

Zanieczyszczenie gleb metalami ciężkimi i siarką na tle struktury funkcjonalno-przestrzennej gmin województwa małopolskiego

Krzysztof Gawroński
Akademia Rolnicza w Krakowie

1. Wstęp i cel

Postęp cywilizacyjny związany z rozwojem produkcji i konsumpcji powoduje przekształcenia środowiska przyrodniczego prowadzące często do jego degradacji. Do głównych czynników antropopresji należą: osadnictwo, industrializacja, rolnictwo, komunikacja, itp. Przekształcenie antropogeniczne środowiska przyrodniczego jest w Polsce relatywnie mniejsze niż w krajach Europy Zachodniej. Występują tu liczne gatunki roślin i zwierząt oraz typy ekosystemów o szczególnym znaczeniu w skali Europy. Niemniej jednak intensywny rozwój działalności gospodarczej w minionych dziesięcioleciach, często nie uwzględniający podstawowych zasad ochrony środowiska, doprowadził do poważnego naruszenia równowagi procesów zachodzących w glebach [Terelak, Stuczyński 1997].

Działalność przemysłowa doprowadziła do powstania jakościowo różnych przekształceń gleb, które określa się jako przekształcenia geomechaniczne, hydrologiczne, chemiczne, fizykochemiczne oraz termiczne [Strzyszc 1982]. Spośród przekształceń chemicznych szczególne znaczenie ma zanieczyszczenie gleb metalami ciężkimi. Zawartość metali ciężkich w glebach związana jest zarówno ze składem petrograficznym skał macierzystych, jak również w istotny sposób zależy od procesów industrialnych.

W gospodarce przestrzennej duże znaczenie mają badania o charakterze syntetycznym (porządkującym) mające na celu klasyfikację, czy typologię jednostek terytorialnych (wsi, gmin). Tego typu badania mają dużą wartość praktyczną i poznawczą, bowiem umożliwiają poznanie zróżnicowania przestrzennego zjawisk. Na podstawie rozpoznanych związków przyczynowo-skutkowych

zjawisk, ich struktury i ogólnych prawidłowości można nie tylko wyrobić sobie pogląd o mechanizmie ich działania, ale także opracować racjonalne sposoby ich przewidywania i regulowania. Taki też syntetyczny i porządkujący charakter ma prezentowany artykuł.

Celem niniejszego opracowania jest analiza i ocena przestrzennego zróżnicowania poziomu zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi i siarką w województwie małopolskim na tle dominującej funkcji gmin tego województwa. Tezą badawczą niniejszego opracowania jest odpowiedź na pytanie jak kształtuje się stan zanieczyszczenia gleb na obszarach o wiodącej funkcji rolniczej, turystycznej i przemysłowej badanego regionu. Od stanu ekologicznego gleb uzależniona jest bowiem jakość produkowanych płodów rolnych, a na godziwe warunki wypoczynku składają się zarówno walory wypoczynkowe terenu, jak również jakość produkowanej i sprzedawanej tam żywności.

2. Materiał i metody

Niniejsze opracowanie ma charakter dwuetapowy. W pierwszym etapie przeprowadzona została analiza i ocena zróżnicowania przestrzennego zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi i siarką. W drugim etapie w wyniku klasyfikacji funkcjonalno-przestrzennej gmin wydzielone zostały obszary o dominującej funkcji rolniczej, turystycznej i przemysłowej. Tereny o dominującej funkcji rolniczej i turystycznej powinny charakteryzować się szczególnie wysokimi wymogami z zakresu ochrony środowiska. Na tym etapie opracowania przedstawiona została także próba oceny degradacji gleb metalami ciężkimi i siarką w nawiązaniu do gęstości zaludnienia i realnych nakładów ponoszonych na rzecz ochrony środowiska na tle wydzielonych typów funkcjonalno-przestrzennych gmin.

Bazę badawczą stanowiło województwo małopolskie. Wybór tego regionu jako obszaru badań był celowy. Chodziło bowiem o rozpoznanie zmienności zanieczyszczenia gleb na terenach o dużym zróżnicowaniu warunków przyrodniczych i społeczno-gospodarczych na których występują różnorodne formy ochrony przyrody. Ponadto zachodnie rejony tego województwa narażone są na silne oddziaływania pyłowych i gazowych zanieczyszczeń przemysłowych pochodzących z Górnego Śląska.

Badaniami objęto 171 jednostek samorządowych tego województwa (gminy i miasta z wyłączeniem Krakowa, Tarnowa i Nowego Sącza). Podstawowy materiał źródłowy stanowił Raport o stanie środowiska w województwie małopolskim opracowany przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Krakowie [Raport...1999], a także opracowania Urzędu Statystycznego w Krakowie [Rocznik...2000].

W pierwszym etapie badań obejmującym analizę przestrzennego zróżnicowania poziomu metali ciężkich w glebach, w rozumieniu ich łącznego, syntetycznego oddziaływania (to znaczy w odniesieniu do wszystkich przyjętych do badań zmiennych charakteryzujących poziom metali ciężkich), autor posłużył się procedurą typologiczną stosowaną w badaniach przestrzennych.

W gospodarce przestrzennej często spotykamy się z koniecznością podziału określonej przestrzeni (województwa, powiatu, gminy) na mniejsze obszary (podprzestrzenie), które uznać można za homogeniczne (względnie jednorodne). Celem procedury typologicznej jest wydzielenie charakterystycznych ugrupowań jednostek terytorialnych (typów, rejonów) spełniających stawiane wymogi jednolitości (podobieństwa) w zakresie kilku cech uznanych za diagnostyczne [Mrozowicki 1980]. Procedura typologiczna umożliwia bowiem zbadanie stopnia zróżnicowania obszarów pod względem jednoczesnego działania wielu wybranych cech diagnostycznych.

Do badań przestrzennego zróżnicowania poziomu zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi i siarką przyjęto 9 zmiennych, których wykaz i charakterystykę statystyczną (wartości ekstremalne, wartości przeciętne, odchylenia standardowe oraz współczynniki zmienności) przedstawiono w tabeli 1. Zmienne x_2 , x_3 , x_4 , x_5 , x_6 i x_7 opisują stan zanieczyszczenia gleb województwa małopolskiego kadmem, miedzią, niklem, ołowiem, cynkiem i siarką. Z kolei cechy x_1 , x_8 i x_9 opisujące jakość rolniczej przestrzeni produkcyjnej, zaludnienie i nakłady ponoszone na ochronę środowiska, posłużyły do objaśnienia statystycznego i przestrzennego zróżnicowania degradacji gleb badanego regionu.

Pierwszą fazą procedury typologicznej jest dobór cech diagnostycznych. Aby dokonać syntetycznej oceny przestrzennego zróżnicowania stopnia degradacji gleb metalami ciężkimi, jako cechy diagnostyczne przyjęto zmienne x_2 , x_3 , x_4 , x_5 , x_6 .

Kolejną fazą powyższej procedury jest redukcja przestrzeni wielocechowej. Zadaniem redukcji jest ujęcie w formie sumarycznego wskaźnika (punktów, odległości taksonomicznych i innych) kilku przyjętych do badań cech diagnostycznych. Zagadnienie to jest jednym z najbardziej kontrowersyjnych problemów w grupowaniu przestrzennym. Kontrowersja wynika z istoty procedury, która sprowadza kilka cech diagnostycznych do jednego wskaźnika. Redukcję przestrzeni wielocechowej przeprowadzić można metodą punktową, metodami transformacji oraz metodami taksonomicznymi [Mrozowicki 1980, Urban 1984].

