

Piotr Tracz *

M. Strzyż (red.), Perspektywy rozwoju regionu w świetle badań krajobrazowych
Problemy Ekologii Krajobrazu PAEK,
2004, Kielce, s. 277 - 285
ISBN 83-919881-8-X

Metody oceny odporności środowiska przyrodniczego na degradację z wykorzystaniem technik GIS

Wprowadzenie

Pojęcie odporności środowiska przyrodniczego na degradację, czyli na pogarszanie jakości jego poszczególnych elementów lub cech oraz zachwianie równowagi, rozumiane jest jako zdolność do zachowania wewnętrznej równowagi mimo naruszenia jej przez czynniki o właściwościach antygonalnych zarówno pochodzenia naturalnego jak i sztucznego. Ocena odporności środowiska przyrodniczego na degradację umożliwia uchwycenie komponentów o najmniejszej odporności na czynniki niszczące, co ułatwia podjęcie odpowiednich środków ich ochrony. Ze względu na fakt, iż natężenie degradacji na określonym obszarze jest związane z jego odpornością, możliwe jest założenie, iż przy identycznych czynnikach degradujących, wielkość natężenia degradacji w badanym terenie jest odwrotnie proporcjonalna do odporności tego terenu.

Systemy Informacji Geograficznej, których bardzo dynamiczny rozwój następuje od lat 50-tych, obecnie są praktycznie niezastąpione podczas wykonywania wszelkich analiz środowiskowych. Decydują o tym przede wszystkim cztery cechy:

- duża dokładność;
- szybkość wykonywania analiz oraz łatwość zmiany ich algorytmu (metodologii);
- możliwość dokonywania symulacji oraz zmiany parametrów;
- praktycznie nieograniczone możliwości wizualizacji zjawisk oraz wyników analiz.

Metody oceny degradacji, ze względu na metodologie symulowania rzeczywistości, można podzielić na dwie grupy:

- probabilistyczne

* Zakład Ochrony Środowiska, UMCS Lublin, Aleje Kraśnickie 2c, tel. (81) 573-55-10
w. 103, e-mail: ptracz@mercator.umcs.lublin.pl

- deterministyczne.

Pierwsza grupa ocenia natężenie zjawiska szacunkowo w oparciu o przeprowadzone w rzeczywistości badania (kalibrację), druga natomiast stara się symulować (emulować) zjawiska za pomocą równań matematycznych w sposób taki, w jaki zachodzą one w rzeczywistości. Technologie GIS używały pierwotnie głównie metod probabilistycznych, obecnie jednak coraz większą rolę zaczynają odgrywać metody deterministyczne, ponieważ oprogramowanie GIS umożliwia implementowanie ich skomplikowanej metodologii. Obie grupy metod mają swoje zalety i wady. Pierwsza grupa metod jest obciążona błędem, ponieważ oblicza ona najczęściej potencjalne maksymalne natężenie zjawiska, jakie może wystąpić, a jego dokładność zależy od jakości przeprowadzonej kalibracji metody; umożliwia jednak przeprowadzenie analizy w dość szybki sposób dla celów poglądowych. Druga grupa metod jest najczęściej o wiele bardziej dokładna i miarodajna, co jednak wiąże się z większym skomplikowaniem, czasochłonnością i wymogiem posiadania większej ilości danych wejściowych.

Specyfika budowy środowiska przyrodniczego powoduje trudności z oceną jego kompleksowej, naturalnej odporności na degradację. Aby móc ją określić należy ocenić odporność każdego z tworzących je komponentów, oddzielnie z uwzględnieniem wpływu innych komponentów oraz wpływu na inne komponenty. Ze względu na fakt, że odporność każdego z komponentów może być różna na różne rodzaje degradacji, należy przeanalizować odporność każdego z komponentów na wszystkie możliwe rodzaje degradacji. Mając na uwadze to, iż działanie takie jest bardzo trudne, a właściwie obecnie niewykonalne, w niniejszy opracowaniu starano się przedstawić metody oceny odporności tylko wybranych komponentów środowiska przyrodniczego na wybrane rodzaje degradacji. Głównym kryterium ich wyboru był fakt, iż są to najbardziej degradowane geokomponenty środowiska przyrodniczego na silnie przekształconych antropogenicznie lessowych obszarach rolniczych Lubelszczyzny.

