

WYKORZYSTANIE NUMERYCZNEGO MODELU TERENU DLA BADAŃ NAD EROZJĄ WODNĄ W MAŁYCH ZLEWNIACH ROLNICZYCH WZGÓRZ TRZEBNICKICH

Paweł Licznar¹, Romuald Żmuda², Józef Sasik²

¹ Instytut Budownictwa i Architektury Krajobrazu, Akademia Rolnicza we Wrocławiu

² Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska, Akademia Rolnicza we Wrocławiu

Wstęp

Poznanie topografii terenu jest punktem wyjścia dla podjęcia studiów nad erozją wodną, a następnie jej modelowania i prognozowania. ZUBRZYCKI [1955] jako pierwszy w Polsce podjął próbę stworzenia kompleksowego narzędzia matematycznego dla opisu rzeźby terenu jako czynnika erozyjnego. Aktualnie w kraju i świecie obserwuje się liczne próby wykorzystywania do tego celu modeli numerycznych terenu [WYSOCKI 1998; BRZOZOWSKI 1998; NIEMIEC, BROŻEK 1998]. To nowe podejście do opisu rzeźby terenów erodowanych wydaje się być bardzo obiecującym. Jednakże w kraju zastosowanie modeli numerycznych miało miejsce jedynie dla kilku małych obiektów badawczych i często kończyło się na wygenerowaniu map spadków oraz ekspozycji zboczy nie będąc połączonym z modelowaniem procesów erozji.

W pracy podjęto próbę wykorzystania modelu numerycznego terenu w celu przestrzennego rozpoznania procesów erozji wodnej w małych zlewniach rolniczych na Wzgórzach Trzebnickich. Celem pracy było także wyznaczenie wskaźnika topografii terenu LS do uniwersalnego równania strat glebowych (USLE).

Materiały i metody badań

Badania prowadzono w pięciu małych zlewniach rolniczych cieku Mielnica na obszarze Wzgórz Trzebnickich. Zlewnia Mielnica M4 o powierzchni 712,28 ha obejmuje swoim zasięgiem zlewnie cząstkowe: Mielnica M1 (340,72 ha), Mielnica M2 (377,85 ha), Mielnica M3 (281,41 ha) oraz Mielnica MS (690,93 ha), rys. 1, i jest położona między rzędnymi: 168,8 i 246,1 m n.p.m (rys. 2). Szczegółowa charakterystyka zlewni została przedstawiona w pracach ŻMUDY [1996, 1998] oraz LICZNARA i in. [1999].

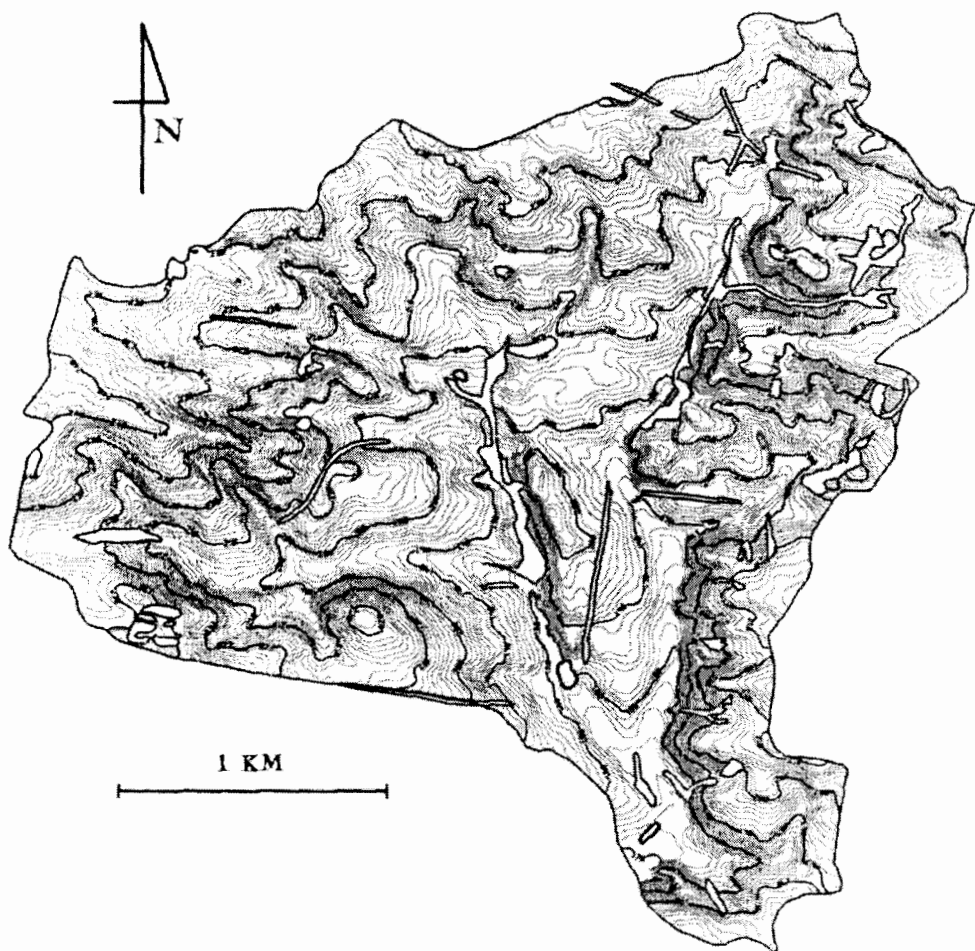
W badaniach posłużono się pakietem oprogramowania GeoEngineering Suite firmy Bentley. Spośród elementów składowych użyto programów: MicroStation SE, MicroStation Descartes V6.0 oraz MicroStation GeoGraphics. Dwa pierwsze stanowiły środowisko graficzne, w których działała aplikacja MicroSta-