W niniejszej pracy posłużono się metodą punktową. Metodę tę stosuje się, gdy podstawą grupowania są cechy rodzajowo różne, a więc cechy których wartości nie można sumować. Dlatego też w pierwszej kolejności należy wyrazić wartości poszczególnych zmiennych w takich samych jednostkach, czyli przeprowadzić standaryzację cech.

Tabela 1. Wykaz i charakterystyka statystyczna zmiennych przyjętych do badań**Table 1.** List of investigated variables and their statistical characteristics

Nr zmiennej	Nazwa zmiennej	Jednostki	Charakterystyka statystyczna zmiennych				
			wartość minimalna	wartość maksymalna	wartość średnia	odchylenie standardowe	współczynnik zmienności [%]
x ₁	Ogólny wskaźnik jakości rolniczej przestrzeni produkcyjnej	[pkt]	31,0	102,8	67,4	19,2	28,5
x ₂	Średnia zawartość kadmu w glebach	[mg/kg]	0,21	5,89	0,87	0,77	88,7
x ₃	Średnia zawartość miedzi w glebach	[mg/kg]	5,54	56,30	15,95	5,91	37,1
x ₄	Średnia zawartość niklu w glebach	[mg/kg]	4,11	53,96	19,66	9,08	46,2
x ₅	Średnia zawartość ołowiu w glebach	[mg/kg]	14,79	667,80	43,41	64,47	148,5
x ₆	Średnia zawartość cynku w glebach	[mg/kg]	35,04	814,80	101,93	89,95	88,3
x ₇	Średnia zawartość siarki w glebach	[mg/kg]	0,96	45,15	3,43	4,98	145,3
x ₈	Gęstość zaludnienia (ludność ogółem na 1 km ² powierzchni ogólnej)		22,0	653,0	155,5	97,7	62,8
x ₉	Nakłady inwestycyjne na ochronę środowiska w 2001 r.	tyś zł/ 1000 mieszkańców	0,00	2038,37	120,17	246,24	204,9

W niniejszym artykule zastosowano następującą formułę standaryzacji zmiennych:

$$R = \frac{(x_i - x_{\min})}{(x_{\max} - x_{\min})}$$

gdzie:

R – wynik standaryzacji cech diagnostycznych

x_i – wartości poszczególnych cech

x_{\min} – wartość minimalna zbiorowości

x_{\max} – wartość maksymalna zbiorowości

przy założeniu, że $(x_{\max} - x_{\min}) > 0$, i warunek ten jest spełniony.

Przetawiona formuła standaryzacji cech diagnostycznych charakteryzuje się tym, że otrzymane wartości dla poszczególnych jednostek terytorialnych w odniesieniu do każdej kolejnej cechy diagnostycznej przyjmują teoretyczne wartości z przedziału $0,0 < R < 1,0$. Tak więc wszystkie wystandaryzowane zmienne są nie tylko w pewnym sensie sprowadzone do wspólnego mianownika, ale także - ze względu na ten sam przedział zmienności – porównywalne ze sobą.

Kolejną fazą procedury typologicznej jest grupowanie jednostek stanowiących podstawę prowadzonej analizy przestrzennej.

W wyniku zastosowanej metodyki uzyskano zredukowany syntetyczny wskaźnik poziomu metali ciężkich w glebach (W_s), którego wartości pogrupowano na cztery przedziały klasowe, wydzielając następujące typy gmin:

Typ I $0,000 < W_s \leq 0,100$ pkt – o bardzo niskim poziomie metali ciężkich w glebach,

Typ II $0,100 < W_s \leq 0,150$ pkt – o niskim poziomie metali ciężkich w glebach,

Typ III $0,150 < W_s \leq 0,200$ pkt – o przeciętnym poziomie metali ciężkich w glebach,

Typ IV $W_s > 0,200$ pkt – o wysokim poziomie metali ciężkich w glebach.

Drugi etap badań stanowił klasyfikację funkcjonalno-przestrzenną gmin badanego regionu oraz analizę i ocenę przestrzennego zróżnicowania degradacji gleb metalami ciężkimi i siarką na tle dominującej funkcji rolniczej, turystycznej i przemysłowej badanego obszaru.

Wraz z rozwojem urbanizacji i industrializacji na obszarach wiejskich coraz większą rolę obok rolnictwa, leśnictwa i rybołówstwa zaczęły odgrywać funkcje dotychczas skupiające się w miastach, jak przemysł, budownictwo, komunikacja. Ich rozwój wiąże się z inwestycjami wchłaniającymi coraz to

większe przestrzenie wiejskie, wykorzystując je bardzo intensywnie i przekształcając w sposób zupełnie lub prawie nieodwracalny [Stola 1987]. Stale powiększająca się liczba ludności, zwłaszcza w miastach i ośrodkach przemysłowych zmusza do racjonalnego dysponowania przyrodniczymi i gospodarczymi zasobami wsi oraz wymaga skutecznej koordynacji rozwoju różnych funkcji na obszarach wiejskich [Kostrowicki 1976].

W literaturze spotkać można wiele podziałów funkcjonalnych terenów wiejskich [Stola 1987]. Jedni autorzy wyodrębniają funkcję produkcji rolnej, leśnej, rybactwa, funkcje industrialną, obsługi ludności wiejskiej, funkcję ochrony i podnoszenia wartości krajobrazowej obszarów wiejskich, oraz funkcję rekreacyjną [Dietl 1979]. Inni z kolei dokonują przestrzennego zróżnicowania funkcjonalnego obszarów określając także stopień dominacji poszczególnych funkcji [Jackowski 1979].

Nie wchodząc w szczegóły problematyki związanej ze strukturą funkcjonalną obszarów wiejskich (szeroko opisanej w literaturze przedmiotu), autor niniejszego opracowania przyjął na potrzeby określenia dominującej funkcji rolniczej, turystycznej i przemysłowej gmin badanego regionu trzy cechy diagnostyczne. Są to: zmienna – y_1 (ludność utrzymująca się z pracy w rolnictwie w swoim gospodarstwie rolnym w% ogólnej liczby ludności) opisująca funkcję rolniczą gmin, zmienna – y_2 (pracujący w gospodarce narodowej w przemyśle i budownictwie na 1000 mieszkańców) charakteryzująca funkcję przemysłową oraz zmienna – y_3 (liczba miejsc noclegowej bazy turystycznej na 1000 mieszkańców) opisująca funkcję turystyczną badanego regionu.

Wykaz i charakterystykę statystyczną zmiennych przyjętych do badań struktury funkcjonalnej gmin przedstawiono w tabeli 2.

Określenie typów gmin o dominującej funkcji rolniczej, turystycznej i przemysłowej, przeprowadzono w oparciu o analizę wartości średnich i odchyłeń standardowych szeregów liczbowych opisujących poszczególne funkcje gmin. Autor zastosował tu następującą własną metodę i przyjął, że dominującą funkcję rolniczą przypisać można tym gminom (jednostkom terytorialnym) dla których wartości szeregu liczbowego opisujące tę funkcję (tzn. y_1 – ludność utrzymująca się z pracy w rolnictwie w swoim gospodarstwie rolnym w% ogólnej liczby ludności) będą większe od wartości, która stanowi sumę wartości średniej tego zbioru plus jedno odchylenie standardowe wyliczone dla tego zbioru liczbowego. Podobną zasadę przyjęto dla określenia dominującej funkcji przemysłowej (zmienna y_2) oraz funkcji turystycznej (zmienna y_3).

