

STUDIA I RAPORTY IUNG - PIB

ZESZYT 27(1)

2011

Artur Łopatka, Piotr Koza, Jan Jadczyński, Tomasz Stuczyński

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*OCENA RYZYKA ZAGROŻENIA EROZJĄ WODNĄ W POLSCE
NA PODSTAWIE MODELU USLE*

Potrzeba określenia zagrożenia gleb procesami erozyjnymi wymusza poszukiwanie metod ich obiektywnej oceny. Sposobność taką dają modele erozji wodnej gleb wykorzystujące formułę USLE (Universal Soil Loss Equation); (15). Ze względu na ich dużą popularność, metodykę pozwalającą na łatwą implementację w systemach GIS oraz przewidywania wyrażone w tonach średniego ubytku gleby z jednego hektara w ciągu roku zapewnia to ich porównywalność z pomiarami. Aby ocenić nasilenie procesów erozji wodnej gleb w szerszej Europejskiej perspektywie wyniki modelu przedstawiono z podziałem na kategorie nasilenia erozji, porównywalne z podziałami zastosowanymi w innych opracowaniach spoza Polski.

Metodyka

W modelu USLE (Universal Soil Loss Equation) średni ubytek gleby E w tonach na hektar spowodowany erozją w ciągu roku ma postać:

$$E = 2,24 \cdot 2R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

gdzie (3):

R – wskaźnik erozyjności opadu $[(MJ \cdot mm^{-1}) / (ha \cdot h^{-1})]$;

K – wskaźnik podatności gleby na erozję wodną $[(t \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1}) / (ha \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1})]$;

LS – wskaźnik topografii terenu (bezwymiarowy);

C – wskaźnik ochronnej roli pokrywy roślinnej (bezwymiarowy);

P – wskaźnik ochronnej roli zabiegów przeciwoerozyjnych (bezwymiarowy).

Najważniejszą cechą iloczynowej postaci wzoru opisującego erozję w modelu USLE jest przewidywany jej brak, gdy którykolwiek z czynników staje się równy zero.

Ustalenie roli poszczególnych czynników na drodze empirycznej odbywa się poprzez badanie poszukiwanego czynnika w warunkach, w których można przyjąć pozostałe czynniki za stałe. Oryginalna wersja modelu USLE (15) opracowana została

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.1 w programie wieloletnim IUNG - PIB

dla zastosowań obejmujących pola w pojedynczym gospodarstwie. Rozszerzenie zastosowań modelu USLE do dużych obszarów z wykorzystaniem systemów GIS wymuszało różnorodne modyfikacje związane z potrzebą dostosowania do dostępnych źródeł danych. Nie istnieje więc jedna wersja modelu USLE, niemniej jednak proponowane przez różnych autorów postaci poszczególnych czynników ze względu na możliwość ich empirycznej weryfikacji wykazują duże podobieństwo (1, 2, 4).

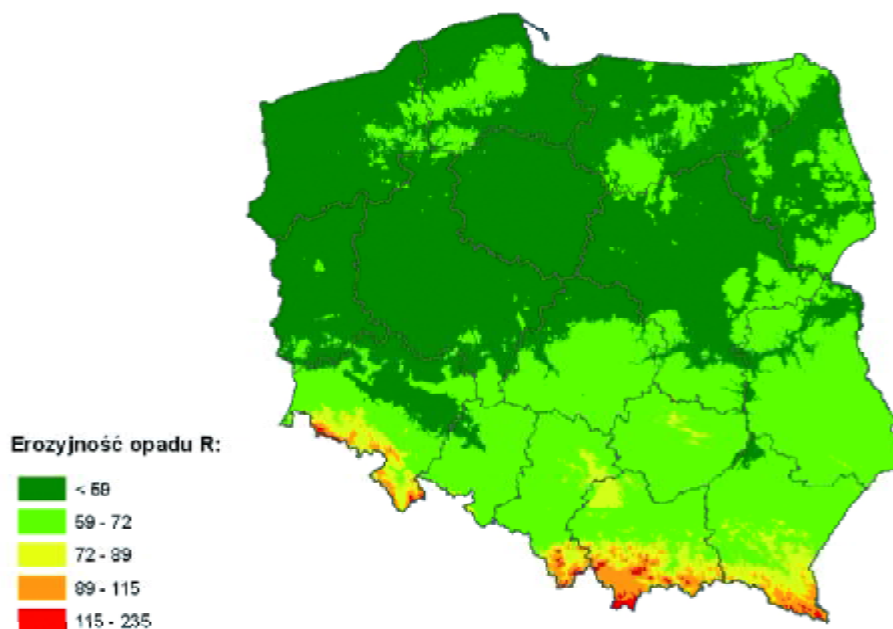
Poniżej przedstawione jest omówienie poszczególnych czynników modelu ze wskazaniem wybranych źródeł zastosowanych algorytmów obliczeniowych:

1) R – Erozyjność opadu

Czynnik R określany jako wskaźnik erozyjności opadu odpowiada za wpływ intensywności i długotrwałości opadów na efekt erozyjny. Można go określić na podstawie wzorów empirycznych w oparciu o rejestrowany przez najbliższą stację meteorologiczną rozkład częstości opadów o różnej intensywności w danym rejonie. Badania takich rozkładów pokazują że w Polsce czynnik R zależy w znacznym stopniu ($R^2 = 0,78$) od wysokości (h) umiejscowienia działki nad poziomem morza (5):

$$R = 0,0709h + 49,46$$

Stosując powyższą formułę, w oparciu o numeryczny model terenu dla Polski o rozdzielczości 40 m (16), wygenerowano warstwę wartości czynnika R (rys. 1):

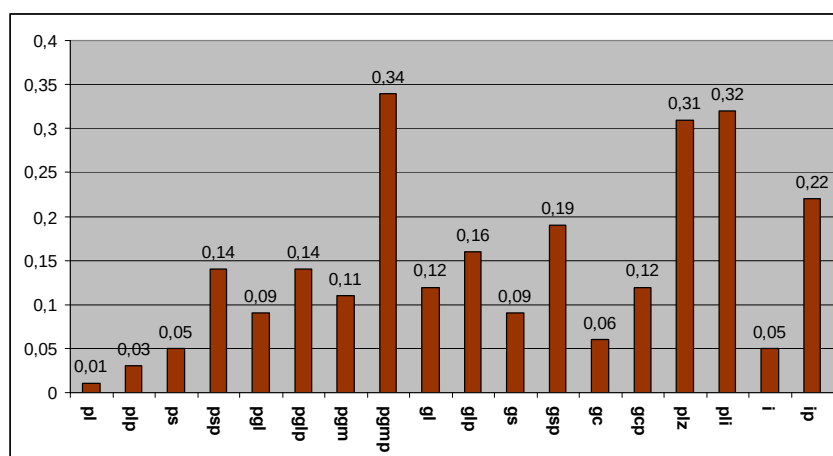


Rys. 1. Erozyjność opadów R [(MJ·mm⁻¹)/(ha·h⁻¹)]

Źródło: opracowanie własne.