tion Geographics, służąca do budowy modelu numerycznego terenu. O wyborze powyższego oprogramowania zdecydowały dwa czynniki. Po pierwsze jest to w pełni profesjonalne oprogramowanie, a po drugie było ono stworzone z myślą rozwiązywania problemów inżynierskich związanych z hydrologią.



Rys. 1. Badane zlewnie potoku Mielnicy
 Fig. 1. Investigated Mielnica stream catchments

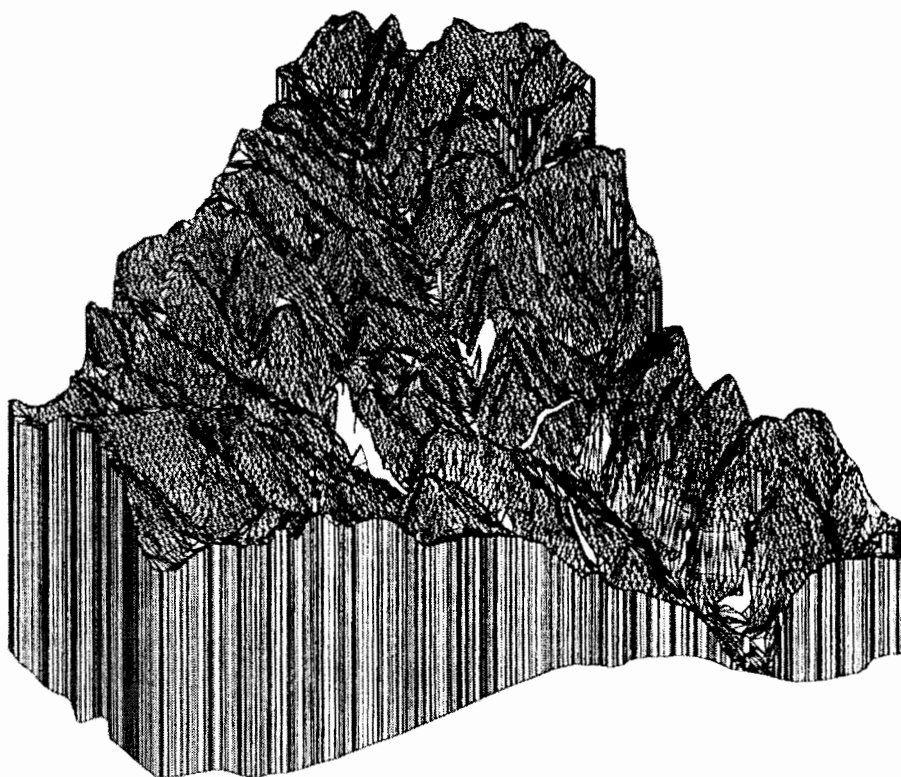
Podstawą wykonania modelu numerycznego była mapa zasadnicza w skali 1:10000 zlewni Mielnicy. Informację zawartą na mapie przeniesiono do pamięci komputera (etap wektoryzacji mapy). W tym celu mapę zasadniczą zeskanowano, wyświetlono w programie MicroStation Descartes V6.0 i dokonano kalibracji jej obrazu rastrowego. Na skalibrowanym rastrze dokonano automatycznej wektoryzacji wszystkich warstw (cięcie warstwowe wynosiło 1,25 m). Ręcznie uzupełniono charakterystyczne punkty terenu, jak: dna dolin, wierzchołki wzgórz, siodła. Ponadto naniesiono granice: zlewni, obszarów zajętych przez wąwozy oraz terenów pod wodą. Po wektoryzacji otrzymano następujące ilości elementów graficznych: 122978 typu łańcuch linii, 41787 typu punkt oraz 38 typu obszar. Ich charakterystyczne współrzędne (x, y i z) zostały wraz z odpowiadającymi im atrybutami zapisane do pliku tekstowego. Plik ten został następnie wczytany do aplikacji MicroStation GeoGraphics jako zestaw danych wejściowych.



