ARTYKUŁY NAUKOWE

Rola skali w geologicznej interpretacji obrazu satelitarnego (na przykładzie lineamentów)

Wojciech Ozimkowski[1]



Scale factor in geological interpretation of the satellite imagery (lineaments example). Prz. Geol., 62: 521–524.

A b s t r a c t . The paper presents a comparison of 3 sets of interpretations of 1 classical Landsat MSS image done by 15 interpreters on 3 different scales, varying by a factor of 2 (i.e.1.2M, 1M and 500K). The number, length, and average length of interpreted lineaments strongly depend on the scale of imagery, but not in a simple, linear way. Even directions of interpreted lineaments are to some degree controlled by scale factor, so to obtain a coherent interpretation it is recommended to interpret all image areas on a fixed scale. Interpretations in different scales may be combined into one multi-coverage interpretation.

Keywords: *lineament, scale, geological interpretation*

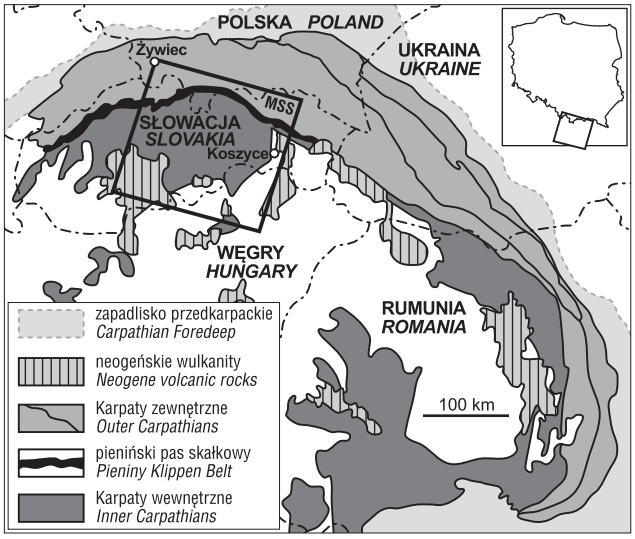
I Ogólnopolskie Sympozjum Geointerdyscyplinarnych Metod Badawczych

Na obrazach satelitarnych w różnych skalach są czytelne nieciągłe struktury (zwykle lineamenty *sensu* O'Leary i in., 1976) różnego rzędu. Na obrazach małoskalowych są to struktury większe, regionalne, zaś na obrazach wielkoskalowych (szczegółowych) – mniejsze, lokalne. Ilościowe określenie związku między skalą obrazu satelitarnego a wynikami jego geologicznej interpretacji jest szczególnie ważne obecnie, gdy interpretacji nie dokonujemy na ogół na odbitce fotograficznej lub wydruku, czyli w jednej stałej skali, tylko z reguły na monitorze, stosując różne powiększenia (zoomy) dla różnych fragmentów obrazu. Może to powodować niespójność interpretacji pod względem stopnia jej szczegółowości. Ta publikacja ma odpowiedzieć na pytanie, czy to zagrożenie jest w rzeczywistości istotne. Nieliczne opracowania, opisujące wykorzystanie obrazów w różnych skalach do interpretacji budowy geologicznej konkretnych obszarów, nie dawały jednoznacznych odpowiedzi na to pytanie (np. Jacques i in., 2012).

