

Stanisław Mularz

AUTOMATYCZNE KARTOWANIE ZAGROŻENIA GLEB EROZJĄ Z WYKORZYSTANIEM GIS

1. Wprowadzenie

Ochrona zasobów gleb stanowi obecnie jeden z najważniejszych problemów w skali światowej, tak z punktu widzenia ekologii jak i ekonomii. Postępująca degradacja oraz kurczenie się pokrywy glebowej obserwowane, zwłaszcza w ciągu ostatnich dziesięcioleci są przede wszystkim efektem nadmiernej industrializacji i urbanizacji. Przykładowo, w latach siedemdziesiątych średni wskaźnik ubytku gleb w Polsce i w Niemczech wynosił odpowiednio: 70 i 200 ha/dobę. W bilansie strat gleb znaczący udział mają procesy egzogeniczne, w tym przede wszystkim zjawiska erozji. Ze względu na skalę problemu kompleksowe jego rozwiązanie, w zakresie właściwej ochrony i zarządzania zasobami gleb, może być dokonane tylko przy użyciu nowoczesnych, szybkich i ekonomicznych metod.

Kryteria powyższe mogą spełnić jedynie metody bazujące na technice komputerowej, z uwagi na konieczność zbierania, magazynowania i przetwarzania dużych ilości danych. Tego rodzaju narzędzie stanowią Systemy Informacji Geograficznej (GIS), które w połączeniu z metodami teledetekcji lotniczej i satelitarnej, są aktualnie szeroko w świecie stosowane do rozwiązywania problemów z zakresu monitorowania, ochrony i kształtowania środowiska przyrodniczego.

Znaczący postęp obserwuje się ostatnio w integrowaniu systemów informacji przestrzennej z modelami matematycznymi, dotyczącymi zarówno poszczególnych komponentów środowiska, jak również ogółu zjawisk zachodzących w sferze przyrodniczej, w tym również procesów degradacyjnych. Do tych ostatnich należy m.in. proces erozji gleb, którego ocena jakościowa, w odniesieniu do przestrzeni ogólnogeograficznej obszaru testowego, była przedmiotem prezentowanych badań.

Podejście tego rodzaju wymagało, w pierwszym rzędzie, rozpoznania i wydzielenia wszystkich głównych czynników naturalnych i antropogenicznych, które decydują o wielkości i przebiegu zjawisk erozyjnych. Ukształtowanie powierzchni terenu zdefiniowane w oparciu o Cyfrowy Model Terenu (CMT), przestrzenny zasięg występowania różnych gatunków i rodzajów gleb, sposób użytkowania ziemi, w tym przede wszystkim charakter kultury rolnej oraz wielkość i rozkład opadów - wszystkie te elementy, po odpowiedniej waloryzacji i przetworzeniu, zgodnie z przyjętą matematyczną formułą modelu stanowiły podstawę do oszacowania podatności pokrywy glebowej na erozję, w przyjętej, relatywnej skali odniesienia.

Wszystkie prace przygotowawcze, związane z wypełnieniem bazy danych, prowadzenie analiz przestrzennych i obliczeń (takich jak: digitalizacja map, klasyfikacja obrazów multispektralnych LANDSAT TM, korekcja oraz modelowanie, prezentacja

danych itp.) były wykonywane pod nadzorem systemu IDRISI (w.4.0 i 4.1). IDRISI jest pakietem GIS o strukturze rastrowej, który opracował zespół specjalistów z Clark University (Worcester, MA., USA). Najnowsza wersja 4.1 składa się z ponad 130 modułów umożliwiających użytkownikowi prowadzenie wszystkich głównych i pomocniczych operacji służących do wprowadzania, magazynowania, zarządzania, wykonywania analiz oraz wizualizacji danych cyfrowych, jak również umożliwiających konwersję plików roboczych na różne formaty (Eastman, 1992).

Sprzęt komputerowy wykorzystywany do przedmiotowych badań charakteryzował się następującą konfiguracją:

- * komputer typu PC (procesor Intel 80486, 50 Mhz, z koprocesorem mat, twardy dysk 520 Mb, RAM 20 Mb, karta graficzna SVGA, umożliwiająca emulację standardu IBM 8514/A;
- * monitor MAG (21"0 z automatycznym wyborem rozdzielczości);
- * mysz, Microsoft - kompatybilna z 80486 CPU;
- * drukarki: czarno-biała (HPLaserJet) i kolorowa (HP Paintjet);
- * digitizer (CALCOMP z wyjściem ASCII).