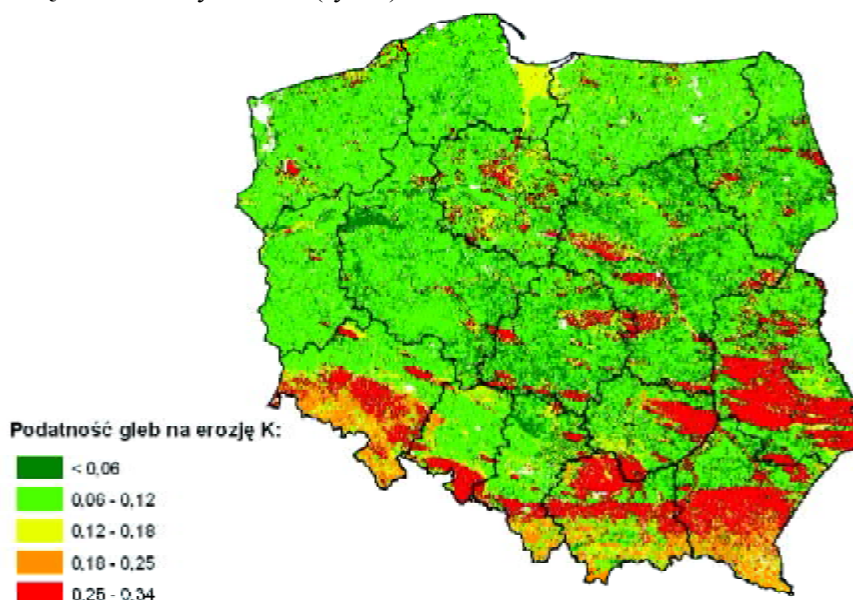
2) K – podatność gleb na erozję

Czynnik K wyraża podatność gleb na erozję i jest określany na podstawie granulometrycznego składu gleby i innych czynników m.in. zawartością próchnicy, a więc informacji, które zawiera pośrednio mapa glebowo-rolnicza. Wartości czynnika K dla poszczególnych gatunków gleb wyróżnionych na mapie glebowo-rolniczej przedstawia poniższy wykres:



Rys. 2. Wartości czynnika podatności gleb na erozję wodną K dla poszczególnych gatunków gleb
Źródło: Wawer i in. (13); dla plp, psp, pjlp, glp, gsp, gcp, pli, i, ip - opracowanie eksperckie własne.

W oparciu o mapę glebowo rolniczą w skali 1:25000 (12 i 14) wygenerowano warstwę wartości czynnika K (rys. 3):



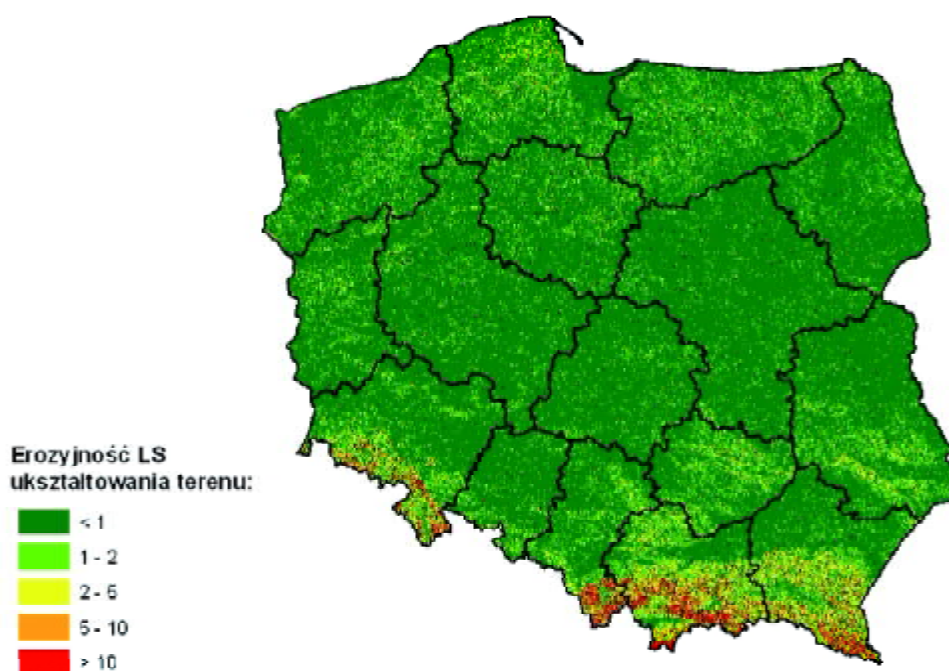
Rys. 3. Podatność gleb na erozję K $[(t \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1}) / (ha \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1})]$
Źródło: opracowanie własne.

3) LS – wskaźnik topografii terenu

Czynnik LS określa wpływ topografii terenu na nasilenie erozyjnego działania spływu powierzchniowego i zależy głównie od nachylenia S (w stopniach) i długości stoku L . Jego wartość może być wyznaczona w oparciu o numeryczny model terenu ze wzoru (7, 8):

$$LS = \left(\frac{FA \cdot CS}{22,13} \right)^{0,4} \left(\frac{\sin S}{0,0896} \right)^{1,3}$$

gdzie CS jest długością komórki rastra (40 m), a FA (flow accumulation) liczbą komórek zasilających spływem daną komórkę. W oparciu o numeryczny model terenu dla Polski (16) o rozdzielczości 40 m wygenerowano warstwę spadków S , a następnie warstwę FA (obie warstwy przy użyciu standardowych algorytmów wbudowanych w programie ArcGIS) i w efekcie warstwę wartości czynnika LS (rys. 4):



Rys. 4. Podatność na erozję wodną LS związana z ukształtowaniem terenu

Źródło: opracowanie własne.