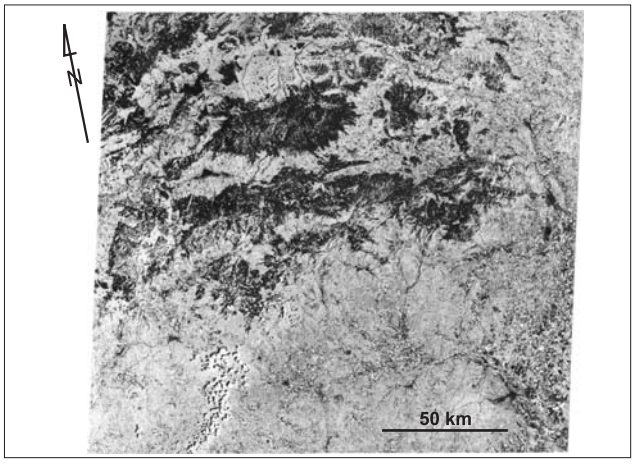
BADANIA

W celu ustalenia związków ilościowych między skalą interpretowanego obrazu a liczbą, długością i kierunkami wyznaczanych na nim lineamentów przeprowadzono badanie polegające na interpretowaniu przez tę samą grupę osób (15 magistrantów i doktorantów WG UW, w ramach *praktikum* z fotointerpretacji geologicznej) tego samego klasycznego obrazu z satelity Landsat w trzech różnych skalach, o mianownikach różniących się dwukrotnie: 1: 2 000 000, 1: 1 000 000 i 1: 500 000. Interpretowano wizualnie odbitki fotograficzne, lineamenty wykreślano na kalce, a uzyskane wyniki po zeskanowaniu poddano digitalizacji.

Interpretowano obraz ze skanera MSS, o wymiarach 185×185 km, zarejestrowany w paśmie 6 (bliska podczerwień), obejmujący znaczną część Karpat, od Żywca na północnym zachodzie po Koszyce na wschodzie, a na południu sięgający po Wielką Nizinę Węgierską (ryc. 1, 2).



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



Ryc. 2. Interpretowany obraz satelitarny – Landsat, MSS pasmo 6 (bliska podczerwień)
Fig. 2. Interpreted image – Landsat MSS, band 6 (near IR)

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

Tab. 1. Parametry interpretacji
Table 1. Parameters of interpretation

Skala: *Scale:* / Parametry *Parameters*	1: 2 000 000	1: 1 000 000	1: 500 000	2M : 1M : 0,5M
Liczba lineamentów *Number of lineaments*	25–133	32–246	54–174	
średnia *average*	**61,3**	**106,0**	**120,3**	1 : 1,73 : 1,96
Suma długości lineamentów [mm] *Total length of lineaments [mm]*	188–1719	295–2831	1211–5392	
średnia *average*	**503,6**	**1345,1**	**2585,1**	1 : 2,67 : 5,13
Średnia długość lineamentu [mm] *Average length of lineament [mm]*	5,8–18,1	6,4–35,4	11,1–62,0	
średnia *average*	**8,22**	**12,68**	**21,49**	1 : 1,54 : 2,61
Suma długości lineamentów [km] *Total length of lineaments [km]*	376–3438	295–2831	606–2696	
średnia *average*	**1007**	**1345**	**1292**	1 : 1,34 : 1,28
Średnia długość lineamentu [km] *Average length of lineament [km]*	11,6–36,2	6,4–35,4	5,6–31,0	
średnia *average*	**16,4**	**12,7**	**10,7**	1 : 0,77 : 0,65

W sumie otrzymano 45 obrazów interpretacji, w których, dla każdej osobno, pomierzono długości i azymuty wszystkich lineamentów, a następnie porównano dla trzech skal (tab. 1):

– liczbę lineamentów na interpretacji,

– sumaryczną długość lineamentów na interpretacji (w mm),

przeliczoną następnie na:

– sumaryczną długość lineamentów w terenie (w km), oraz obliczono:

– średnią długość lineamentów na interpretacji (w mm),

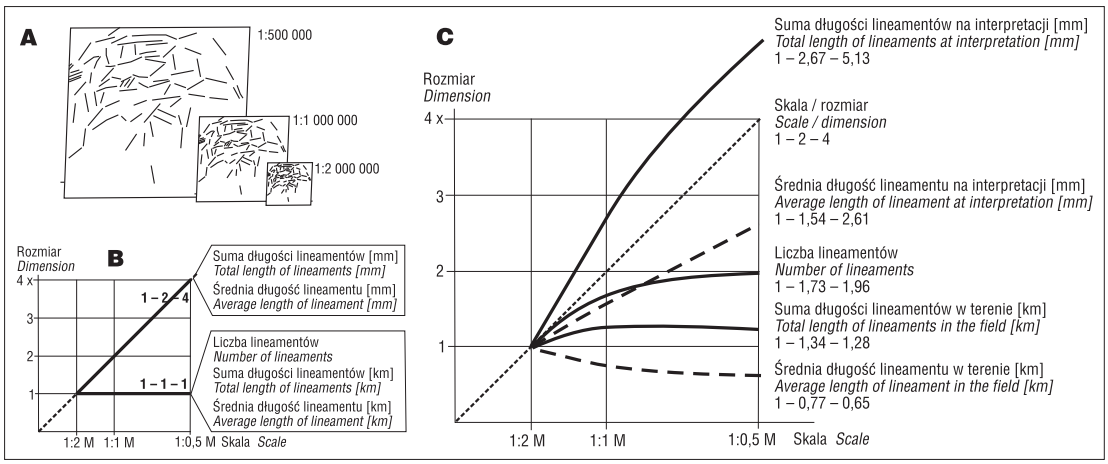
– średnią długość lineamentów w terenie (w km),

