

Stanisław Mularz

ZASTOSOWANIE GIS DO OCENY ZAGROŻENIA EROZYJNEGO POKRYWY GLEBOWEJ^{*)}

Streszczenie

Cyfrową mapę zagrożenia gleb erozją wodną opracowano dla obszaru testowego o powierzchni około 1600 km², zlokalizowanego w rejonie Krakowa. Ideę modelu USLE (Universal Soil Loss Equation) wykorzystano jako sposób analitycznej integracji 5 warstw tematycznych tworzących bazę danych GIS. Dane wejściowe stanowiły odpowiednie mapy w formacie cyfrowym: spadków i ekspozycji powierzchni terenu, głównych rodzajów i gatunków gleb, rozkładu opadów i użytkowania ziemi. Uzyskano je poprzez digitalizację i odpowiednie przetworzenia materiałów kartograficznych (mapy topograficzne, mapa glebowo - rolnicza) i danych teledetekcyjnych (multispektralny obraz systemu LANDSAT TM). Uzyskane wyniki badań wskazują na celowość stosowania GIS jako efektywnego narzędzia do prowadzenia analiz przestrzennych dotyczących oceny stopnia degradacji poszczególnych komponentów środowiska przyrodniczego.

Wstęp

Gleba, jeden z najważniejszych składników środowiska przyrodniczego jest narażona na oddziaływanie różnorodnych czynników degradacyjnych i to zarówno naturalnych jak i antropogenicznych. Istotny aspekt ochrony zasobów gleb stanowi problem ich strat spowodowanych, z jednej strony postępującą industrializacją, z drugiej zaś rozwój procesów niszczących płaszcz glebowy, w tym zwłaszcza erozji wodnej.

Zagadnienie ochrony gleb, wiąże się bezpośrednio z problemem bazy żywnościowej świata, wymaga skoncentrowanej, planowej działalności oraz kompleksowych rozwiązań opartych na stosowaniu zespołu nowoczesnych i ekonomicznych metod. Jedną z tego rodzaju metod jest GIS (Systemy Informacji Geograficznej), które w połączeniu z teledetekcją lotniczą i satelitarną są aktualnie szeroko w świecie stosowane m.in. do badania i zarządzania zasobami 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 kultywacji 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.

^{*)} Pracę wykonano w ramach projektu badawczego finansowanego przez Komitet Badań Naukowych (Grant nr 9 9519 91 02 pt."Monitoring środowiska z wykorzystaniem geograficznych systemów informacyjnych dla terenów o szczególnym zagrożeniu ekologicznym (na przykładzie województwa krakowskiego).

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).

Obszar badań, baza 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 północy, 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 Wysocznyn: 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).

Powyższy podział na strefy spadków terenu wzorowany jest na klasyfikacji stosowanej w Chinach, w odniesieniu do pokryw lessowych (Jiang i in. 1992). Jego przyjęcie uzasadnia fakt, iż na przeważającej części obszaru testowego występują gleby wykształcone na lessach lub utworach lessowatych.

Mapa rolniczo-glebova 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 wydzielen (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 charakteryzują różną odporność na procesy niszczące. Ostatecznie wydzielono:

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

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. 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 pszenno-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.

Włączenie uogólnionej wersji kompleksów przydatności rolniczej gleb do struktury omawianej warstwy tematycznej należy traktować jako próbę pełniejszego wykorzystania treści mapy glebowo-rolniczej, w aspekcie waloryzacji erozyjnej gleb uprawnych. Wprawdzie kompleksy glebowo-rolnicze nie odzwierciedlają w pełni sposobu rolniczego użytkowania ziemi, w rozumieniu rodzaju i struktury upraw, jednakże korespondują one znacząco z właściwościami fizycznymi i

wodnymi pokrywy glebowej, a co za tym idzie charakteryzują, przynajmniej w pewnym stopniu, podatność gleb na procesy niszczące.

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 i mapę ekspozycji jako ekwiwalent parametru (LS).

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 reklasyfikacji, 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.

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 reklasyfikacji, wydzielając najpierw 5 kategorii zagrożenia erozyjnego a następnie dokonując jej generalizacji do 3 klas: zagrożenie małe, średnie i duże (Rys.1).