Tabela 2. Wykaz i charakterystyka statystyczna zmiennych opisujących strukturę funkcjonalną gmin**Table 2.** List and statistical characteristics of variables describing functional structure of communes

Nazwa i numer zmiennej	Nazwa zmiennej	Charakterystyka statystyczna zmiennych				
		wartość minimalna	wartość maksymalna	wartość średnia	odchylenie standardowe	współczynnik zmienności [%]
y_1	Ludność utrzymująca się z pracy w rolnictwie w swoim gospodarstwie rolnym w% ogólnej liczby ludności	1,5	32,0	11,9	6,0	50,5
y_2	Pracujący w gospodarce narodowej w przemyśle i budownictwie na 1000 mieszkańców	1,50	209,10	34,20	40,48	118,4
y_3	Liczba miejsc noclegowej bazy turystycznej na 1000 mieszkańców	0,2	1453,1	52,00	157,55	303,2

Ogólna formuła zapisu powyższej zasady jest następująca:

$$A = \{ y_i, \text{ gdzie } i = 1 \dots 171, \text{ a } y_i \text{ są to wartości cechy w wybranej próbie} \}$$
$$\text{tworzą zbiór } B \subset A \text{ gdzie:}$$
$$B = \{ y_i \in A: y_i > y_{\text{śred.}} + \delta \}$$

gdzie:

- A – zbiór wartości cechy y_1 ,
- B – zbiór wartości odpowiadający dominującej funkcji rolniczej,
- y_i – poszczególne wartości szeregu A,
- $y_{\text{śred.}}$ – wartość przeciętna szeregu A,
- δ – odchylenie standardowe dla szeregu A.

Należy nadmienić, że na potrzeby niniejszego opracowania autor przedstawił jedynie metodę określania dominujących funkcji gmin. Metodyka określania innych typów funkcji terenów wiejskich (np. podstawowej, uzupełniającej i innych) nie została tu zaprezentowana, ponieważ problematyka struktury funkcjonalno-przestrzennej terenów wiejskich nie jest głównym problemem badawczym niniejszej pracy.

3. Wyniki badań

W wyniku zastosowania przedstawionej w poprzednim rozdziale metody typologicznej sporządzono charakterystykę statystyczną i przestrzenną poziomu zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi i siarką w województwie małopolskim.

Charakterystykę statystyczną zmiennych opisujących poziom zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi według wydzielonych typów gmin przedstawiono w tabeli 3. Ujęto w niej wartości przeciętne, odchylenia standardowe oraz współczynniki zmienności obliczone dla wydzielonych jednostek typologicznych. Przeciętny poziom cech pozwolił na charakterystykę poszczególnych typów, natomiast analiza współczynników zmienności cech diagnostycznych rozpatrywana na tle odpowiadających im współczynników zmienności wyliczonych dla całej zbiorowości, stanowi podstawę do określenia stopnia jednorodności wydzielonych typów, a tym samym – weryfikacji prawidłowości sporządzonej typologii.

Tabela 3. Charakterystyka statystyczna wydzielonych typów gmin opisujących poziom metali ciężkich w glebach
Table 3. Statistical characteristics of individual types of communes describing level of heavy metals in soils

Gmina	Średnia zawartość kadmu [mg/kg]	Średnia zawartość miedzi [mg/kg]	Średnia zawartość niklu [mg/kg]	Średnia zawartość ołowiu [mg/kg]	Średnia zawartość cynku [mg/kg]	Wskaźnik syntetyczny W_s
	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	W_s
Typ I – o bardzo niskim poziomie metali ciężkich w glebach ($0,00 < W_s \leq 0,100$ pkt)						
Wartość średnia	0,51	11,02	11,72	24,32	65,28	0,07
Odchylenie standardowe	0,207	2,239	3,277	6,276	14,549	0,026
Współczynnik zmienności [%]	40,3	20,3	28,0	25,8	22,3	35,6
Typ II – o niskim poziomie metali ciężkich w glebach ($0,100 < W_s \leq 0,150$ pkt)						
Wartość średnia	0,64	14,70	16,42	29,61	82,97	0,12
Odchylenie standardowe	0,311	2,252	3,646	11,060	16,183	0,015
Współczynnik zmienności [%]	48,3	15,3	22,2	37,3	19,5	12,8
Typ III – o przeciętnym poziomie metali ciężkich w glebach ($0,150 < W_s \leq 0,200$ pkt)						
Wartość średnia	0,97	17,20	23,70	37,63	99,61	0,18
Odchylenie standardowe	0,594	3,166	4,362	15,099	27,174	0,016
Współczynnik zmienności [%]	61,0	18,4	18,4	40,1	27,3	9,2

Tabela 3. cd. Charakterystyka statystyczna wydzielonych typów gmin opisujących poziom metali ciężkich w glebach**Table 3. cont.** Statistical characteristics of individual types of communes describing level of heavy metals in soils

Gmina	Średnia zawartość kadmu [mg/kg]	Średnia zawartość miedzi [mg/kg]	Średnia zawartość niklu [mg/kg]	Średnia zawartość ołowiu [mg/kg]	Średnia zawartość cynku [mg/kg]	Wskaźnik syntetyczny W_s
	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	W_s
Typ IV - o wysokim poziomie metali ciężkich w glebach ($W_s > 0,200$ pkt)						
Wartość średnia	1,49	21,90	29,40	87,86	168,82	0,27
Odchylenie standardowe	1,231	7,990	10,817	122,444	165,314	0,091
Współczynnik zmienności [%]	82,9	36,5	36,8	139,4	97,9	34,1
Charakterystyka statystyczna zbiorowości ogółem						
Wartość średnia	0,87	15,95	19,66	43,41	101,93	0,153
Odchylenie standardowe	0,77	5,91	9,08	64,47	89,95	0,086
Współczynnik zmienności [%]	88,7	37,1	46,2	148,5	88,3	56,4

Przestrzenne zróżnicowanie syntetycznego wskaźnika poziomu metali ciężkich w glebach zaprezentowano na rys. 1. Można zauważyć, że badany region charakteryzuje się dużą przestrzenną zmiennością zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi. Gminy o bardzo niskim poziomie zanieczyszczenia gleb tymi związkami (typ I grupujący 43 jednostki terytorialne), to obszary położone w północno-wschodniej części badanego województwa. Grupują one większość gmin należących do powiatów miechowskiego, proszowickiego, brzeskiego, bocheńskiego i tarnowskiego.

Obszary o niskim poziomie metali ciężkich (typ II obejmujący 56 jednostek terytorialnych) to kilka rozproszonych gmin położonych w środkowej i północno-wschodniej części badanego województwa oraz równoleżnikowy pas gmin rozpościerający się w jego południowej (górskiej) części.

Tereny o przeciętnym (typ III grupujący 32 gminy) oraz wysokim (typ IV obejmujący 40 jednostek terytorialnych) poziomie metali ciężkich w glebach to przede wszystkim obszary położone na zachód od Krakowa, obejmujące uprzemysłowione powiaty tego województwa, a mianowicie: olkuski, chrzanowski, wadowicki i oświęcimski, oraz równoleżnikowy pas gmin obejmujący powiaty suski, limanowski, nowosądecki i gorlicki.