a porównane średnie wartości powyższych parametrów dla 3 skal naniesiono na prosty wykres (ryc. 3C). Wykonano także i porównano diagramy rozetowe (kierunkowe) liczby lineamentów, łącznej długości lineamentów w terenie (w km) oraz średnich długości lineamentów dla każdej z trzech skal (ryc. 4).

Interpretacje w każdej z 3 skal nałożono na siebie, tworząc trzy interpretacje zbiorcze (każda złożona z 15 interpretacji indywidualnych), wykonane metodą pokryć wielokrotnych (Ozimkowski & Mardal, 1994; Karnkowski & Ozimkowski, 2001). Interpretacje te doprowadzono następnie do wspólnej skali, w celu porównania ich wyników (ryc. 5).

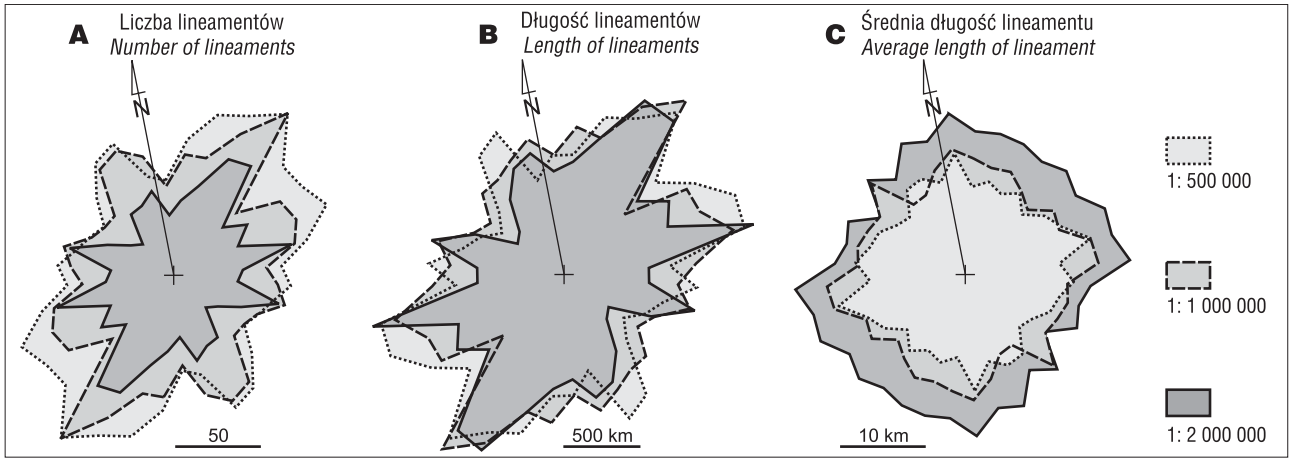
WYNIKI

Indywidualne interpretacje różniły się między sobą znacznie zarówno liczbą, jak i długością wyznaczonych lineamentów (tab. 1, górne wiersze). Różnica między najmniejszą a największą liczbą lineamentów wyznaczonych na indywidualnych interpretacjach w każdej z trzech skal była bardzo duża (przekraczała 7×), jeszcze bardziej różniły się łączne długości wyznaczonych lineamentów (do 9,6×), podczas gdy średnie długości wyznaczanych lineamentów były nieco mniej zróżnicowane (do 5,6×). We

