Lineamenty otoczenia Tatr — porównanie interpretacji DEM i MSS

Wojciech Ozimkowski[1]

Lineaments of Tatra Mts. surroundings — DEM vs. MSS. Prz. Geol., 56: 1099–1102.

A b s t r a c t. The paper presents comparison of geological interpretations based on Landsat MSS image and DEM-based image, covering the same area of the Carpathian Mts. Individual interpretations of both images made by 16 interpreters were gathered into 2 multi-coverage interpretations (MSS and DEM). Results were compared — MSS with DEM, and DEM with geology. The DEM-based interpretations contain more lineaments with greater total lengths than MSS-based, but geological relationship of some lineaments is still unclear.

Keywords: *lineaments, satellite image, DEM, Carpathians*

Po ponad 30 latach geologicznej interpretacji obrazów satelitarnych (Graniczny & Mizerski, 2003) nastąpił okres interpretacji cyfrowych modeli rzeźby terenu — DEM (*Digital Elevation Model*) (Ostaficzuk, 2003; Chodyń, 2004; Badura & Przybylski 2005; Graniczny i in. 2005; Konon & Śmigielski, 2006). Mimo wielu różnic oba rodzaje interpretacji zwykle polegają na wizualnym wyznaczaniu lineamentów (*sensu* O'Leary i in., 1976) i oba mogą być obarczone subiektywizmem autora — interesujące wydaje się więc być porównanie ich wyników. W tym celu poddano interpretacji klasyczny obraz ze skanera MSS (*Multispectral Scanner*) satelity *Landsat* i obraz uzyskany z cyfrowego modelu rzeźby terenu (DEM), pokrywający podobny obszar. Obydwie interpretacje wykonano metodą pokryć wielokrotnych (Ozimkowski & Mardal, 1994; Karnkowski & Ozimkowski, 2001), wykorzystując tę samą grupę interpretatorów i stosując obrazy w tej samej skali 1 : 600 000. Uzyskane dwie sieci lineamentów porównano ze sobą oraz z niektórymi publikowanymi mapami geologicznymi. Porównano również parametry ilościowe poszczególnych interpretacji indywidualnych.

Do badań wybrano obszar sięgający od brzegu Karpat zewnętrznych na północy po południowe krańce Karpat wewnętrznych, zawarty pomiędzy południkami Bielska-Białej i Nowego Sącza (ryc. 1), obejmujący ok. 120 × 170 km.

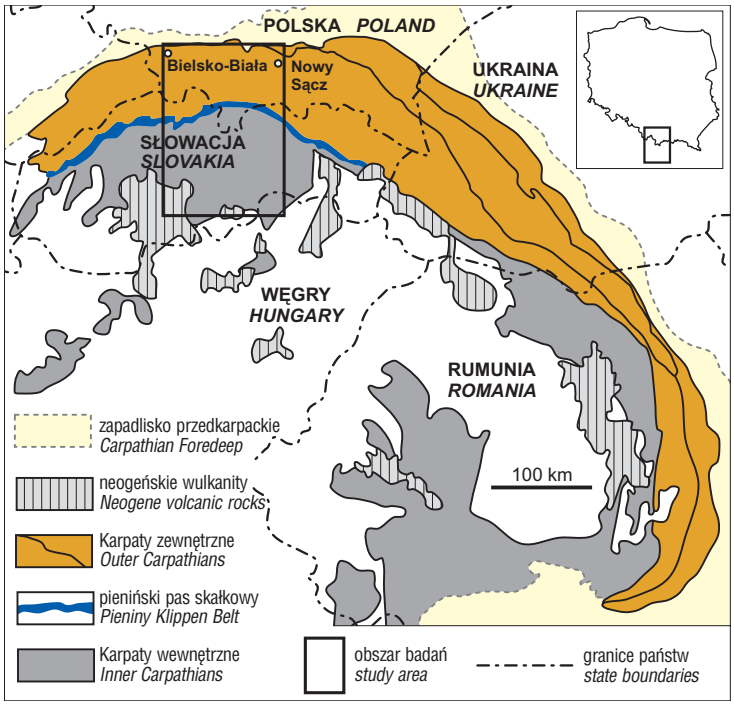
Obraz MSS

Interpretowany obraz ze skanera MSS satelity *Landsat* (ryc. 2A) był zarejestrowany w bliskiej podczerwieni (pasmo 7) i miał wyjściową rozdzielczość rzędu 70 m. Obraz z MSS — podobnie jak ze wszystkich późniejszych urządzeń tego typu — zawiera głównie szczegółowe informacje o pokryciu terenu, natomiast jego rzeźba jest czytelna jedynie przy różnym oświetleniu zboczy o odmiennej ekspozycji, a dodatkowo podkreślona przez sieć drenażu i zróżnicowanie wegetacji.

