

## **WPLYW LINII STRUKTURALNYCH W NUMERYCZNYM MODELU TERENU NA WYNIKI STUDIUM SPADKÓW DLA DZIAŁEK ROLNYCH**

Maciej Hajdukiewicz

KPG Sp. z o.o.

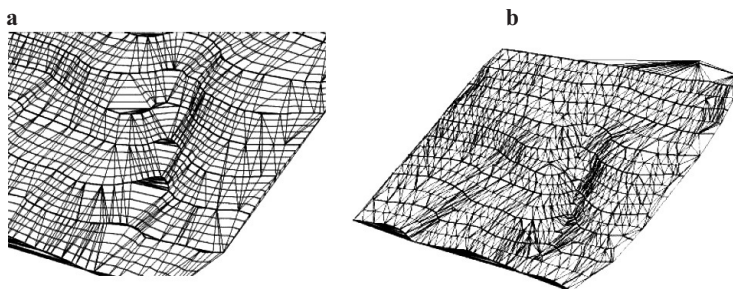
**Streszczenie.** Zbadano wpływ linii strukturalnych w numerycznym modelu terenu (NMT), mającym postać siatki nieregularnych trójkątów (SNT), na wyniki analizy spadku stoków na działkach ewidencyjnych. Dane do NMT zaczerpnięto z rysunku warstwicowego w skali 1 : 5000. Studia spadków dla 1236 działek przeprowadzono na podstawie modelu uwzględniającego linie strukturalne i modelu bez takich linii. Wykazano, że brak linii strukturalnych wpływa na wyniki studium spadków. Różnice w stosunku do wyników studium opartego na NMT z liniami strukturalnymi na badanym obszarze wyniosły do 10%. Zaletę stosowania NMT z liniami strukturalnymi stanowi większa niż w przypadku modelu bez takich linii zgodność wyznaczonych konturów dominujących klas spadku z rzeczywistym przebiegiem granic działek. Badania potwierdziły zasadność uwzględniania linii strukturalnych w numerycznych modelach terenu w postaci SNT, tworzonych na potrzeby analizy terenów rolnych.

**Słowa kluczowe:** urządzenie terenów rolnych, numeryczny model terenu, linie strukturalne

### **WSTĘP**

W obecnie stosowanych numerycznych modelach terenu (NMT; ang. *digital elevation model*, DEM) w postaci siatki nieregularnych trójkątów (SNT; ang. *triangular irregular network*, TIN) bardzo ważną rolę odgrywają linie strukturalne terenu (ang. *breaklines*), wyznaczające charakterystyczne nieciągłości powierzchni terenu, takie jak osie dolin, zagłębień i grzbietów czy krawędzie skarp, dróg, nasypów i innych form terenu, zarówno wklęsłych, jak i wypukłych. Wpływ linii strukturalnych na poprawność budowania NMT w postaci SNT był już przedmiotem badań [Kładoczny i Żyszkowska 1995], które potwierdziły konieczność uwzględniania tych linii. Najistotniejszy błąd będący konsekwencją

braku linii strukturalnych w modelu to pojawianie się pozornego sterasowania niektórych podłużnych form terenowych. Problem ten analizowali także Thibault i Gold [2000], którzy stwierdzili m.in., że algorytm budowy topologii NMT należy formułować w taki sposób, aby uniknąć tworzenia płaskich trójkątów na osiach grzbietów i dolin (rys. 1). SNT jest dzisiaj najczęściej stosowaną formą modelu terenu w bazach danych przeznaczonych dla rolnictwa [Zoń i Szczechowski 2003].



Rys. 1. Wpływ linii strukturalnych na numeryczny model terenu (NMT) w postaci siatki nieregularnych trójkątów; a – NMT bez linii strukturalnych, b – NMT z liniami strukturalnymi [Thibault i Gold 2000]

Fig. 1. Effect of breaklines on digital elevation model (DEM) in triangular irregular network version; a – DEM without breaklines, b – DEM with breaklines [Thibault and Gold 2000]

Celem pracy było określenie, jaki wpływ na wyniki analiz ukształtowania terenu, wykonywanych na potrzeby urządzania terenów rolnych, ma obecność i sposób umieszczenia linii strukturalnych w modelu terenu. Badanym parametrem było nachylenie stoków na działkach rolnych zlokalizowanych na obszarach o urozmaiconej rzeźbie.