Przestrzenne zróżnicowanie zawartości siarki w glebach województwa małopolskiego zaprezentowano na rys. 2. Wartości zmiennej x_7 (średnia zawartość siarki w glebach) podzielono na cztery przedziały klasowe, wydzielając następujące typy gmin:

Typ I $0,00 < x_7 \leq 1,80$ mg/kg – o niskim poziomie siarki w glebach,

Typ II $1,80 < x_7 \leq 2,40$ mg/kg – o przeciętnym poziomie siarki w glebach,

Typ III $2,40 < x_7 \leq 3,00$ mg/kg – o wysokim poziomie siarki w glebach,

Typ IV $x_7 > 3,00$ mg/kg – o bardzo wysokim poziomie siarki w glebach.

Z analizy przestrzennej zmienności związków siarki w glebach regionu małopolskiego wynika, że niski i przeciętny jej poziom występuje przede wszystkim w południowo-wschodniej i częściowo środkowej strefie tego województwa.

W wyniku zastosowania metodyki określania struktury funkcjonalno-przestrzennej terenów wiejskich, przedstawionej w poprzednim rozdziale niniejszego opracowania, wydzielono trzy typy gmin o dominującej funkcji rolniczej (grupującej 25 jednostek terytorialnych), turystycznej (łączącej 14 jednostek) oraz przemysłowej (27 jednostek terytorialnych). Rysunek 3 przedstawia przestrzenne zróżnicowanie typów funkcjonalnych gmin województwa małopolskiego.

Charakterystykę statystyczną zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi i siarką na tle dominującej funkcji rolniczej, turystycznej i przemysłowej w badanym regionie przedstawiono w tabeli 4. Zestawienie to zawiera wartości ekstremalne, wartości średnie, odchylenia standardowe i współczynniki zmienności obliczone dla zmiennych charakteryzujących stopień degradacji gleb oraz cech

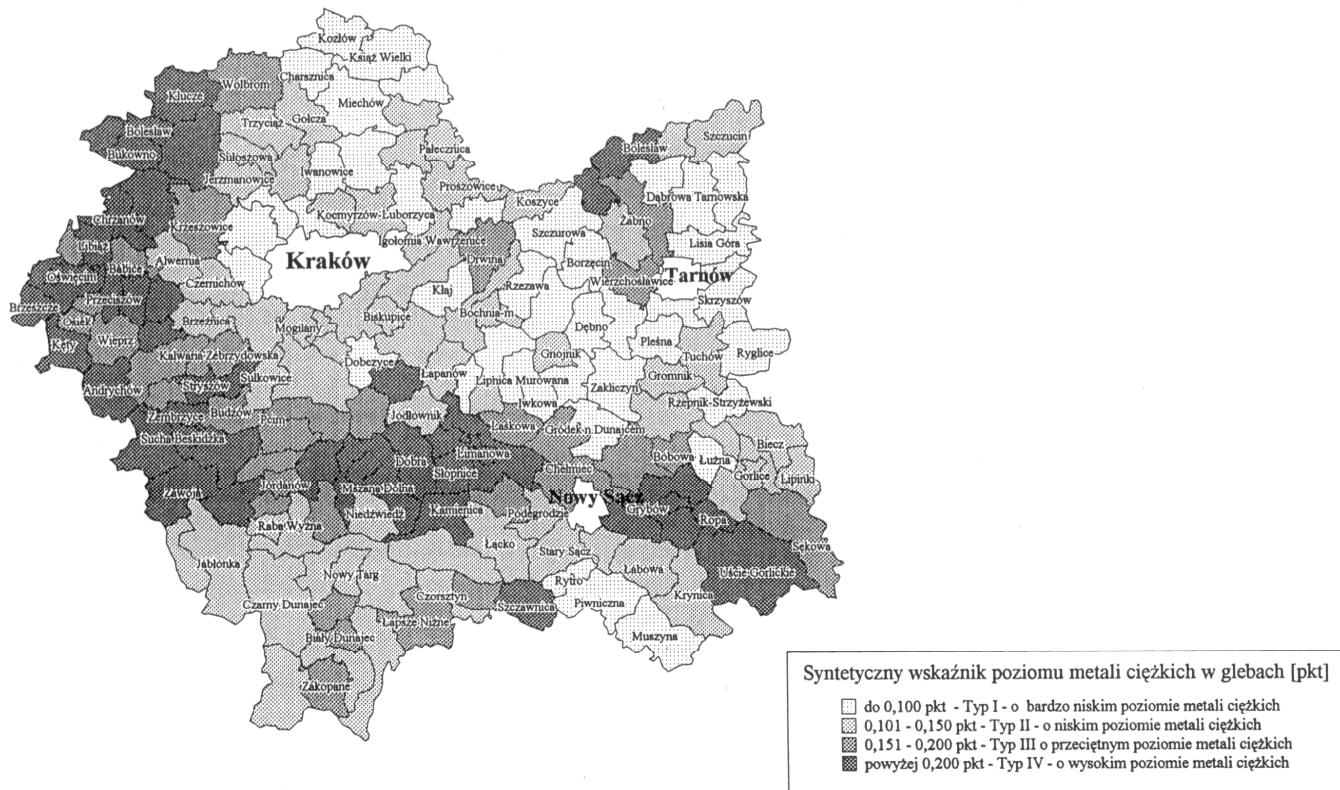
pozostałych opisujących jakość rolniczej przestrzeni produkcyjnej, zaludnienie badanego obszaru oraz nakłady ponoszone przez samorządy terytorialne na rzecz ochrony środowiska. Parametry te obliczone są dla wydzielonych wcześniej trzech typów gmin o dominującej funkcji rolniczej, turystycznej i przemysłowej.

Z analizy rys. 3 i tabeli 4 wynika, że obszary o dominującej funkcji rolniczej (grupujące 25 gmin) położone są głównie w północnej części badanego regionu, a także znajdują się w rozproszeniu w środkowej części województwa. Obszary te charakteryzują się bardzo wysoką jakością rolniczej przestrzeni produkcyjnej, odznaczają się stosunkowo niską zawartością metali ciężkich w glebach. Jedynie poziom kadmu oraz związków siarki w glebach wykazuje niewielkie przekroczenia w stosunku do wartości średniej tych parametrów wyliczonych dla całej zbiorowości. Ponadto w tej grupie funkcjonalnej gmin nakłady na rzecz ochrony środowiska są relatywnie najmniejsze.