Rys. 2. Mapa warstwiczna zlewni Mielnicy
Fig. 2. Contour map of Mielnica catchment

Z powyższych danych utworzono model numeryczny składający się z 81191 elementów trójkątnych o nieregularnych bokach (rys. 3). Następnie wygenerowano z modelu mapę warstwicową (rys. 2). Przebieg warstwicy wygenerowanych z modelu był analogiczny z układem warstwicy na mapie zasadniczej. Przy użyciu aplikacji MicroStation GeoGraphics wygenerowano także mapy lokalnych kierunków spływów powierzchniowych oraz sieci hydrologicznej (rys. 4).

Na dalszym etapie prac na bazie pierwotnego modelu numerycznego złożonego z nieregularnych elementów trójkątnych stworzono model, składający się z elementów czworokątnych, będącymi kwadratami o długości boków 10 m w rzucie na płaszczyznę. Model ten posłużył do wykonania map spadków terenu (rys. 5) i ekspozycji stoków w zlewniach.



Rys. 3. Widok aksonometryczny modelu numerycznego terenu zlewni Mielnicy
 Fig. 3. Axonometric view of the digital terrain model of Mielnica catchments

Wskaźnik topografii (LS) dla poszczególnych zlewni wyznaczono zgodnie z wzorem WISCHMEIERA i SMITHA [1978]:

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22,13} \right)^m (65,41 \cdot \sin^2 \theta + 4,56 \cdot \sin \theta + 0,065), \quad (1)$$

gdzie:

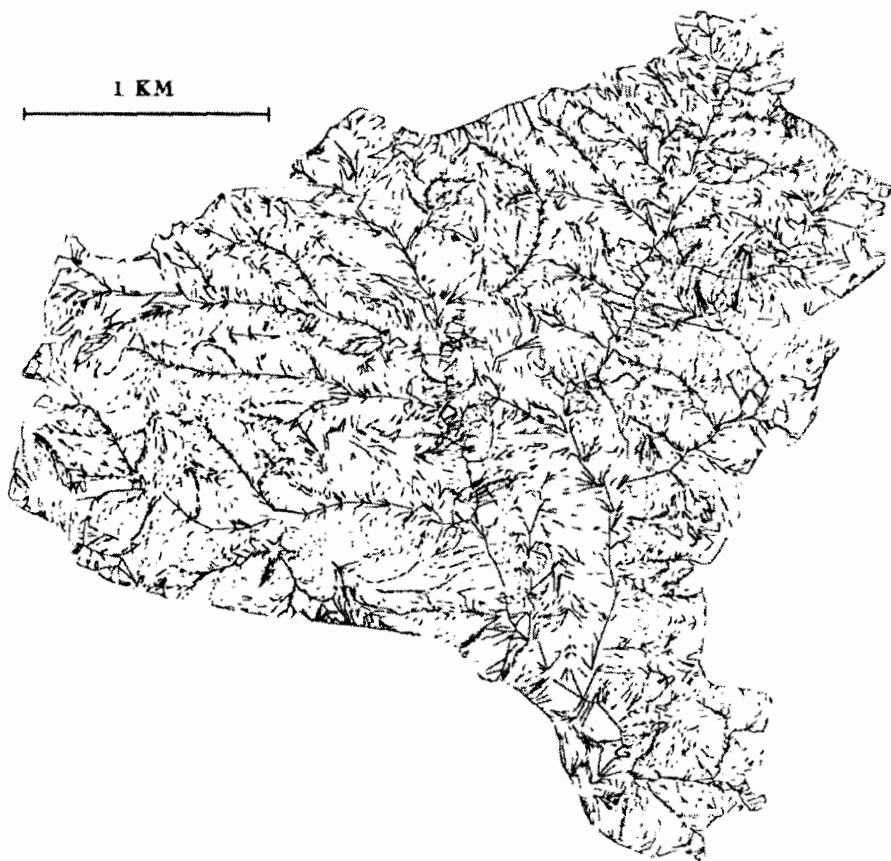
- LS – wskaźnik topografii (–),
- λ – średnia długość drogi spływu powierzchniowego (m),
- m – parametr (–),
- θ – spadek (°).