## MATERIAŁ I METODY

Dane wykorzystane w badaniach dotyczyły 1236 działek rolnych w miejscowości Biała położonej na Pogórzu Dynowskim w pobliżu Rzeszowa. Rzeźba terenu tej miejscowości jest zróżnicowana, część obszaru ma bowiem cechy nizinne (doliny rzek Strug i Wisłoka), a część podgórskie.

Numeryczny model terenu (NMT) wygenerowano na podstawie warstwicz zdigitalizowanych w programie Microstation na podkładzie zeskanowanej mapy sytuacyjno-wysokościowej w skali 1 : 5000. Liniami strukturalnymi wprowadzanymi do NMT były osie dolin, osie garbów i grzbietów oraz linie załamań skarp i krawędzi dróg. Linie te wykreślano w przestrzennym pliku rysunku (.dgn), stosując interpolację między warstwicami z użyciem funkcji tzw. przyciągania końcówki lub punktu załamania linii (ang. *snap*). Korzystając z programu MGE Terrain Analyst, ze zdigitalizowanych elementów wygenerowano NMT w postaci siatki nieregularnych trójkątów. W tym samym programie, z użyciem funkcji Analyser, opracowano studia spadków i wystawy stoków, przy zastosowaniu algorytmu liniowej aproksymacji powierzchni między punktami siatki. Studia te

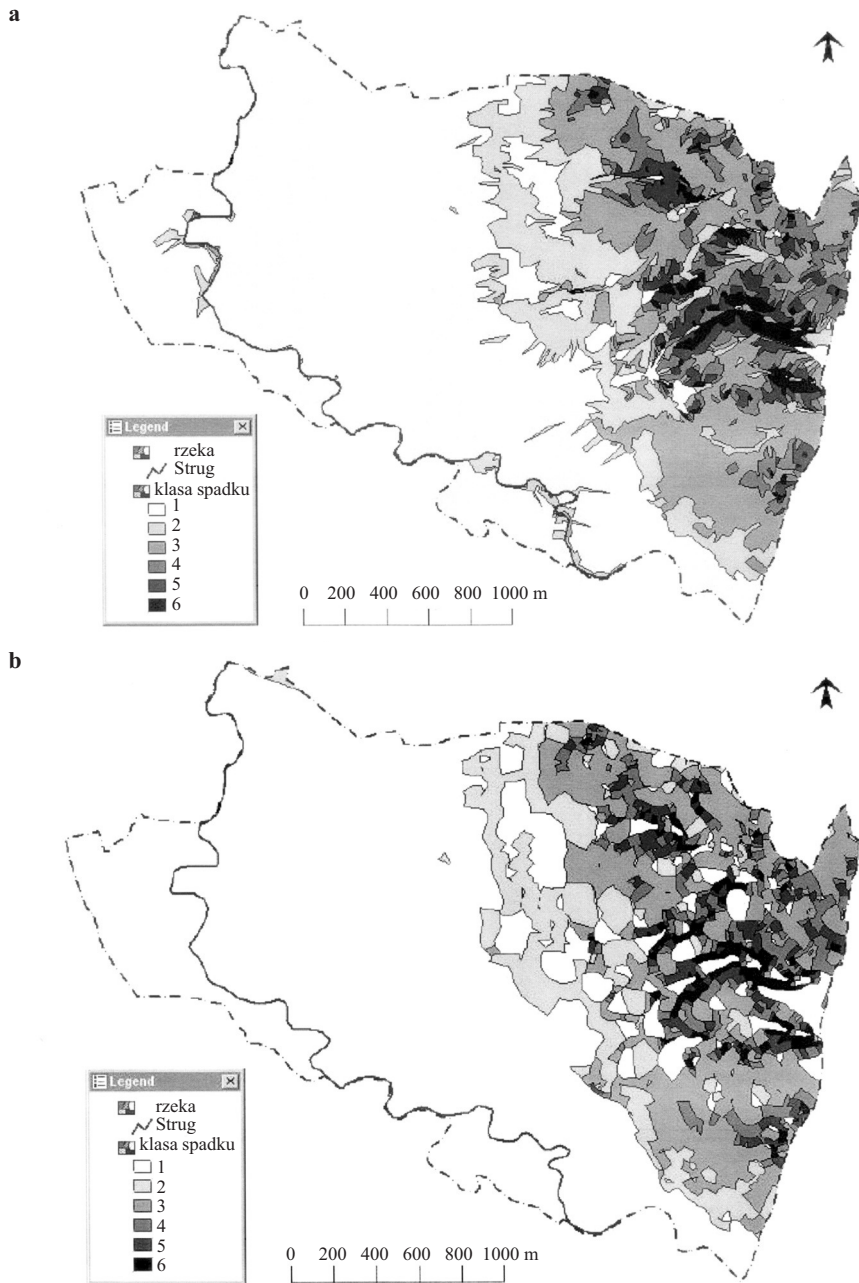
były wykonane na podstawie NMT i miały postać map cyfrowych w pliku .dgn, przedstawiających kontury obszarów o różnej klasie spadku. Posłużono się powszechnie stosowaną metodą analizy rzeźby terenu na potrzeby urządzania terenów rolnych [Schilbach 1995]. Metoda ta opiera się na wydzieleniu na mapie sześciu klas spadku, odpowiadających następującym przedziałom nachylenia stoku: 0–3°, 3–6°, 6–10°, 10–12°, 12–15° i powyżej 15°.