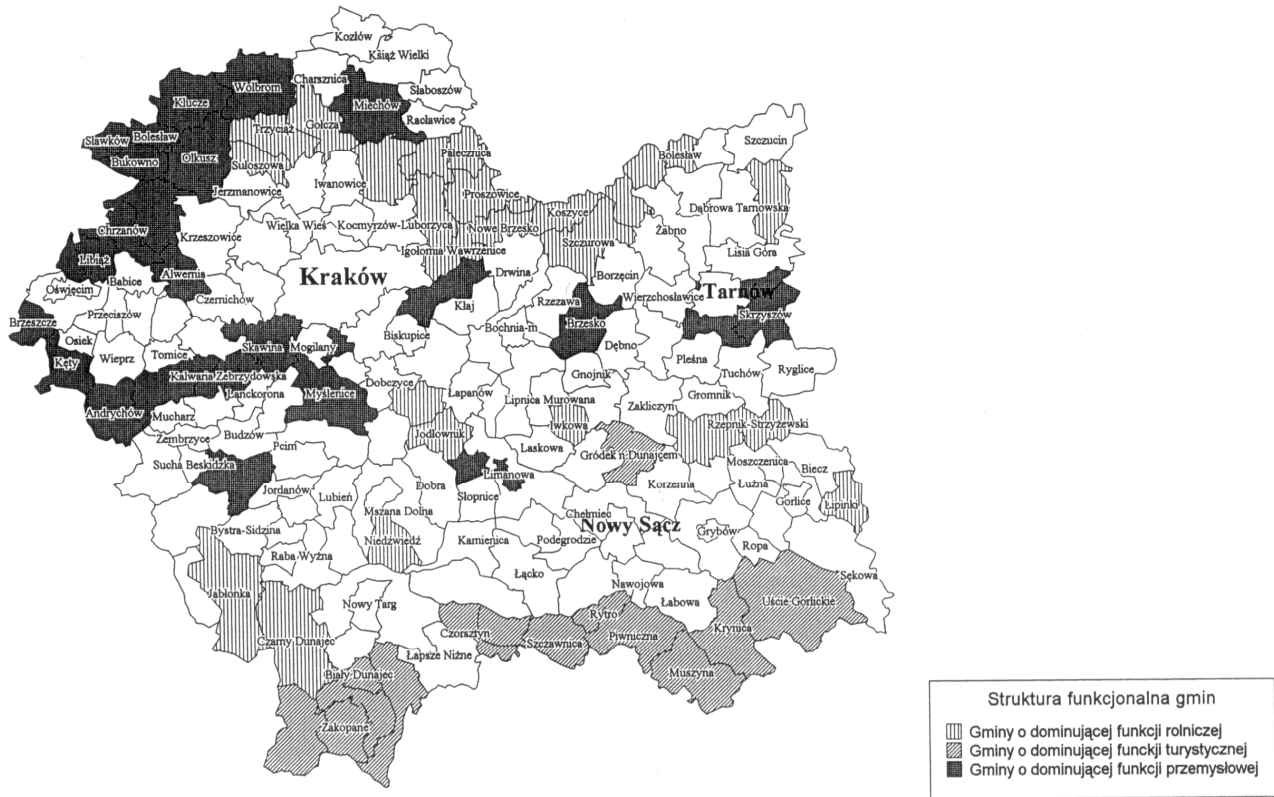
Obszary o dominującej funkcji turystycznej grupujące 14 gmin rozciągają się w formie równoleżnikowego pasa w południowej (górskiej) części regionu krakowskiego. Odznaczają się także stosunkowo niskim poziomem zawartości metali ciężkich i siarki w glebach. Jakość rolniczej przestrzeni produkcyjnej tego podregionu jest zdecydowanie gorsza w porównaniu z poprzednim podregionem. Są to bowiem obszary górskie, których warunki przyrodnicze sprzyjają rekreacji i wypoczynkowi. Cechą charakterystyczną tego podregionu są relatywnie bardzo wysokie nakłady na inwestycje z dziedziny ochrony środowiska.

Największe zanieczyszczenie gleb metalami ciężkimi i siarką (relatywnie w stosunku do analizowanych wcześniej podregionów) występuje na obszarach o dominującej funkcji przemysłowej. Podregion ten grupuje 27 gmin położonych głównie w zachodniej uprzemysłowionej części badanego regionu. Porównując średnie wartości zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi w tym podregionie z normami jakości chemicznej gleb opracowanymi przez Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach wynika, że poziom kadmu w glebach przekroczony jest w istotny sposób. Poziom zanieczyszczenia gleb tym związkiem odpowiada III stopniowi jakości chemicznej gleb [Raport...1998]. Dla tego stopnia zanieczyszczenia dopuszczalna jest uprawa roślin zbożowych, okopowych i pastewnych, pod warunkiem okresowej kontroli poziomu metali w konsumpcyjnych częściach roślin, oraz zalecane są uprawy roślin przemysłowych i traw nasiennych. Poziom pozostałych metali ciężkich w glebach nie stwarza przeszkód dla prowadzenia upraw ogrodniczych i rolniczych. Wysoki jest natomiast poziom siarki, który ponad pięciokrotnie przewyższa przeciętny jego stan dla całej zbiorowości.

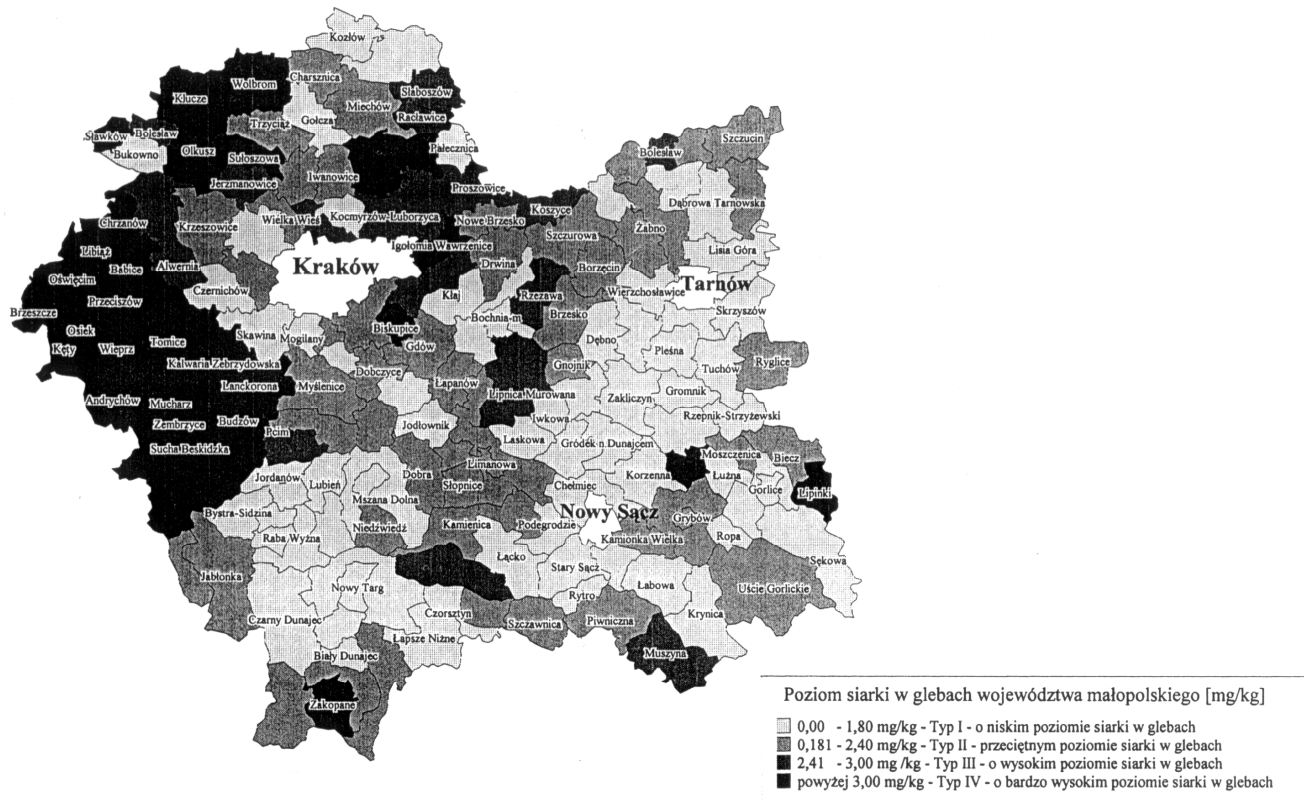
Podregion ten, podobnie jak poprzedni, charakteryzuje się także stosunkowo wysokimi nakładami inwestycyjnymi na ochronę środowiska. Jest to zjawisko bardzo pozytywne, gdyż świadczy o właściwym lokowaniu środków finansowych na działalność proekologiczną.