Średni spadek zboczy poszczególnych zlewni (s) wyrażony w % wyznaczano w oparciu o długość poszczególnych warstw – lc_i (m) – oraz całkowitą powierzchnię zlewni – DA (m^2):

$$s = H \cdot \frac{0,5(lc_1 + lc_{n+1}) + \sum_{i=2}^n lc_i}{DA} \cdot 100. \quad (2)$$

Średnią długość drogi spływu powierzchniowego obliczono metodą gęstości sieci rzecznej na podstawie znajomości ogólnej długości cieków okresowych i stałych – l_s (m) – w badanych zlewniach:

$$\lambda = 0,5 \cdot \frac{DA}{l_s} \quad (3)$$



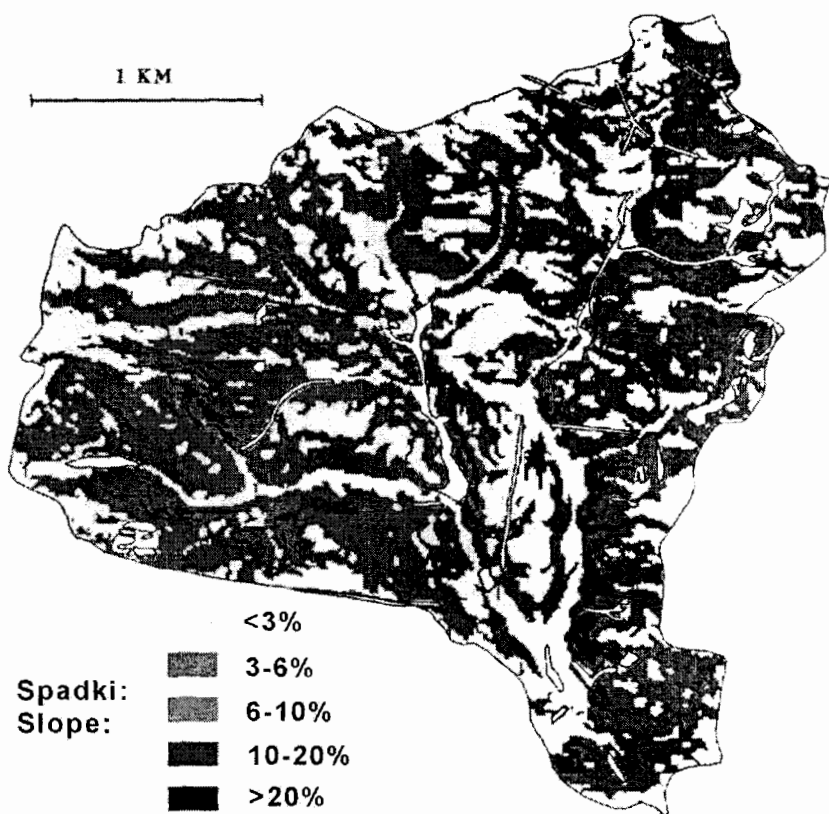
Rys. 4. Mapa sieci hydrologicznej zlewni Mielnicy wygenerowana z cyfrowego modelu numerycznego terenu

Fig. 4. Hydrological network map of Mielnica catchment generated from the digital terrain model

Obliczenia średniego spadku zboczy oraz średniej drogi spływu powierzchniowego dla poszczególnych zlewni starano się maksymalnie zautomatyzować wykorzystując opracowane modele numeryczne terenu. Wartości całkowitych powierzchni zlewni zostały automatycznie splanimetrowane w programie MicroStation Descartes. Dla określenia długości cieków została sporządzona mapa sieci cieków okresowych i stałych obszaru. Mapę opracowano na podstawie mapy zasadniczej obszaru badań oraz w oparciu o wcześniej opisywane mapy tematyczne

wygenerowane z numerycznego modelu terenu (mapę lokalnych kierunków spływów powierzchniowych oraz sieci hydrologicznej).