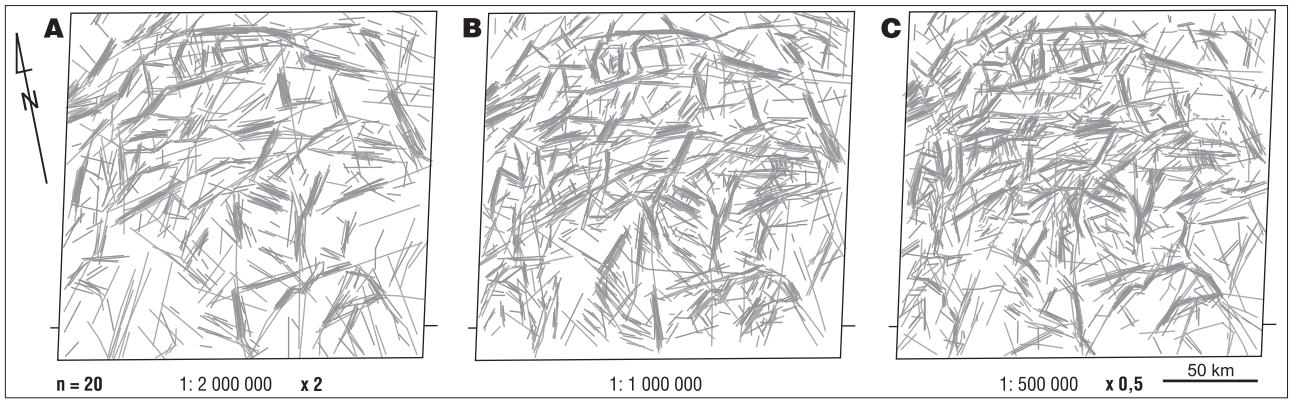


Ryc. 3. Wyniki interpretacji: **A i B** – teoretyczne, **C** – rzeczywisty wynik przeprowadzonego badania. A – 3 identyczne interpretacje tego samego obrazu, różniące się jedynie skalą, B – teoretyczny wykres zależności ilości i długości lineamentów od skali analizowanego obrazu, C – wykres rzeczywistych zależności ilości i długości lineamentów otrzymany na podstawie 45 interpretacji wykonanych przez 15 różnych interpretatorów

Fig. 3. Interpretation results: **A** and **B** – theoretical, for automatic interpretation, **C** – real results of investigations based on 15 interpreters. A – 3 interpretations, differing only in scale, B – theoretical interdependence between image scale, number and lengths of lineaments, C – real interdependence between image scale, and number and lengths of lineaments based on 45 interpretations (i.e. 15×3 scales)



Ryc. 4. Diagramy rozetowe liczby lineamentów dla 3 różnych skal interpretowanego obrazu
Fig. 4. Rose diagrams of number of lineaments for three different scales of imagery



Ryc. 5. Interpretacje zbiorcze dla obrazów w skali 1: 2 000 000 (**A**), 1: 1 000 000 (**B**) i 1: 500 000 (**C**), doprowadzone do jednolitej skali 1: 1 000 000 (zmniejszone według skali liniowej)
Fig. 5. Multi-coverage interpretations of imagery in scales 1: 2 000 000 (**A**), 1: 1 000 000 (**B**) and 1: 500 000 (**C**), standardised to 1: 1 000 000 scale (reduced – see scale bar)

wszystkich trzech przypadkach największe zróżnicowanie dotyczyło interpretacji w skali 1: 1 000 000. Wysokie wartości zróżnicowania parametrów poszczególnych interpretacji wyraźnie potwierdzają subiektywizm interpretacji.

Gdyby obraz był interpretowany w sposób pozbawiony subiektywizmu (np. automatycznie), jego skala teoretycznie nie powinna by mieć wpływu na otrzymywane wyniki. Interpretacje obrazów w różnych skalach byłyby identyczne, różniąc się jedynie stopniem powiększenia (ryc. 3 A), czyli długością lineamentów (w mm) na interpretacji, podczas gdy liczba lineamentów i ich długość w terenie (w km) pozostawałyby stałe (ryc. 3 B). Podobnie średnie długości lineamentów w terenie (w km) pozostawałyby stałe, podczas gdy średnie długości lineamentów na interpretacji (w mm) zmieniałyby się proporcjonalnie do skali (ryc. 3B).