Wyniki studiów, stosownie do postępu prac badawczych, prezentowano dotychczas na forum dwóch międzynarodowych konferencji: "GIS for Environment", oraz "GIS in Ecological Studies and Environmental Management", (Mularz, 1993, 1994).

2. Charakterystyka obszaru badań, przygotowanie bazy danych GIS

Obszar testowy ma kształt kwadratu o boku 40 km i obejmuje swym zasięgiem znaczną część woj.krakowskiego, przy czym miasto Kraków wraz z dzielnicą Nowa Huta leżą w przybliżeniu w jego centrum.

Rozległa i relatywnie płaska dolina rzeki Wisły rozdziela ten obszar na dwie, urozmaicone pod względem morfologicznym części: północną, o charakterze wyżynnym, z wyraźnie zarysowanymi formami płaskowyżów i głębokimi prostoliniowymi dolinami o kierunku NNW-SSE oraz część południową o rzeźbie wyżynnej typu dendrytycznego, z widocznym rozdziałem drenażu ku zachodowi i północny, do doliny Wisły, oraz ku wschodowi, do doliny rzeki Raby. Spływ wód opadowych, w części północnej obszaru, kontrolowany jest przez zlewnie kilku większych cieków powierzchniowych drugiego rzędu, uchodzących bezpośrednio do Wisły (Rudawa, Prądnik-(Białucha), Dłubnia, Szreniawa).

Pod względem geomorfologicznym, obszar ten stanowi strefę zwornikową trzech prowincji: (Karpaty, Kotliny Podkarpackie, Wyżyny Śląsko-Małopolskie) należących do dwóch wielkich jednostek morfotektonicznych - alpejskiej i hercyńskiej. Natomiast w ujęciu regionalnym, główne jednostki geomorfologiczne to: południowa część Wyżyny Krakowskiej i Wyżyny Miechowskiej, południowo-zachodni fragment Kotliny Sandomierskiej obejmujący partie Wysoczyń: Proszowickiej i Wielicko-Gdowskiej, rozdzielonych Doliną Wisły, oraz Pogórze Wielickie, wchodzące w skład Karpat Zewnętrznych.

Z punktu widzenia ekologii, obszar badań należy do najbardziej zdegradowanych regionów w Polsce, i chociaż w ostatnich latach czynnik antropopresji uległ osłabieniu, stan

środowiska, ze względu na charakter i skalę negatywnych przekształceń, jest tu nadal określany jako katastrofalny.

Baza danych GIS dla obszaru testowego, zawierała następujące główne elementy w postaci cyfrowej:

1. Cyfrowy Model Terenu (CMT);
2. Mapa typów i rodzajów gleb;
3. Mapa użytkowania ziemi;
4. Mapa rozkładu opadów.

CMT został opracowany w oparciu o digitalizację map topograficznych w skali 1:50 000 oraz 1:25 000. W wersji oryginalnej CMT sporządzono dla siatki rastra 50 x 50 m, którą następnie przekształcono na siatkę 30 x 30 m, celem dostosowania CMT do rozdzielczości systemu LANDSAT TM.

Cyfrowy Model Terenu posłużył do wygenerowania dwóch map pochodnych: mapy nachyleń powierzchni terenu, stosownie do lokalnych deniwelacji, dla 6 przyjętych stref (0-2°, 3-5°, 6-12°, 13-25°, 26-35°, >35°) oraz mapy ekspozycji uogólnionej do 4 głównych stron świata, (N,S,E,W).

Mapa rolniczo-glebowa woj. krakowskiego, w skali 1:100 000 stanowiła materiał źródłowy dla sporządzenia odpowiedniej warstwy tematycznej w cyfrowej bazie danych. Wektorową postać danych poddano rasteryzacji a następnie trzykrotnej procedurze filtracyjnej, w celu usunięcia błędów powstałych w procesie digitalizacji i jednocześnie "wygładzenia" konturów wydzieleni (typy, rodzaje i gatunki gleb, kompleksy przydatności rolniczej).