Informacje zawarte na mapach zostały poddane analizie i zweryfikowane podczas wizji terenowych. W trakcie weryfikacji zwracano szczególną uwagę na obszary zajęte przez wąwozy i drogi (pełniące często rolę koncentrującą spływ powierzchniowy), które nie zostały wcześniej uwzględnione w modelu numerycznym terenu. Pozwoliło to na wyznaczenie przebiegu okresowych cieków na terenie poszczególnych zlewni. Długości cieków okresowych i stałych zostały obliczone za pomocą przygotowanego programu obliczeniowego, zapisanego w języku programowania Fortran. Program ten pobierał dane wejściowe ze specjalnie przygotowanych plików wejściowych ze współrzędnymi krzywych opisujących przebieg cieków na mapie sieci cieków okresowych i stałych. Pliki te zostały uprzednio sporządzone przy użyciu poleceń aplikacji GeoTerrain.



Rys. 5. Mapa spadków terenu badanych zlewni potoku Mielnicy wygenerowana z cyfrowego modelu numerycznego terenu

Fig. 5. Slope map of investigated Mielnica stream catchments generated from the digital terrain model

Długości poszczególnych warstw obliczono również z wykorzystaniem wcześniej wspomnianego programu obliczeniowego. Pliki wejściowe do programu

obliczeniowego przygotowano z wykorzystaniem aplikacji GeoTerrain w oparciu o wcześniej wygenerowane z numerycznego modelu terenu mapy warstwiczne poszczególnych zlewni. W plikach zawarto współrzędne krzywych opisujących przebieg warstw w analizowanych zlewniach. We wszystkich zlewniach uwzględniono wszystkie warstwy przy cięciu 5 m. Wartość tę przyjęto po szczegółowej analizie wpływu wielkości cięcia warstwicznego (dla 1,25 m, 5 m i 10 m) na wartość średnią spadku zboczy zlewni w największej zlewni – Mielnica M4.

Wartość parametru m we wzorze (1) na wskaźnik LS przyjęto jako równą 0,5 za WISCHMEIEREM i SMITHEM [1978].

Wyniki i dyskusja

W tabeli 1 wyszczególniono powierzchnie zajęte przez poszczególne klasy spadków w badanych zlewniach. Zestawienie wykonano na podstawie analizy mapy spadków wygenerowanej z numerycznego modelu terenu (rys. 5). Klasy nachyleń: 0–3, 3–6, 6–10, 10–20 i > 20% przyjęto za ZIEMNICKIM [1968] jako charakterystyczne dla określania zagrożeń erozyjnych obszarów lessowych. We wszystkich zlewniach dominują obszary w klasie nachyleń 3–6% stanowiące od 39,40% (w zlewni M3) do 45,58% powierzchni (w zlewniach M1 i M2). Powierzchnie zajęte przez spadki powyżej 3% wahają się od 63,68% (dla zlewni M3) do 69,38% (w zlewni M1). Świadczy to o dużym udziale powierzchni potencjalnie zagrożonych zjawiskami erozji wodnej we wszystkich zlewniach [ŻMUDA 1996, 1998].

Tabela 1; Table 1

Klasy nachyleń w badanych zlewniach
Slope classes in investigated catchments

Klasy nachyleń Slope classes	Zlewnie: Catchments				
	Mielnica MS	Mielnica M1	Mielnica M2	Mielnica M3	Mielnica M4
	procent całkowitej powierzchni*; percent of total area*				
0–3%	33,58	30,62	31,86	36,32	33,69
3–6%	42,69	45,58	45,58	39,40	42,27
6–10%	18,17	19,49	18,46	16,75	18,32
10–20%	5,49	4,27	4,07	7,40	5,62
>20%	0,07	0,04	0,03	0,13	0,10

* – za wyjątkiem obszaru zajętego przez zbiorniki wodne i wąwozy; except of gullies and water reservoir

Dane wejściowe do wzorów na obliczanie wskaźnika topografii terenu LS oraz jego wartości dla poszczególnych zlewni cząstkowych zostały zestawione w tabeli 2. Średni spadek zboczy dla zlewni M4 obliczono przy trzech cięciach warstwicznych: 1,25 m, 5 m i 10 m. Wynosił on 8,23% dla cięcia 1,25 m; 8,12% dla cięcia 5 m i 7,93 dla cięcia 10 m. Obserwowano zatem tylko nieznaczny wzrost średniego spadku zboczy zlewni wraz ze spadkiem cięcia warstwicznego. Jednak wzrastała przy tym znacznie pracochłonność obliczeń. Z tej racji w pozostałych zlewniach obliczenia przeprowadzono przy cięciu warstwicznym 5 m.

