcowa (Rys. 2.7) powinna wskazywać miejsca o podwyższonej podatności gleb na kumulowanie się w nich metali. W związku z tym, że na zjawisko kumulacji metali może mieć wpływ wiele różnych czynników środowiskowych, pierwszym etapem analizy było wyodrębnienie warstw tematycznych do badań. Posłużyły do tego doświadczenia zdobyte we wcześniej przeprowadzonych analizach ekstrakcji. Ostatecznie do modelowania zjawiska wybranych zostało pięć czynników:

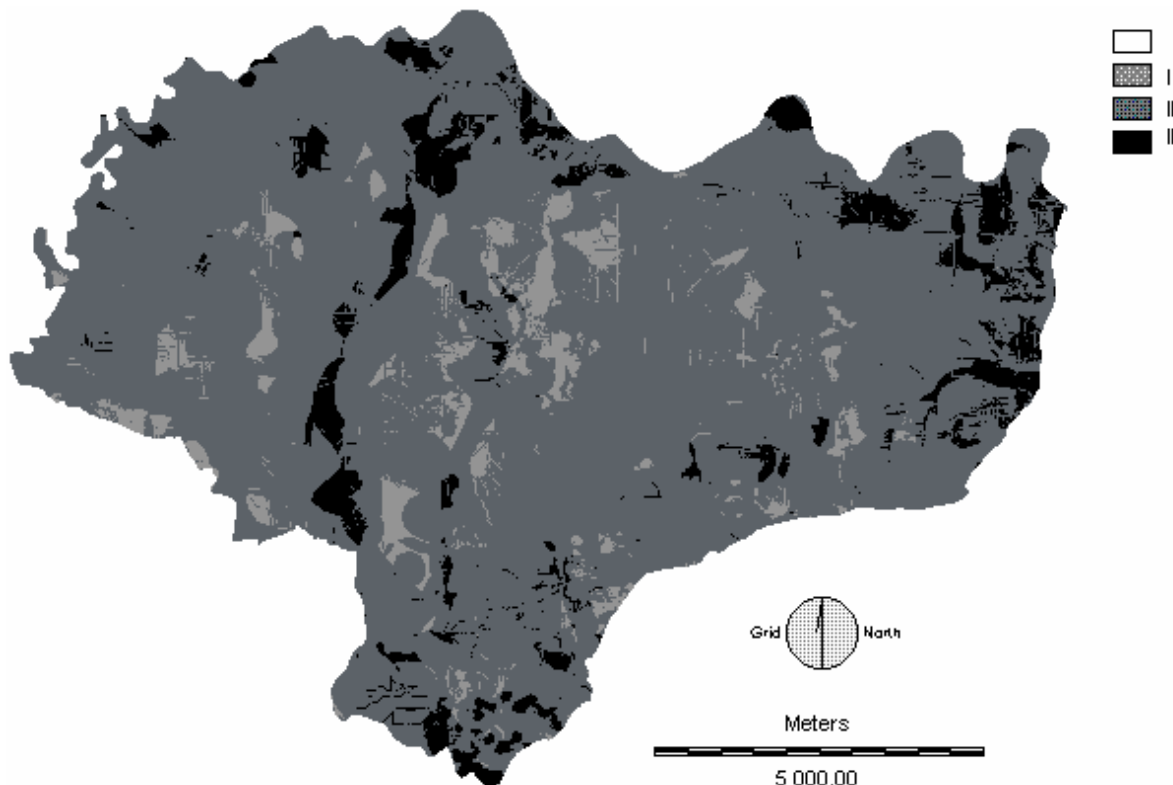
- odległość od terenów przemysłowych,
- odległość od lasów,
- geologia,
- ekspozycja stoków,
- nachylenie stoków,

Najtrudniejszą częścią analizy było przypisanie kategoriom w obrębie kolejnych czynników określonych stopni istotności (rang). Korzystano przy tym z wyników wcześniej przeprowadzonych analiz, literatury oraz własnych doświadczeń. Po dostosowaniu nowych map do jednej skali (ang. *stretch*), określono względne znaczenie tych czynników. Przyjęto dwa warianty:

1. nachylenie stoków < geologia < ekspozycja stoków < odległość od lasów < odległość od przemysłu,
2. nachylenie stoków < ekspozycja stoków < odległość od lasów < geologia < odległość od przemysłu

Wybrane warianty poddano następnie rankingowi pomiędzy parami czynników (ang. *Pairwise Comparison*), a następnie przy użyciu modułu *Weight* obliczono wagi poszczególnych czynników. Kolejnym etapem było wygenerowanie map wynikowych analizy MCE.

Mapy wielu kryteriów poddano reklasyfikacji do trzech poziomów podatności gleb na podwyższone zawartości metali ciężkich (Rys. 2.7). Dyskusję pomiędzy przyjętymi wariantami prowadzono w oparciu o ekstrakcję średniej wartości syntetycznego wskaźnika degradacji gleb w kolejnych klasach przewidywanych skażeń..



Rys. 2.7 Mapa wynikowa prognozowania MCE, określająca w stopniach podatność gleby na kumulację metali ciężkich (wariant 1).

Porównanie obu wariantów z wyinterpolowanym stanem faktycznym (Rys.2.1) wskazuje na słusność przyjętych założeń. Można zauważyć przybliżone korelacje modelowanych i faktycznych miejsc o niższych zawartościach metali w glebach. Widoczne jest także znaczne zanieczyszczenie północno-wschodnich obrzeży gminy.