Dla potrzeb modelowania erozyjnego, treść cyfrowej mapy glebowej została zgeneralizowana do 6 głównych rodzajów i gatunków gleb, które ze względu na skład ziarnowy i genezę charakteryzuje różna odporność na procesy niszczące. Ostatecznie wydzielono:

- gleby piaskowe,
- gleby gliniaste,
- gleby pylaste,
- gleby ilaste,
- rędziny na wapieniach,
- gleby aluwialne.

Analizując mapę gleb (Rys.5.1) łatwo zauważyć, iż na badanym obszarze dominują gleby pyłowe, wykształcone na lessach i utworach lessopodobnych, które stanowią 64% całkowitej powierzchni gruntów uprawnych. Około 22% powierzchni zajmują gleby aluwialne, przeważnie mady, wypełniające strefy dolin rzecznych, głównie Wisły i jej dopływów. Gleby piaskowe (9%) i gliniaste (3%) tworzą relatywnie małe enklawy. Rędziny wykształcone na wapieniach, występują głównie w części północnej rejonu badań, zajmując łącznie 2% jego powierzchni. Z kolei, gleby ilaste grupują się przede wszystkim na południu obszaru testowego, ale ich udział w ogólnym bilansie jest znikomy (0,05%).

Kolejną warstwę tematyczną bazy danych stanowiła mapa rolniczego użytkowania ziemi z elementami pokrycia topograficznego. Warstwa ta jest syntezą treści obrazu satelitarnego systemu LANDSAT TM oraz mapy glebowo-rolniczej.

Integrację danych teledetekcyjnych i kartograficznych prowadzono w kilku etapach. Najpierw sporządzono mapę użytkowania ziemi w oparciu o procedurę nadzorowanej klasyfikacji multispektralnego obrazu LANDSAT TM (Rys.5.2). Do analizy wykorzystano dane z wszystkich 6 kanałów odbijalnych, które obejmują pełny zakres widzialny spektrum elektromagnetycznego oraz bliską i środkową podczerwień. Cechy spektralne 7 klas użytkowania charakteryzowało 45 pól treningowych, które określono na podstawie dostępnych materiałów kartograficznych, interpretacji standardowych wersji kompozycji barwnych, a także w niektórych przypadkach w oparciu o wizję terenową. Najlepszy rezultat klasyfikacji uzyskano przy zastosowaniu metody największego prawdopodobieństwa (z opcją klasyfikującą wszystkie piksele obrazu), i tę wersję mapy zakwalifikowano do dalszego przetwarzania. Następnie mapę glebowo-rolniczą poddano reklasyfikacji wydzielając głównie kompleksy przydatności rolniczej gleb (kompleks pszenicy, żytni, zbożowo-pastewny, górski), trwałe użytki zielone, nieużytki oraz obszary nierolnicze (kompleksy leśne, strefy zabudowy).

Integracja treści obu map pozwoliła na zdefiniowanie 5 głównych kategorii rolniczego użytkowania ziemi i 4 klas pokrycia topograficznego (Rys.5.3)

3. Metodyka i wyniki badań

Głównym celem podjętych badań była próba ukazania możliwości GIS jako narzędzia do modelowania degradacji pokrywy gleb uprawnych, spowodowanej procesem erozji. Chodziło tu o wydzielenie, w obrębie obszaru testowego, rejonów w których interakcja czynników naturalnych (rodzaj gleby, ukształtowanie powierzchni, wielkość opadów) i antropogenicznych (sposób użytkowania ziemi, stosowana profilaktyka itp) sprzyja, w mniejszym lub większym stopniu, rozwojowi zjawisk erozyjnych. Inaczej mówiąc splot niekorzystnych czynników będzie generował odpowiednio wysoki, mały lub średni stopień zagrożenia gleb przez procesy egzogeniczne.

Dla ilościowej oceny skutków erozji gleb szeroko w świecie wykorzystywana jest propozycja Wischmeiera i Smitha (1978) w postaci tzw. modelu USLE (Universal Soil Loss Equation), który poddawany jest również odpowiednim modyfikacjom (np. Renard i in., 1991; Brigs, France 1982; Tilko, Grimaldi di Castro 1992; Jurgens, Tander 1992; Pinto i in. 1992).

Formuła USLE łączy w sobie wszystkie główne czynniki, naturalne i antropogeniczne, które determinują charakter i wielkość erozji gleb:

$$A = S \cdot L \cdot R \cdot P \cdot C \cdot K$$

gdzie:

A - średni ubytek gleby w ciągu roku (t/ha · a),

S - odcinkowe nachylenie stoku,

L - długość stoku,

R - wielkość opadów,

P - stosowana profilaktyka,

C - pokrycie topograficzne i sposób użytkowania ziemi,

K - erodowalność gleb.