Cyfrowy model rzeźby terenu (DEM)

Wykorzystano model SRTM-3 z pomiarów radarowych misji SRTM wahadłowca *Endeavour* wykonanych w lutym 2000 r. Wybrano go ze względu na dostępność (darmowy, do pobrania z serwera ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/SRTM3/), mimo słabej rozdzielczości (dla obszaru Polski ok. 60 × 90 m), która jednak ze względu na regionalny zasięg opracowania była wystarczająca. Model wizualizowano w programie *MicroDEM* 8.0 Petera Gutha (http://www.usna.edu/Users/oceano/pguth/website/microdemdown.htm).

[1]Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; wojciech.ozimkowski@uw.edu.pl



Ryc. 1. Lokalizacja obszaru badań
Fig. 1. Location of the study area

Uzyskany z DEM obraz przedstawia wyłącznie rzeźbę terenu, co bardzo upraszcza interpretację i w efekcie zmniejsza jej subiektywizm. Jednakże DEM bez przewyższenia, o parametrach oświetlenia identycznych jak w trakcie rejestracji obrazu MSS (ryc. 2B), jest dużo gorzej czytelny niż obraz MSS. O przewadze obrazu satelitarnego w tym wypadku wyraźnie decyduje zarejestrowane pokrycie terenu, zwłaszcza piętrowy układ roślinności w górach i dobrze widoczna sieć drenażu. O przewadze DEM nad klasycznymi obrazami satelitarnymi decyduje dopiero łączne zastosowanie odpowiedniego przewyższenia modelu z właściwie dobranymi parametrami jego oświetlenia (azymutem i kątem iluminacji). Azymut oświetlenia powinien być poprzeczny do szukanych elementów strukturalnych, kąt iluminacji wpływa równocześnie na czytelność rzeźby i jasność obrazu, przewyższenie zaś decyduje m.in. o jego kontraście. Do rzeźby konkretnego terenu najlepiej jest eksperymentalnie dobrać właściwe parametry kierunku i kąta oświetlenia oraz wielkości przewyższenia modelu. Użycie skrajnych wartości tych parametrów daje na ogół słabe efekty, choć np. oświetlenie pionowe (90°) przy dużym przewyższeniu (> 5 ×) silnie uwypukla linie grzbietowe i sieć drenażu, dając w efekcie dość dobrze czytelną „graniówkę" (ryc. 2D).

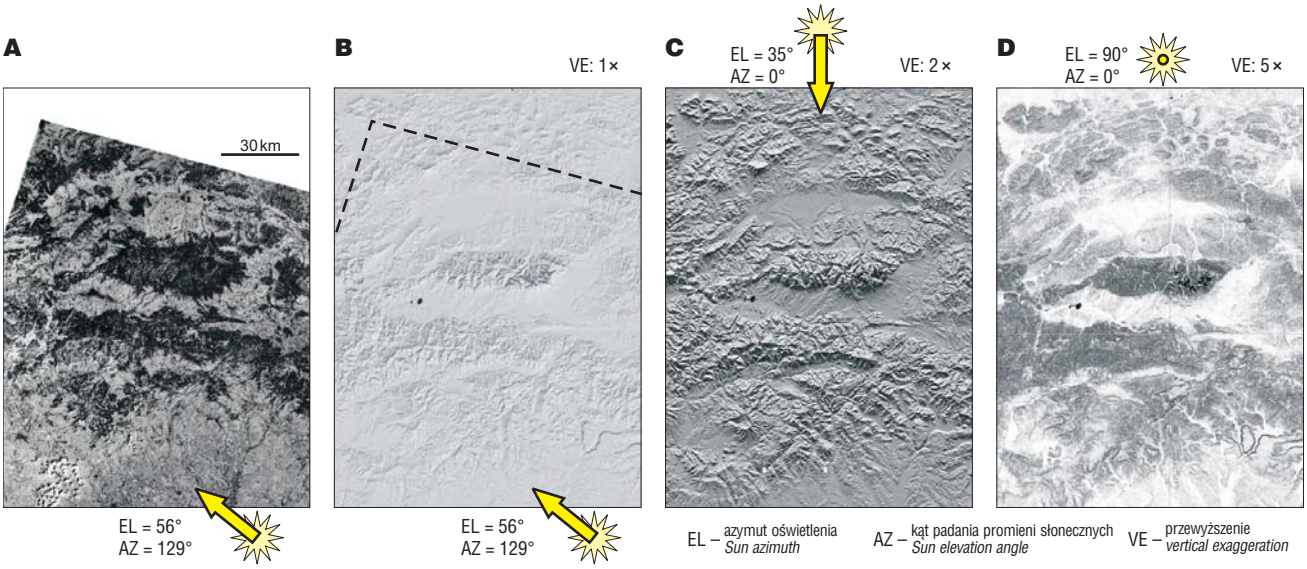
Ostatecznie, po wielu próbach, wybrano dla interpretowanego modelu terenu oświetlenie północne, przy niewielkim przewyższeniu (2 ×) i kącie iluminacji 35° (ryc. 2C).