Rys. 1. Przestrzenne zróżnicowanie syntetycznego wskaźnika poziomu metali ciężkich w glebach województwa małopolskiego
Fig. 1. Spatial differentiation of synthetic coefficient of heavy metals level in soils in the Małopolska province



Rys. 2. Przestrzenne zróżnicowanie poziomu siarki w glebach województwa małopolskiego
Fig. 2. Spatial differentiation of sulphur level in soils in the Małopolska province



Rys. 3. Gminy o dominującej funkcji rolniczej, turystycznej i przemysłowej w województwie małopolskim
Fig. 3. Communes with prevailing agricultural, touristic and industrial function in the Małopolska province

Tabela 4. Charakterystyka statystyczna gmin według dominującej funkcji rolniczej, turystycznej i przemysłowej w województwie małopolskim

Table 4. Statistical characteristics of communes according to prevailing agricultural, touristic and industrial function in the Małopolska province

Wyszczególnienie	Ogólny wskaźnik jakości rolniczej przestrzeni produkcyjnej [pkt]	Średnia zawartość kadmu [mg/kg]	Średnia zawartość miedzi [mg/kg]	Średnia zawartość niklu [mg/kg]	Średnia zawartość ołowiu [mg/kg]	Średnia zawartość cynku [mg/kg]	Średnia zawartość siarki [mg/kg]	Gęstość zaludnienia [ludność ogółem na 1 km ²]	Nakłady inwestycyjne na ochronę środowiska w tyś zł na 1000 mieszkańców
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
Gminy o dominującej funkcji rolniczej									
wartość minimalna	38,8	0,31	5,54	4,99	14,79	35,04	1,47	59,0	0,00
wartość maksymalna	102,8	3,38	26,97	43,53	54,53	120,50	8,04	171,0	371,83
wartość przeciętna	80,1	0,71	15,25	18,42	27,23	80,85	2,44	96,2	74,13
odchylenie standardowe	20,65	0,62	5,24	9,71	8,69	17,33	1,32	23,42	106,35
współczynnik zmienności [%]	25,8	86,5	34,3	52,7	31,9	21,4	54,0	24,3	143,5
Gminy o dominującej funkcji turystycznej									
wartość minimalna	31,0	0,40	10,20	12,23	16,46	57,51	1,36	22,0	0,00
wartość maksymalna	62,9	0,73	26,14	42,18	33,40	128,40	3,50	350,0	790,50
wartość przeciętna	39,2	0,55	16,0	20,48	25,66	86,67	1,95	113,8	232,57
odchylenie standardowe	8,48	0,11	4,33	8,25	5,43	20,88	0,56	76,93	261,94
współczynnik zmienności [%]	21,6	19,5	27,0	40,3	21,1	24,1	28,7	67,6	112,6

Tabela 4.cd. Charakterystyka statystyczna gmin według dominującej funkcji rolniczej, turystycznej i przemysłowej w województwie małopolskim

Table 4.cont. Statistical characteristics of communes according to prevailing agricultural, touristic and industrial function in the Małopolska province

Wyszczególnienie	Ogólny wskaźnik jakości rolniczej przestrzeni produkcyjnej [pkt]	Średnia zawartość kadmu [mg/kg]	Średnia zawartość miedzi [mg/kg]	Średnia zawartość niklu [mg/kg]	Średnia zawartość ołowiu [mg/kg]	Średnia zawartość cynku [mg/kg]	Średnia zawartość siarki [mg/kg]	Gęstość zaludnienia [ludność ogółem na 1 km ²]	Nakłady inwestycyjne na ochronę środowiska w tys zł na 1000 mieszkańców
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
Gminy o dominującej funkcji przemysłowej									
wartość minimalna	8,5	0,11	4,33	4,99	5,43	17,33	0,56	22,0	0,00
wartość maksymalna	102,8	86,48	34,35	52,74	54,53	128,40	54,01	350,00	790,50
wartość przeciętna	39,7	12,42	17,20	25,55	23,70	56,34	11,15	96,89	202,20
odchylenie standardowe	27,30	26,04	10,76	16,94	13,30	40,19	17,60	86,98	205,47
współczynnik zmienności [%]	68,7	209,7	62,5	66,3	56,1	71,3	157,9	89,8	101,6
Zbiorowość ogółem:									
wartość minimalna	31,0	0,40	10,20	12,23	16,46	57,51	1,33	22,0	0,00
wartość maksymalna	75,1	1,61	31,46	53,96	50,83	150,30	4,81	350,0	790,50
wartość przeciętna	43,61	0,67	16,85	22,73	29,02	89,59	2,11	116,78	197,87
odchylenie standardowe	12,69	0,32	5,16	10,49	8,96	23,70	0,82	74,59	224,06
współczynnik zmienności [%]	29,1	47,6	30,6	46,2	30,9	26,5	38,7	63,9	113,2

4. Dyskusja

Wzbogacenie gleb w metale ciężkie następuje z reguły w otoczeniu hut metali nieżelaznych. Także poważnym emitorem niektórych metali ciężkich jest hutnictwo żelaza, przemysł koksowniczy, transport samochodowy oraz energetyka oparta na spalaniu węgla brunatnego i kamiennego. Wzbogacenie gleb w metale ciężkie może być również spowodowane wietrzeniem odpadów, a następnie ich wymywaniem ze składowisk odpadów przemysłowych, komunalnych, osadów ściekowych i innych [Strzyszc 1982].

Kadm charakteryzuje się dużą mobilnością w środowisku, jest stosunkowo łatwo pobierany przez rośliny i w ten sposób wchodzi do łańcucha pokarmowego. Nagromadzenie kadmu w glebach może być związane z charakterem podłoża geologicznego, stosowaniem osadów ściekowych, różnego rodzaju odpadów oraz dużych dawek nawozów fosforowych. Średnia zawartość kadmu w glebach Polski wynosi 0,22 mg/kg [Terelak, Stuczyński 1997].

Miedź występuje w glebach w różnych formach, tworząc z reguły mało mobilne połączenia w postaci wytrąceń węglanowych i siarczanowych. Wzrost zakwaszenia gleby zwiększa dostępność miedzi dla roślin. Odczyn obojętny lub alkaliczny oraz intensywne nawożenie fosforowe obniżają mobilność miedzi w glebie. Średnia zawartość miedzi w glebach Polski wynosi 6,6 mg/kg.

O rozmieszczeniu i zachowaniu się niklu w środowisku decydują w znacznej mierze żelazo i kobalt z którymi składnik ten związany jest geochemicznie. Występująca w niektórych rejonach Polski zwiększona zawartość niklu w glebach związana jest z emisjami przemysłowymi i stosowaniem niklu w procesach hutniczych oraz galwanizacji. Średnia zawartość niklu w glebach Polski wynosi 6,4 mg/kg.