Przyjęty tutaj układ kategoryzacji gleb stanowi próbę nawiązania do stosowanej w Polsce, pięciostopniowej skali zagrożenia gleb erozją wodną, która to skala definiuje:

- *erozję słabą*, która przejawia się tylko częściowym zmywaniem poziomu orno-próchniczego z możliwością pełnej regeneracji strat w procesie kultywacji;
- *erozją umiarkowaną*, skutkiem której zmniejsza się wyraźnie miąższość poziomu orno - próchniczego oraz powstaje sieć żłobin rozcinająca ten poziom;
- *erozja intensywna*, degradowe w większym stopniu niż erozja umiarkowana poziom orno-próchniczny, prowadząc do powstania typowej rzeźby erozyjnej w postaci sfałowania i rozczłonkowania zboczy;
- *erozja silna i erozja bardzo silna*; te dwa ostatnie stopnie charakteryzują się niszczeniem całego profilu gleby, niekiedy łącznie z podłożem, co prowadzi do kształtowania się krajobrazu erozyjnego w postaci rozczłonkowania rzeźby, z głęboko wciętymi dolinami i wąwozami.

Na tle przedstawionej klasyfikacji można przyjąć, iż widoczne na mapie (Rys.1) strefy zagrożenia gleb erozją odpowiadają w przybliżeniu - stopień mały i średni - erozji słabej i umiarkowanej, zaś stopień duży zawiera w sobie trzy ostatnie kategorie, tzn. przede wszystkim, erozję intensywną, ale także silną i bardzo silną.

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 przewadze występuje najwyższa kategoria zagrożenia, w przyjętej skali odniesienia.

Ogółem, ponad 35 % areалу 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 wierzchołkach, zarówno w północnej jak i południowej części obszaru testowego.

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" (Tabela 1).

Wobec braku odpowiednich danych dla obszaru testowego, waloryzację erozyjną oparto na danych z literatury (Briggs, France 1982; Jiang i in. 1982; Chen 1992), a także na wynikach badań własnych autora nad rozwojem procesów egzogenicznych. Stąd też, wartości współczynników erozji (Tabela 1) mają charakter przybliżony, i to zarówno jeśli chodzi o ich zróżnicowanie wewnątrz danej warstwy tematycznej, jak i pomiędzy poszczególnymi składnikami bazy danych GIS. Ustalenie bowiem wymiernych kryteriów i sposobu wagowania dla różnych czynników generujących proces erozji wodnej gleb wymaga, w odniesieniu do obszaru testowego, wielu specjalistycznych badań, prowadzonych zarówno *in situ* jak i w warunkach laboratoryjnych.

Tabela 1

Warstwa tematyczna (przetworzona)	Nr kategorii	Współczynnik erozyjny
GLEBY		
piaskowe	1	2.0
gliniaste	2	3.0
pyłowe (lessy)	3	10.0
ilaste	4	5.0
rędziny	5	7.0
aluwialne	6	8.0
obszary nierolnicze	7	0.0
STREFY NACHYLEŃ [°]		
0-2	1	1.0
3-5	2	2.0
6-12	3	3.0
12-25	4	7.0
26-35	5	8.0
> 35	6	10.0
EKSPOZYCJA ZBOCZY		
północna	1	3.0
wschodnia	2	2.0
południowa	3	1.0
zachodnia	4	4.0
UŻYTKOWANIE ZIEMI		
kompleks pszeny	1	3.0
kompleks żytni	2	2.0
kompleks górski	3	2.0
kompleks zbożowo- pastewny	4	3.0
trwałe użytki zielone	5	1.0
kompleksy leśne	6	0.0
zabudowa zwarta	7	0.0
zabudowa rozproszona	8	0.0
wody powierzchniowe	9	0.0
OPADY		
niskie	1	1.0
średnie	1	2.0
wysokie	3	3.0
bardzo wysokie	4	4.0

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 (LS), opisującego w modelu USLE morfologię powierzchni terenu, o ekspozycję 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 zobrazowań multitemporalnych systemów LANDSAT (TM, MSS). Wypracowanie w tym względzie odpowiedniej metodyki jest niezbędne dla 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.

Strzemeski M., Siuta J., Witek T., 1973. *Przydatność rolnicza gleb Polski*. PWRiL, Warszawa.

Wang Z. 1992. Model Study of Basin Soil Loss (BSL) of Loess Plateu 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.