Interpretacja

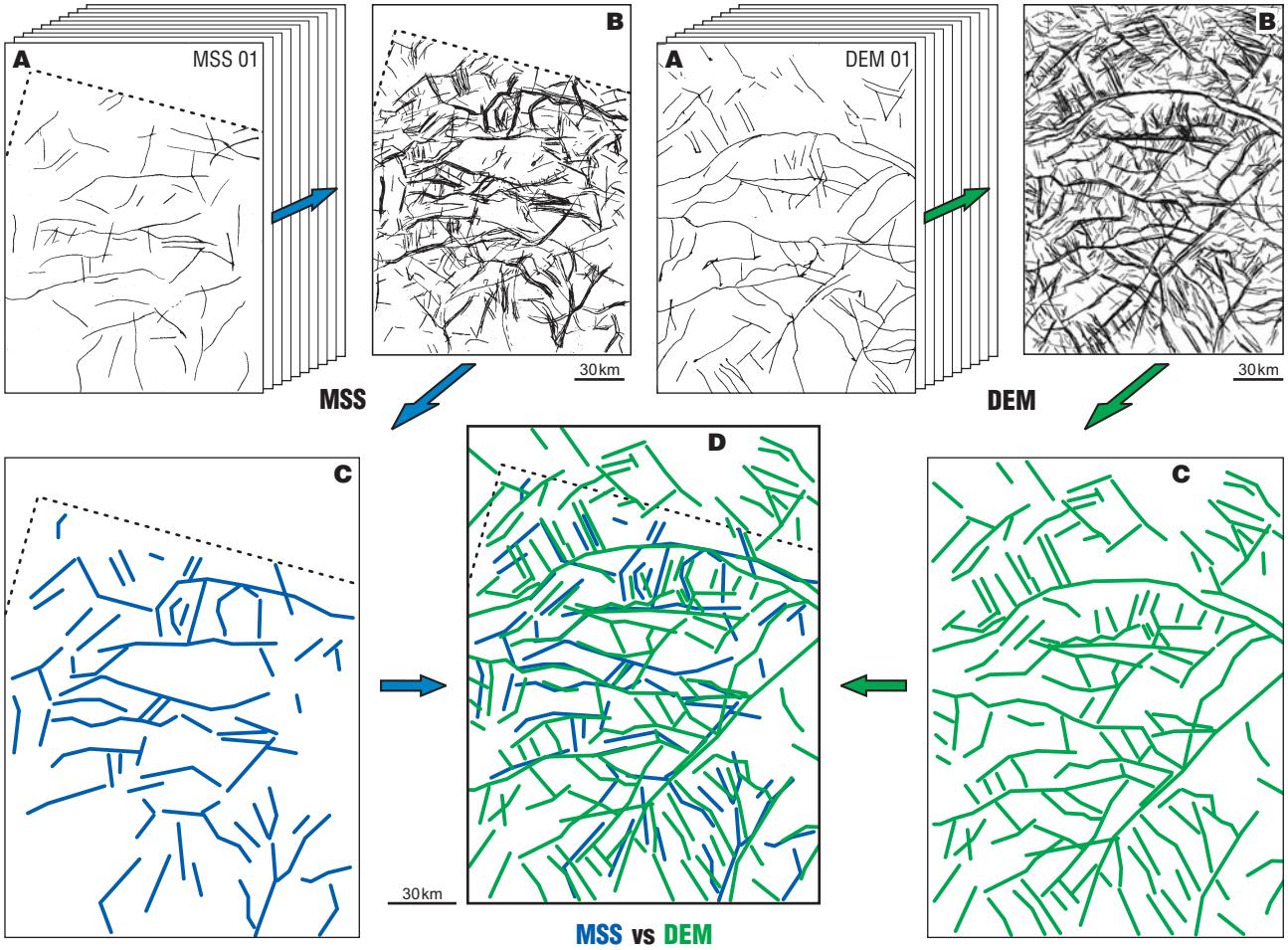
Interpretacje obrazów MSS i DEM wykonało 16 studentów starszych lat Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego w trakcie praktikum z fotointerpretacji geologicznej. Interpretacje te (ryc. 3A) nałożono na siebie, uzyskując 2 interpretacje zbiorcze wykonane metodą pokryć wielokrotnych (ryc. 3B), na których podstawie wyznaczono 2 sieci głównych lineamentów (ryc. 3C). Następnie sieci porównano ze sobą (ryc. 3D). Za „główne" uznano lineamenty wyznaczone zgodnie przez 60–70% interpretatorów.