Dane wejściowe

Do praktycznego zastosowania metod została wybrana mała lessowa zlewnia o powierzchni 21,032 km² (obliczenia własne), będąca dopływem rzeki Kurówki. Badany obszar znajduje się w środkowej części Płaskowyżu Nałęczowskiego, w krawędziowej strefie Wyżyny Lubelskiej. Obszar zlewni jest bardzo intensywnie wykorzystywany rolniczo (82,7% zlewni to użytki rolne) oraz charakteryzuje się bardzo urozmaiconą rzeźbą terenu i różnicą w wysokościach bezwzględnych dochodzącą do 67,5 m.

Jako dane wejściowe posłużyły:

- mapa topograficzna okolic Nałęczowa w skali 1:10000, która posłużyła do budowy cyfrowego modelu terenu (DEM) o wysokiej rozdzielczości;
- cyfrowa mapa glebowo-rolnicza powiatu Puławy w skali 1:25000, na bazie której można było przedstawić budowę i typy gleb oraz sposoby użytkowania terenu;
- mapa geologiczna oraz hydrogeologiczna w podziałce 1:200000;
- dane z odwiertów hydrogeologicznych;

- dane pochodzące z własnego kartowania terenu (rodzaj upraw, ułożenie pól na stokach, występowanie teras, itp).

Mapy analogowe zostały zeskanowane oraz sprowadzone do jednego układu współrzędnych, a ich treść została przekształcona na cyfrową formę wektorową. Wszystkie symulacje zostały przeprowadzone za pomocą oprogramowania ArcInfo v7.2.1 oraz ArcView v3.2a.

Ocena erozji wodnej gleb modelem R-USLE 3D

Model USLE (Universal Soil Loss Equation) jest empirycznym, wielomianowym, probabilistycznym równaniem opracowanym do obliczania ilości strat gleb na terenach użytkowanych rolniczo. Pierwsza wersja modelu o tej nazwie została opracowana na podstawie wieloletnich badań przez amerykańskich naukowców Wischmera i Smitha w 1978 roku (Wischmer, Smith 1978). Równanie R-USLE ujęte jest następującym wzorem:

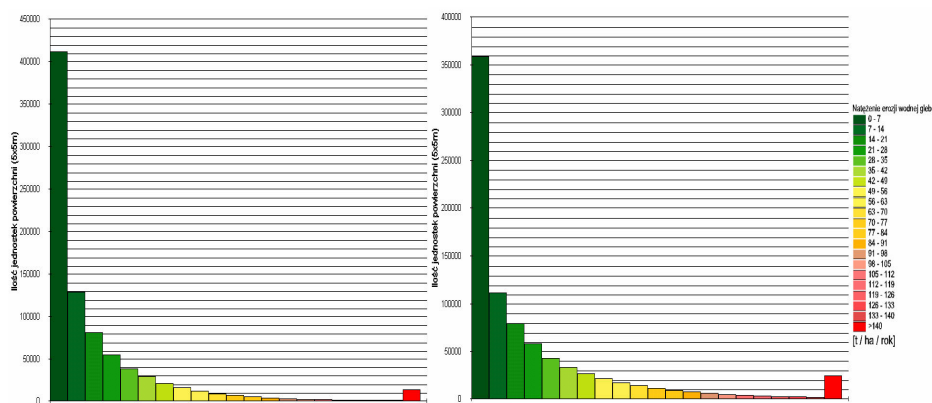
$$A = R * K * L * S * C * P$$

gdzie:

A – strata gleby przypadająca na jednostkę powierzchni w jednostkach użytych dla czynnika R oraz K, **R** – czynnik erozyjności opadu i spływu powierzchniowego, **K** - czynnik podatności gleby na erozję, **L** – czynnik długości stoku (zbocza), **S** – czynnik nachylenia zbocza, **C** – czynnik pokrywy roślinnej i sposobu uprawy, **P** – czynnik specjalnej uprawy przeciwoerozyjnej.