Obliczone wartości średniego spadku zboczy w zlewniach cząstkowych były bardzo zbliżone. Wśród analizowanych obiektów najmniejszym średnim spadkiem charakteryzowała się zlewnia M2 – 7,94%, a największym zlewnia M3 – 8,25%. Można to tłumaczyć stosunkowo dużym procentowym udziałem obszarów o nachyleniach 10–20% i > 20% w zlewni M3 – 7,40% i 0,13%, a w zlewni M2 małą ilością stoków o najwyższych klasach nachyleń (4,27% i 0,04%), tab. 1.

Wartości wskaźnika LS w poszczególnych zlewniach były zróżnicowane w niewielkim zakresie, od 1,90 (dla zlewni M3) do 2,22 (dla zlewni M1). W nieznacznie różniących się obszarem zlewniach MS i M4 wskaźnik topografii przyjmował bardzo zbliżone wartości: 1,97 i 1,99. Podobnie w przypadku zlewni M1 i M2, których obszary różniły się jedynie o 37 ha, wskaźnik ten miał zbliżone wartości (2,22 i 2,09). W zlewni M3 wskaźnik LS wyniósł tylko 1,90 głównie ze względu na bardzo krótką średnią drogę spływu powierzchniowego.

Tabela 2; Table 2

Wybrane parametry hydrograficzne i topograficzne w badanych zlewniach
Selected hydrographical and topographical parameters of investigated catchments

Parametr Parameter	Zlewnie; Catchments				
	Mielnica MS	Mielnica M1	Mielnica M2	Mielnica M3	Mielnica M4
l_s (m)	29499	11671	13629	13762	30138
λ (m)	117	146	138	102	118
s (%)	8,08	8,13	7,94	8,25	8,12
LS (-)	1,97	2,22	2,09	1,90	1,99

Otrzymane wyniki trudno jest porównać z wynikami innych badaczy. W Polsce wartości wskaźnika topografii ustalono jedynie dla kilku zlewni karpacczych. BEDNARCZYK i TARNAWSKI [1999] oraz BANASIK i MADEYSKI [1990] podają dla tych zlewni wyższe wartości LS, ale należy pamiętać, że prowadzili oni swoje badania na obszarach typowo górskich. Z tej racji otrzymane wartości wskaźnika LS wydają się być uzasadnionymi dla obszaru Wzgórz Trzebnickich, który charakteryzuje się znacznie łagodniejszą rzeźbą terenu.

Wnioski

1. Zastosowanie numerycznego modelu terenu pozwala na kompleksowe studia nad wpływem rzeźby terenu na procesy erozji wodnej. Ułatwia ono zarówno przestrzenne rozpoznanie zagrożenia procesami erozji wodnej, jak i obliczanie wskaźnika topografii terenu LS dla małych zlewni rolniczych.
2. Wskaźnik topografii terenu LS w badanych małych zlewniach obszaru Wzgórz Trzebnickich wynosi około 2, co wskazuje na znacznie łagodniejszą rzeźbę terenu tego obszaru w porównaniu z obszarem badawczych zlewni karpacczych.