W omawianych badaniach wykorzystano koncepcję modelu USLE jako iloczynu logicznego wszystkich warstw tematycznych, które w postaci cyfrowej zmagazynowane zostały w bazie danych GIS. W modelu USLE parametr opisujący morfologię powierzchni terenu składa się z dwóch członów: nachylenia (S) i długości stoku (L) i jest odpowiedzialny za dynamikę procesu erozji. Ze względu na brak w systemie IDRISI procedury do automatycznego generowania długości stoku (L), do integracji cech morfologicznych wykorzystano mapę stref nachyleń (Rys.5.4) i mapę ekspozycji jako ekwiwalent parametru ($L \cdot S$).

Warunki klimatyczne opisuje parametr (R), w którym zawiera się potencjalna erozyjność gleb na danym obszarze. Na podstawie pomiarów z kilku stacji meteorologicznych sporządzono mapę rozkładu średniorocznej wysokości opadów dla obszaru testowego, którą następnie poddano rekლasyfikacji, wydziałając 4 strefy poziomu opadów (niskie, średnie, wysokie i bardzo wysokie).

Współczynnik erodowalności (K) wyraża podatność gleb na erozję ze względu na ich genezę i cechy fizyczne, w tym przede wszystkim skład granulometryczny. Wyznaczenie tego parametru wymaga specjalnych badań polowych (Jurgens & Fander 1992) i jest on niezbędny dla ilościowego pomiaru skutków erozji. Dla potrzeb jakościowej oceny, jako ekwiwalent parametru (K) wykorzystano, odpowiednio zwałoryzowaną, mapę głównych rodzajów i gatunków gleb.

Parametry (C) i (P) nawiązują do tzw. cech kulturowych danego obszaru i są ściśle związane z działalnością człowieka, przede wszystkim z rodzajem i skalą kultywacji rolnej. Dla omawianego obszaru przyjęto $P = 1$, ponieważ nie prowadzi się tu specjalnych zabiegów ograniczających erozję gleb. Parametr (C) reprezentowała mapa rolniczego użytkowania ziemi i pokrycia topograficznego, po dokonaniu odpowiedniej waloryzacji poszczególnych klas użytkowania, stosownie do roli jaką spełniają w ochronie powierzchni gleb przed erozją.

Procedura analityczna, służąca do zintegrowania poszczególnych elementów składowych bazy danych GIS była, zgodnie z ideą modelu USLE, iloczynem logicznym pięciu głównych warstw tematycznych, które wcześniej poddano odpowiedniej "waloryzacji erozyjnej". W rezultacie uzyskano mapę cyfrową, której wartość każdego piksela odzwierciedla stopień kumulacji czynników sprzyjających erozji gleby, w obrębie elementarnego pola. I tak np. wysokie wartości pikseli charakteryzują odkryte powierzchnie łatwo rozmywalnych gleb pyłowych (lessów) położonych na stokach o dużym spadku i leżące w strefie o najwyższych opadach, podczas gdy takie same kompleksy uprawowe, ale leżące na stokach o niewielkim nachyleniu mają relatywnie niskie wartości pikseli.

Uzyskaną w ten sposób "surową" wersję mapy poddano dwustopniowej rekლasyfikacji, wydziałając najpierw 5 kategorii zagrożenia erozyjnego a następnie dokonując jej generalizacji do 3 klas: zagrożenie małe, średnie i duże (Rys.5.5).

Analiza mapy wskazuje na znacząco duże zaangażowanie procesami erozyjnymi kompleksów glebowych wykształconych na lessach lub utworach lessopodobnych. Szczególnie zagrożone wydają się być górne i środkowe odcinki zlewni rzeki Dłubni i Prądnika, gdzie w przewodzie występuje najwyższa kategoria zagrożenia, w przyjętej trójstopniowej skali.

Ogółem, ponad 35% areálu upraw zagrożone jest w dużym stopniu rozwojem procesów erozji a około 21% w stopniu średnim. Małe zagrożenie erozyjne występuje na ponad 43% obszaru o rolniczym profilu zagospodarowania. Są to kompleksy uprawowe leżące, przede wszystkim, w dolinie rzeki Wisły oraz na płaskich wierzchoinach, zarówno w północnej jak i południowej części obszaru testowego.