4) Ochronne działanie pokrywy roślinnej

Czynnik C to współczynnik wyrażający stosunek pomiędzy wielkością strat erozyjnych z gleby uprawianej i identycznej gleby odsłoniętej, niepoddanej uprawie i zabiegom agrotechnicznym (tab. 1).

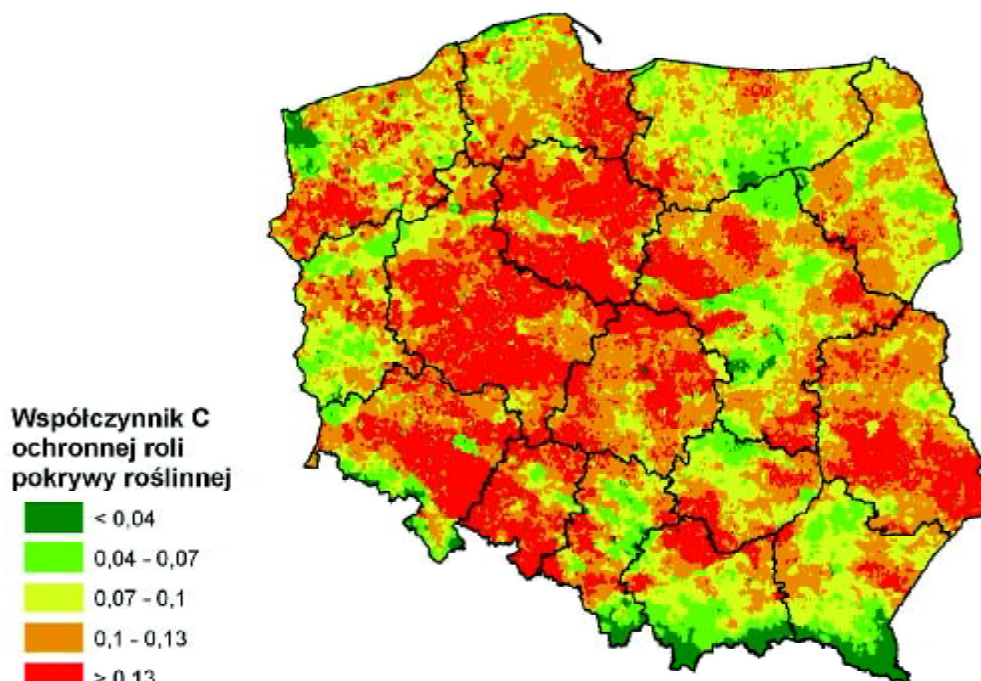
Wartości C obliczono na podstawie danych o strukturze zasiewów w obrębach (uzyskanych metodą dezagregacji na podstawie danych GUS i ARiMR) jako średnią ważoną, gdzie wagami były udziały poszczególnych grup upraw (rys. 5).

Tabela 1

Przyjęte wartości współczynnika C

Rodzaj uprawy	C
Zboża ozime, rzepak ozimy	0,15
Zboża jare, rzepak jary, len, konopie, słonecznik, soja	0,18
Kukurydza, warzywa liściaste, tytoń, chmiel	0,22
Okopowe, warzywa korzeniowe, truskawki	0,22
Strączkowe	0,15
Motylkowate i ich mieszanki	0,1
Trawy na GO i TUZ, odłogi *	0,01
Drzewa i krzewy owocowe **	0,05

Źródło: * Roose 1996 (10); ** Stone, Hilborn, 2000 (11).



Rys. 5. Ochronny wpływ pokrywy roślinnej

Źródło: opracowanie własne.