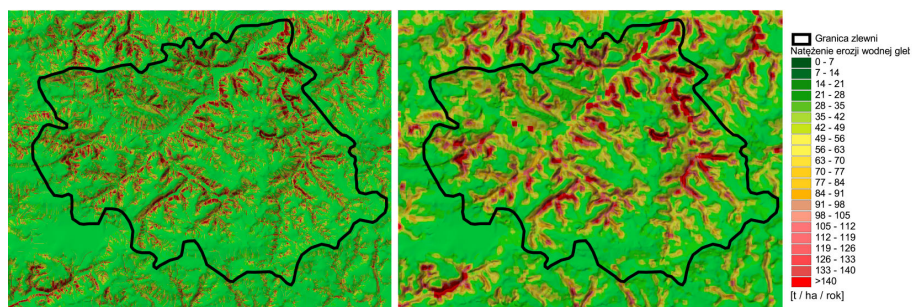
Model USLE jest użyteczny do przewidywania wielkości erozji w dłuższych okresach czasu (np. rok). W okresach krótszych mogą się pojawiać coraz większe przekłamania ze względu na czynnik R, który nie jest w stanie uwzględnić warunków wilgotnościowych w glebie (Dębicki, Rejman 1990). Porównując wyniki badań erozji przeprowadzonych na glebie lessowej w północnej części Płaskowyżu Nałęczowskiego z szacunkowymi obliczeniami dla tego terenu przy pomocy modelu USLE, stwierdzono duże rozbieżności, wymagające wprowadzenia pewnych lokalnych modyfikacji do modelu (Rejman, Usowicz, 1999). Można to jednak tłumaczyć tym, że wyniki otrzymane przy wykorzystaniu tego modelu należy traktować jako maksymalną możliwą erozję, która może wystąpić na badanym terenie przy określonych warunkach (Mitasova 1999). Według twórców tego modelu w 87% przypadków ocena erozji ma dokładność $\pm 0.5 \text{ kg z m}^2$ (Wischmeier, Smith, 1978). Jedynie modyfikacja Morgana (1984) jest bardziej dokładna, ale tylko przy założeniu, że wskaźnik erozyjności gleby został ustalony na podstawie laboratoryjnych badań gleb występujących na danym obszarze (Costic, 1996).

Obecnie najnowocześniejszym wariantem tej metody jest model Revised-USLE 3D. Wszystkie modele USLE zakładają, że na całym obszarze badań zachodzą tylko i wyłącznie zjawiska erozji, dlatego też przed zastosowaniem równania należy wykluczyć fragmenty obszaru na których zachodzi lub może zachodzić zjawisko akumulacji (Mitasova, 1999).



Ryc. 1. Potencjalna ilość zmywanej gleby obliczona metodą R-USLE (orka wzdłuż stoku – lewy, orka w poprzek stoku - prawy)

Fig. 1. Potential amount of washed soils calculated using R-USLE method (tillage along slope – left, tillage across slope - right)



Ryc. 2. Mapa potencjalnej erozji wodnej gleb – model R-USLE (rzeczywistej – lewa, uśredniona – prawa)

Fig. 2. Map of potential water erosion of soils – R-USLE model (real – left, mean – right)

Ocena erozji wodnej oraz depozycji gleb modelem USPED

USPED (Unit Stream Power based Erosion/Deposition) jest probabilistycznym modelem przewidującym przestrzenny rozkład wielkości erozji i depozycji dla stałego spływu powierzchniowego z ujednoczonym opadem deszczu dla całego terenu, który stwarza warunki do transportu powodującego erozję. Wykorzystuje on te same wskaźniki jak model R-USLE. Wyjątkiem są tu wskaźniki: L (długość zbrocza) oraz S (nachylenie zbrocza), które są zastąpione bardziej skomplikowanymi (Mitasova, 1998).

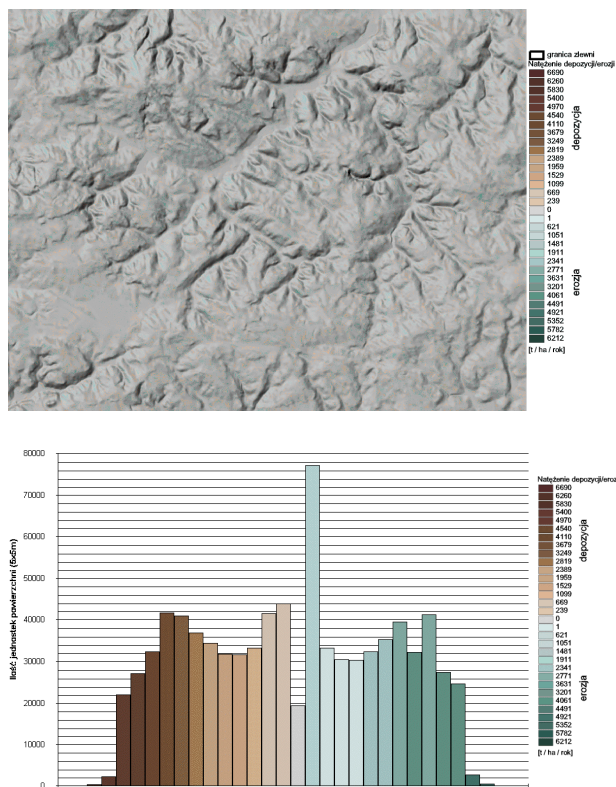
Metody oceny odporności środowiska przyrodniczego na degradację...