Studia spadków sporządzono dla dwóch wariantów NMT: wygenerowanego na podstawie samych warstw, dalej w tekście nazywanego NMT bez linii strukturalnych, oraz wygenerowanego ze wszystkich zdigitalizowanych elementów (warstw i wszystkich linii strukturalnych), dalej w tekście nazywanego NMT z liniami strukturalnymi. Po skonwertowaniu wyników studiów do programu Geo Media [Geo Media... 1999], za pomocą funkcji Analyse Geometry pomierzono powierzchnie i obwody konturów klas spadku, a następnie zestawiono zmierzone powierzchnie według przedziałów spadku dla obu studiów. Następnie, korzystając z arkusza kalkulacyjnego Excel, obliczono powierzchnie zajmowane przez poszczególne klasy spadku oraz stosunek obwodów do powierzchni obszarów wydzielonych konturami poszczególnych klas. Ten ostatni wskaźnik posłużył do przeanalizowania foremności konturów (im wartość ilorazu mniejsza, tym kontur foremniejszy).

Aby wykazać różnice między wynikami studiów spadków dla dwóch wariantów NMT w odniesieniu do istniejących działek ewidencyjnych, za pomocą funkcji Spatial Intersection/Overlap i Analyse Geometry programu Geo Media nałożono wyniki studiów spadków na warstwę tematyczną opisującą działki. Wynik w postaci tabeli zawierającej dane dotyczące powierzchni konturów studiów spadku na działkach analizowano pod kątem określenia dominującej na poszczególnych działkach klasy spadku, korzystając z programów Access i Excel.

## WYNIKI

Na rysunku 2 przedstawiono mapy cyfrowe badanego obszaru, będące wynikiem analizy spadków na podstawie NMT bez linii strukturalnych i NMT z liniami strukturalnymi. Porównując wizualnie obie te mapy można stwierdzić, że kontury klas spadku wyglądają bardziej foremnie w przypadku użycia pierwszego z nich; dotyczy to szczególnie granic między klasą pierwszą (0–3°) i drugą (3–6°). Ponadto mniej jest tutaj obszarów o dużym spadku (klasa 5 i 6) niż w studium opartym na NMT z liniami strukturalnymi. Ma to związek ze zjawiskiem przedstawionym na rysunku 1, na którym znajduje się odwzorowanie terenu ze stokiem przeciętym przez dolinę, mające postać siatki nieregularnych trójkątów. Obraz wygenerowany bez uwzględnienia dodatkowych punktów w osi doliny (rys. 1a) różni się od obrazu, jaki otrzymano, gdy punkty na linii strukturalnej wzięto pod uwagę (rys. 1b) – na pierwszym z nich widać szereg płaskich trójkątów. Posłużenie się modelem bez linii strukturalnych stanowi przyczynę pozornego, nie mającego odzwierciedlenia w rzeczywistości, sterasowania terenu. Brak linii strukturalnych powoduje też, że model nie uwzględnia faktycznie istniejących tarasów pól ani wąwozów powstałych wzdłuż dróg (holwegów), a są to na badanym terenie formy o największej stromiznie.