5) P – wpływ zabiegów przeciwoerozyjnych (profilaktyki)

Czynnik P określa wpływ przeciwoerozyjnej ochrony polegającej na wyborze kierunku uprawy w stosunku do kierunku największego spadku stoku. Ponieważ erozja jest najsilniejsza wtedy, gdy spływ powierzchniowy zachodzi bez przeszkód, a czynnik P przybiera największą wartość równą 1 dla uprawy wzdłuż kierunku największego spadku. Orientacyjne wartości dla różnych kierunków uprawy podano w tabeli 2.

Ze względu na brak danych przestrzennych odnośnie kierunku uprawy w obliczeniach domyślnie przyjęto założenie, że uprawa jest wzdłużstokowa.

Tabela 2

Wartości czynnika P dla różnego kierunku uprawy

Kierunek uprawy w stosunku do kierunku największego spadku	P
Wzdłużstokowa (w górę i w dół stoku)	1
Skośnostokowa (pod kątem ok 450)	0,75
Warstwiczna (prostopadle)	0,5

Źródło: Stone, Hilborn, 2000 (11).

Wyniki

Aby określić ilościową skalę zagrożenia erozją wodną wyniki modelu USLE sklasyfikowano w oparciu o kategorie zagrożenia użyte w pracach dotyczących obszarów spoza Polski (1, 2, 4, 6, 9, 11). Zestawienie oparto na trzech kategoriach opisowych zagrożenia: niskiego, średniego i wysokiego (tab. 3). Do wydzielenia w niniejszym opracowaniu użyto mediany z wartości zebranych w tabeli.

Tabela 3

Przedziały zagrożenia erozją przyjmowane w pracach z różnych krajów

Kraj i autorzy	Granica zagrożenia ($t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$)	
	niskie	wysokie
Niemcy (Marks i in. 1989)	10	15
Włochy (Lastoria i in. 2008)	10	30
Rumunia (Argheș, Argheș 2011)	10	20
Brazylia (Da Silva 2008)	15	50
Kanada (Stone, Hilborn 2000)	5	10
Mediana	10	20

Wyniki wydzielen dla obszaru użytków rolnych w Polsce przedstawiono na mapie (rys. 6) i w tabeli 4 z podziałem na poszczególne województwa.

Wyniki zastosowania opisanego modelu USLE pokazują, że największy udział gleb użytków rolnych narażonych na erozję w stopniu silnym mają województwa Małopolskie i Podkarpackie i wynoszą odpowiednio 7,4 i 5,1%. W pozostałych województwach nie przekracza 3%, a średnio dla kraju udział gleb narażonych na erozję w stopniu silnym wynosi 1,1%.

Podsumowanie

Oszacowanie wielkości erozji wodnej wykonane modelem USLE w oparciu o mapę glebowo-rolniczą w skali 1:25000 i numeryczny model terenu o rozdzielczości 40 m pokazuje, że w skali kraju jedynie 3,2% gleb użytków rolnych narażonych jest na erozję w stopniu średnim i silnym, przekraczającym $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Są to głównie gleby gruntów ornych obszarów podgórskich i górskich oraz część gleb Wyżyny Lubelskiej i Wyżyny Śląsko-Krakowskiej.



Rys. 6. Erozja wodna na UR obliczona modelem USLE

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4

Narażenie na erozję wodną obliczoną modelem USLE w województwach

Województwo	Erozja niska (% UR)	Erozja średnia (% UR)	Erozja wysoka (% UR)
Dolnośląskie	93,4	4,5	2,1
Kujawsko-pomorskie	98,8	0,8	0,4
Lubelskie	95,8	2,9	1,3
Lubuskie	99,6	0,2	0,2
Łódzkie	99,4	0,4	0,2
Małopolskie	79,8	12,8	7,4
Mazowieckie	99,6	0,2	0,2
Opolskie	96,8	2,4	0,9
Podkarpackie	87,1	7,8	5,1
Podlaskie	99,5	0,3	0,2
Pomorskie	99,2	0,5	0,3
Śląskie	95,4	3,4	1,2
Świętokrzyskie	94,1	3,9	2,0
Warmińsko-mazurskie	99,2	0,5	0,3
Wielkopolskie	99,6	0,2	0,2
Zachodniopomorskie	99,5	0,4	0,2
Polska	96,7	2,1	1,1

Źródło: opracowanie własne.