W modelu USPED zakłada się, że wielość spływu osadów $qs(r)$ jest na poziomie jego możliwości transportowych $T(r)$, $r=(x,y)$, który jest obliczany przy pomocy funkcji energii nachylonego zbocza $b(r)$, spływu wodnego $q(r)$ oraz efektywnych możliwości transportowych zależnych od rodzaju gleby oraz typu użytkowania.

$$|qs(r)| = T(r) = Kt|q(r)|^m \sin b(r)^n$$

gdzie m , n są stałymi zależnymi od typu spływu oraz właściwości gleby.

Model USPED został ulepszony poprzez wprowadzenie dwuwymiarowej formuły spływu, która została zaczerpnięta z bardziej ogólnego modelu SIMWE (Mitas, Mitasova 1998). Za pomocą tej formuły, spływ wodny i sedymentacyjny jest odwzorowany jako biwariatywny wektor pola $q(r) = q(x,y)$, $qs(r) = qs(x,y)$. W ten sposób wielkość erozji i depozycji liniowej jest wyliczana jako rozbieżność spływu sedymentacyjnego.



Ryc. 3. Mapa oraz histogram potencjalnej erozji i depozycji gleb – model USPED

Fig. 3. Map and histogram of potential erosion and deposition of soils – USPED model

Wyznaczanie obszarów krytycznych dla wód powierzchniowych

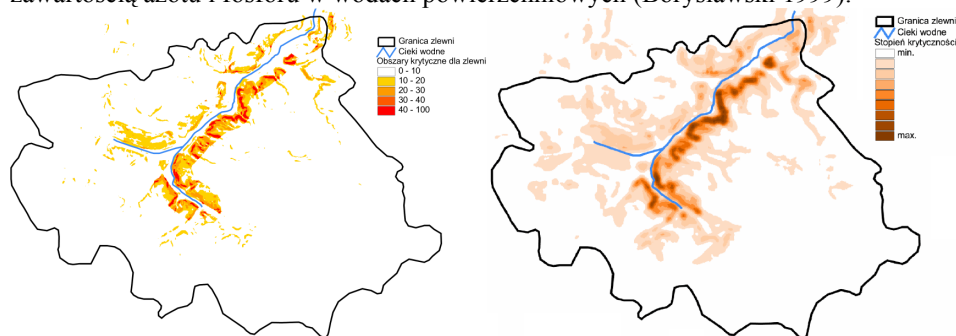
Metoda ta pozwala wydzielić potencjalne obszary krytyczne dla wód powierzchniowych. Tereny tego typu w głównej mierze warunkują jakość wód powierzchniowych, a dokładne umiejscowienie ich potencjalnych miejsc występowania pomaga w kontrolowaniu i zapobieganiu ewentualnemu zanieczyszczeniu. Metoda ta nadaje się szczególnie do określania występowania obszarów krytycznych na terenach z bardzo silnie rozwiniętym rolnictwem. Na obszarach tego typu zanieczyszczenia mające głównie charakter biogeny oraz roślinny i owadobójczy pochodzą głównie ze źródeł powierzchniowych, jakimi są pola uprawne. Metoda tego typu została użyta do oceny zlewni rzeki Olawy w latach 90-tych (Borysławski 1999). Ma ona charakter wielowymiarowego probabilistycznego równania składającego się z 4 parametrów:

$$P = N * T * TU * B$$

gdzie:

P – jest stopniem krytyczności, **N** – jest współczynnikiem nachylenia terenu w stopniach, **T** – jest współczynnikiem granulacji powierzchni glebowej, **TU** – jest współczynnikiem terenu, **B** – jest współczynnikiem odległości od cieku wodnego.

Równanie to w dość zauważalny sposób wykorzystuje podwaliny modelu ULSE wykorzystywanego do modelowania natężenia spływu powierzchniowego i zakłada, że tereny krytyczne występują w miejscach, w których mogą powstawać zanieczyszczenia, a z których ewentualny transport do cieku wodnego poprzez spływy jest najbardziej prawdopodobny. Jej podstawy metodyczne wiążą się również ze wskaźnikiem lesistość / tereny uprawne w zlewniach cząstkowych. Badania Osborne'a i Wileya nad tym wskaźnikiem wykazały, iż występuje duży związek pomiędzy tym wskaźnikiem a zawartością azotu i fosforu w wodach powierzchniowych (Borysławski 1999).