Dla bardziej szczegółowej oceny wyników modelowania zjawiska erozji gleb wykonano szereg analiz typu "cross-tabulation", umożliwiających wzajemną korelację dwóch obrazów, m.in. w formie tabelarycznej, gdzie kategorie jednego obrazu są zestawione z odpowiadającymi im kategoriami drugiego obrazu. Rezultat tego rodzaju analizy może być wyrażony bądź liczbą pikseli dla określonej kombinacji klas, bądź też odpowiednim współczynnikiem proporcjonalności.

Tabela 5.1 zawiera wyniki korelacji kompleksów przydatności rolniczej gleb i kategorii zagrożenia erozyjnego. Łatwo zauważyć iż ponad 73% powierzchni gleb o średnim, i 90% o dużym zagrożeniu erozyjnym przypada na kompleks pszeny. Natomiast 77% powierzchni gleb kompleksu żytniego i ponad 63% zbożowo-pastewnego jest narażona w niewielkim stopniu na rozwój procesów erozyjnych.

Z tabeli 5.2 wynika, iż średnio 50% spośród gleb leżących na zboczach o nachyleniu w przedziałach: 3-5^o, 6-12^o i 13-25^o zaliczonych zostało do najwyższego stopnia zagrożenia erozyjnego.

Tabela 5.3 zawiera wyniki korelacji rodzajów gleb z kategoriami zagrożenia erozyjnego. Z zestawienia widać, iż w kategoriach dużego i średniego zagrożenia erozją dominują gleby pyłowe (lessy i utwory lessopodobne), z udziałem odpowiednio 94% i 77%. Gleby aluwialne mają najwyższy udział w kategorii małego zagrożenia erozją (40%), natomiast lessy zajmują tutaj drugą pozycję (30%).

Tabela 5.1.

Rodzaje gleb	Stopień zagrożenia erozją					
	Mały [%]	Średni [%]	Duży [%]	Nieklassyf. [%]	Ogółem [%]	Suma [%]
Piaskowe	16.94 89.46	3.24 7.96	0.10 0.42	1.07 2.16	100.00	7.24
Gliniaste	4.28 72.55	2.78 21.20	0.28 3.67	0.29 1.88	100.00	2.25
Pyłowe (lessy)	29.72 21.32	77.29 25.78	94.53 52.38	1.86 0.52	100.00	53.27
Ilaste	0.09 85.76	0.02 7.52	0.01 6.72	0.00 0.00	100.00	0.04
Rędziny	1.96 37.58	4.66 41.64	1.40 20.78	0.00 0.00	100.00	1.99
Aluwialne	40.61 83.09	11.42 10.87	3.27 5.18	1.11 0.86	100.00	18.67
Nierolnicze	6.40 14.77	0.59 0.62	0.41 0.72	95.67 83.89	100.00	16.54
Ogółem %	100.00	100.00	100.00	100.00		100.00
Suma %	38.21	17.77	29.52	14.50	100.00	

Tabela 5.2.

Przydatność rolnicza gleb	Stopień zagrożenia erozją					
	Mały [%]	Średni [%]	Duży [%]	Nieklasyf. [%]	Ogółem [%]	Suma [%]
Kompleks pszenny	24.30	24.80	50.40	0.50	100.00	52.71
	22.51	73.56	90.00	1.78		
Kompleks żytni	77.10	12.60	6.93	3.37	100.00	6.58
	13.28	4.66	1.54	1.53		
Kompleks zbożowo- pastewny	63.70	16.28	18.95	1.07	100.00	6.12
	10.20	5.61	3.92	0.45		
Kompleks górski	36.78	40.49	17.23	5.50	100.00	3.99
	3.84	9.10	2.33	1.51		
Trwałe użytki zielone	87.88	7.38	3.38	1.47	100.00	14.73
	33.93	6.12	1.12	1.48		
Nierolnicze	5.22	0.95	0.58	93.25	100.00	15.87
	5.24	0.95	0.58	93.25		
Ogółem [%]	100.00	100.00	100.00	100.00		100.00
Suma [%]	38.21	17.77	29.52	14.50	100.00	

Tabela 5.3.