Rys. 2. Wyniki studium spadków opartego na NMT z liniami strukturalnymi (a) i NMT bez linii strukturalnych (b); klasy spadku: 1 – 0–3°, 2 – 3–6°, 3 – 6–10°, 4 – 10–12°, 5 – 12–15°, 6 – > 15°

Fig. 2. Results of slope studies based on DEM with breaklines (a), and DEM without breaklines (b); slope classes: 1 – 0–3°, 2 – 3–6°, 3 – 6–10°, 4 – 10–12°, 5 – 12–15°, 6 – > 15°

W tabeli 1 zamieszczono dane dotyczące powierzchni zajmowanych przez poszczególne klasy spadku. Porównanie wyników otrzymanych dla dwóch wariantów NMT – z liniami strukturalnymi i bez takich linii – wskazuje, że w pierwszym przypadku rozkład jest bardziej równomierny, tzn. mniejsze są dysproporcje procentowego udziału poszczególnych klas w powierzchni sumarycznej konturów klas spadku. W studium dla NMT bez linii strukturalnych więcej obszarów zostało zaliczonych do 1 klasy spadku ( $0-3^\circ$ ), zaś mniej do klas 2–5 ( $3-15^\circ$ ) niż w studium dla NMT z liniami strukturalnymi. Jest to spowodowane pozornym sterasowaniem terenu przez ten model.

Tabela 1. Powierzchnia obszarów we wsi Biała, zaliczonych do poszczególnych klas spadku na podstawie dwóch wariantów NMT

Table 1. Area of lands in Biała village included in specified slope classes on basis of two DEM variants

Klasa spadku Slope class	Przedział spadku Slope range	NMT bez linii strukturalnych DEM without breaklines		NMT z liniami strukturalnymi DEM with breaklines	
		powierzchnia area ha	%P <sub>sum</sub> %A <sub>tot</sub>	powierzchnia area ha	%P <sub>sum</sub> %A <sub>tot</sub>
1	0–3°	387,5589	63,6	351,2999	57,7
2	3–6°	64,9870	10,7	83,4589	13,7
3	6–10°	95,3644	15,7	102,4089	16,8
4	10–12°	28,2241	4,6	36,2434	6,0
5	12–15°	20,4726	3,4	23,6459	3,9
6	> 15°	12,1542	2,0	11,7042	1,9
Suma – Total		608,7612	100,0	608,7612	100,0

P<sub>sum</sub> – sumaryczna powierzchnia badanych obszarów

A<sub>tot</sub> – total area of lands under study

Na podstawie studium wykonanego z użyciem NMT bez linii strukturalnych ustalono dominującą klasę spadku dla 948 (z ogólnej liczby 1236) działek o łącznej powierzchni 418,4624 ha, a na podstawie studium z NMT z liniami strukturalnymi – dla 1045 działek o łącznej powierzchni 468,9145 ha. Działek, dla których nie udało się ustalić dominującej klasy spadku, nie uwzględniono w dalszej analizie. Liczbę działek w poszczególnych dominujących klasach spadku, procent sumarycznej powierzchni analizowanych działek, jaki przypada na działki zaliczone do poszczególnych klas dominujących, oraz średni stosunek powierzchni wycinka o klasie spadku dominującej na działce do powierzchni tej działki w poszczególnych klasach spadku zestawiono w tabeli 2. Ostatni z wymienionych parametrów obrazuje stopień zgodności granic konturów dominujących klas spadku, wyznaczonych w studium, z granicami działek. Najmniejsza wartość tego parametru wynosi 0,66, gdyż klasę spadku uznawano za dominującą na działce, gdy występo-

wała na więcej niż 2/3 powierzchni tej działki. Największa jego wartość, równa 1, oznaczałaby, że cała działka znajduje się wewnątrz konturu klasy spadku.