Jednak wyniki uzyskane przez 15 uczestniczących w badanych interpretatorów (ryc. 3C) odbiegały znacznie od teoretycznego schematu (ryc. 3A, B). Z porównania uśrednionych danych z wszystkich interpretacji (tab. 1, ryc. 3C) wynika, że wraz ze wzrostem szczegółowości skali obrazu od 1: 2 000 000, przez 1: 1 000 000, do 1: 500 000 (czyli przy stosunkach liniowych wymiarów interpretowanego obrazu 1 : 2 : 4):

– liczba lineamentów wzrasta, ale wolniej niż szczegółowość skali obrazu (1 : 1,73 : 1,96),

– łączna długość lineamentów na interpretacji (w mm) rośnie szybciej niż skala obrazu (1 : 2,67 : 5,13), czyli w efekcie:

– łączna długość lineamentów w terenie (w km) rośnie tylko nieznacznie ze wzrostem skali obrazu (1 : 1,34 : 1,28), co przy rosnącej liczbie lineamentów powoduje, że chociaż:

– rośnie średnia długość lineamentu wyznaczanego na interpretacji (1 : 1,54 : 2,61), to:

– maleje średnia długość lineamentu wyznaczonego w terenie (1 : 0,77 : 0,65).

Stwierdzony wraz ze wzrostem skali spadek średniej długości lineamentu wyznaczonego w terenie potwierdza znaną tezę, że na szczegółowych (wielkoskalowych) obrazach struktury regionalne są słabiej czytelne niż na obrazach w mniejszej skali.

Rozety kierunków lineamentów, wykonane dla poszczególnych skal, także ukazują pewne zróżnicowanie (ryc. 4). O ile diagramy rozetowe liczby lineamentów (ryc. 4A) wykazują zgodnie dla 3 skal dominantę kierunków zbliżonych do 45°, to już w drugorzędnych maksimach występują różnice: w skali 1: 2 000 000 widoczne są wyraźne 2 maksima 85° i 115°, nie wyróżniające się w pozostałych skalach, za to bardzo słabo zaznacza się maksimum 155–165°, wyraźne w obu większych skalach. Dominanta długości lineamentów w terenie (ryc. 4 B) dla

skal 1: 500 000 i 1: 1 000 000 występuje w azymucie ok. 45°, podczas gdy w skali 1: 2 000 000 ma kierunek ok. 95° (choć oba zespoły są widoczne w różnym stopniu na wszystkich 3 diagramach), a w interpretacjach 1:500 000 pojawia się lokalne maksimum 155–165°, prawie nie zaznaczające się w mniejszych skalach.

Średnie długości lineamentów (ryc. 4C) wykazują stosunkowo małe zróżnicowanie kierunkowe, więc wzajemna zamiana dominant między interpretacjami w skali 1: 1 000 000 (95°), a pozostałymi dwoma (ok. 5°) może być tylko przypadkowa. Interesująca jest za to wyraźnie i zgodnie zaznaczająca się we wszystkich trzech skalach przewaga długości lineamentów południkowych i równoleżnikowych nad pozostałymi.

Na wszystkich trzech rozetach (ryc. 4A–C) występują niekiedy niewielkie różnice kierunków (na ogół rzędu 10°) między odpowiadającymi sobie maksimami, wynikające zapewne z przyjęcia 10° przedziałów klasyfikacji kierunków. Wyraźnie zaznacza się widoczny w wielkości powierzchni poszczególnych diagramów spadek liczby lineamentów wraz ze wzrostem skali (ryc. 4A), oraz jednoczesny wzrost ich średniej długości (ryc. 4C), przy stosunkowo niewielkim wzroście łącznej długości lineamentów w terenie (ryc. 4B).

Interpretacje w poszczególnych skalach zestawiono w trzy interpretacje zbiorcze wykonane metodą pokryć wielokrotnych (Ozimkowski & Mardal, 1994; Karnkowski & Ozimkowski, 2001), które następnie w celu porównania doprowadzono do jednakowej skali (oryginalnie 1: 1 000 000) (ryc. 5). Strefy głównych lineamentów, dość zgodnie wyznaczane na obrazach w każdej z trzech skal przez większość interpretatorów, są jednakowo dobrze czytelne we wszystkich trzech skalach (ryc. 5A, B, C). Interpretacje obrazów małoskalowych są stosunkowo mało zróżnicowane (bardziej spójne) i w naturalny sposób, na skutek zmiany skali, zgeneralizowane. W miarę wzrostu skali obrazu przybywa natomiast mniejszych lineamentów (por. ryc. 5A – B – C), lecz często są one stwierdzane tylko przez pojedynczych interpretatorów – czyli wraz ze wzrostem skali maleje stopień uporządkowania otrzymywanej interpretacji (lub wzrasta jej subiektywizm).