Dyskusję pomiędzy przyjętymi wariantami prowadzono w oparciu o ekstrakcję średniej wartości syntetycznego wskaźnika degradacji gleb w kolejnych klasach przewidywanych skażeń. Wyniki przedstawiono w tabeli 2.3.

Tabela 2-3: Zmiana wartości syntetycznego wskaźnika degradacji gleb w zależności od zastosowanego wariantu zależności w środowisku.

| | Potencjalna klasa zawartości metali ciężkich w glebach: | Średnia wartość syntetycznego wskaźnika degradacji gleb: | Odchylenie standardowe |
|------------|---|--|------------------------|
| Wariant 1: | I | 1.19 | 0.23 |
| | II | 1.25 | 0.25 |
| | III | 1.28 | 0.25 |
| Wariant 2: | I | 1.23 | 0.24 |
| | II | 1.25 | 0.26 |
| | III | 1.26 | 0.23 |

Oba przyjęte warianty mają podobny skutek. Przeprowadzona analiza wskazuje na nieco lepszą korelację z rzeczywistością modelu pierwszego.

3. WNIOSKI

Gleby obszarów o charakterze użytkowania-od rolniczego przez miejski do przemysłowego-charakteryzują się czasami mocnym zróżnicowaniem zawartości metali ciężkich. Rzadko jednak stężenia te przekraczają zawartości dopuszczalne dla gleb uprawnych. W większości przypadków zanieczyszczenie ma charakter punktowy. Z teorii wiadomo, że stabilizacji metali w glebach sprzyja podwyższone pH, a także nieco paradoksalnie podwyższony opad pyłów, które są zazwyczaj alkaliczne.

Przedstawione opracowanie może stanowić kolejny krok do stałego monitorowania i wygodnej wizualizacji wyników w rejonie Oświęcimia. Zbudowana cyfrowa baza danych w łatwy sposób może być rozszerzana o nowe dane oraz o kolejne warstwy tematyczne, które w lepszy sposób zobrazują procesy zachodzące w przyrodzie. Korzystając z map geochemicznych należy pamiętać, że są one tylko wynikiem operacji matematycznych i poddane generalizacji tylko w sposób przybliżony określają model interpretacyjny. W związku z tym, że siatka opróbowania była nieregularna i jej gęstość średnio wynosiła 1punkt na 1km² nie należy wyciągać pochopnych wniosków o zanieczyszczeniu obiektów mniejszych od 1km². Dużym utrudnieniem interpretacyjnym jest brak punktów opróbowania terenów należących do Firmy Chemicznej „Dwory”.

Ogromne możliwości przetwarzania i analizy danych różnego typu, oraz łatwa i szybka rozbudowa i aktualizacja bazy danych powodują, że systemy informacji przestrzennej znajdują pełne zastosowanie w badaniach geochemicznych i ochronie środowiska. Przeprowadzona analiza wielokryteriowa wykazała słuszości przewidywanych zależności środowiskowych. Wykazano istnienie wpływu odległości od przemysłu i od terenów zalesionych, ekspozycji, geologii i nachylenia zboczy na lokalizację miejsc o podwyższonych stężeniach metali ciężkich w glebach. W przyszłości szczególną uwagę należy zwrócić na rzetelność analiz chemicznych, wprowadzenie standartów opróbowania, dobór interesujących nas analiz oraz prawidłową obróbkę danych. Należy dążyć do zagęszczenia sieci opróbowania z jednoczesnym zachowaniem danych z lat wcześniejszych mogących posłużyć w przyszłości do analiz zmian czasowych na omawianym terenie.

4. LITERATURA

Bartuś T., (1997): ms: *Analiza wpływu zanieczyszczeń atmosfery, gleb i wód na zdrowie w rejonie oddziaływania przemysłu chemicznego w Oświęcimiu przy użyciu GIS*. Praca Dyplomowa, arch Kat. Złóż Surowców Skalnych WGGiOŚ AGH, Kraków.

Foryciarz K., (1996): ms: *Wykorzystanie Geograficznego Systemu Informacyjnego (GIS) w monitoringu geochemicznym gleb i aluwiiów*. Praca Dyplomowa, arch Kat. Złóż Surowców Skalnych WGGiOŚ AGH, Kraków.

Kabata-Pendias A, Pendias H., (1993): *Biogeochemia Pierwiastków Śladowych*. Warszawa. Wydawnictwa Naukowe PWN

Mularz St., Mierza W.,(1994): *Automatyczne kartowanie zagrożenia gleb erozją z wykorzystaniem GIS*. Archiwum Fotogrametrii i Teledetekcji oraz GIS, vol.2, Wybrane prace projektu KBN Nr. 9 9519 92 02 p.t.: *Monitoring Środowiska z Wykorzystaniem GIS dla Terenów o Szczególnym Żagrożeniu Ekologicznym (na przykładzie województwa krakowskiego)*.

Węzyk P., (1998): *Techniki fotogrametrii cyfrowej, GIS oraz GPS w badaniach nad przestrzenną depozycją pyłów wybranych metali ciężkich na obszarze Lasku Wolskiego w Krakowie*. Archiwum Fotogrametrii i Teledetekcji oraz GIS, vol.8, *Materiały Ogólnopolskiego Sympozium Naukowego zorganizowanego na dnia 17.06,1998 w Krakowie na AGH*