Tabela 2. Rozkład liczby i powierzchni działek względem dominujących na nich klas spadku, określony na podstawie dwóch wariantów NMT

Table 2. Distribution by number and area of land parcels among their dominant slope classes as determined on basis of two DEM variants

Domi- nująca klasa spadku Dominant slope class	Przedział spadku Slope range	NMT bez linii strukturalnych DEM without breaklines			NMT z liniami strukturalnymi DEM with breaklines		
		liczba działek number of parcels	%P <sub>sum</sub> %A <sub>tot</sub>	P <sub>w</sub> : P <sub>D</sub> A <sub>S</sub> : A <sub>P</sub>	liczba działek number of parcels	%P <sub>sum</sub> %A <sub>tot</sub>	P <sub>w</sub> : P <sub>D</sub> A <sub>S</sub> : A <sub>P</sub>
1	0–3°	767	84,6	0,90	706	70,2	0,96
2	3–6°	38	3,2	0,76	166	13,2	0,80
3	6–10°	85	7,5	0,79	91	10,2	0,78
4	10–12°	25	1,8	0,66	45	3,3	0,69
5	12–15°	15	1,4	0,67	22	2,1	0,70
6	> 15°	18	1,5	0,66	15	1,0	0,84
Suma – Total		948	100,0		1045	100,0	
			Średnia Mean	0,73		Średnia Mean	0,79

P<sub>sum</sub> – sumaryczna powierzchnia działek, dla których ustalono dominującą klasę spadku

A<sub>tot</sub> – total area of parcels whose dominant slope class was determined

P<sub>w</sub> – powierzchnia wycinka o klasie dominującej na działce, P<sub>D</sub> – powierzchnia działki

A<sub>S</sub> – area of sector with dominant slope class in land parcel, A<sub>P</sub> – area of land parcel

Podobnie jak w przypadku powierzchni sumarycznych zajętych przez poszczególne klasy spadku, większą równomiernością cechuje się rozkład powierzchni wycinków konturów klas spadku i powierzchni działek, na których dominują poszczególne klasy, dla studium opartego na NMT z liniami strukturalnymi – powierzchnia działek zaliczonych do kolejnych dominujących klas spadku systematycznie się zmniejsza w miarę wzrostu klasy. W przypadku studium wykonanego z użyciem NMT bez linii strukturalnych regularność jest zakłócona: powierzchnia działek o dominującej 3 klasie spadku jest większa niż działek o dominującej 2 klasie, podobnie jest z klasami 5 i 6. Zwraca uwagę duża różnica liczby działek z dominującą 2 klasą spadku między dwoma studiami. Można ją zinterpretować w ten sposób, że działki, które według NMT z liniami strukturalnymi zostały zaliczone do drugiej klasy spadku, według NMT bez linii strukturalnych zaliczono głównie do terenów bardziej płaskich. Porównanie wyników dotyczących stosunku powierzchni wycinków o danej klasie spadku do powierzchni działek, na

których te klasy spadku dominują (średnio 0,79 dla NMT z liniami strukturalnymi i 0,73 dla NMT bez takich linii), wykazuje, że w przypadku NMT z liniami strukturalnymi granice wycinków lepiej pokrywają się z granicami działek. Świadczy o tym także fakt, że większa liczba działek ma tutaj ustaloną dominującą klasę spadku.

Różnice między wynikami studiów spadków dla dwóch wariantów NMT można ująć w kategoriach zmian będących konsekwencją nieuwzględnienia linii strukturalnych w modelu terenu. Porównaniem objęto 861 działek, dla których ustalono dominującą klasę spadku zarówno w jednym, jak i w drugim studium. Różnice określono po zestawieniu liczby działek według dominujących na nich klas spadku, wyznaczonych na podstawie NMT bez linii strukturalnych i z tymi liniami. W tabeli 3 pokazano, ilu działek dotyczyła zmiana dominującej na działce klasy spadku (w stosunku do modelu uwzględniającego linie strukturalne) oraz jaka była wielkość i znak tej zmiany.