Strefy głównych lineamentów mają stosunkowo dużą szerokość – dużo większą, niż mogłaby wynikać z błędów graficznych metody, czyli z sumowania niedokładności interpretacji wizualnej, skaningu i digitalizacji. Szerokość ta jest więc zapewne odzwierciedleniem rzeczywistego obrazu lineamentów, jako stosunkowo szerokich stref spękań, być może rozwiniętych nad dyslokacjami przebiegającymi głęboko w podłożu (Ostaficzuk, 1981).

WNIOSKI

Zależność wyników interpretacji od skali analizowanego obrazu jest potencjalnie groźna dla spójności interpretacji. Istotne jest zwłaszcza zmniejszanie się średniej długości lineamentu wyznaczanego w terenie w miarę wzrostu skali analizowanego obrazu, gdyż może to oznaczać, że na bardziej szczegółowych obrazach struktury regionalne mogą być słabiej czytelne niż struktury lokalne. W skrajnych przypadkach można uzyskać całkowicie odmienne wyniki interpretacji, np. prześledzić na obrazach wielkoskalowych uskoki opierzające lub szereg kulisowy, nie dostrzegając uskoku głównego, widocznego jedynie na obrazach małoskalowych (np. Ozimkowski, 2012).

Interpretując obrazy w różnych skalach, otrzymujemy interpretacje różniące się nie tylko liczbą i wielkością lineamentów, lecz także ich kierunkami. W związku z tym interpretację całego badanego obszaru powinno się przeprowadzać na obrazach w tej samej skali (w tym samym powiększeniu), powtarzając interpretację całego obszaru po każdej kolejnej zmianie skali (powiększenia).

Interpretacje w różnych skalach, wykonane przez tego samego interpretatora, można na siebie nakładać, uzyskując interpretację zbiorczą, wykonaną metodą pokryć wielokrotnych (Ozimkowski & Mardal, 1994; Karnkowski & Ozimkowski, 2001), zachowującą wszystkie informacje uzyskane w różnych skalach, a także spójną pod względem kryteriów interpretacji.

Większa skala interpretowanego obrazu nie musi oznaczać większej dokładności uzyskiwanych wyników, może jedynie powodować wzrost nieuporządkowania, subiektywizmu interpretacji.

Zależność wyników interpretacji od skali analizowanego obrazu jest zapewne prawidłowością ogólną, występującą także przy interpretacji obrazów innych niż satelitarne, np. przy wizualizacjach numerycznych modeli terenu (NMT, DEM).

Dziękuję prof. Stanisławowi Ostaficzukowi za cenne uwagi zawarte w recenzji, a także uczestnikom badania – magistrantom i doktorantom Wydziału Geologii UW, biorącym w latach 2012/13 i 2013/14 udział w Praktikum z fotointerpretacji geologicznej.

LITERATURA

JACQUES P.D., MACHADO R. & NUMMER A. 2012 – A comparison for a multiscale study of structural lineaments in southern Brazil: LANDSAT-7 ETM+ and shaded relief images from SRTM3-DEM. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 84 (4): 931–942.

KARNKOWSKI P.H. & OZIMKOWSKI W. 2001– Geologiczna analiza zdjęć satelitarnych metodą pokryć wielokrotnych – zarys problematyki z przykładami z Polski południowej. Prz. Geol., 49, 11: 1067–1072.

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. 1981 – Lineamenty jako odwzorowanie zjawisk tektonicznych na tle wybranych przykładów z Polski. Biul. Geol. Uniw. Warsz., 29: 195–254.

OZIMKOWSKI W. 2012 – Czytelność fotointerpretacyjna uskoku Popradu. III Warsztaty Geomorfologii Strukturalnej – Strukturalne i litofacjalne uwarunkowania rozwoju rzeźby polskich Karpat zewnętrznych. Stowarzyszenie Geomorfologów Polskich i Instytut Ochrony Przyrody PAN. Kraków 2012: 90–91.

OZIMKOWSKI W., MARDAL T. 1994 – Powtarzalność wyników wizualnej interpretacji geologicznej zdjęcia satelitarnego. Prz. Geol., 42, 4: 272–275.

Praca wpłynęła do redakcji 12.06.2014 r.
Akceptowano do druku 11.08.2014 r.