Nachylenie terenu [°]	Stopień zagrożenia erozją					
	Mały [%]	Średni [%]	Duży [%]	Nieklasyf. [%]	Ogółem [%]	Suma [%]
0-2	77.90	47.80	26.30	65.05	100.00	55.46
	53.67	15.31	14.00	17.02		
3-5	16.52	38.55	46.80	19.44	100.00	28.90
	21.18	23.00	46.36	9.46		
6-12	5.14	12.59	24.68	12.09	100.00	13.24
	14.82	16.90	55.03	13.03		
13-25	0.44	1.01	2.15	3.07	100.00	1.43
	11.69	12.60	44.48	31.23		
26-35	0.00	0.02	0.04	0.20	100.00	0.03
	3.41	6.82	27.74	62.03		
> 35	0.00	1.04	0.03	0.16	100.00	0.04
	0.00	14.21	22.74	63.05		
Ogółem [%]	100.00	100.00	100.00	100.00		100.00
Suma [%]	38.21	17.77	29.52	14.50	100.00	

4. Wnioski

Rezultaty przeprowadzonych badań wykazały, że technologia GIS może stanowić efektywne narzędzie do prowadzenia analiz przestrzennych dotyczących problematyki monitoringu i ochrony środowiska przyrodniczego, w tym także jego degradacji. Dla obszaru testowego zlokalizowanego w rejonie Krakowa wygenerowano mapę zagrożenia pokrywy gleb uprawnych przez proces erozji, w przyjętej, względnej skali odniesienia. Wykorzystano do tego celu ideę modelu USLE (Universal Soil Loss Equation) jako analityczną procedurę (iloczyn logiczny) umożliwiającą integrację poszczególnych elementów bazy danych GIS.

Układ przestrzenny wydzielonych stref, definiujących określony stopień zagrożenia erozyjnego gleb (mały średni, duży) jest logiczny i dobrze koresponduje, zarówno z cechami sfery przyrodniczej, jak i z elementami entropogenicznymi obszaru testowego.

Z punktu widzenia metodyki, wydaje się celowym wzbogacenie parametru ($L \cdot S$), opisującego w modelu USLE morfologię powierzchni terenu, o ekspozycje stoku jako jednego z istotnych czynników determinujących dynamikę procesów erozyjnych.

Planuje się kontynuację powyższych badań, przede wszystkim w aspekcie pełnego wykorzystania formuły USLE, dla ilościowej oceny skutków erozji gleb. Dla tego celu niezbędnym jest m.in. wykonanie badań polowych pozwalających na określenie parametru erodowalności gleb (K). Specjalistyczne obserwacje są również niezbędne dla uściślenia parametru (R), gdyż o efektach erozji w sensie ilościowym decyduje obok wysokości opadu także jego intensywność. Doskonalenia wymaga także procedura klasyfikacji danych satelitarnych z wykorzystaniem wysokorozdzielczych, panchromatycznych obrazów SPOT, jak i zobrażeń multitemporalnych systemów LANDSAT (TM, MSS). Wypracowanie w tym względzie odpowiedniej metodyki jest niezbędne dla sporządzania aktualizacji mapy rolniczego użytkowania ziemi z elementami pokrycia topograficznego, jako niezwykle istotnej, dla modelowania erozji gleb, warstwy tematycznej.

Literatura

- Bocco G., Valenzuela C.R. 1988. Integration of GIS and Image Processing in Soil Erosion Studies using ILWIS. ITC Journal, No 4, 309-313.
- Briggs D.J., France J. 1982. Mapping Soil Erosion by Rainfall for Regional Environmental Planning; Journal of Environmental Management, 14, 219-227.
- Chen Ch. 1992. Study of Soil Erosion using Remote Sensing Technique in the Loess Plateau of the North Shanxi Province. Int.Arch.of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.XXiX, Part B7, 137-141.
- Eastman R.J. 1992. IDRISI User's Guide, Clark University Graduate School of Geography.
- Filho M.V., Grimaldi de Castro A, 1992. Remote Sensing Data and Geographic Information Systems for the Characterization of Areas of Soil Erosion. Int.Arch.of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.XXiX, Part B7, 788-791.
- Foster G.R. 1981. Estimating Erosion and Sediment Yield of Field-sized Areas. Transaction of the ASAE 24 (5), 1253-1262.