Ryc. 4. Obszary krytyczne dla wód powierzchniowych (rzeczywiste – lewy, uśrednione – prawy)

Fig. 4. Critical areas for surface water (real – left, mean – right)

Ocena zagrożenia wód podziemnych za pomocą modelu DRASTIC

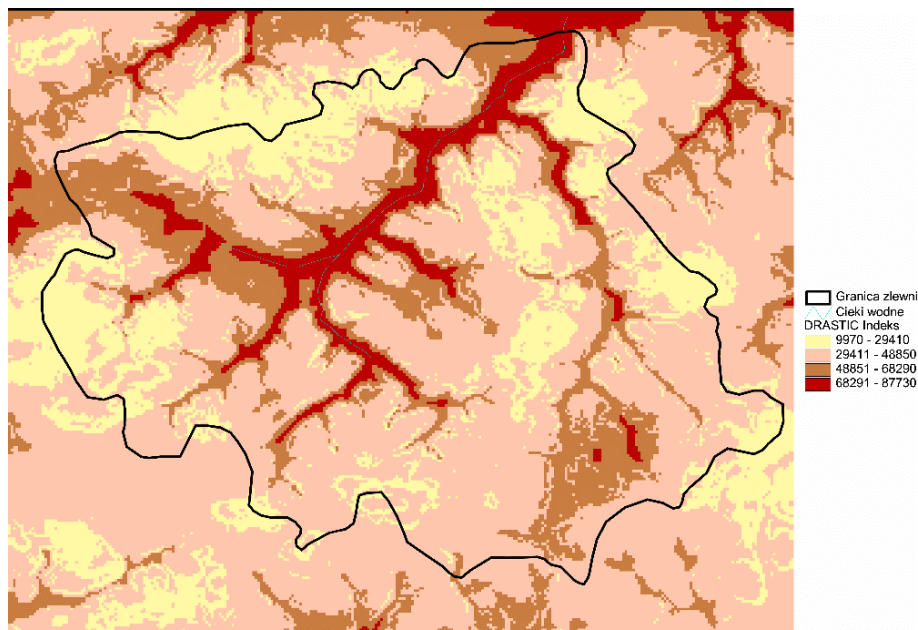
Model DRASTIC został opracowany przez US EPA (Environmental Protection Agency) w 1985 r. jako „standaryzowany system do obliczania potencjalnego zagrożenia wód podziemnych zanieczyszczeniami na podstawie danych hydrologicznych„, (Aller 1985). Jest to podstawowy model używany do oceny zagrożenia i monitoringu wód podziemnych w USA (Rupert 2000). Wielkość zagrożenia opisuje tzw. DRASTIC indeks, który jest kombinacją numerycznych wskaźników oraz ich wag. Wskaźniki te opisują najważniejsze hydrogeologiczne parametry wpływające na przemieszczenie się zanieczyszczeń powierzchniowych do strefy występowania wód podziemnych. Model ten posiada dwa warianty: pierwszy służący do ogólnej oceny zagrożenia, drugi do oceny zagrożenia głównie pestycydami i nawozami azotowymi. Wyliczenie indeksu DRASTIC przeprowadza się za pomocą równania:

$$\text{DRASTIC Indeks} = DrDw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + IrIw + CrCw$$

gdzie:

Xr – jest to wartość wskaźnika, Xw – jest to waga wskaźnika

D – głębokość występowania wód podziemnych, R – zasilanie wód podziemnych, A – rodzaj utworów, S – typ utworu głębowego, T – nachylenie terenu, I – cechy strefy aeracji, C – przewodność hydrauliczna utworów



Ryc. 5. Mapa indeksu DRASTIC

Fig. 5. Map of DRASTIC index

Wnioski

Systemy GIS w połączeniu z odpowiednio przystosowanymi metodami tworzą bardzo funkcjonalny oraz wydajny system do oceny stopnia zagrożenia i odporności środowiska przyrodniczego na degradację, co jest niezbędne do jego ochrony.