Tak niski udział zagrożenia użytków rolnych erozją wodną w kraju wynika z przyjętego podziału na klasy zagrożenia. Do klasy zagrożenia erozją niską włączono użytki rolne, na których erozyjne straty gleby sięgają do $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$, a w klasie erozji średniej straty zawierają się w przedziale $10\text{-}20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Tak przyjęte kryteria podziału nasilenia erozji wynikają z próby porównania wyników z oceną erozji realizowaną w innych krajach.

Literatura

1. Arghius C., Arghius V.: The quantitative estimation of the soil erosion using USLE type ROMSEM model. Case Study – the Codrului Ridge and Piemont (Romania). *Carpatian J. of Earth and Environmental Sc.*, 2011, **6(2)**: 59-66.
2. Da Silva A. M.: Regional scale modeling of erosion related to land cover evolution: a case study in brazilian southeastern region. *Cienc. suelo* vol.26 no.2 Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2008, 1850-2067.
3. Hołub B.: Interpretacja i porównanie symulacji zagrożenia potencjalną erozją wodną gleb według modeli USLE i USPED na przykładzie okolic Drohiczyzna nad Bugiem. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska Lublin-Polonia*, 2007, **62(12)**: Sectio B, 253-272.
4. Lastoria B., Misericocchi F., Lanciani A., Moncelli G.: An Estimated Erosion Map for the Aterno-Pescara River Basin, *European Water*, 2008, **21/22**: 29-39.
5. Licznar P.: Artificial neural networks aided annual rainfall erosivity factor values calculation in Poland. *Bonn, Gesellschaft für Informatik, Land- und Ernährungswirtschaft im Wandel - Aufgaben und Herausforderungen für die Agrar und Umweltinformatik, Referate der 26. GIL Jahrestagung*, 06.-08. März 2006, Potsdam, 2006, 145-148.

6. Marks R., Müller M. J., Leser H., Klink H.-J. (red.): Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushaltes (BALVL). Forshugen zur Deutshen Landeskunde Band 229, Zentralaussuâ für deutshe Landeskunde, Selbstverlag, Trier, 1989.
7. Mitasova H., Hofierka J., Zlocha M., Iverson L.R.: Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *Int. Journal of Geographical Information Sc.*, 1996, **10(5)**: 629-641.
8. Moore I., Burch G.: Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation. *Soil Sc. Soc. Amer. J.*, 1986a, **50**: 1294-1298.
9. Moore I., Burch G.: Modeling erosion and deposition: topographic effects. *Transactions of the ASAE*. 1986b, **29(6)**: 1624-1630.
10. Roose E.: Land husbandry - Components and strategy, 70 FAO SOILS BULLETIN, Rome, 1996.
11. Stone R. P., Hilborn D.: Universal soil loss equation (USLE). FACTSHEET Agricultural Engineering, Ontario Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs, ORDER NO. 00-001. 2000.
12. Strzemski M., Bartoszewski Z., Czarnowski F., Dombek E., Siuta J., Truszkowska R., Witek T.: Instrukcja w sprawie wykonywania map glebowo-rolniczych w skali 1:5000 i 1:25000 oraz map glebowo-przyrodniczych w skali 1:25000. Ministerstwo Rolnictwa Departament Urzędzeń Rolnych. Warszawa, 1965.
13. Wawer R., Nowocień E., Podolski B.: Real and calculated K_{USLE} erodibility factor for selected Polish soils. *Pol. J. Environ. Studium*, 2005, **14(5)**: 655-658.
14. Witek T.: Mapy glebowo-rolnicze oraz kierunki ich wykorzystania. Seria (P18), IUNG Puławy, 1973.
15. Wischmeier W. H., Smith D. D.: Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. *Agric.e Handbook*, USDA/Science and Education Administration, US. Govt. Printing Office, Washington, DC. 1978, **537**: pp. 58.
16. Numeryczny Model Rzeźby Terenu - poziom 2. SGWP.

Adres do korespondencji:

mgr Artur Łopatka
IUNG - PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.: (081) 8863421 w 325
e-mail: artur@iung.pulawy.pl