Wnioski metodyczne

W celu porównania wyników indywidualnych interpretacji MSS i DEM przeanalizowano liczbę i długość



Ryc. 2. Obrazy MSS (**A**) i DEM (**B, C, D**); **A** — interpretowany obraz ze skanera MSS w paśmie 7 (bliska podczerwień), zarejestrowany przy azymucie oświetlenia 129° i kącie padania promieni słonecznych 56°; **B** — DEM bez przewyższenia, oświetlony identycznie jak obraz MSS (**A**); **C** — interpretowany DEM o 2-krotnym przewyższeniu, oświetlony z północy pod kątem 35°; **D** — DEM przewyższony 5 razy i oświetlony pionowo
Fig. 2. MSS (**A**) and DEM (**B, C, D**) images; **A** — MSS image in band 7 (near IR), Sun azimuth 129°, Sun elevation angle 56°; **B** — DEM illuminated as MSS (**A**); **C** — interpreted DEM image: vertical exaggeration 2 ×, north illumination, Sun elevation angle 35°; **D** — DEM image illuminated vertically, vertical exaggeration 5 ×



Ryc. 3. Interpretacje obrazów MSS i DEM; **A** — interpretacje indywidualne MSS i DEM; **B** — interpretacje zbiorcze MSS i DEM wykonane metodą pokryć wielokrotnych; **C** — sieci głównych lineamentów wyznaczone z interpretacji zbiorczych MSS i DEM; **D** — porównanie sieci głównych lineamentów uzyskanych na podstawie MSS i DEM

Fig. 3. MSS- and DEM-based interpretations; **A** — individual interpretations of MSS and DEM images; **B** — multi-coverage interpretations based on MSS and DEM images; **C** — main networks of lineaments derived from multi-coverage interpretations — MSS and DEM; **D** — comparison of MSS- and DEM-based main networks of lineaments

(sumaryczną i średnią) wyznaczonych na nich lineamentów (tab. 1).

Interpretacje obrazu MSS zawierały od 37 do 117 lineamentów (średnio 83,4) o łącznej długości od 442 do 1711 km (średnio 1097,4 km). Średnia długość lineamentów wynosiła od 7,52 do 20,14 km (średnio 13,16 km).