Tabela 3. Zmiana dominującej klasy spadku działek wynikająca z nieuwzględnienia linii strukturalnych w NMT

Table 3. Change in dominant slope class of land parcels resulting from lack of breaklines in DEM

Zmiana dominującej klasy spadku* Change in dominant slope class*	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2
Liczba działek** Number of land parcels**	2	2	3	10	53	771	15	5

\* w stosunku do klasy określonej w wyniku studium opartego na NMT z liniami strukturalnymi – relative to slope class determined from studies based on DEM with breaklines

\*\* w obliczeniach wzięto pod uwagę 861 działek, dla których ustalono dominującą klasę spadku według obu wariantów NMT – calculations were made for 861 land parcels for which dominant slope class was determined by both DEM variants

Okazuje się, że dominująca klasa spadku 771 działek pozostała bez zmian, gdy w modelu nie uwzględniono linii strukturalnych, zmieniła się natomiast w przypadku 90 działek. Dominująca klasa spadku 20 działek (2%) podwyższyła się (maksymalnie o 2 klasy), a 70 działek (8%) obniżyła się (maksymalnie o 5 klas) względem klasy spadku obliczonej z modelu uwzględniającego linie strukturalne. Największą grupę (53) stanowiły działki, w przypadku których dominujący spadek zmniejszył się o 1 klasę. Zmiany klasy spadku działek są wynikiem powstawania płaskich trójkątów i uskoków (pozerowego sterasowania terenu) w NMT konstruowanym bez użycia linii strukturalnych.

## PODSUMOWANIE

Przedstawione badania wykazały, że w przypadku zastosowania numerycznego modelu terenu w postaci siatki nieregularnych trójkątów i liniowej aproksymacji powierzchni terenu linie strukturalne rzeźby terenu mają duży, sięgający 10%, wpływ na wyniki studiów spadków. Przeważnie (8% ogółu badanych działek) oznacza to zaliczenie działki do niższej klasy spadku niż obliczona z NMT uwzględniającego linie strukturalne. Można to tłumaczyć pozornym sterasowaniem terenu w NMT bez linii strukturalnych. Ponadto stwierdzono, że kontury obszarów wyodrębnionych w wyniku studium

spadków opartego na NMT z liniami strukturalnymi lepiej pokrywają się z granicami działek niż wówczas, gdy linii strukturalnych się nie stosuje. Dowodzi to potrzeby wprowadzania tych linii przy konstruowaniu NMT zarówno na podstawie mapy sytuacyjno-wysokościowej, jak i metodą fotogrametryczną. W przypadku tej ostatniej niezbędne są badania porównawcze studiów spadków wykonanych z uwzględnieniem linii strukturalnych i bez nich (np. metodą automatyczną, wykorzystywaną w programach do tworzenia NMT, takich jak Match-AT), do czego przydatna może być metodyka zastosowana w zaprezentowanych badaniach.

## PIŚMIENNICTWO

- GeoMedia – Guide book, 1999. Intergraph Corp. Huntsville, Alabama.
- Kładoczny D., Żyszkowska W., 1995. Struktura numerycznych modeli terenu a ich obraz poziomicowy. Pol. Prz. Kartogr. 27, 4, 177–191.
- Schilbach J., 1995. Metodyka tworzenia zbiorów informacji gromadzonych w formie kartograficznej dla potrzeb zarządzania i organizacji terenów rolniczych. Zesz. Nauk. AR Krak., Rozprawy nr 200.
- Thibault D., Gold C., 2000. Terrain reconstruction from contours by skeleton construction. GeoInformatica 4, 349–373.
- Zoń J., Szczechowski B., 2003. Wytyczne dla wykonawców LPIS. ARiMR Warszawa.

## EFFECT OF BREAKLINES IN DIGITAL ELEVATION MODEL ON RESULTS OF SLOPE STUDIES FOR LAND PARCELS

**Abstract.** The research compared two variants of a digital elevation model (DEM) in the triangular irregular network (TIN) version, one constructed with breaklines and the other without such lines. The data for DEM were derived from contour maps with a scale of 1 : 5000. The two models were employed in slope studies for 1236 farmland parcels. It was found that the absence of breaklines has an influence on the results of slope studies. For the study area, the differences with the results of slope studies based on the breaklines-containing DEM constituted up to 10%. In addition, using the latter model produced a stricter conformity between the contours of the dominant slope classes, drawn in the slope studies, and the real borders of land parcels. The research proved the usefulness of incorporating breaklines in the TIN versions of DEMs intended for the purposes of farmland analyses.

**Key words:** farmland management, digital elevation model, breaklines

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 7.09.2006*