Zawartość ołowiu w glebach ma bezpośredni związek z ich składem mineralogicznym oraz pochodzeniem skał macierzystych. W warunkach silnego zanieczyszczenia ołów łatwo przechodzi do łańcucha pokarmowego. Średnia zawartość ołowiu w glebach użytków rolnych Polski wynosi 13,8 mg/kg. Większe obszary gleb o wysokiej zawartości ołowiu występują w województwie śląskim. Istotną rolę odgrywa tu czynnik antropogeniczny związany z działalnością hutniczą i wydobywczą oraz transport.

Cynk jest pierwiastkiem niezbędnym w procesach metabolicznych organizmów żywych. Migracji cynku w środowisku sprzyja kwaśny odczyn gleby. Większe nagromadzenie cynku w glebach województw południowej części kraju wiąże się z rodzajem występujących tam skał macierzystych oraz emisją cynku do środowiska przez przemysł metali nieżelaznych. Średnie stężenie cynku w glebach Polski wynosi 32,7 mg/kg.

Zakwaszenie gleb w Polsce spowodowane jest przede wszystkim emisją SO_2 przez elektrownie, przemysł hutniczy i chemiczny. Intensywna rozbudowa energetyki opartej na węglu kamiennym i brunatnym niewątpliwie spotęgowała ten proces. Kwasowość jest ważnym wskaźnikiem degradacji gleb uprawnych oraz sprzyja migracji składników gleby do wód podziemnych i powierzchniowych. Gleby kwaśne i bardzo kwaśne ($\text{pH}_{\text{KCL}} < 4,5 - 5,5$) stanowią około 45% gruntów ornych w Polsce. W warunkach naszego kraju roczna dawka siarki w opadach atmosferycznych kształtuje się na poziomie od 9,8 – 73,8 S/ha/rok [Strzyszc 1982, Raport..1998].

Jak wynika z badań Terelaka i Stuczyńskiego [1997] przeprowadzonych w Instytucie Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach ponad 80% użytków rolnych Polski charakteryzuje się naturalną zawartością metali ciężkich (0°). Około 17% gleb wykazuje podwyższoną zawartość (I°), natomiast gleby słabo zanieczyszczone (II°) na których istnieje już obawa chemicznego skażenia roślin, zajmują 2,1% powierzchni kraju. Gleby średnio zanieczyszczone metalami ciężkimi (III°) stanowią, według wyżej wymienionych Autorów, niewielkie zagrożenie dla płodów rolnych, zajmując nie więcej niż 0,2% powierzchni użytkowanej rolniczo. Na glebach tych dozwolona jest uprawa roślin zbożowych, okopowych i pastewnych, przy okresowej kontroli zawartości metali ciężkich w konsumpcyjnych częściach roślin i materiale przeznaczonym na paszę. Udział gleb silnie (IV°) i bardzo silnie (V°) zanieczyszczonych metalami ciężkimi w powierzchni użytków rolnych kraju nie przekracza 0,3%. Gleby te powinny być wyłączone z produkcji rolnej.

W świetle przedstawionych wyżej rozważań dotyczących problematyki skażenia gleb metalami ciężkimi i siarką w Polsce, badania przeprowadzone dla województwa małopolskiego wykazały, że na terenach o szczególnie wysokich walorach środowiska przyrodniczego dla rolnictwa (wysokim wskaźniku jakości rolniczej przestrzeni produkcyjnej), występuje niski poziom metali ciężkich w glebach. Jest to zjawisko pozytywne, bowiem świadczy ono o braku lub niskiej degradacji tymi związkami chemicznymi najlepszych kompleksów glebowych. Należy zatem sądzić, że wyprodukowana tu żywność w żadnym stopniu nie zagraża zdrowiu konsumentów.

Niski poziom metali ciężkich występuje także w południowej (górskiej części) badanego województwa. Jedyne w uprzemysłowionych gminach położonych na zachód od Krakowa oraz gminach położonych w powiatach: suskim, limanowskim, nowosądeckim i gorlickim, występuje przeciętny i wysoki poziom metali ciężkich. Taki stan rzeczy wynika z przemysłowego charakteru gmin podkrakowskich oraz importu na ten obszar zanieczyszczeń powietrza pochodzącego z Górnego Śląska.

Analiza zanieczyszczenia gleb badanego województwa związkami siarki wskazuje, że większość terenów podgórskich i górskich nie wykazuje istot-

nego zanieczyszczenia siarką. Wysoki i bardzo wysoki jej poziom występuje w zachodniej części badanego regionu, a także na północ od Krakowa. Stan ten w znacznej mierze wynika z emisji pyłowych zanieczyszczeń powietrza pochodzących z lokalnego przemysłu oraz Huty im. Sendzimira.

Z kolei analiza przestrzennego zróżnicowania zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi i siarką w nawiązaniu do dominującej funkcji rolniczej, turystycznej i przemysłowej gmin, wykazuje niski poziom degradacji gleb metalami ciężkimi i siarką, na obszarach o dominującej funkcji rolniczej i turystycznej. Ponadto na obszarach o dominującej funkcji rolniczej nakłady na rzecz ochrony środowiska są relatywnie najmniejsze. Natomiast na terenach o dominującej funkcji turystycznej nakłady na inwestycje z dziedziny ochrony środowiska są bardzo wysokie. Jest to zjawisko pozytywne, gdyż tereny te z racji pełnionej funkcji stwarzać muszą godziwe warunki bytowania ludności miejscowej oraz wypoczynku i rekreacji ludności wypoczywającej.

Największe zanieczyszczenie gleb metalami ciężkimi i siarką występuje na obszarach o dominującej funkcji przemysłowej. Podregion ten grupuje 27 gmin położonych głównie w zachodniej uprzemysłowionej części badanego regionu. Na taki stan rzeczy największy wpływ ma bez wątpienia przemysłowy charakter gmin tego regionu, a także, jak wspomniano wcześniej, import zanieczyszczeń powietrza pochodzący z Górnego Śląska.

Pragnę zaznaczyć, że przeprowadzone badania mają przede wszystkim charakter syntetyczny i porządkujący, i umożliwiają ocenę przestrzennego zróżnicowania badanych zjawisk. Autor zdaje sobie sprawę, iż wykonane badania dotyczą jedynie przestrzennego aspektu analizowanej problematyki i nie obejmują szczegółowej analizy mechanizmów działania poszczególnych metali ciężkich w glebach ich synergicznego oddziaływania oraz wpływu na edafon gleby.

Wpływ rolnictwa i transportu na skażenie gleb wiąże się przede wszystkim ze stosowaniem chemicznych środków ochrony roślin, oddziaływaniem na gleby olejów i smarów pochodzących z ciągników i maszyn rolniczych, niekorzystnym wpływem odpadów pochodzących z przemysłu rolno-spożywczego. Ponadto degradacja ołowiem terenów użytkowanych rolniczo jest szczególnie silna wzdłuż ciągów komunikacyjnych o dużym natężeniu ruchu.