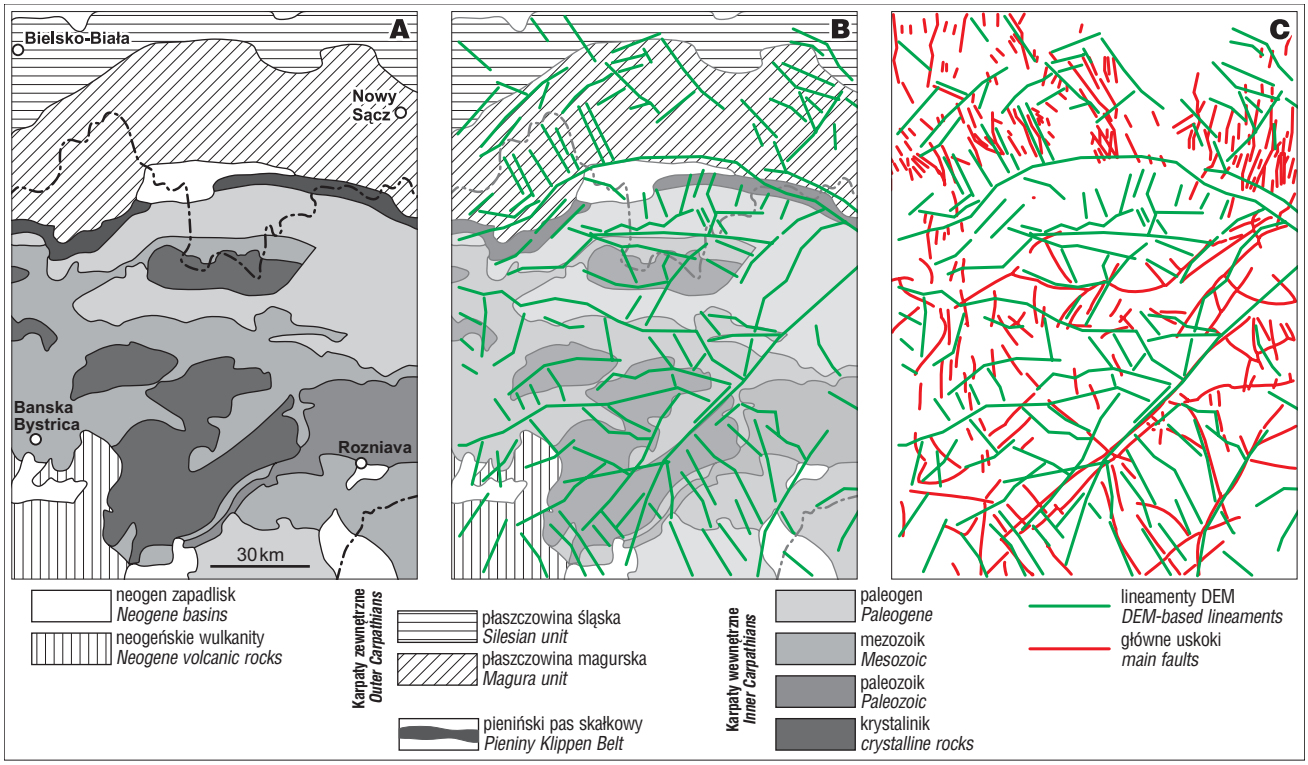
Interpretacje obrazu DEM (na obszarze pokrywającym się z obrazem MSS) liczyły od 71 do 348 lineamentów (średnio 136,6), o łącznej długości od 948 do 2161 km (średnio 1639,2 km). Tu lineamenty miały średnią długość od 6,21 do 19,08 km (średnio 12,00 km).

Jak widać (tab. 1), ta sama grupa interpretatorów stwierdziła na obrazie DEM występowanie znacznie większej liczby lineamentów (średnio 2,3 ×) o większej łącznej długości (średnio 1,5 raza) niż na obrazie MSS.

Interesujące jest, że średnie długości lineamentów wyznaczanych na obydwu obrazach były bardzo zbliżone, choć na ogół lineamenty uzyskane z DEM były nieco krótsze niż z MSS (0,82–0,95). Ci sami interpretatorzy uzyskiwali bardzo zbliżone średnie długości lineamentów, analizując obydwa obrazy (DEM : MSS wynosi od 0,82 do 1,11, tylko w 1 przypadku 1,64), pomimo ok. 3-krotnego zróżnicowania średnich długości lineamentów w całym zbiorze interpretacji indywidualnych (od 7,52 do 20,14 km dla MSS i od 6,21 do 19,08 km dla DEM). Potwierdza to indywidualizm poszczególnych

Tab. 1. Porównanie parametrów ilościowych interpretacji MSS i DEM
Table 1. Quantitative comparison of the MSS- and DEM-based interpretations

	Liczba lineamentów *Number of lineaments*			**Długość lineamentów** *Total length of lineaments* **[km]**			**Średnia długość lineamentu** *Medium lineament length* **[km]**		
	min.	**max.**	**średnia** *average*	**min.**	**max.**	**średnia** *average*	**min.**	**max.**	**średnia** *average*
MSS	37	117	83,4	442	1711	1097,4	7,52	20,14	13,16
DEM	71	348	136,6	948	2161	1639,2	6,21	19,08	12,00
DEM/MSS	1,92	2,97	2,30	2,14	1,25	1,49	0,82	0,95	0,91



Ryc. 4. Porównanie sieci głównych lineamentów DEM z budową geologiczną obszaru; **A** — szkic budowy geologicznej interpretowanego obszaru; **B** — główne lineamenty wyznaczone na podstawie DEM na tle szkicu budowy geologicznej; **C** — główne lineamenty wyznaczone na podstawie DEM na tle głównych uskoków badanego obszaru (wg Żytki i in., 1989; Vozára & Káčera, 1996)
Fig. 4. The main DEM-based lineaments vs. geology; **A** — outline of geology of the study area; **B** — the main DEM-based lineaments vs. geology of the study area; **C** — the main DEM-based lineaments vs. main faults (after Żytko et al., 1989; Vozár & Káčer, 1996)

interpretatorów, a tym samym — subiektywizm ich interpretacji.