- Jiang Y., Cheng Cang Shi, Tucker R.R. 1992. Quantitative Soil Erosion Mapping and Classification in China: A Case Study using GIS and Remote Sensing Techniques from the Xichang Area in South West Sichuan Province. *Int.Arch.of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol XXIX, Part B7, 859-864.
- Jurgens C., Fander M. 1992. Soil Erosion Assessment and Simulation by Means of SGEOS and Ancillary Digital Data. *Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol.XXIX, Part B.7, 865-872.
- Mularz S., 1993. A GIS for Assessing the Soil Erosion Susceptibility. *Procc. of the Conference "GIS for Environment"*, Geographical Inf. Systems Lab., Inst. of Geography, Jagiellonian University, Cracow, Poland, 163-170.
- Mularz S., 1994. Mapping Soil Erosion by GIS., *Procc. of the Conference "GIS in Ecological Studies and Environmental Management"*, GRID-Warsaw, Poland, 137-148.
- Pinto S.A.F., Filho V., Donzeli P.L. 1992. Soil Erosion Susceptibility Evaluation based on GIS Technology. *Int.Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol,XXIX, Part B7, 172-174.
- Renard K.G., Foster G.R., Wessies G.A., Porter J.P. 1991. Revised Universal Soil Loss Equation. *Journal of Soil and Water Conservation* 5, 30-33.
- Roo A.P.J., Hazelhoff L., Burrough P.A. 1989. Soil Erosion Modelling using ANSWERS and Geographical Information System. *Earth Surface Process and Land Forms*. 14, 517-532.
- Strzemski M., Siuta J., Witek T., 1973. *Przydatność rolnicza gleb Polski*. PWRiL, Warszawa.
- Wang Z. 1992. Model Study of Basin Soil Loss (BSL) of Loess Plateau in China. *Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol.XXIX, Part B7, 153-157.
- Wischmeier W.H., Smith D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. *Agriculture Handbook*, No 537, US Department of Agriculture.

Maping Soil Erosion by GIS

Summary

An automatic soil erosion mapping is possible, when the relevant maps and remotely sensed data are integrated into GIS (Geographical Information Systems).

In performing investigations for soil erosion mapping it was necessary to recognize and delineate all the main natural and cultural factors which generate the soil erosion effect. First of all a detailed study of all the pattern elements that comprise the landforms, vegetation cover, and land-use conditions are critical and determining the soil erosion characteristics.

In this paper the problem of identifying erosion features of the soils on the Cracow area has been used as a simple illustration of a GIS possibility. A 160 km² area, in southern part of Poland, was selected as a test area for GIS-oriented environmental analyses. The Cracow area is densely populated as well as heavily industrialized.

GIS database provide information on location, spatial distribution and spatial relationships of the parameters, which characterize the soil features and the other natural conditions.

The IDRISI (version 4.1) package was used for calculations and GIS analysis including a map digitizing, processing and manipulation of the database.

The following main data categories have been prepared and stored in the GIS database in digital format:

- 1. Digital Elevation Model (DEM),*
- 2. Soils,*
- 3. Land-use/Land-cover,*
- 4. Rainfall.*

Based on DEM of the site area the slope and aspect maps were generated using proper of IDRISI module. For the slopes six categories were defined according to the local elevation (Fig.5.4).

For the erosion ability assessment the following soil-type layers were created as a result of reclassifying of a soil categories stored in GIS database (Fig.5.1):

- sandy soil,*
- loamy soil,*
- loess and loess-like soil,*
- clayey soil,*
- limestone soil,*
- alluvial (muddy) soil.*

Land-use/Land-cover database component contains several main categories and sub-categories, which were derived from the soil-agriculture map as well as from LANDSAT TM image classification procedures (Fig.5.2; Fig.5.3).

An analytical procedure was applied at a GIS, integrating the six major layers using the USLE oriented formula.

This was performed by reclassification of primary data sets and then combining the proper map layers mathematically. The result is the map, that was discretized into six categories represent: weak, slight, moderate, strong and very strong soil erosion susceptibility. Originally 5 categories were coupled into 3 categories: slight, medium and strong (Fig.5.5). It is easily observed that categories: strong and medium are the most frequent at this area covering about 55 of the agriculture area. It means, that the greater part of the cultivated fields is strongly affected by the erosion phenomenon. About 45 of the soil areas were presented and slight category mainly because of the relatively flat landscape and gentle slope-steepness. A moderate category is observed over 10 of the soils area.

Unclassified area is mainly composed of forest, urban and water category and comes up to 15 of the whole site area.