Przedstawione wyżej metody oceny odporności środowiska na degradację zostały wybrane tak aby uwzględniały abiotyczne komponenty środowiska szczególnie degradowane w typowych lessowych zlewniach rolniczych, jakie znajdują się na terenie Lubelszczyzny. Szczególny nacisk kładą one na takie komponenty środowiska jak: ukształtowanie terenu, pokrywa glebowa oraz rodzaj użytkowania terenu.

Z racji tego, że wszystkie wyżej przedstawione metody mają charakter równań parametrycznych, umożliwiają one przeprowadzanie bardzo efektywnych symulacji oraz prognoz typu, „co się stanie, jeśli...”. Taka prostą prognozę zastosowano w przypadku metody R-USLE poprzez zmianę ułożenia orki z wzdłuż stoku (najpowszechniejsza na badanym terenie) na w poprzek stoku. Uzyskane w ten sposób wyniki pokazały, iż zastosowanie tak prostego zabiegu jest w stanie zmniejszyć o blisko połowę erozję wodną gleb w miejscach o jej największym nasileniu. Wszystkie przedstawione metody umożliwiają praktycznie dowolną ingerencję w dane wejściowe (np. sposób użytkowania, rozkład przestrzenny, rodzaje upraw, itp.). Umożliwienie wykonywania tego typu symulacji i prognozy pozwala na wybranie najlepszych i najbardziej efektywnych sposobów zapobiegania degradacji w warunkach rzeczywistych.

Nie należy jednak zapominać, iż nie ma metody idealnej, która nie byłaby obarczona błędem lub w sposób całkowity i zawsze wiarygodny symulowałaby rzeczywiste warunki, dlatego też tak ważne jest dokładne przeanalizowanie jej metodologii przed zastosowaniem metody.

Na podstawie przeprowadzonych analiz można również dojść do wniosków, iż niektóre z wykorzystanych metod z racji, że zostały opracowane w USA, wymagają pewnych modyfikacji, w celu podniesienia ich dokładności i przystosowania do warunków geograficznych, jakie występują na obszarze Polski.

Abstract

Geographic Information Systems became practically irreplaceable during making almost all natural environment analyses. The main reasons are: preciseness, velocity of analyses, making simulations and almost illimitable possibilities of data visualization. This article shows the probabilistic methods of estimating the natural environment's resistance on degradation using GIS tools. Chosen by the author methods are suitable for degradation of loess watersheds with intensive agriculture and estimate the level of soils and water degradation. All methods covered by this paper were tested practically on typical loess watershed with very aggressive arable lands situated in Płaskowyż Nałęczowski (south-eastern Poland).

Literatura

Aller, L., T. Bennett, J.H. Lehr, and R.J. Petty. 1985 – DRASTIC: A Standardized System for Evaluation Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. USEPA 600/2-85/0108. USEPA, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory. Oklahoma.

Metody oceny odporności środowiska przyrodniczego na degradację...

- Borysławski R. Z., 1999 – Komputerowe systemy informacji przestrzennej w ochronie środowiska. Wyd. UW, Wrocław.
- Costic A. L., 1996 – Indexing Current Watershed Conditions Using Remote Sensing and GIS, University of California, Davis.
- Dębicki R., Rejman J., 1990 – Przewidywanie strat gleby w wyniku erozji wodnej. Problemy Agrofizyki 59. PAN, Wrocław.
- Mitasova H., Mitas L., 1999 – Modeling soil detachment with RUSLE 3d using GIS. University of Illinois, Urbana-Champaign, IL.
- Mitasova H., Mitas L., Brown W. M., Johnston D., 1998 – Multidimensional soil erosion/deposition modeling and visualization using GIS. Final report for USA CERL. University of Illinois, Urbana-Champaign, IL.
- Rejman J., Usowicz B., Karpeta K., 1999 – The effect of surface roughness and sealing on runoff and wash on a loess soil of south-east Poland, PAN, Lublin.
- Richling A., Solon J., 1998 – Ekologia krajobrazu. PWN, Warszawa.
- Rupert M.G., 1999 – Improvements to the DRASTIC ground-water vulnerability mapping method. US Geological Survey Fact Sheet FS-066-99, March, Idaho USA.
- Wischmeier W.H., and Smith D.D., 1965 – Rainfall erosion losses from cropland east of the rocky mountains. Guide for selection of practices for soil and water conservation. Agriculture Handbook. No. 282, US Department of Agriculture, Washington D.C.
- Wischmeier W.H., and Smith D.D., 1978 – Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537, US Department of Agriculture, Washington D.C.