Wnioski geologiczne

Porównano przebieg głównych lineamentów uzyskanych na podstawie interpretacji DEM ze szkicem budowy geologicznej badanego obszaru (ryc. 4A, B) i głównymi uskokami przedstawianymi na mapach geologicznych w skalach zbliżonych do skali opracowania (ryc. 4C). Choć lineamenty wyznaczone na podstawie interpretacji DEM są na ogół bardziej uporządkowane niż wyznaczone z MSS (ryc. 3B), a ich przebieg jest dla interpretatorów bardziej oczywisty, to ich związek z budową geologiczną podłoża pozostaje nadal niejednoznaczny (ryc. 4B). Duża część głównych wykartowanych uskoków jest czytelna jako lineamenty, ale równocześnie przebieg wielu, zwłaszcza mniejszych lineamentów, nie znajduje geologicznego uzasadnienia (ryc. 4C).

Podsumowanie

Interpretacja DEM jest prostsza i bardziej jednoznaczna (a więc i mniej subiektywna) od interpretacji obrazów MSS.

Interpretacje wykonane na podstawie DEM cechuje większa wzajemna zgodność niż interpretacje obrazu satelitarnego.

Na podstawie właściwie oświetlonego DEM pojedynczy interpretator wyznacza 2–3 razy więcej lineamentów niż na podstawie obrazu z MSS.

Średnia długość wyznaczanych lineamentów wydaje się bardziej zależeć od interpretatora niż od analizowanego obrazu.

Literatura

BADURA J. & PRZYBYLSKI B. 2005 — Application of digital elevations models to geological and geomorphological studies — some examples. Prz. Geol., 53: 977–983.

CHODYŃ R. 2004 — Zastosowanie cyfrowego modelu terenu (DEM) w badaniach geologicznych na przykładzie obszaru między Dobczycami a Mszaną Dolną (polskie Karpaty zewnętrzne). Prz. Geol., 52: 315–320.

GRANICZNY M. & MIZERSKI W. 2003 — Lineamenty na zdjęciach satelitarnych Polski — próba podsumowania. Prz. Geol., 51: 474–482.

GRANICZNY M., MIZERSKI M. & PIĄTKOWSKA A. 2005 — Lineaments interpreted at the radar images and the digital elevation model within the Palaeozoic rocks of the Holy Cross Mts. Prz. Geol., 53: 949–955.

KARNKOWSKI P.H. & OZIMKOWSKI W. 2001 — Geologiczna analiza zdjęć satelitarnych metodą pokryć wielokrotnych — zarys problematyki z przykładami z Polski południowej. Prz. Geol., 49: 1067–1072.

KONON A. & ŚMIGIELSKI M. 2006 — DEM-based structural mapping: examples from the Holy Cross Mountains and the Outer Carpathians, Poland. Acta Geol. Pol., 56: 1–16.

O'LEARY D.W, FRIEDMAN J.D. & POHN H.A. 1976 — Lineament, linear, lineation: Some proposed new standards for old terms. Geol. Soc. Am. Bull., 87: 1463–1469.

OSTAFICZUK S. 2003 — The importance of digital terrain elevation model in modern geological mapping. Tech. Poszuk. Geol., 6: 53–58.

OZIMKOWSKI W. & MARDAL T. 1994 — Powtarzalność wyników wizualnej interpretacji geologicznej zdjęcia satelitarnego. Prz. Geol., 42: 272–275.

VOZÁR J. & KÁČER S. (eds.) 1996 — Geologická mapa Slovenskej Republiky 1 : 1 000 000. Ministerstvo ž ivotného Prostredia Slovenskej Republiky — Geologická Služba Slovenskej Republiky, Bratislava.

ŻYTKO K., GUCIK S., RYŁKO W., OSZCZYPKO N., ZAJĄC R., GARLICKA J., NEMČOK J., ELIÁŠ M., MENČIK E., DVOŘÁK J., STRÁNIK Z., RAKUS M. & MATĚJOVSKÁ O. 1989 — Geological map of the western outer Carpathians and their foreland 1 : 500 000. [In:] Poprawa D. & Nemčok J. (eds.) Geological atlas of the western outer Carpathians and their foreland. Wyd. Geol., Warszawa