Literatura

- BANASIK K., MADEYSKI M. 1990. *Próba wykorzystania zmodyfikowanego równania strat glebowych do oceny ilości rumowiska unoszonego w falach wezbraniowych małych zlewni karpackich*. Roczn. Nauk Rol., Seria F 82(3/4): 7–15.
- BEDNARCZYK T., TARNAWSKI M. 1999. *Suspended load supplied by tributaries to the reservoir at Myczkowce and its impact on the silting process in the reservoir*. Roczn. AR w Poznaniu, Tom 20, Część II: 7–15.
- BROZOWSKI M. 1998. *Zastosowanie metod GIS-u do modelowania procesów erozyjnych w zlewni rzeki Burzanki*. Przegł. Nauk. Wydz. Melior. i Inżyn. Środ. SGGW, Zesz. 15: 117–126.
- LICZNAR P., ŻMUDA R., SZEWEŃSKI Sz. 1999. *Outflow denudation from the loess catchment under intensive agricultural use*. Mat. międzynarod. konf. „Soil conservation in large-scale land use”. Bratysława, 12–15 maja 1999: 147–154.
- NIEMIEC J., BROŻEK M. 1998. *Próba kartograficznego, ujednoczonego wyznaczenia czynnika ukształtowania terenu (długości i spadków stoków) we wzorze na określenie erozji powierzchniowej ze zlewni górskiej*. Przegł. Nauk. Wydz. Melior. i Inżyn. Środ. SGGW, Zesz. 15: 54–65.
- WISCHMEIER W.H., SMITH D.D. 1978. *Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning*. Agricultural Handbook no. 537, ARS, Washington: 58 ss.
- WYSOCKI J. 1998. *Numeryczny model terenu (NMT) jako baza danych dla przestrzennego urządzania zlewni i potrzeb konstrukcji inżynierskich*. Przegł. Nauk. Wydz. Melior. i Inżyn. Środ. SGGW, Zesz. 15: 66–73.
- ZIEMNICKI S. 1968. *Melioracje przeciwoerozyjne*. PWRiL, Warszawa: 360 ss.
- ZUBRZYCKI S. 1955. *Próba matematycznego ujęcia rzeźby terenu jako czynnika erozji*. Roczn. Nauk Rol. 71(1): 45–55.
- ŻMUDA R. 1996. *Czynniki warunkujące wielkości wskaźnika denudacji na przykładzie lessowej zlewni rolniczej Wzgórz Trzebnickich*. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Melioracje XLII(283): 69–76.
- ŻMUDA R. 1998. *Natężenie erozji wodnej w małej zlewni rolniczej Wzgórz Trzebnickich na tle wybranych elementów hydrometeorologicznych*. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Inżynieria Środowiska X(349): 233–259.

Słowa kluczowe: numeryczny model terenu, wskaźnik LS, zlewnia

Streszczenie

Celem badań była próba zastosowania numerycznego modelu terenu do badań nad erozją wodną w skali zlewni dla obszaru Wzgórz Trzebnickich. Numeryczny model terenu został opracowany dla pięciu małych rolniczych zlewni lessowych: Mielnica M1 (340,72 ha), Mielnica M2 (377,85 ha), Mielnica M3 (281,41 ha), Mielnica M4 (712,28 ha) i Mielnica MS (690,93 ha) z wykorzystaniem pakietu oprogramowania GeoEngineering Suite firmy Bentley. Był on podstawą do opracowania erozyjnych map tematycznych, takich jak np.: mapa spadków, mapa sieci hydrologicznej itp. Numeryczny model terenu został również użyty dla obli-

czenia wartości wskaźnika LS do równania USLE. Dla wszystkich analizowanych zlewni wartość wskaźnika LS była bliska 2.

DIGITAL TERRAIN MODEL USE FOR WATER EROSION STUDIES IN SMALL AGRICULTURAL CATCHMENTS OF THE TRZEBNICA HILLS

Paweł Licznar¹, Romuald Żmuda², Józef Sasik²

¹Institute of Building and Landscape Architecture,
Agricultural University, Wrocław

²Institute for Land Reclamation and Environmental Development,
Agricultural University, Wrocław

Key words: Digital Terrain Model (DTM), LS factor, catchment

Summary

An attempt of Digital Terrain Model (DTM) implementation for water erosion research at the catchment scale for the area of the Trzebnica Hills was the study objective. The DTM was developed for five small loessive agricultural catchments: Mielnica M1 (340.72 ha), Mielnica M2 (377.85 ha), Mielnica M3 (281.41 ha) and Mielnica M4 (712.28 ha) and Mielnica MS (690.93 ha) with the use of Bentley GeoEngineering Suite. That was the base of the erosion thematic map plotting, for example: slope map, hydrological network map, etc. The DTM was also used for the USLE equation LS factor calculation. For all analyzed catchments the LS factor was close to 2.

Dr inż. **Paweł Licznar**
Instytut Budownictwa i Architektury Krajobrazu
Akademia Rolnicza
pl. Grunwaldzki 24
50-363 WROCŁAW
e-mail: licznarp@ozi.ar.wroc.pl