Stosunkowo niewielkie skażenie gleb województwa małopolskiego metalami ciężkimi i siarką ma swoje odzwierciedlenie w nakładach ponoszonych na rekultywację gleb tego regionu. W 2001 r. bowiem średnie nakłady na rekultywację przypadające na jednostkę samorządową wyniosły 0,01 tys zł/1000 mieszkańców, przy analogicznych nakładach inwestycyjnych ponoszonych na ochronę środowiska na poziomie 120,2 tys zł/1000 mieszkańców. Jak wynika z informacji uzyskanych w Urzędzie Marszałkowskim w Krakowie, ten niski wskaźnik nakładów na rekultywację wynika z faktu, iż w warunkach du-

zego areалу gruntów odłogujących, jednostki samorządowe województwa małopolskiego nie wykazują dużego zainteresowania rekultywacją gruntów, a uzyskane środki finansowe przeznaczają na inne cele rozwojowe.

5. Podsumowanie, wnioski

Przeprowadzone badania pozwoliły stwierdzić, że województwo małopolskie charakteryzuje się dużą zmiennością zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi. Obszary o dominującej funkcji rolniczej, położone w północno-wschodniej części badanego regionu odznaczają się niskim poziomem zanieczyszczenia gleb tymi związkami chemicznymi. Pozytywnym zjawiskiem jest prawidłowość, iż na terenach o szczególnych walorach przyrodniczych dla rolnictwa, występuje niski poziom metali ciężkich w glebach. Niski ich poziom występuje także na terenach o szczególnych walorach przyrodniczych dla rozwoju turystyki i rekreacji.

Jedynie tereny o funkcji przemysłowej charakteryzują się zwiększonym poziomem metali ciężkich, a szczególnie kadmu. Na tych terenach niezbędna jest okresowa kontrola poziomu kadmu w konsumpcyjnych częściach roślin zbożowych, okopowych i pastewnych. Zanieczyszczenie gleb związkami siarki wykazuje stosunkowo wysoki poziom w gminach położonych w zachodniej i południowo-środkowej części badanego regionu.

Z przeprowadzonych badań wynika także, iż tereny o dominującej funkcji turystycznej i przemysłowej charakteryzują się relatywnie wysokimi nakładami inwestycyjnymi na rzecz ochrony środowiska. Jest to zjawisko bardzo pozytywne, bowiem z jednej strony wpływa na ochronę środowiska przyrodniczego na terenach cennych turystycznie, z drugiej zaś, świadczy o właściwym lokowaniu środków finansowych w tych regionach gdzie potrzeby ochrony środowiska są największe.

Zaprezentowane w niniejszym artykule wyniki badań mają także aspekt praktyczny, bowiem nie tylko przedstawiają zróżnicowanie strukturalne i przestrzenne zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi i siarką, ale także stanowią mogą podstawę do racjonalnego programowania przez samorządowe czynniki decyzyjne działalności inwestycyjnej z zakresu ochrony środowiska, zmierzając w ten sposób do likwidacji występujących dysproporcji strukturalnych i przestrzennych w tym zakresie. Ponadto badania te mogą być przydatne praktyce planistycznej przy opracowywaniu planu zagospodarowania przestrzennego województwa małopolskiego.

Literatura

1. **Dietl J.:** Założenia metodologiczne badań organizacji przestrzennej obszarów wiejskich w pracach FAO, Biuletyn KPZK PAN, 101, s. 125÷143, 1979.
2. **Jackowski A.:** Typologia funkcjonalna jednostek administracyjnych województwa nowosądeckiego, Zeszyty Naukowe Akademii Wychowania Fizycznego w Krakowie, 20, s. 20÷29, 1979.
3. **Kostrowicki J.:** Obszary wiejskie jako przestrzeń wielofunkcyjna. Zagadnienia badawcze i planistyczne, Przegląd Geograficzny, 48, 4, s. 601÷611, 1976.
4. **Mrozowicki E.:** Zastosowanie zespołu metod typologii przestrzennej do wydzielenia typów podstawowych jednostek terytorialnych, Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu, Geodezja i Urządzenia Rolne 123, s. 117÷131, 1980.
5. Raport o stanie środowiska w województwie małopolskim w 1999, WIOŚ w Krakowie, praca zbiorowa pod redakcją Konrada Pawła Turzyńskiego i Jerzego Wertza, Biblioteka Monitoringu Środowiska w Krakowie.
6. Raport Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska, 1998. „Stan Środowiska w Polsce”, praca pod kierunkiem Z. Kamińskiego, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
7. Rocznik Statystyczny Województwa Małopolskiego, 2000, Urząd Statystyczny w Krakowie.
8. **Stola W.:** Klasyfikacja funkcjonalna obszarów wiejskich w Polsce. Próba metodyczna, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, PAN, Wrocław-Warszawa-Kraków-Gdańsk-Łódź, Zakład Narodowy Im. Ossolińskich Wydawnictwo Polskiej Akademii Nauk, s. 1÷128, 1987.
9. **Strzyszczyński Z.:** Oddziaływanie przemysłu na środowisko glebowe i możliwości jego rekultywacji, Zakład Narodowy Ossolińskich, Wydawnictwo Polskiej Akademii Nauk, Wrocław-Warszawa-Kraków-Gdańsk-Łódź. 1982.
10. **Terelak H., Stuczyński T.:** Polskie gleby, Ekoprofit, s. 5÷9, 1997.
11. **Urban M.:** Ekonomika i organizacja gospodarstw rolnych. PWN, Warszawa. 1984.

Heavy Metals And Sulphur Contamination Of Soils Against The Functional And Spatial Structure Of Communes Located In The Małopolska Province

Abstract

The main objective of this paper is to analyse and assess the spatial differentiation of heavy metals contamination of soils in the Małopolska province against the prevailing function of communes. The quality of field crops produced depends on the ecological state of soils. Attractivity of the terrain for the

tourists depends on the appropriate resting conditions and the quality of local food produced and offered for sale.

The research carried out allows to state that the Małopolska province is characterized by a high diversity and changeability of heavy metal contamination of soils. Terrains fulfilling a prevailing agricultural role in this region are located in the NE of the province, and the level of their heavy metal contamination is low. It is a very positive phenomenon that terrains showing very good and encouraging natural parameters from the point of view of agriculture show a low level of heavy metals pollution. In the referred province, this phenomenon has become a rule. A low content of such detrimental chemical compounds is found in the districts with particularly interesting attributes which help the touristic and recreation development.

In addition, terrains fulfilling industrial functions are characterised by an increased level of heavy metals in soils. Especially content of cadmium is high. This is the main reason why the agriculture of crop and root plants, as well as of fodder crops is conditioned by a periodic control of cadmium's content in the edible parts of all those plants.

The contamination of soils with sulphur compounds is also spatially highly differentiated. This type of contaminants is relatively high in soils of communes in the southern-central part of the investigated region. It is clear that this state results from emissions of dust from the T. Sendzimir Ironworks. Also local industries in the western part of the province as well as pollution imported from the Upper Silesian region add to this bad situation.

The results of the research show that terrains with a prevailing tourist and industrial function are also characterised by high investment outlays on the environmental protection. This phenomenon is very positive. On the one side, the natural environment of valuable tourist areas is protected, and on the other side, it is a proof that financial means are correctly invested in regions having serious needs in the domain of environmental protection.

The research results presented in this paper show a practical aspect, too. They do not exclusively depict the structural and spatial differentiation of heavy metal and sulphur contamination of soils. This results may be also a basis for the local governmental to plan realistically and wisely investment policies and actions in the domain of environmental protection. This way, the communes could approach the elimination of present structural and spatial discrepancies and proportions in this specific range.